



# Utbudet av biobränslen på kort och lång sikt

ER 2009:13



Böcker och rapporter utgivna av Statens  
energimyndighet kan beställas via  
[www.energimyndigheten.se](http://www.energimyndigheten.se)  
Orderfax: 08-505 933 99  
e-post: [energimyndigheten@cm.se](mailto:energimyndigheten@cm.se)

© Statens energimyndighet

ER 2009 13

ISSN 1403-1892

## Förord

Energimyndigheten har i uppdrag att skapa ett effektivt och hållbart energisystem. I strävan att klara såväl klimatmål som mål om ökad andel förnybara bränslen så kan biobränslen få en allt större betydelse i energisystemet framöver. En ökad användning av biobränslen kan dock komma att förändra vad som tas ut ur skogen och vad som odlas på jordbruksmark. Vilka miljöeffekter har olika växtsystem för biomassa som kan nyttjas som biobränsle? Mer kunskap behövs dessutom om de miljöeffekter nya grödor, som kan komma in i det svenska landskapet, har. En annan viktig fråga är vilket utbud av biobränsle vi ekonomiskt kan räkna med i Sverige idag, och vilka ekonomiska förutsättningar det finns för att nyttja mer biobränsle?

På uppdrag av Energimyndigheten har forskare från Linköpings universitet och Luleå tekniska universitet på var sitt håll undersökt olika aspekter av uttag av biomassa för bioenergiändamål. Rapporterna skiljer sig åt i sin karaktär då forskarna från Linköpings universitet undersökt miljöeffekter ur ett ekologiskt perspektiv (ER 2009:12) och forskaren från Luleå tekniska universitet haft en nationalekonomisk utgångspunkt (ER 2009:13). Rapporterna kompletterar varandra i syfte att skapa en större förståelse för utvecklingsmöjligheterna för den svenska bioenergiproduktionen.

Föreliggande rapport är framtagen av Robert Lundmark från Luleå tekniska universitet.

Författaren ansvarar för analyser och slutsatser.



Charlotte Billgren  
Handläggare  
Energimyndigheten



# Innehåll

|  |           |
|--|-----------|
| <b>Sammanfattning</b>  | <b>7</b>  |
| <b>1 Introduktion</b>  | <b>9</b>  |
| 1.1 Bakgrund.....  | 9         |
| 1.2 Syfte.....   | 9         |
| 1.3 Konceptuell förklaring av utbud som ett ekonomiskt begrepp.....  | 10        |
| <b>2 Biomassa som resurs</b>   | <b>15</b> |
| 2.1 Skogsbruk .....  | 15        |
| 2.2 Jordbruk .....   | 18        |
| 2.3 Industriella biprodukter .....                                   | 19        |
| <b>3 Kostnadsbedömning</b>   | <b>21</b> |
| 3.1 Analytisk referensram.....                                       | 22        |
| 3.2 Kostnadsbedömning av biomassa från skogsbruket.....              | 29        |
| 3.3 Kostnadsbedömning av biomassa från jordbruket.....               | 30        |
| 3.4 Kostnadsbedömning av industriella biprodukter .....              | 32        |
| <b>4 Utbudet av biomassa</b>   | <b>33</b> |
| 4.1 Utbudet från skogsbruket.....                                    | 33        |
| 4.2 Utbudet från jordbruket .....                                    | 38        |
| 4.3 Utbudet av industriella biprodukter .....                        | 40        |
| <b>5 Analys</b>  | <b>43</b> |
| 5.1 Det aggregerade utbudet av biomassa i Sverige .....              | 43        |
| 5.2 Biomassa som bränsle till energisektorn på lite längre sikt..... | 46        |
| 5.3 Internationell handel .....                                      | 49        |
| 5.4 Förekomsten av regionala marknader.....                          | 52        |
| <b>6 Slutsatser</b>  | <b>55</b> |
| <b>Referenser</b>  | <b>57</b> |



# Sammanfattning

Syftet med rapporten är att ekonomiskt bedöma utbudet av biobränslen i Sverige. Detta sker genom att konstruera utbudskurvor för relevanta kategorier biomassa. Vidare sker bedömningar om de framtida utbudet med ett 10- respektive 25-årigt perspektiv bland annat för att tillåta en anpassning av skogs- och jordbruksektorns tekniska lösningar till effektivare tillvaratagande av biomassan. Förekomsten av regionala och internationella marknader inkluderas också i analysen. Modellen möjliggör en skattning av ett utbud för varje kategori biomassa. Dessa ligger sedan till grund när olika aggregerade utbudskurvor konstrueras. Resultaten pekar på ekonomiska möjligheter att öka uttagen av biomassa givet ett kostnadsläge. Denna ökning är beroende av rådande kostnadsstruktur. Emellertid visar resultaten att tidigare studier överskattar uttagspotentialen varför en högre grad av tillförsikt måste ske vid utformningen av olika policy åtgärder.





# 1 Introduktion

## 1.1 Bakgrund

Den politiska viljan att utöka användningen av bibränslen kan grovt förklaras av fyra orsaker: (a) rädsla för att knappheten av de fossila bränslena tvingar fram kraftiga prisökningar på dessa icke-förnyelsebara resurser; (b) miljöhänsyn, främst kopplat till den globala uppvärmningen; (c) leveranstrygghetsmotiv och; (d) den landareal som blivit tillgänglig genom strukturella förändringar inom jordbruket. Således finns det också ett starkt intresse av att utvärdera möjligheterna för och konsekvenserna av en storskalig användning av biomassa som bränsle i energigenerering. En integrerad del av en sådan utvärdering är förståelsen av hur mycket biomassa som kan bjudas ut vid olika prisnivåer, det vill säga biobränslets utbudskurvor bör vara väl kända.

Genom en bättre kännedom om de relevanta utbudskurvorna kan konsekvenserna av olika policybeslut utvärderas och förekomsten av eventuella målkonflikter klargöras. Dessutom kan utbudskurvor användas för kostnadsbedömningar av olika policybeslut, samt för att identifiera områden/användningar där den ekonomiska potentialen för ett storskaligt biobränsleutnyttjande är speciellt stort.

Många av de energirelaterade problem dagens samhälle ställs inför är inte av en teknisk karaktär. Dagens koltillgångar räcker väl än mer för att tillgodose även de mest optimistiska efterfrågeprojektionerna på energi för de närmsta seklen. Även om en ökad användning av kol anses som icke-önskvärd träffas jorden av tillräckligt med solenergi för att många gånger om tillgodose våra energibehov. Solenergin kan omvandlas till elektricitet och väte och därmed göra våra energi- och transportsystem i stort sett utsläppsfria. Som en konsekvens har de energirelaterade problemen dagens samhälle ställs inför mer att göra med ekonomiska, geopolitiska, institutionella och/eller miljömässiga drivkrafter och hinder.

En ökad efterfrågan på biobränslen kommer att innebära ökade priser på dessa bränslen såvida inte utbudet av biobränslen kan ökas i motsvarande takt. Utbudet av biobränslen härrör från en rad olika källor. Hitintills har bi- och restprodukter från skogsbruket och skogsindustrierna varit den dominerande källan men restprodukter från jordbruket, industri- och hushållsavfall och dedikerade energi-odlingar ökar i omfattning speciellt utifrån ett europeiskt perspektiv. Den nationellt och internationellt förda energipolitiken driver inte enbart upp efterfrågan för biobränslen utan även, till mindre del, utbudet.

## 1.2 Syfte

Studien syftar till att – med utgångspunkt från tidigare studier och egna empiriska undersökningar – kvantitativt bedöma det ekonomiska utbudet av olika kategorier biomassa uttryckt i energirelaterade termer (priser uttryckta som kronor per MWh

och kvantiteter som MWh). Olika tidsperspektiv kommer att analyseras där den bortre tidshorizonten avgränsas till när de första skördarna av intensivodlade skogsbruk finns tillgängliga (om cirka 25 år). Genom att analysera utbudet under olika tidshorisonter kan konsekvenserna av olika policyåtgärder utvärderas, och dessutom kan effekterna av teknikutveckling analyseras.

Vidare avser studien att analysera utbudskurvornas utseende, med speciellt fokus på förekomsten av flaskhalsar och regionala marknader, samt betydelsen av teknisk utveckling och biologiska restriktioner. De kategorier av biomassa som inkluderas i studien är de som härrör från skogen respektive jordbruket samt de som används i industriella tillämpningar. I förekommande fall tas även hänsyn till betydelsen av internationell handel med biobränslen

### **1.3 Konceptuell förklaring av utbud som ett ekonomiskt begrepp**

Utbudet av biomassa uppvisar några speciella egenskaper som särskiljer sig från andra varor. För det första är biomassa inte en enhetlig vara utan kan inkludera allt av organiskt ursprung. Det är därmed viktigt att först specificera vilka kategorier som ingår i en studie. Avgränsningen kan ske på många olika sätt men bör reflektera studiens omfång, problemformulering och syfte. För det andra är det flera olika sektorer som står för utbudet. Biomassa säljs av skogsägare, jordbruk, tillverkningsindustrier, återvinningsagenter etc. alla med sin egen incitamentsstruktur. För det tredje är flera kategorier så kallade biprodukter. En biprodukt är från ett ekonomiskt perspektiv en vara vilkens utbud inte styrs av sin egen marknad. Till exempel är avverkningsrester en biprodukt från skogsavverkningar. Det innebär att utbudet av avverkningsrester styrs helt av avverkningsnivån av rundvirke som bestäms på marknaden för rundvirke. Utbudet av avverkningsrester är helt avhängigt en avverkning av rundvirke och den maximala tillgången kan enbart förändras om avverkningsvolymen också förändras. Vi kommer inledningsvis att konceptuellt redogöra för utbudet av biomassa och dess egenskaper.

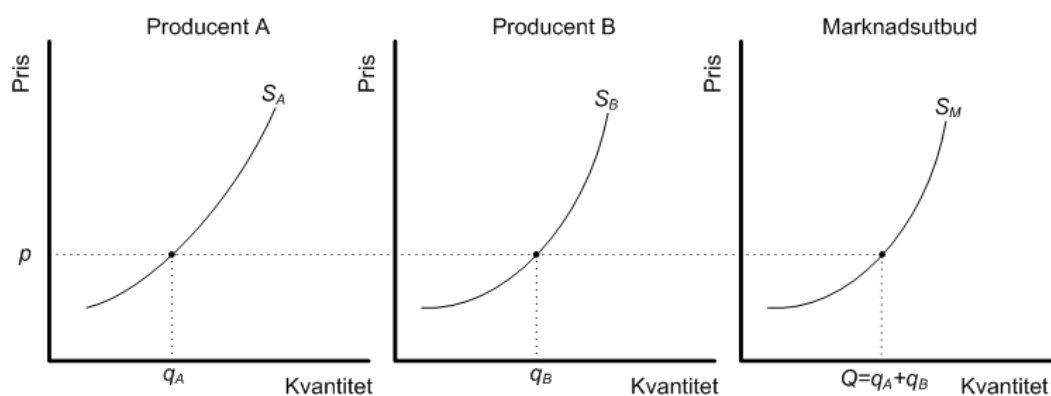
Utbudsförhållandena mellan olika kategorier biomassa skiljer sig åt. För specifika användare behöver heller inte de olika kategorierna vara substitut till varandra. Detta betyder dock inte att utbudssituationen för dessa kategorier är ovidkommande. Varje kategori biomassa har sitt marknadsutbud bestående av summan av alla enskilda producenters utbud.

#### **1.3.1 Utbudskurvan**

Det är viktigt att skilja mellan utbud och utbudens kvantitet av en kategori biomassa. Utbudet visar hur den utbudens kvantitet varierar med priset. Det vill säga, utbudet är en funktion av priset och för en given prisnivå erhålls en utbudens kvantitet. En utbudskurva illustrerar just förhållandet mellan pris och utbudens kvantitet. Generellt är företag villiga att bjuda ut en högre kvantitet vid högre prisnivåer på grund av att ett högre pris innebär att företaget kan täcka en ökande marginalkostnad. Marginalkostnaden stiger vid högre kvantitet. Detta innebär att

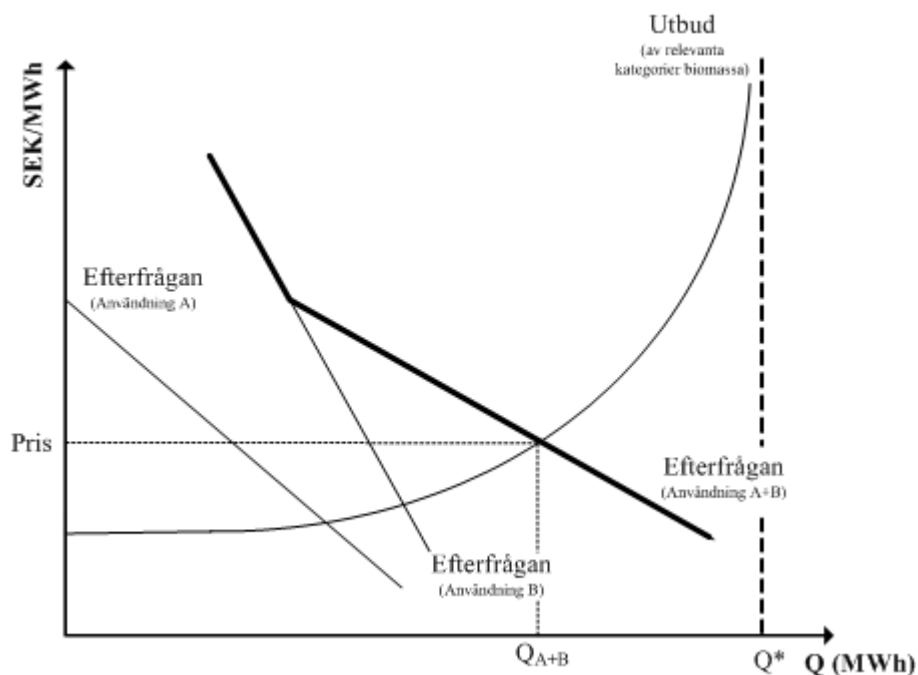
studier baserade på en konstant marginalkostnad blir missvisande. Varje enskilt företag som agerar på en marknad har sin unika utbudskurva (marginalkostnadskurva).

*Figur 1* illustrerar hur företag ökar den utbudna kvantiteten vid högre prisnivåer. Givet vissa antaganden måste priset öka för att en högre kvantitet ska bjudas ut. Genom att horisontellt addera enskilda företags utbudskurvor kan marknadsutbudet härledas. På grund av biomassans karaktäristiska egenskaper blir marknadsutbudet summan av de kategorier biomassa som är relevanta som insatsfaktor i en industrisektor, inte en summering över en enskild kategori biomassa. Till exempel, det marknadsutbudet av biomassa som massa- och pappersindustrin möter inkluderar alla de kategorier biomassa som de kan använda (exempelvis, massa-ved och gallringsvirke) summerat över alla leverantörer. Motsvarande gäller för olika delar av energisektorn och andra användare av biomassa.



**Figur 1** Illustration av utbudskurvor, utbudna kvantitet och marknadsutbudet för en vara

*Figur 2* visar konceptuellt hur konkurrensen om olika kategorier biomassa mellan olika användningsområden påverkar marknadspriset. Utbudskurvan illustrerar att ett högre pris krävs för att attrahera en ökad produktion av biomassa. Det exakta utseendet, såsom hur brant lutningen är, varierar mellan olika kategorier men det råder få tvivel om att den utbudna kvantiteten ökar monotont med priset. Sett från slutkonsumentens perspektiv ökar marginalkostnaden vid ökad efterfrågan, inte minst allteftersom transportavstånden från råvaruproducent till kund blir längre (Johansson, 2001; Radetzki, 1997). Ju brantare lutningen är desto mer påverkas priset vid en efterfrågeändring från ettdera användningsområdet och konkurrensen om råvaran blir mer intensiv.



**Figur 2 Utbud och efterfrågan för konkurrensutsatt kategorier biomassa**

Utbudet i *Figur 2* är begränsat av en restriktion,  $Q^*$ . Denna restriktion är mycket väsentlig för biomassans ekonomi, eftersom den gör att utbudet begränsas till en maximal nivå även om priserna stiger kraftigt. Med andra ord, vid tillräckligt höga priser är utbudskurvan i princip vertikal och detta gäller för alla kategorier biomassa. Nivån på restriktionen bestäms i huvudsak av två faktorer, dels av vilken tidshorisont som utbudsanalysen gäller och dels av vilken kategori biomassa som avses.

På kort sikt kommer utbudet att vara begränsat av produktionskapaciteten. Utbudet av massaved är exempelvis begränsat av skogsindustrins avverkningskapacitet och av hur mycket som är biologiskt möjligt att ta ut vid en viss tidpunkt. På lång sikt kan dock skogsindustrin investera i mer avverkningsutrustning, bygga nya vägar, och därmed sätts restriktionen vid en högre kvantitet (så länge en sådan är möjlig biologiskt och reproduktionsmässigt sett). Detta resonemang gäller dock endast för en så kallad *huvudprodukt*, det vill säga en produkt – såsom sågtimmer – vars pris är avgörande för skogsägarens ekonomiska överlevnad.

Utbudssituationen blir dock annorlunda för en så kallad *biprodukt*. En sådan produkt produceras ofta parallellt med huvudprodukten men dess pris har ingen inverkan på hur mycket som produceras av huvudprodukten (Tilton, 1992). Spån och avverkningsrester är exempel på biprodukter inom skogssektorn. Utbudskurvan för en biprodukt har väsentligen samma generella utseende som den i *Figur 2*, men restriktionen bestäms nu av produktionsnivån för huvudprodukten. Utbudet av spån från sågverksindustrin kommer exempelvis på kort sikt aldrig att kunna bli högre än vad som ges av produktionen av sågade trävaror och en ökning i spånpriset får ingen positiv inverkan på den utbudna kvantiteten. Om sågverks-

industrin exempelvis minskar sin produktion minskar även utbudet av biprodukter som kan resultera i prishöjningar på biprodukterna.

### **1.3.2 Tidigare forskning**

Lönner m.fl. (1998) är en av de mer citerade studierna som behandlar utbudet av biomassa med hjälp av olika kostnadsbedömningar men denna studie bygger på antagandet att de totala kostnaderna för träbränslekategorierna divideras med potentiell mängd tillgängligt bränsle för den specifika bränslekategorin. Det bör påpekas att de kostnadsberäkningar som Lönner m.fl. (1998) gör tar *viss* hänsyn till stigande marginalkostnader då de antar att genomsnittskostnaden stiger då vissa tröskelvärden på exempelvis terrängtransportavstånden uppnås. Vår bedömning är dock att detta inte är tillräckligt för att fullt ut fånga upp den ökade otillgängligheten på vissa bränslesortiment. En sammanställning av olika bedömningar rörande biomassans tillgänglighet finns i PROFU (2006).

### **1.3.3 Disposition**

Rapporten fortsätter med ett kapitel som behandlar biomassa som resurs. Kapitlet beskriver utvecklingen av de inkluderade kategorierna biomassa både i termer av kvantiteter och i termer av prisbildning. I kapitel 3 presenteras de kostnadsbedömningar som ligger till grund för studien samt den kostnadsanalytiska referensramen. Kostnadsbedömningen är uppdelad efter biomassa från skogbruket, jordbruket och de som kan klassas som industriella biprodukter. Kostnadsbedömningarna ligger sedan till grund för utbudskurvorna som skattas i kapitel 4. En utbudskurva för varje kategori biomassa skattas för att sedan summeras inom varje sektor. Utbudskurvorna analyseras sedan i kapitel 5 utifrån olika frågeställningar. Slutligen presenteras slutsatserna.



## 2 Biomassa som resurs

Biomassa som en resurs består av många olika råvaror som skiljer sig inte bara rent fysiskt utan även i tillgång, expansionsmöjligheter och i möjliga användningsområden. Exempelvis avlutar, spån och bark är rena biprodukter från skogsindustrierna vars tillgång inte påverkas av efterfrågan. Däremot erbjuder dessa råvaror olika användningsalternativ och handlas på väldefinierade marknader. Tillgången på biomassa begränsas ytterst av den biologiska resursen och vad som bedöms vara en uthållig användning<sup>1</sup>. Detta gäller inte enbart rundvirke (massaved och sågtimmer) utan även alla typer av avverkningsrester (grenar och toppar, barr och stubbar). Möjligheten att tillvarata röjnings- och gallringsvirke är inte enbart en teknisk fråga utan även en ekonomisk. Tillgången av biomassa från jordbruket påverkas av faktorer som åkermarkens produktivitet och konkurrensen om densamma för andra ändamål än att odla bränsle samt av ekologiska restriktioner. Även politiska beslut påverkar biomassans marknadsegenskaper. Ekonomiska styrmedel påverkar tillgången och öppnar upp nya användningsområden genom att bland annat påverka relativpriser och den tekniska utvecklingen. På grund av biomassans mångfald och omfång faller den politiska kontrollen av resursen inom ramen för flera politikområden. De mest uppenbara är skogs- och jordbrukspolitikerna – på nationell och EU-nivå – men även klimat-, miljö-, energi-, och regionalpolitiken påverkar biomassan som en resurs. För ett effektivt utnyttjande av biomassan bör dessa politikområden samordnas i så stor utsträckning som möjligt. I detta kapitel kommer biomassan som resurs att diskuteras uppdelat efter ursprung och kategori. De ekonomiska aspekterna av biomassan diskuteras i kommande kapitel.

### 2.1 Skogsbruk

Sverige är ett land med rika skogstillgångar. Den produktiva skogsarealen utgör strax över 55 procent av den totala landarealen. Gran och tall är de dominerande barrträden och utgör nästan hela det nationella skogsbeståndet. Björk är det mest vanliga lövträdet. Den årliga totala tillväxten i virkesförrådet låg kring 114 miljoner m<sup>3</sup> sk per år i genomsnitt för perioden 2001-2005 medan avverkningen mellan åren 2001-2006 i genomsnitt var cirka 88,2 miljoner m<sup>3</sup> sk per år (Skogsstyrelsen, 2007). För en långsiktig hållbarhet kan avverkningsvolymen inte överstiga tillväxten under allt för många år. Skogen svarar för cirka 90 procent av bioenergin i Sverige. Produktionen av trä- och pappersprodukter är den ekonomiska basen för skogsbruket, men biprodukter i form av träbränslen har utvecklats till ett allt viktigare tredje ben för såväl skogsbrukaren som skogsindustrin. Avverkningsresterna kan betraktas som en energiresurs medan gallringsveden kan ses som ett gränssortiment mellan produkt- och energianvändning.

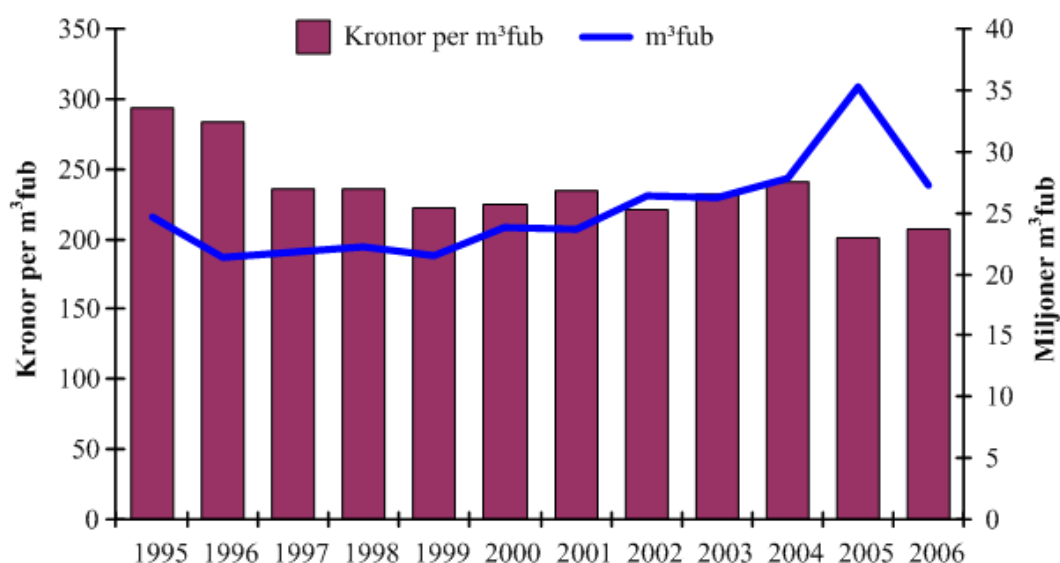
---

<sup>1</sup> Gränsen mot en kvalitetsmässig acceptable massaved är flytande, likaså balanspunkten ifråga om grenar och toppar (GROT).

Skogsråvaran kan generellt användas för vidareförädling till andra produkter eller till energiutvinning. Tre specifika skogsråvaror är av intresse: (a) avverkningsrester från slutavverkning och gallring; (b) industriella biprodukter; och (c) massaved. Avverkningsrester från slutavverkning och gallring saknar i princip alternativ användning inom skogsindustrin – utom för egen direkt energiutvinning – men inkluderas här på grund av dess påverkan på det aggregerade utbudet. Om uttagskostnaderna för avverkningsrester stiger eller om potentialen minskar kan konkurrensen om andra skogsråvaror i stället öka då energisektorn relativt lätt kan substituera mellan olika sortiment. För att få en korrekt bild av utseendet på skogsbränslets utbudskurva är det därför viktigt att även inkludera avverkningsrester.

### 2.1.1 Rundvirke (massaved)

*Figur 3* illustrerar genomsnittspris och avverkningsvolym för massaved mellan 1995 och 2006. Produktionen av massaved har under perioden varierat mellan 20 miljoner m<sup>3</sup>fub och 30 miljoner m<sup>3</sup>fub men en tydlig topp 2005 då avverkningen av massaved översteg 35 miljoner m<sup>3</sup>fub. Prisutvecklingen har under de senare åren visat på en sjunkande trend med prisnivåer kring 200 kronor per m<sup>3</sup>fub som *Figur 3* indikerar.



**Figur 3** Utvecklingen av genomsnittspriset på massaved (leveransvirke) för gran, tall och björk samt avverkningsvolym

Källa: Skogsstyrelsen (2007)

Den negativa pristrend som kan observeras i *Figur 3* för massaved innebär att massaved har blivit ett mer attraktivt bränsle inom energisektorn samtidigt som större volymer har avverkas. Den årliga avverkningsvolymen ligger generellt



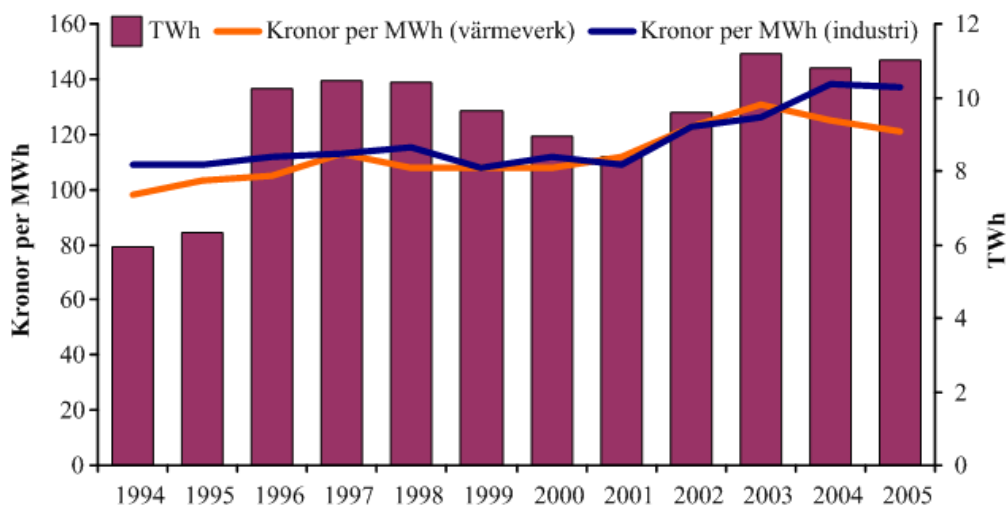
under den årliga tillväxttakten vilket kan innebära att avverkningsvolymen kan öka utan att påverka den långsiktiga hållbarheten i skogsbruket.

### 2.1.2 Avverkningsrester

Avverkningsrester från skogsbruket inkluderar grenar, toppar, stubbar, småträäd och lågkvalitativa stammar. Uttag av avverkningsrester kan ske både vid gallring och vid slutavverkning. Det är framförallt i samband med slutavverkning som betydande synergieffekter kan uppstå mellan uttag av rundvirke och avverkningsrester. Den större kostnadsandelen bärs av rundvirket medan en relativt mindre kostnad tillkommer för uttaget av avverkningsrester. Svebio (2004) konstaterar att det finns synergier mellan hanteringen av avverkningsrester och rundvirke genom att fasta kostnader för skogsvägar, administration, fältorganisation och maskinunderhåll kan delas. I skogsskötseln finns synergieffekter genom att uttag av avverkningsrester underlättar planteringar. Ett ökat uttag av trädbränsle i samband med röjningar och gallringar ger bättre ekonomi för skogsägaren och gynnar framtida dimensions- och värdetillväxt i skogarna.

Flisning av avverkningsrester producerar *skogsflis* och sker antingen i anslutning till (1) avverkningsplatsen (2) avlägg (3) förbränningsanläggningen eller (4) terminal. Bränslet lämpar sig bäst i medelstora och större anläggningar eftersom dessa anläggningar har bättre möjligheter att använda flis av varierande kvalitet. Kvalitetskraven varierar dock med anläggningarnas förbränningsteknik och kan därför anses som anläggningsspecifika.

Figur 4 visar produktions- och prisutvecklingen för skogsflis och kross mellan åren 1994 och 2005. Under den angivna perioden har produktionen stigit från cirka fem TWh till drygt elva TWh. En kraftig ökning skedde mellan 1995 och 1996 men sedan dess har produktionen fallit tillbaka något. Prisnivån har stigit under perioden och låg 2005 kring 125 och 130 kronor per MWh beroende på slutanvändare.



Figur 4 Produktion av skogsflis och kross samt dess realpris, 1994-2005 (fritt förbrukare)

Källa: Skogsstyrelsen (2007)

### 2.1.3 Stubbar

Omkring 20-30 procent av ett träd finns i stubbdelen, som anses kunna utnyttjas som bränsle efter viss bearbetning. Stubbar utgör en kategori biomassa som idag är ekonomiskt och tekniskt svåra att skörda men det finns dock utvecklade metoder för att ta ut stubbar. Tillfrågade bränsleleverantörer anger hög föroreningsgrad samt höga askhalter som möjliga problem för stubbanvändning, samt att marktypen i Sverige gör det svårt att avskilja jord och annat material från stubben. På grund av detta saknas det statistik över faktiska uttag och prisbildning. I de fall där stubbar har skördas har de krossas eller flisas tillsammans med övriga avverkningsrester varför separat statistik saknas. Skogsindustrierna uppskattar dock en potential kring 5,1 TWh per år, men redogör inte till vilken marginalkostnad denna potential kan bjudas ut på marknaden (Skogsindustrierna, 2007). Svebio har en mer optimistisk syn på den tillgängliga potentialen och anser att den ligger kring 10 TWh per år under förutsättning att 50 procent av alla stubbar tas ut. Men även Svebio misslyckas med att ange till vilken marginalkostnad denna potential kan förverkligas.

## 2.2 Jordbruk

Jordbruket kan bidra till vår energiförsörjning genom odling av energigrödor (exempelvis, etanolspannmål och salix) och genom omhändertagande av biprodukter som halm. Under 2005 uppgick den samlade energiproduktionen från jordbruket bara till drygt 1 TWh varav halm utgjorde 50 procent medan spannmål och salix stod för resterande, 30 respektive 20 procent (LRF, 2005). Härutöver utnyttjas begränsade volymer gödsel och vall till biogas och rörflen som fast bränsle. En långsiktig potential av biomassa från jordbruk till energiutvinning uppskattas till cirka 22 TWh enligt LRF (2005).

### 2.2.1 Jordbrukets biprodukter

På samma sätt som med avverkningsrester från skogsbruket är biprodukterna från jordbruket avhängigt produktionen av traditionella jordbruksprodukter. Utnyttjandet av biprodukter från jordbruket till energiutvinning har historiskt varit låg. Halm är den biprodukt som beräknats ha den största potentialen. Tre restriktioner påverkar den beräknade potentialen. (1) Användningen av halm till energiutvinning konkurrerar med djurhållning som använder halm som strö. (2) En del av halmen bör lämnas kvar för att inte långsiktigt påverka jordens produktionsförmåga. (3) Slutligen påverkar väderförhållandena möjligheten att skörda lagringsduglig halm. Givet dessa restriktioner och nuvarande odlingsnivå har den teoretiska potentialen beräknats till mellan 15 och 20 TWh per år medan den praktiskt utnyttjbara nivån ligger på cirka sju TWh per år (LRF, 2005).

Halm används idag bara som fastbränsle och kan eldas med andra bränslen i varierande anläggningsstorlekar. Den låga användningen av halm kan delvis förklaras av kraven på särskild eldningsutrustning och dels av sitt relativt dyrare kostnadsläge jämfört med andra biobränslen.

### **2.2.2 Dedikerade energiodlingar**

Under efterkrigstiden planterades stora arealer jordbruksmark med skog, främst gran och i viss utsträckning björk, asp och poppel. Den tänkta huvudanvändningen för dessa skogar har varit timmer och massaved. I framtida scenarion kan intresset öka för snabbväxande träslag med ett större fokus på användning av stamved till energi utvinning. Jämfört med andra typer av energigrödor har dock en sådan användning av åkermarken en konkurrensnackdel eftersom varken anläggningsstöd eller årlig arealersättning utgår. Det är därför svårt att bedöma vilka arealer som kan bli aktuella.

Salix är en av de mest förekommande energigrödorna i Sverige. 2002 utnyttjades 0,5 procent av den odlingsbara marken till salixodlingar. Nyplanteringen har varit låg under flera år dels på grund av oklarheter om den framtida jordbruks- och energipolitiken och dels på grund av dåliga erfarenheter hos den första generationens salixodlare. Energimyndigheten pekar på möjligheten att utnyttja större arealer genom att utnyttja stordriftsfördelar vilket skulle kunna generera cirka 40 TWh bränsle per år (Energimyndigheten, 2004). Detta är dock ett långsiktig estimat och vidare framgår det inte till vilken kostnad denna potential kan realiseras.

### **2.3 Industriella biprodukter**

De industriella biprodukterna som behandlas är huvudsakligen de som härrör från olika delar av skogsindustrin. I sågverkens tillverkning av sågade träprodukter faller stora kvantiteter sågverksflis och spån av olika kategorier ut. Eftersom priset på sågverksflis eller spån inte styr tillverkningsnivån på sågade träprodukter måste dessa betraktas som biprodukter. Köparna av biprodukterna har alltså liten möjlighet att via marknadskrafter direkt påverka utbudet. Mycket av det som gäller för avverkningsrester från skogsbruket och behandlas som skogsflis är också sant för sågverksflis. Skillnaden är att massaindustrin inte kan använda skogsflis på grund av bland annat inblandning av allt för många lågkvalitativa träfibrer.

Biprodukterna från skogsindustrin består av ett flertal olika bränsletyper och former. Det är därför svårt att direkt omräkna energiproduktionen till volym eftersom de olika bränslena har olika energivärden. En grov fingervisning kan dock ske genom att beräkna medelvärdet av energivärdet för flis, sågspån, kutterspån och bark och använda detta värde som bas för omräkningen. Detta visar att konsumtionen av biprodukter från skogsindustrin i energisektorn motsvarade strax över 10 TWh år 2005. Den sågverksflis som produceras säljs vidare till antingen massa och pappersindustrin (råflis), träskiveindustrin eller energisektorn (torrflis) – bränsleförädlingsindustrin inkluderad. Den största avnämaren för sågverksflis är massa och pappersindustrin som konsumerar cirka 90 procent av den totala produktionen på 12,2 miljoner m<sup>3</sup>f. Resterande kvantiteter gick till energisektorn och träskiveindustrin. Överenskommelser om priset på sågverksflis träffas mellan sågverken och köparen (massaindustrin eller energiproducenterna) för perioder av några månader upp till ett år. Sedan ett antal år vägs flisen inom de flesta områden i stället för att volymmätas. Inom tidigare prisområde I (Sverige norr om Ljungans

ådal – omfattar SÅGAB Sågverken Norrland) prissätts flisen fritt vägen E4 med transportavdrag, medan priset i övriga landet avser fritt sågverk. Till grundpriserna förekommer premier för leveranstidpunkt, kontinuitet, kvantiteter m.m. Numera sker kvalitetsprissättning på flis i de flesta prisområden i den meningen att bra flis betalas med ett högre pris än flis av sämre kvalitet.

Spånet saknar användning i massaindustrin men är den dominerande råvaran i träskiveindustrin och bränsleförädlingsindustrin för framställning av pellets och briketter. År 2001 gick närmare 24 procent gick till träskiveindustrin, 71 procent användes för vidareförädling till bränsle och till direktförbränning i energisektorn. Resterande spån används som bränsle inom sågverken och till marginella användningsområden såsom strö i stall. Spånpriserna förhandlas oftast för ettåriga kontrakt men även längre kontraktstider förekommer och kan anges antingen fritt sågverk eller fritt kund. En officiell sammanställning av spånpriser förekommer inte men olika branschorganisationer såsom Sågverkens Riksförbund samlar in prisuppgifter från sina medlemmar.

### 3 Kostnadsbedömning

Utöver de tekniska och ekologiska restriktioner som föreligger vid uttag av olika kategorier biomassa måste även de ekonomiska restriktionerna i form av kostnader bedömas. De privatekonomiska kostnader som uppstår i samband med uttag av biomassa beror inte bara på typen biomassa utan också på dess geografiska läge, användningsområden, tillgänglighet, tekniska lösningar, styrmedel, terräng, etc. Utöver dessa kostnader kan det också uppstå andra kostnader för samhället som inte återspeglas privatekonomiskt, till exempel, förändrade landskapsbilder och skadade biotoper.

En viktig aspekt i en ekonomisk kostnadsbedömning är att uttagskostnaderna varierar med uttagsvolymen. Ju närmare uttagsvolymen kommer den fysiska tillgängligheten desto högre blir kostnaden. I ekonomiska termer innebär det att marginalkostnaden – kostnaden för den sista uttagna enheten – stiger med uttagsvolymen. Det kostar mindre att ta ut den första kubikmetern avverkningsrester jämfört med den andra kubikmetern och betydligt mycket mer att ta ut den sista tillgängliga kubikmetern. En annan kostnadsaspekt är att flera av de aktuella bio-bränslena kan betraktas som biprodukter från en huvudprocess. Till exempel så är spån och sågverksflis en biprodukt från tillverkningen av sågade träprodukter. Utagskostnaderna för biprodukter kan således inte inkludera kostnadselement från huvudprocessen utan måste enbart inkludera de extra kostnader som uppstår om biprodukten samlas ihop och transporteras till en alternativ användning. I många fall uppstår det också starka synergieffekter i uttag av biomassa som kan påverka uttagskostnaderna. Ett tydligt exempel är uttaget av avverkningsrester vars uttagskostnad kan reduceras om de tas om hand samtidigt som rundvirket. Att ta hand om avverkningsrester efter det att ett område har avverkas ökar således uttagskostnaderna och kan därmed kanske bedömas som olönsamt.

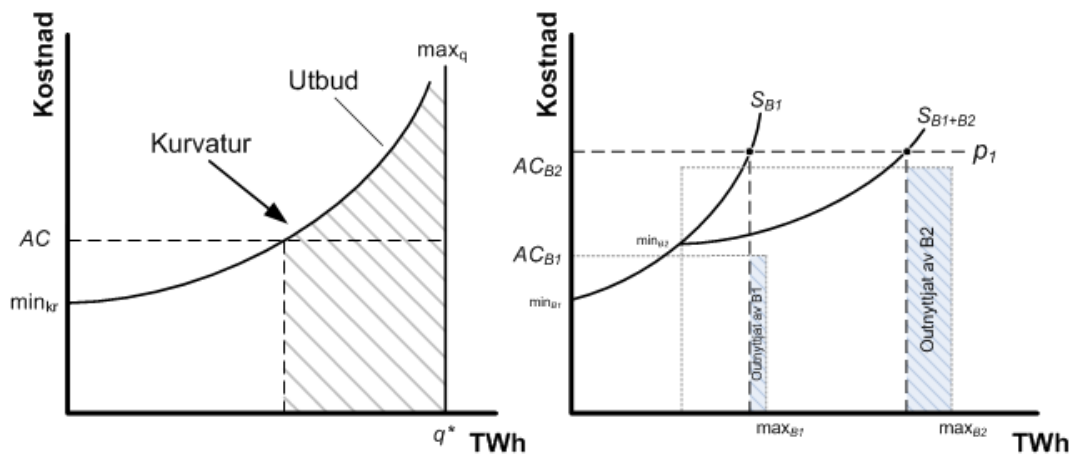
Syftet med detta kapital är att belysa dessa kostnadsaspekter och kvantitativt försöka bedöma dem för de inkluderade kategorierna av biomassa. Dessa kostnadsbedömningar ligger sedan till grund, tillsammans med informationen från föregående kapital, för konstruktionen av utbudskurvorna i nästa kapital. Kostnadsbedömningen kommer inte att inkludera transportkostnaderna för leverans till respektive slutanvändare. Denna avgränsning innebär att lokaliseringen av slutanvändningen inte påverkar själva kostnadsbedömningen vilket är en viktig frågeställning men faller utanför ramen för denna studie. Däremot ingår transportkostnaden för leverans till väggkant. Till exempel, transportkostnaden för rundvirke och avverkningsrester till väggkant med hjälp av skotare ingår (terrängtransporten) men inte den påföljande transportkostnaden till slutanvändaren.

### 3.1 Analytisk referensram

Utbudet av biomassa är en viktig del av förståelsen kring dess utnyttjande och användningsområden. Betydande forskningsinsatser har gjorts där den totala tillgängligheten – givet vissa ekologiska, tekniska och ekonomiska restriktioner – och genomsnittskostnader har estimeras (exempelvis SLU, 2004; Energimyndigheten 2003; 2004; Elforsk, 2003; Hagström, 2006; Svebio, 2004; LRF, 2005; Klimatkommittén, 2000; Kommissionen mot oljeberoendet, 2006; Börjesson, 2001; 2006; Ericsson och Nilsson, 2006; Lundmark, 2003; 2006). Dessa studier utgör ett viktigt första steg i förståelsen kring tillgänglighet och kostnadsstrukturer. Den analytiska referensramen som används i denna studie utgår från tidigare studier och utvecklar en mer ekonomiskt stringenta metod för estimering av utbudskurvor för olika kategorier biomassa. Dessa utbudskurvor, som är utmanande att estimeras på grund av databegränsningar och på grund av avsaknaden av en generisk estimeringsmetod, kan bidra till att förbättra förståelsen kring tillgängligheten och kostnadsstrukturen på biomassa och kan användas som beslutsunderlag till utvecklingen av biomassa som energikälla.

På konkurrensutsatta marknader bestäms utbudet av marginalkostnaden vid olika produktionsnivåer. Marginalkostnader är emellertid notoriskt svåra att hitta data på eller att beräkna – även för företagen själva – varför oftast strikta antaganden och grova förenklingar användas vid kvantitativa utbudsstudier. Så har också varit fallet i utbudsstudier rörande biomassa (se stycket om tidigare forskning i inledningen av rapporten). Den kostnadsanalytiska referensram som används i denna studie försöker empiriskt beräkna marginalkostnaden för olika kategorier biomassa genom att släppa vissa av de antaganden som tidigare gjorts.

Ett vanligt antagande i utbudsstudier för biomassa är att uttagskostnaden per enhet är konstant upp till dess fysiska tillgänglighet. Denna förenkling kan dock endast göras för att utskilja grova riktlinjer för utbudskurvans utseende. Ansatsen används ofta i ekonomiska studier och bygger på antagandet att marginalkostnaden är konstant (och därmed lika med genomsnittskostnaden) upp till kapacitetsbegränsningen. Emedan sådana analyser är relevanta för att exempelvis analysera konkurrenskraften för olika kategorier biomassa har de dock ett begränsat värde när det gäller att skapa förståelse för den relevanta utbudskurvans lutning. Som en konsekvens kan, bland annat, policyåtgärder ämnade att stimulera ett ökat utbud av olika kategorier biomassa bli felaktigt utformade.



**Figur 5** Konceptuell illustration av den kostnadsanalytiska referensramen

Figur 5 illustrerar konceptuellt hur utbudet av biomassa kan analyseras. Den vänstra figuren illustrerar utbudet för en enskild kategori biomassa och indikerar att det finns tre avgörande faktorer som påverkar biomassans kostnadsutveckling:

- Lägsta uttagskostnad ( $min_{kr}$ ) indikerar vid vilken kostnadsnivå de första kvantiteterna av biomassan kan tas ut. Notera att denna kostnad måste ligga under den genomsnittskostnad ( $AC$ ) som många tidigare studier beräknat.
- Fysisk tillgänglighet ( $max_q$ ) indikerar den maximala kvantiteten av biomassan som finns tillgängligt. För biprodukter, till exempel avverkningsrester, bestäms den fysiska tillgängligheten av huvudprocessens produktionsnivå. För rundvirke är det vanligt att bestämma den fysiska tillgängligheten som tillväxttakten för att garantera ett långsiktigt hållbart skogsbruk.
- Utbudskurvans priskänslighet (kurvaturen) indikerar hur ”snabbt” marginalkostnaden för ytterligare uttag av biomassan stiger ju närmare uttagsnivån kommer den fysiska tillgängligheten.

Dessa faktorer påverkar också det aggregerade utbudet – eller totala utbudet – av biomassa som den högra delen av Figur 5 indikerar. Figuren illustrerar genomsnittskostnaden ( $AC$ ) för två olika kategorier biomassa ( $B1$  och  $B2$ ) rangordnade efter respektive genomsnittskostnad. På grund av stigande marginalkostnad kommer emellertid utbudskurvorna för de olika kategorierna biomassa att överlappa varandra vilket innebär att studier baserade på genomsnittskostnader tenderar att överskatta det totala utbudet. De markerade områdena i figuren indikerar de kvantiteter som inte är lönsamma att använda eftersom dess marginalkostnad slutligen överstiger den lägsta uttagskostnaden för nästa kategori som därmed blir mer lönsam att använda. Genom att tillämpa marginalkostnader istället för genomsnittskostnader trycks det totala utbudet av biomassa ihop med resultatet att den utbudna kvantiteten för varje given prisnivå blir mindre.

### 3.1.1 Specifikation av marginalkostnaden

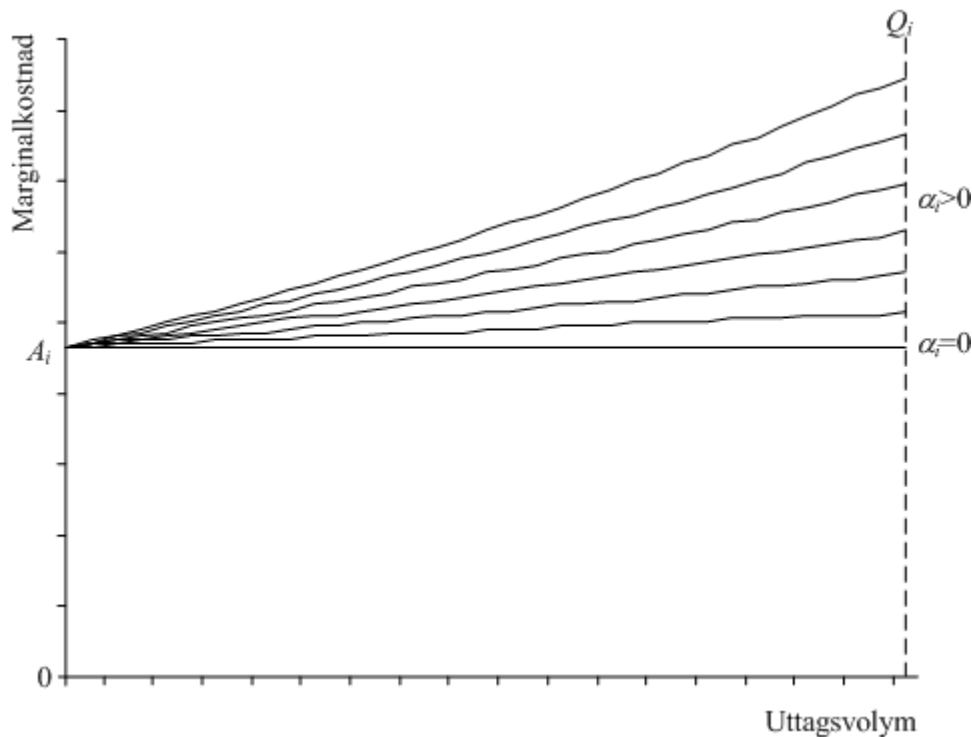
Baserat på information om lägsta uttagskostnad och fysik tillgänglighet från tidigare studier kan marginalkostnaden för en kategori biomassa specificeras som

$$[1] \quad c_i(q_i) = A_i \exp \left[ \alpha_i \left( \frac{q_i}{Q_i} \right)^{100} \right]$$

där  $c_i(q_i)$  är marginalkostnader för kategori  $i$ ,  $q_i$  är den önskade uttagsvolymen,  $A_i$  är den lägsta möjliga uttagskostnaden ( $\min_{kr}$ ),  $Q_i$  är den fysiska tillgängligheten ( $\max_q$ ) och slutligen  $\alpha_i$  är en konstant som indikerar hur snabbt marginalkostnaden stiger vid ökande uttagsvolym. Marginalkostnadsfunktionen uppvisar önskade egenskaper och har tidigare används i olika tillämpningar. Walsh (2000) utvecklar en metod för att estimerar utbudet av biobränsle från jordbruket i USA som har liknande beteende som ekvation 1 för uttagsvolym över skridande en kapacitetsbegränsning. Berglund (2004) använder en liknande specifikation för att estimerar utbudet av returpapper i Sverige.

Av de tre exogent ingående variablerna kan två ( $A_i$  och  $Q_i$ ) baseras på tidigare forskning medan  $\alpha_i$  (förändringshastigheten på marginalkostnaderna) måste diskuteras vidare. *Figur 6* illustrerar hur marginalkostnadens förändringshastighet påverkas av storleken på  $\alpha$ . En konstant marginalkostnad implicerar att  $\alpha=0$ . Det vill säga, givet att  $\alpha=0$  ökar inte marginalkostnaden vid högre uttagsvolym. Vid stigande värden på  $\alpha$  kommer marginalkostnaden att exponentiellt stiga vid högre uttagsvolym. För att kvantifiera marginalkostnadernas förändringshastighet har fem generella faktorer identifieras som kan påverka storleken på  $\alpha$ . Dessa faktorer är: (1) Stordriftsfördelar; (2) Geografisk spridning; (3) Odlad/avverkad areal; (4) Synergier med huvudprocess (relevant för biprodukter) och (5) Spridningen på terrängegenskaper. Dessa faktorer diskuteras nedan tillsammans med ett försök att för varje enskild kategori biomassa bestämma dess storlek. Det finns ett mycket begränsat antal studier som empiriskt försöker kvantitativt estimerar storleken på de identifierade bestämningsfaktorerna. Som en konsekvens kommer kvalitativa studier att användas i ett försök att kvantitativt bestämma storleken på bestämningsfaktorerna för kategorierna biomassa. Detta skapar en osäkerhet i den fortsatta konstruktionen av utbudskurvorna varför en känslighetsanalys genomförs längre fram i studien. Eftersom de relativa förhållandena mellan marginalkostnadernas förändringshastighet är av intresse indikerar variablerna nedan förändringar utifrån en konstant marginalkostnad ( $\alpha=0$ ).





**Figur 6** Graden av marginalkostnadens förändringshastighet

Notera att de identifierade faktorerna som antas påverka marginalkostnadens förändringshastighet kvantifieras utifrån avsteg från en konstant marginalkostnad. Hur mycket faktorerna påverkar marginalkostnaden bedöms initialt utifrån en tregradig skala som baseras på kvalitativa studier i den mån sådana finns. Faktornas effekt bedöms som marginell, påverkande eller starkt påverkande. På grund av att faktorerna påverkar förändringshastigheten i olika riktningar indikerar ett (-) att en ökning av faktorn minskar marginalkostnadens förändringshastighet medan ett (+) indikerar att en ökning av variabeln ökar marginalkostnadens förändringshastighet.

#### *Stordriftsfördelar*

Om en verksamhet karaktäriseras av sjunkande genomsnittskostnader när produktionsnivån stiger sägs verksamheten uppvisa stordriftsfördelar. Detta kan förklaras av en rad olika situationer. Till exempel, vid större uttag av avverkningsrester blir den maskinpark som används mer och mer specialiserad varför dess produktivitet ökar och därmed sjunker genomsnittskostnaden. Således, graden av stordriftsfördelar som uttaget av en kategori biomassa har indikerar om genomsnittskostnaden minskar med ökande uttagsvolym. Det vill säga, förändringshastigheten av marginalkostnaden minskar med större stordriftsfördelar.

För energiskogar visar Energimyndigheten (2003) på tydliga stordriftsfördelar då odlad areal energiskog (salix) ökar. Vidare är, enligt Ekman och Gullstrand (2006), de flesta svenska spannmålsgårdarna troligen för små i nuläget för att fullt ut kunna utnyttja stordriftsfördelar. Studier som bedömer möjliga stordriftsför-

delar inom det svenska skogsbruket skiner med sin frånvaro. Däremot finns det studier som analyserar stordriftsfördelar av uttag och flisning av avverkningsrester i Finland (exempelvis Hakkila, 2000). Resultaten från dessa studier tyder på stordriftsfördelar för avverkningsrester. En högre gradering av stordriftsfördelar indikerar en minskad förändringshastighet av marginalkostnaden.

**Tabell 1 Kvalitativ bedömning av stordriftsfördelar på marginalkostnadens förändringshastighet**

| Faktor                        | Tillämpningsbar på |      |         |          |          |       |          |                          |      |
|-------------------------------|--------------------|------|---------|----------|----------|-------|----------|--------------------------|------|
|                               | Skogsbruk          |      |         |          | Jordbruk |       |          | Industriella biprodukter |      |
|                               | Rundvirke          | Grot | Stubbar | Brännved | Halm     | Salix | Spannmål | Spån                     | Flis |
| <b>Stordriftsfördelar (-)</b> | XX                 | XX   | XX      | X        | X        | XXX   | X        | XXX                      | XXX  |

X = marginell effekt, XX = påverkande effekt och XXX = starkt påverkande effekt

### Geografisk spridning

Den geografiska spridningen indikerar till vilken grad kategorin biomassa är geografiskt utspritt i termer av uppsamling. Till exempel, spån och flis från ett sågverk har en relativt låg geografisk spridning eftersom huvudprocessen är centraliserad till själva sågningsprocessen. Avverkningsrester däremot har en relativt större geografisk spridning. Avverkningsresterna faller i samband med huvudprocessen att avverka timmer som måste ske där träden står. En ökande grad av geografisk spridning indikerar således att förändringshastigheten på marginalkostnaden ökar.

För energiskogar visar Energimyndigheten (2003) att fler närliggande odlingar kan reducera maskinernas ställtider vilket minskar kostnaden. Däremot är det svenska lantbruket mer geografiskt utspritt. Det finns även andra nackdelar med geografisk spridning, eller snarare att det finns fördelar med att företag med liknande produktion samlas inom ett begränsat geografiskt område. Geografisk koncentration av företag med liknande produktion bidrar nämligen till bättre tillgång till en pool av specialiserad arbetskraft, underlättar kunskapsöverföring mellan företagen samt ger underlag för fler (konkurrerande) kunder och leverantörer av insatsvaror (Ekman och Gullstrand, 2006).

**Tabell 2 Kvalitativ bedömning av den geografiska spridningen på marginalkostnadens förändringshastighet**

| Faktor                          | Tillämpningsbar på |      |         |          |          |       |          |                          |      |
|---------------------------------|--------------------|------|---------|----------|----------|-------|----------|--------------------------|------|
|                                 | Skogsbruk          |      |         |          | Jordbruk |       |          | Industriella biprodukter |      |
|                                 | Rundvirke          | Grot | Stubbar | Brännved | Halm     | Salix | Spannmål | Spån                     | Flis |
| <b>Geografisk spridning (+)</b> | XX                 | XXX  | XX      | XXX      | X        | X     | X        | X                        | X    |

X = marginell effekt, XX = påverkande effekt och XXX = starkt påverkande effekt

### Odlad/avverkad areal

Av de odlade och avverkade kategorierna av biomassa påverkar storleken på den skördade arealen förändringshastigheten på marginalkostnaden. Vid relativt

många små skördade arealer stiger marginalkostnaden snabbare än med relativt större skördade arealer. Till skillnad från skaleffekter som diskuterades ovan mäter variabeln för odlad/avverkad areal inte hur marginalkostnaden påverkas vid större uttagsvolymen utan snarare hur marginalkostnaden påverkas av större skördade arealer. Hypotesen är att skörda få sammanhängande och stora arealer innebär en lägre förändringshastighet på marginalkostnaden jämfört med att avverka många osammanhängande och mindre arealer trots att samma uttagsvolym uppnås. Variabeln mäter den uppskattade graden av osammanhängande och mindre arealer som skördas vilket innebär att marginalkostnadens förändringshastighet ökar.

För energiskogar visar Energimyndigheten (2003) att större sammanhängande odlingar att produktionskostnaderna kan sjunka vid större arealer salixodling. Exempelvis, skördemaskiner, som idag hanteras av entreprenörföretag, skulle kunna beläggas mer effektivt och därmed ge lägre kostnader. Däremot har spannmålsarealen minskat med drygt en tredjedel över en 20-årsperiod (Ekman och Gullstrand, 2006).

**Tabell 3 Kvalitativ bedömning av odlad/avverkad areal på marginalkostnadens förändringshastighet**

| Faktor                   | Tillämpningsbar på |      |         |          |          |       |          |                          |      |
|--------------------------|--------------------|------|---------|----------|----------|-------|----------|--------------------------|------|
|                          | Skogsbruk          |      |         |          | Jordbruk |       |          | Industriella biprodukter |      |
|                          | Rundvirke          | Grot | Stubbar | Brännved | Halm     | Salix | Spannmål | Spån                     | Flis |
| Odlad/avverkad areal (+) | X                  | X    | X       | XX       | XX       | XX    | XX       | --                       | --   |

X = marginell effekt, XX = påverkande effekt och XXX = starkt påverkande effekt

### *Synergi med huvudprocess*

I de fall biomassekategorin kan klassas som en biprodukt från en huvudprocess kommer dess produktionskostnad att täckas av huvudprocessen. Exempelvis, uppstår det inga extra kostnader att producera flis och spån för sågverken när de sågar upp timmer. Kostnaden för att tillverka flis och spån täckas av kostnaden för att såga timmer. Detta, däremot, är inte samma sak som att säga att alla kostnader för en biprodukt måste täckas av huvudprocessen. Till exempel, måste avverkningsrester transporteras till väggren för flisning alternativt flis i terrängen. Detta är en extra kostnad som inte täcks av huvudprocessen som i detta fall är att avverka timmer. Omfattningen av de kostnader som inte täcks av huvudprocessen varierar mellan de olika kategorierna biomassa och beroende på uttagsvolym. Synergieffekter med huvudprocessen kan mycket väl öka vid högre uttagsvolym. Det innebär att förändringshastigheten på marginalkostnaden minskar vid ökande synergieffekter.

**Tabell 4 Kvalitativ bedömning av synergi med huvudprocess på marginalkostnadens förändringshastighet**

| Faktor                       | Tillämpningsbar på |      |         |          |      |       |          |                          |      |
|------------------------------|--------------------|------|---------|----------|------|-------|----------|--------------------------|------|
|                              | Skogsbruk          |      |         | Jordbruk |      |       |          | Industriella biprodukter |      |
|                              | Rundvirke          | Grot | Stubbar | Brännved | Halm | Salix | Spannmål | Spån                     | Flis |
| Synergi med huvudprocess (-) | --                 | XXX  | XX      | --       | XX   | --    | --       | XXX                      | XXX  |

X = marginell effekt, XX = påverkande effekt och XXX = starkt påverkande effekt

#### *Spridning av terrängegenskaper*

Terrängegenskaper påverkar givetvis uttagskostnaden, framför allt på kategorier från skogsbruket. Inom kontexten för ekvation [1] är det dock spridningen av terrängegenskaperna som är av intresse. De mest gynnsamma terrängegenskaper återspeglas i den lägsta uttagskostnaden för varje kategori biomassa. Av den anledningen är det ointressant att försöka definiera de absoluta kostnadskonsekvenserna av olika terrängegenskaper utan mer intressant att studera spridningen. Om stora delar av den relevanta arealen kan karaktäriseras med samma terrängegenskaper blir dess spridning liten medan spridningen blir relativt högre om arealen uppvisar mer skiftande terrängegenskaper. Generellt innebär det att ju högre spridning av terrängegenskaperna desto snabbare stiger marginalkostnaden för berörd kategori av biomassa.

**Tabell 5 Kvalitativ bedömning av spridning av terrängegenskaper på marginalkostnadens förändringshastighet**

| Faktor                             | Tillämpningsbar på |      |         |          |      |       |          |                          |      |
|------------------------------------|--------------------|------|---------|----------|------|-------|----------|--------------------------|------|
|                                    | Skogsbruk          |      |         | Jordbruk |      |       |          | Industriella biprodukter |      |
|                                    | Rundvirke          | Grot | Stubbar | Brännved | Halm | Salix | Spannmål | Spån                     | Flis |
| Spridning av terrängegenskaper (+) | XX                 | XX   | XX      | XX       | X    | X     | X        | --                       | --   |

X = marginell effekt, XX = påverkande effekt och XXX = starkt påverkande effekt

#### *Kvantitativ bedömning av marginalkostnadens förändringshastighet*

I Tabell 6 presenteras de centrala faktorerna som påverkar förändringshastigheten på marginalkostnaden. Generellt innebär en hög förändringshastighet att marginalkostnaden stiger snabbare vid högre uttagsvolym än vad som annars är fallet. Därmed blir det viktigt för att möjliggöra större uttag av biomassa att dess marginalkostnad har en relativt låg förändringshastighet. Den kvantitativa bedömningen av marginalkostnadernas förändringshastighet baseras på den kvalitativa diskussionen ovan. Varje steg i den tregradiga innebär en ökning eller minskning av marginalkostnadens förändringshastighet. Modellmässigt innebär varje graderingsnivå ett avsteg från en konstant marginalkostnad där varje steg förändrar värdet på  $\alpha$  med 0,001.

**Tabell 6 Variabler som påverkar priskänsligheten på utbudet av biomassa**

|                                 | Påverkande variabel |                      |                      |                          |                                 | Summa        |
|---------------------------------|---------------------|----------------------|----------------------|--------------------------|---------------------------------|--------------|
|                                 | Stordrifts-fördelar | Geografisk spridning | Odlad/avverkad Areal | Synergi med huvudprocess | Spridning av terräng-egenskaper |              |
| <b>Skogsbruk</b>                |                     |                      |                      |                          |                                 |              |
| <b>Rundvirke</b>                |                     |                      |                      |                          |                                 |              |
| <i>Slutavverkning</i>           | -0,002              | 0,002                | 0,001                | --                       | 0,002                           | <b>0,003</b> |
| <i>Gallring</i>                 | -0,002              | 0,002                | 0,001                | --                       | 0,002                           | <b>0,003</b> |
| <b>Grot</b>                     |                     |                      |                      |                          |                                 |              |
| <i>Slutavverkning</i>           | -0,002              | 0,003                | 0,001                | -0,003                   | 0,002                           | <b>0,001</b> |
| <i>Gallring</i>                 | -0,002              | 0,003                | 0,001                | -0,003                   | 0,002                           | <b>0,001</b> |
| <b>Stubbar</b>                  | -0,002              | 0,002                | 0,001                | -0,002                   | 0,002                           | <b>0,001</b> |
| <b>Brännved</b>                 | -0,001              | 0,003                | 0,002                | --                       | 0,002                           | <b>0,006</b> |
| <b>Jordbruk</b>                 |                     |                      |                      |                          |                                 |              |
| <b>Halm</b>                     | -0,001              | 0,001                | 0,002                | -0,002                   | 0,001                           | <b>0,001</b> |
| <b>Salix</b>                    | -0,003              | 0,001                | 0,002                | --                       | 0,001                           | <b>0,001</b> |
| <b>Spannmål</b>                 | -0,001              | 0,001                | 0,002                | --                       | 0,001                           | <b>0,003</b> |
| <b>Industriella biprodukter</b> |                     |                      |                      |                          |                                 |              |
| <b>Spån</b>                     | -0,003              | 0,001                | --                   | -0,003                   | --                              | <b>0,001</b> |
| <b>Sågverksflis</b>             | -0,003              | 0,001                | --                   | -0,003                   | --                              | <b>0,001</b> |

## 3.2 Kostnadsbedömning av biomassa från skogsbruket

Intressant att notera är att den biomassa från skogsbruket som oftast anses ha den största tillväxtpotentialen i termer av energiutvinning är avverkningsrester (grot). Eftersom avverkningsrester är en biprodukt som faller ut från antingen gallrings- eller föryngringsavverkningar är dess tillgänglighet och kostnadsbedömning avhängigt när, var och hur dessa avverkningar äger rum. Det som hindrar ett större utnyttjande av rundvirke för energiutvinning är snarare institutionella än kostnadsmissiga. Sett i ett längre perspektiv är dock även rundvirke ett attraktivt bränsle/råvara för energiutvinning varför det är viktigt att inkludera rundvirket i en utbudsstudie på biomassa.

Den fysiska tillgängligheten är däremot baserad på den tillgänglighet Lönner m.fl (1998) och PROFU (2006). För en korrekt kostnadsbedömning är det viktigt att den övre uttagsgränsen (den som i *Tabell 7* kallas för fysisk tillgänglighet) är en uttagsvolym som ingår i företagets produktionsfunktion. Volymer som, till exempel, står på skyddade områden och icke-forcerbar terräng ingår inte i de relevanta företagets produktionsbeslut och kan därmed inte heller ingå i marginalkostnadsbedömningen – utbudsstudien. Av den anledningen är det bättre att använda ett tillgänglighetsmått som först har avgränsats så att dessa ”oåtkomliga” volymer inte inkluderas. Tyvärr saknas den fysiska tillgängligheten för stubbar i de flesta tidigare potentialberäkningarna. I Sverige utnyttjas sällan detta sortiment, medan Finland i större utsträckning plockar ut stubbarna. Det finns uppskattningar att detta skulle kunna ge ytterligare 5 TWh (Skogsindustrierna, 2006). Svebio anger en potential på 10 TWh, vilket sägs utgöra 50 procent av stubbarna (Svebio, 2004). Som en kompromiss sätts den fysiska tillgängligheten på stubbar till 7,5 TWh.

De lägsta uttagskostnaderna för rundvirke är hämtade från Lundmark (2003; 2006) och indikerar uttagskostnaden för det län i Sverige som har beräknats ha den lägsta uttagskostnaden, omräknat från SEK per kubikmeter. De lägsta uttags-

kostnaderna för brännved och avverkningsrester kommer från Lönner m.fl. (1998). Dessa kostnader har inflationsjusterats med hjälp av producentprisindex (PPI). Den lägsta uttagskostnaden för stubbar saknar underlag i tidigare studier varför denna kostnad antas ligga på 100 kronor per MWh. I kommande kapitel kommer den lägsta kostnadsstrukturen att analyseras utifrån ett känslighetsanalytiskt perspektiv och inom ramen för teknisk utveckling. Viktigt att notera är att den lägsta uttagskostnaden inte ska tolkas som en genomsnittskostnad. Den lägsta uttagskostnaden är ett mått på vad den första MWh av en kategori biomassa kostar.

Tabell 7 indikerar att uttag av rundvirke från slutavverkning och brännved är de kategorier som uppvisar den lägsta uttagskostnaden följt av stubbar och avverkningsrester från slutavverkning.

Tabell 7 Ingående parametervärden för biomassa från skogsbruket

| Kategori              | Lägsta uttagskostnad       | Fysisk tillgänglighet  | Marginalkostnadens förändringshastighet <sup>5</sup> |
|-----------------------|----------------------------|------------------------|--|
| Avverkningsrester     |                            |                        |  |
| <i>Slutavverkning</i> | 109 SEK/MWh <sup>2,4</sup> | 33,4 TWh <sup>2</sup>  | 0,001  |
| <i>Gallring</i>       | 155 SEK/MWh <sup>2,4</sup> | 8,6 TWh <sup>2</sup>   | 0,001  |
| Stubbar               | 100 SEK/MWh                | 7,5 TWh <sup>3</sup>   | 0,001  |
| Brännved              | 90 SEK/MWh <sup>2,4</sup>  | 7,4 TWh <sup>2</sup>   | 0,006  |
| Rundvirke             |                            |                        |  |
| <i>Slutavverkning</i> | 90 SEK/MWh <sup>1</sup>    | 155,6 TWh <sup>3</sup> | 0,003  |
| <i>Gallring</i>       | 116 SEK/MWh <sup>1</sup>   | 7,7 TWh <sup>2</sup>   | 0,003  |

<sup>1</sup> Baserat på Lundmark (2003; 2006)

<sup>2</sup> Baserat på Lönner m.fl. (1998)

<sup>3</sup> Baserat på PROFU (2006)

<sup>4</sup> Inflationsjusterat med PPI mellan 1998-2006

<sup>5</sup> Från tabell 3.6

### 3.3 Kostnadsbedömning av biomassa från jordbruket

Som tidigare beskrivits sker det i nuläget en relativt liten användning av biomassa från jordbruket. Även den prognostiserade framtida potentialen är relativt blygsam jämfört med den från skogsbruket. På grund av den relativt låga användningen av biomassa från jordbruket är det svårt att finna tillförlitliga uppgifter som kan användas som ingående parametervärden i kostnadsbedömningen.

Den fysiska tillgängligheten blir svårare att bedöma jämfört med den från skogsbruket mycket på grund av den kortare rotationstiden på jordbruksprodukter. Ett planterat träd kan avverkas decennier efter det att det planterats varför tillgången kan betraktas som konstant i ett medellångt perspektiv. Spannmål och halm har årliga skördar medan salix kan skördas cirka fyra år efter plantering. Detta innebär att jordbruket relativt snabbt kan anpassa sina grödor efter marknadsförhållandena som råder och den teoretiskt fysiska tillgängligheten kan därmed omfatta hela den odlingsbara arealen i Sverige. Utöver detta tillåter tidsperspektivet att nya marker kan komma att användas vilket utökar den tillgängligheten än mer. Av samma anledning blir det missvisande att använda dagens tillgänglighet som en övre begränsning. Av dessa orsaker är det nödvändigt att avgränsa den fysiska tillgäng-

ligheten av biomassa från jordbruket till energiutvinning i andra termer än för skogsbruket.

De studier som har analyserat bioenergi potentialen från jordbruksektorn (se PROFU, 2006 för en översikt) visar på en stor spridning, inte bara av den totala potentialen utan även för samma grödor. Ericsson och Nilsson (2006) samt LRF (2005) ligger relativt nära varandra i sina beräkningar av den fysiska potentialen och med samma tidsperspektiv (~2020 Salix och halm är de dominerande kategorierna medan spannmål står för en mindre del. *Tabell 8* redogör för den fysiska potentialen som används uppdelat på halm, salix och spannmål och är baserade på Ericsson och Nilsson (2006) samt LRF (2005).

De lägsta uttagskostnaderna som presenteras i *Tabell 8* är baserade på den nuvarande situationen. Däremot kommer stordriftsfördelar och skalfördelar med största sannolikhet att påverka kostnadsläget om större arealer tas i anspråk för energi-grödor. Det vill säga, en strukturell förändring kommer att påverka modellens ingående parametervärden och därmed öka dess precision. En annan försvarande aspekt är den begränsade kommersiella användningen av de berörda kategorierna biomassa vilket gör det svårt att överhuvudtaget hitta estimat på kostnadsnivåerna. Vissa prisnivåer går att finna men pris och kostnad är inte samma storheter utom under vissa strikta antagande. Vissa beräkningar är dock gjorda på kostnadsstrukturen för salix. Gustavsson och Börjesson (1998) beräknar produktionskostnaden för salix till 112 kronor per MWh (16 US\$/MWh) för konventionella odlingar exklusive transportkostnader. Utagskostnaden för halm har estimerats av den danska energimyndigheten (1994). Genom att inflationsjustera och konvertera deras beräkningar till SEK kan den lägsta uttagskostnaden i Sverige ligga kring 69 kronor per MWh. På grund av produktionskaraktäristiska egenskaperna som sammanlänkar spannmål och halm har den lägsta uttagskostnaden för spannmål också satts till 69 kronor per MWh.

**Tabell 8** Ingående parametervärden för biomassa från jordbruket

| Kategori | Lägsta uttagskostnad     | Fysisk tillgänglighet | Marginalkostnadens förändringshastighet |
|----------|--------------------------|-----------------------|---|
| Spannmål | 69 SEK/MWh               | 2 TWh <sup>1</sup>    | 0,003                                   |
| Halm     | 69 SEK/MWh <sup>4</sup>  | 7 TWh <sup>1,2</sup>  | 0,001                                   |
| Salix    | 112 SEK/MWh <sup>3</sup> | 4 TWh <sup>1,2</sup>  | 0,001                                   |

<sup>1</sup> Baserat på LRF (2005)

<sup>2</sup> Ericsson och Nilsson (2006)

<sup>3</sup> Gustavsson och Börjesson (1998)

<sup>4</sup> Danska energimyndigheten (1994)

Spannmål och halm faller ut under samma process varför deras lägsta uttagskostnad ligger på samma nivå. Salix är fortfarande en relativt oprövad gröda för storskaliga odlingar varför de uppvisar en högre lägsta uttagskostnad jämfört med spannmål och halm. Enligt jordbruksstatistiska årsboken användes 2006 enbart 40 000 hektar åkermark till övriga växtslag, där salix ingår, av totalt 2,6 miljoner hektar (SCB, 2007).

### 3.4 Kostnadsbedömning av industriella biprodukter

De industriella biprodukterna av intresse är sågverksflis och spån från sågverksindustrin. Eftersom dessa kategorier biomassa faller ut i sågverken i samband med sågningen – eller hyvlig – inom ett mycket begränsat område har det en begränsad egenkostnad att avyttra för sågverken. Speciellt om eventuella transportkostnader exkluderas. Dess fysiska tillgänglighet är helt beroende av volymen sågade trävaror och storleken på sågutbytet. Lundmark och Söderholm (2004) beräknar den fysiska tillgängligheten för 2001 till cirka 32 och 12 TWh för sågverksflis respektive spån. I stort sett hela volymen används idag av massa- och pappersindustrin samt av träskiveindustrin. Lönner m.fl. (1998) uppskattar kostnaden för industriella biprodukter till mellan 80-94 kronor per MWh. *Tabell 9* presenterar de ingående värdena för industriella biprodukter i kostnadsanalysen.

**Tabell 9** Ingående parametervärden för industriella biprodukter

| Kategori     | Lägsta uttagskostnad <sup>1</sup> | Fysisk tillgänglighet <sup>1</sup> | Marginalkostnadens förändringshastighet |
|--------------|-----------------------------------|------------------------------------|---|
| Sågverksflis | 80 SEK/MWh                        | 32 TWh                             | 0,001                                   |
| Spån         | 80 SEK/MWh                        | 12 TWh                             | 0,001                                   |

<sup>1</sup> Baserat på Lundmark och Söderholm (2004) och Lönner m.fl. (1998)

Den information som presenteras i *Tabell 7* till *Tabell 9* är den information som kommer att användas i följande kapitel där de olika utbudskurvorna beräknas. I det efterföljande analyskapitlet kommer vissa av de presenterade parametervärdena att ändras för att reflektera bland annat den tekniska förändring som kan ske inom olika tidsperspektiv. De lägsta uttagskostnaderna ska inte tolkas som genomsnittskostnader utan reflektera vad den första MWh av en kategori biomassa kostar.



## 4 Utbudet av biomassa

Det tidigare nämnda studierna som försökt estimerar den svenska potentialen för att tillgodose energisektorn med biobränslen, såväl från skogen som från jordbrukssektorn. Dessa kommer att fungera som en naturlig utgångspunkt. Tidigare studier av bioenergipotentialen – såväl de nationella som de regionala – indikerar att det finns relativt få tekniska hinder för att öka de fysiska uttagen. Det är dock en väsentlig skillnad mellan potential och tillgänglighet å den ena sidan och ekonomiskt utbud å den andra. Det är det sistnämnda utbudet som är helt avgörande för vad som faktiskt finns tillgängligt vid olika prisnivåer. Utbudet av en vara indikerar hur stor den utbudna kvantiteten är vid olika prisnivåer. Generellt ökar den utbudna kvantiteten med högre prisnivåer varför utbudet, eller utbudskurvan, sägs ha en positiv lutning. Tyvärr belyses de ekonomiska utbuderna endast ytligt i många av de tidigare studierna. För att klargöra de ekonomiska restriktionerna, och för att få en tydligare bild av utbudsbeteendet, genomförs en mer detaljerad analys av de kostnader som föreligger att använda olika fraktioner av den svenska biobränslepotentialen. Vi kommer således att utifrån de fysiska potentialer som redovisas i tidigare studier "prissätta" dessa så att en ekonomiskt relevant bedömning av utbudet av biomassa erhålls.

### 4.1 Utbudet från skogsbruket

Utbudet av biomassa från skogsbruket i Sverige och internationellt har generellt tre begränsningar. En viktig restriktion utgörs av den ekologiska begränsningen som inkluderar miljömässig hållbarhet, bevarandet av hänsynskrävande biotoper och skyddandet av känslig miljö. På nationell nivå innebär det att uttaget från våra skogar inte överskrider tillväxten och att områden som bedöms känsliga eller på andra sätt värdefulla skyddas. Den ekologiska begränsningen bestäms till stor del politiskt och baseras på vetenskapliga beslutsunderlag. Över tiden har det vuxit fram en omfattande lagstiftning som kan begränsa uttagen, till exempel Skogsvårdslagen och Miljöbalken, men även exempelvis reservatavsättningar påverkar utbudet. De begränsningar som mer direkt sätter restriktioner på uttagen är vad som är tekniskt och ekonomiskt möjligt. Det är svårt att särskilja på dessa begränsningar i realiteten eftersom den teknik som utnyttjas också sätter gräns för vad som är ekonomiskt möjligt och vice versa. De tekniska begränsningarna avgör produktiviteten som i sin tur avgörs av topografiska och andra terrängspecifika egenskaper samt av utvecklingen av ny teknik. Inom ramen för den tekniska begränsningen avgörs sedan vad som är ekonomiskt möjligt, och detta beror i sin tur på rådande marknadssituation och konjunktur. Vilken begränsning som är bindande för den enskilde skogsägaren skiljer från fall till fall men för det mesta torde den vara av ekonomisk karaktär.

#### 4.1.1 Avverkningsrester

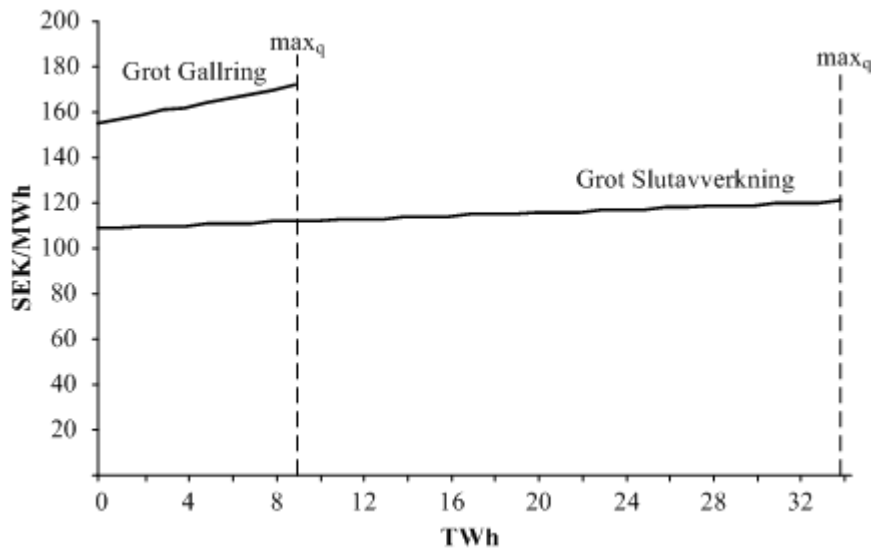
Uttag av avverkningsrester omfattar de skogsråvaror som kommer direkt från skogen och består huvudsakligen av grenar och toppar (grot) samt stammar med liten diameter (småträd) som blir kvar efter avverkning. Vid gallring och röjning sker uttag av avverkningsrester än så länge enbart i liten omfattning. Kännetecknande för denna trädbränslekvalitet är att den faller ut i samband med uttag av rundvirke. Utbudet av avverkningsrester är alltså starkt korrelerat med avverkningsnivåerna på massaved och sågtimmer. Vid ökande avverkningsnivåer ökar också utbudet av avverkningsrester relativt proportionerligt.

Stora delar av trädets näringsinnehåll finns i toppar och grenar (barr och löv). Vid uttag av ”gröna” avverkningsrester förs därför stora mängder mineraler och näringsämnen bort från avverkningsplatsen. Detta näringsbortfall måste kompenseras för att skogsbruket ska vara långsiktigt hållbart. Askåterföring är ett alternativ som diskuteras för att möjliggöra uttag av betydande kvantiteter avverkningsrester utan att störa näringstillförseln. Beräkningar visar att näringsbortfallet vid slutavverkning tillsammans med tillvaratagande av avverkningsrester måste kompenseras med cirka 1-2 ton aska per hektar (Naturvårdsverket, 1997). Kostnaden för askåterföring i stor skala är mycket osäker, främst på grund av att teknisk utveckling sker snabbt och ännu har inga standardiserade metoder utvecklats. Beroende på framställningsprocessen av aska (granulerad eller pelleterad) samt på transport- och spridningskostnader varierar kostnaden för askåterföring mellan cirka 600-1 000 SEK per ton vilket motsvarar cirka 5 kronor per MWh (Naturvårdsverket, 1997). Om askan i stället läggs på deponi bör kostnaderna för detta ställas i relation till kostnaderna att återföra askan till skogsmarken. En deponering av askan medför i regel att den bör behandlas för att kunna hanteras. Därtill tillkommer kostnader för hantering, administration, avgift till deponianläggning och avfalls-skatt. En återföring av aska till skogen behöver därför inte nödvändigtvis bli ett dyrare alternativ än att lägga askan på deponi, utan kan tvärtom bli ett billigare alternativ när metoder och system för en storskalig återföring av askan utvecklats.

Andra faktorer än en ren ekonomisk kompensation kan ofta spela en större roll i skogsägarens beslut om att sälja avverkningsrester<sup>2</sup> Ett exempel är att det blir lättare att plantera ny skog om avverkningsresterna är borttagna. Även skogsägarens attityd till skogsbränsle spelar roll. Utbudet av avverkningsrester påverkas följaktligen av skogsägarens attityd till skogsbränsle samt av nivån på den ekonomiska kompensationen. Den ekonomiska kompensationen kan mycket väl behöva höjas för att inte skapa barriärer för en ökad användning av avverkningsrester för energiutvinning. Sammanfattningsvis kan de faktorer som påverkar utbudet av avverkningsrester sammanställas till fem huvudpunkter: (1) avverkningsnivå på huvudprodukterna massaved och sågtimmer; (2) kostnader för askåterföring; (3) skogsvårdsrekommendationer; (4) tillämpning av förbättrad eller ny teknik; och (5) ekonomisk kompensation till skogsägare.

---

<sup>2</sup> Se exempelvis Bohlin och Roos (2002) för en analys av hur utbudet av trädbränsle påverkas av skogsägarens preferenser, ekonomiska villkor och strategier.



Figur 7 Utbudskurvor för grot från gallring och slutavverkning i energitermer

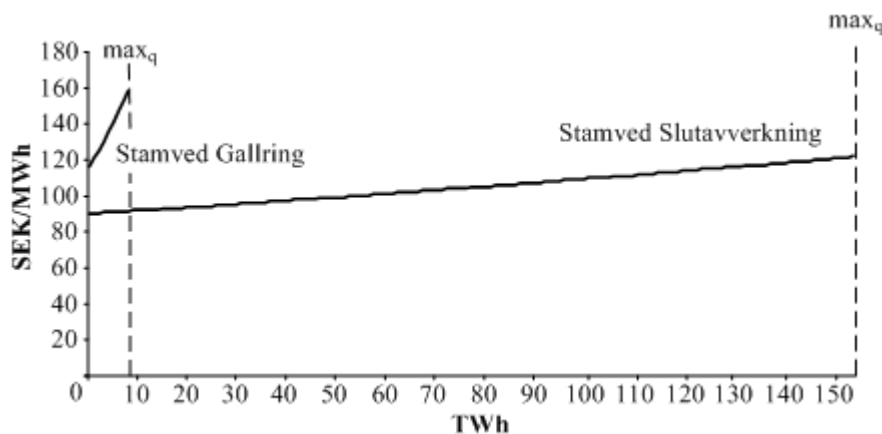
Figur 7 illustrerar de skattade utbudskurvorna för avverkningsrester (grot) från slutavverkning och gallring baserat på ekvation 1. Den fysiska tillgängligheten som diskuterades i tidigare kapitel är markerat i figuren. Kostnadsutvecklingen för grot från gallringar har en relativt snabbare kostnadsstegring jämfört med grot från slutavverkningar. Den fysiska tillgängligheten av avverkningsrester vid slutavverkning nås vid en kostnadsnivå motsvarande 121 kronor per MWh och vid gallring 172 kronor per MWh.

#### Rundvirke

De faktorer som ytterst sätter begränsningar på utbudet av rundvirke, både på lång och på kort sikt, är de ekologiska, tekniska, legala och ekonomiska förutsättningar som gäller vid avverkningstillfället. Vid högre prisnivåer på rundvirket förväntas de utbudna volymen öka både som en följd av att skogsägarna vill höja sina marginaler och att det blir ekonomiskt att avverka skogsbestånd som tidigare varit för dyra att utnyttja. Marknaden för rundvirke i Sverige har oftast klassat som imperfekt (se exempelvis Bergman och Brännlund, 1995). En bristfällig konkurrens och marknadsfullständigheter tyder oftast på en låg priselasticitet för utbudet. Ett antal studier har estimerat utbudets priselasticitet i Sverige för rundvirke i allmänhet och för massaved i synnerhet. Skattningarna visar vanligtvis på ett pris- oelastiskt utbud (se exempelvis Bergman och Nilsson, 1999). Oavsett orsakerna till ofullständigheterna har det långsiktiga utbudet av rundvirke aldrig varit särskild känsligt för prisförändringar. För att utbudet ska expandera måste avverkningstakten öka. Följaktligen, om skogsarealen är orörlig, måste rotationstiden på skogen minska, eller alternativt måste skogsutnyttjandet öka. I detta sammanhang kan den fundamentala marknadsmekanismen beskrivas i två separata processer. Den första är den traditionella förflyttningen längs en utbudskurva som ett svar på prisförändringar på rundvirket. Den andra utgör en förskjutning av utbudskurvan som ett svar på förändringar i avkastningen; värdet på skogsprodukter; kostnader; diskonteringsränta; och optimal rotationstid.

Avkastningen på skogsinvesteringar styrs av investeringens varaktighet, den biologiska tillväxttakten, förväntad framtida avkastning och kapitalkostnaderna. Emedan det existerar ett visst spelrum gällande själva produktionsprocessen är investeringarnas varaktighet och den biologiska tillväxttakten i stort orörliga i produktionen av rundvirke. Prisets misslyckande när det gäller att signifikant öka den tillgängliga kvantiteten på marknaden antyder också att den förväntade framtida avkastningen inte nämnvärt påverkar utbudet. Kvarvarande variabel som påverkar avkastningen blir då investeringskostnaden. De faktorer som påverkar utbudet av rundvirke kan sammanfattas i följande fyra punkter: (1) Prisbildningen på rundvirke; (2) investeringskostnader i skogsbestånd; (3) diskonteringsräntan; och (4) avverkningskostnad.

Figur 8 illustrerar utbudskurvorna för rundvirke (stamved) från slutavverkning och gallring baserade på ekvation 1. Uttag av rundvirke från gallringar uppvisar en mycket stark kostnadsutveckling och når taket på sin fysiska tillgänglighet vid kostnadsnivåer motsvarande cirka 158 kronor per MWh. Detta kan jämföras med kostnadsutveckling för rundvirke från slutavverkning som har en lugnare kostnadsutveckling och når taket på sin fysiska tillgänglighet vid kostnadsnivåer strax över 120 kronor per MWh.

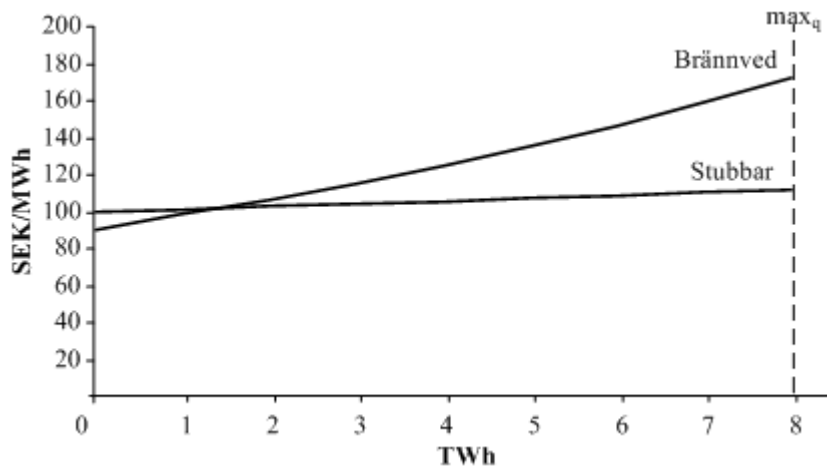


Figur 8 Utbudskurvor för stamved från gallring och slutavverkning i energitermer

#### 4.1.2 Brännved och Stubbar

Brännved definieras som kvistad eller okvistad stamved och omfattar både industriell som hushållsanvändning. Relativt stubbar har brännved en snabbare kostnadsutveckling vid högre uttagsvolym. För stubbar går det i större utsträckning att använda olika tekniska lösningar som tillåter stordriftsfördelar medan uttag av brännved – förutsatt att det inte sker i samband med gallring eller slutavverkning – mestadels sker manuellt till enskilda husbehov. Notera att utbudet av brännved är svårt att bedöma eftersom det inte finns någon etablerad marknad för kategorin. Uttagen bestäms i stor utsträckning efter husbehov.

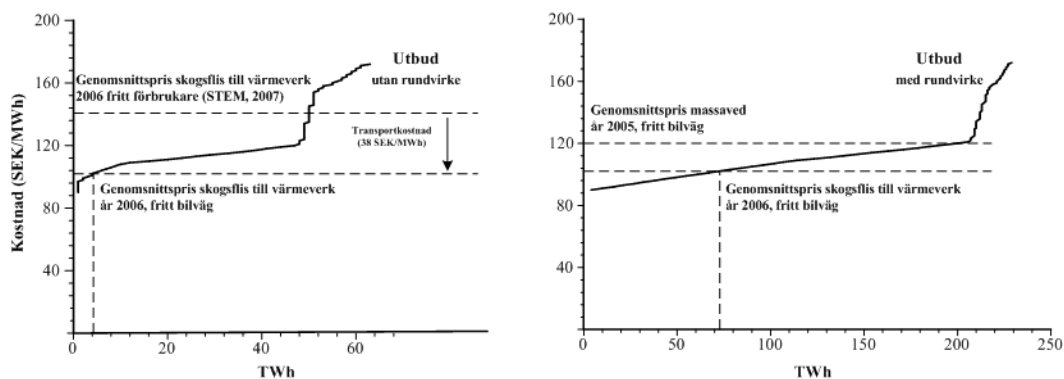
Figur 9 illustrerar de skattade utbudskurvorna för brännved och stubbar baserat på ekvation 1. Brännved har en lägre lägsta uttagskostnad jämfört med stubbar men uppvisar däremot en snabbare kostnadsutveckling. Det innebär att lägre kvantiteter av brännved är billigare att ta tillvara men att vid högre kvantiteter blir stubbar billigare. Den fysiska tillgängligheten av brännved nås vid en kostnadsnivå motsvarande 172 kronor per MWh medan den nås för stubbar vid en kostnadsnivå på 111 kronor per MWh.



Figur 9 Utbudskurvor för brännved och stubbar i energitermer

#### 4.1.3 Det aggregerade utbudet av biomassa från skogsbruket

Figur 10 illustrerar det beräknade utbudet av biomassa från skogsbruket. Som referenspunkt har det genomsnittliga priset 2006 på skogsflis till värmeverk inkluderats i figuren. Detta pris är fritt användare och inkluderar därmed även transportkostnaderna. För en rättvis jämförelse har därmed en schablonmässig transportkostnad dragits bort från det genomsnittspris som rapporteras av Energimyndigheten (2007). Den bortdragna transportkostnaden baseras på ett genomsnittligt transportavstånd på 140 km och till en kostnad av 0,27 kronor per MWh och km. Det genomsnittliga priset på skogsflis *fritt bilväg* blir således 108 kronor per MWh.



Figur 10 Aggregerat utbud av biomassa från skogsbruket, med och utan rundvirke, fritt bilväg

*Figur 10* illustrerar att givet en prisnivå på 108 kronor per MWh kommer det att bjudas ut motsvarande cirka tio TWh av biomassa från skogsbruket (exklusive rundvirke). Detta kan jämföras med Lönner m.fl. (1998) som skattade den utbudna kvantiteten biomassa från skogsbruket till strax över 75 TWh givet samma prisnivå<sup>3</sup>. Eftersom de flesta grundantagandena utom kostnadsanalysen mellan denna studie och Lönner m.fl. (1998) är densamma ligger den avgörande förklaringen till skillnaden i behandlingen av biomassas uttagskostnader. Det vill säga, användningen av genomsnittskostnader i stället för marginalkostnader resulterar i en överskattning av den ekonomiskt tillgängliga volymen av biomassa från skogsbruket.

Från den vänstra panelen i *Figur 10* går det att utläsa att den utbudna kvantiteten av biomassa kan öka markant antingen genom att tillåta en liten kostnadsökning eller i en reduktion av transportkostnaderna. Till exempel, om en kostnadsnivå motsvarande strax över 120 kronor per MWh tillåts ökar den utbudna kvantiteten till nästan 50 TWh. Samma effekt kan uppnås genom en reduktion av transportkostnaderna med cirka 20 kronor per MWh.<sup>4</sup>

I den högre panelen i *Figur 10* har rundvirke inkluderats. Vad rundvirke används till beror på dess marknadspris. Det genomsnittliga massavedspriset för 2005 är inkluderat i figuren, omräknat till kronor per MWh (antaget 50 procent fuktighet). Priset på massaved ligger strax över priset på skogsflis och visar på att massa-industrin har en högre betalningsvilja för massaved än vad användarna av skogsflis har. Notera att de markerade prisnivåerna inte är desamma som efterfrågan på biomassa. Om priset på skogsflis skulle stiga kommer sannolikt också priset på massaved att stiga så att proportionerna dem mellan bibehålls. Skillnaden mellan priset på skogsflis och massaved kan tolkas som den minsta prispremie som massa-industrin vill betala för att tillgodose sina behov av massaved.

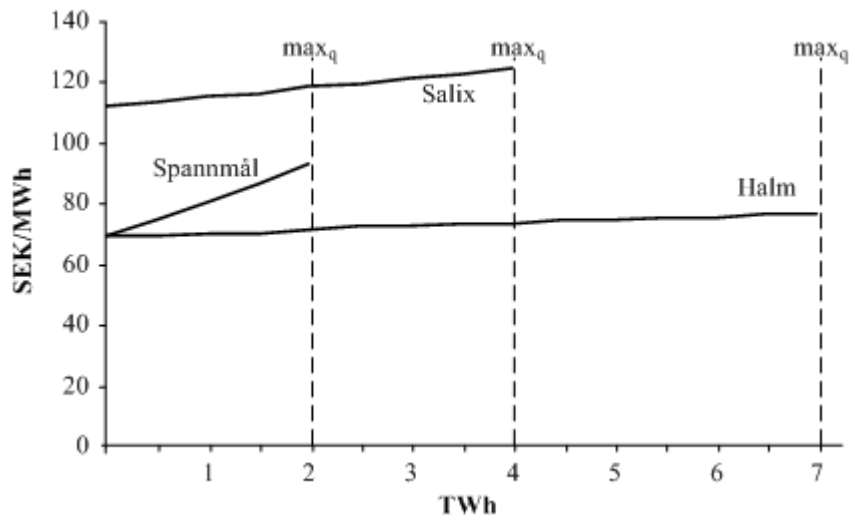
## 4.2 Utbudet från jordbruket

Av de tre analyserade kategorierna biomassa från jordbruket har halm den största potentialen och är dessutom den som uppvisar minsta uttagskostnad. Intressant att notera är att utbudet för både spannmål och halm ligger under den lägsta kostnaden för salix. Det innebär att det är ekonomiskt försvarbart att uttömma hela potentialen av spannmål och halm innan salix börjar användas/odlas.

---

<sup>3</sup> Lönner m.fl. (1998) inkluderar emellertid fler kategorier biomassa: virke utan industriell användning, återvunnet trädbränsle, stående småträd, kvarlämnade träd och avverkning på icke-skogsmark. Dessa kategorier uppskattas tillsammans till ett maximalt uttag motsvarande 13 TWh och kan därmed inte förklara hela skillnaden mellan resultaten.

<sup>4</sup> En subvention på 12 kronor per uttagen MWh skulle motivera ett ökat uttag alternativt om efterfrågan ökar.

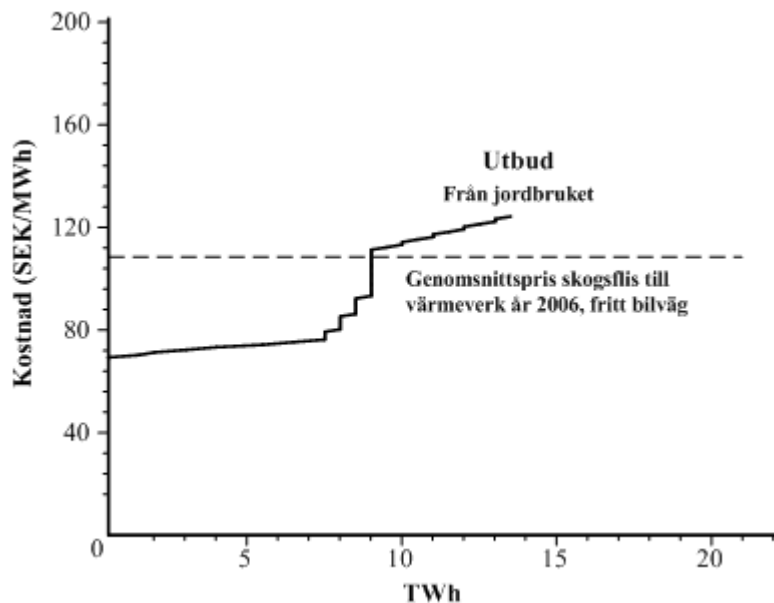


Figur 11 Utbudskurvor för salix, spannmål och halm i energitermer

Spannmål är den kategori som har den snabbaste kostnadsutvecklingen vid ökade uttag på marginalen. Den fysiska tillgängligheten för halm är nådd om en kostnadsnivå motsvarande 76 kronor per MWh tillåts och för spannmål motsvarande 93 kronor per MWh. Salix kan till fullo bjudas ut vid kostnadsnivåer kring 124 kronor per MWh.

#### 4.2.1 Det aggregerade utbudet av biomassa från jordbruket

Figur 12 illustrerar det aggregerade utbudet av de olika kategorierna av biomassa från jordbruket. Genomsnittspriset på skogsflis har lagts in i figuren för att underlätta en jämförelse med den aggregerade utbudskurvan av biomassa från skogsbruket. Notera att utbudet av salix utgör den övre delen av den aggregerade utbudskurvan och att kostnadskillanden mellan halm – och spannmål – och salix är betydande varför hela den fysiska potentialen (under rådande antaganden) av både halm och spannmål är ekonomiskt bättre att bjuda ut innan salix börjar användas. Vidare indikerar att priset på skogsflis, som i många fall fungerar som substitut till salix, ligger just i brytpunkten där salix är ekonomiskt lönsamt att börja odla. Ett högre pris på skogsflis kan därmed påskynda planteringen av salix.



Figur 12 Aggregerat utbud av biomassa från jordbruket, fritt bilväg

Den aggregerade utbudskurvan i *Figur 12* bygger på de antagande rörande både tidshorisont och använd areal för energigrödor som diskuterades ovan. Detta påverkar givetvis utfallet. Till exempel om större arealer börjar användas för energigrödor kommer det att inte bara förskjuta utbudskurvan utan också att ändra dess utseende. Likaledes, om spannmål i större utsträckning kan börja användas för energiutvinning i stället för mat och foder förändras det aggregerade utbudet.

### 4.3 Utbudet av industriella biprodukter

I tillverkningen av sågade trävaror bildas biprodukter som motsvarar nästan 50 procent av stamträdets volym. Det finns alltså en klar koppling mellan produktionsvolymen av sågade trävaror och utbudet av biprodukter i form av spån och flis. Som ett resultat är utbudet av spån ofta mycket prisokänsligt. På marginalen går det att öka utbudet av spån genom noggrannare uppsamling och uppköp från mindre och inte så gynnsamt lokaliserade sågverk samt genom ökad import. Utbudets prisokänslighet innebär dock att detta enbart kan ske med en signifikant prisökning som följd. Åtminstone på kort sikt kan utbudet betraktas som fast och helt givet av förutsättningarna på marknaden för sågade trävaror. Endast om efterfrågan på sågade trävaror tilltar och om den kan mötas av ökad produktion ökar också utbudet av spån och flis.

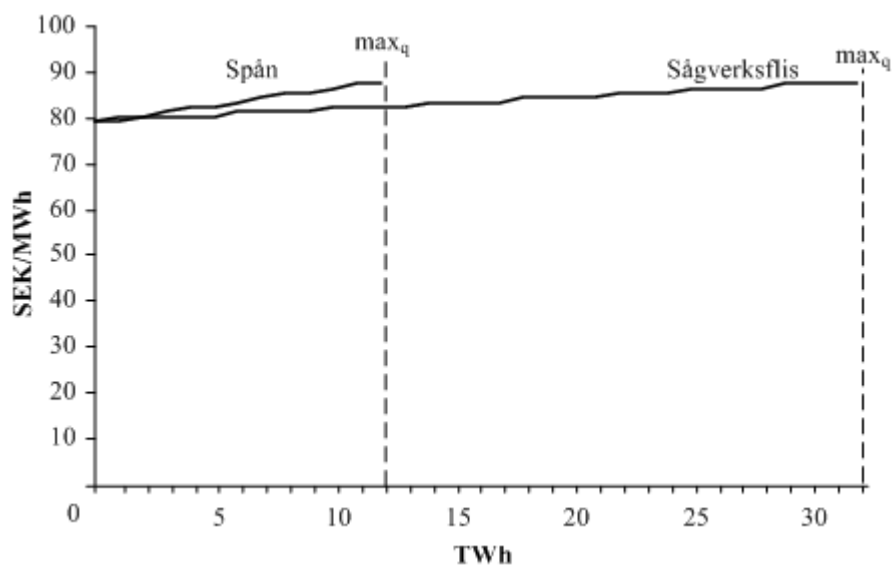
Den strukturella förändring som har pågått inom sågverksindustrin under en tid, och som pekar mot större produktionsanläggningar, har en osäker inverkan på utbudet av biprodukter. Genom att utnyttja skalfördelar och synergieffekter vid sammanslagningar koncentreras produktionen av sågade trävaror till ett mindre antal produktionsanläggningar. Detta ökar utbudet av biprodukter regionalt vid dessa anläggningar, medan det på andra orter sker en minskning av utbudet. Dessa effekter är lokala till sin karaktär men kan få allvarliga konsekvenser för när-



liggande uppköpare av sågverkens biprodukter på grund av höga transportkostnader. Samtidigt blir de sågverk som tidigare hade en för låg produktionsnivå för att motivera uppköp nu en mer signifikant aktör på marknaden. Även om transportavstånden kan bli längre är det också möjligt att de transportekonomiska förutsättningarna förbättras i form av att större kvantiteter biprodukter kan köpas från samma sågverk.

Det är också ekonomiskt rationellt för skogsindustrin att via teknisk utveckling försöka öka träfiberutnyttjandet i sina produktionsprocesser för att minska inköpskostnaderna eller för att öka produktionen. Som en konsekvens kommer med sådan ny teknik utbudet av industriella biprodukter att minska. De faktorer som påverkar utbudet av spån och flis kan sammanfattas i följande punkter: (1) Sågutbytet vid sågverken; (2) produktionen av sågade trävaror; och (3) omstrukturering och teknikutveckling i den svenska sågverksindustrin.

Figur 13 illustrerar utbudskurvorna för spån och sågverksflis. På grund av den större fysiska tillgängligheten av sågverksflis uppvisar den en långsammare kostnadsutveckling jämfört med spån. Den sista TWh spån och sågverksflis har dock samma uttagskostnad på 88 kronor per MWh.



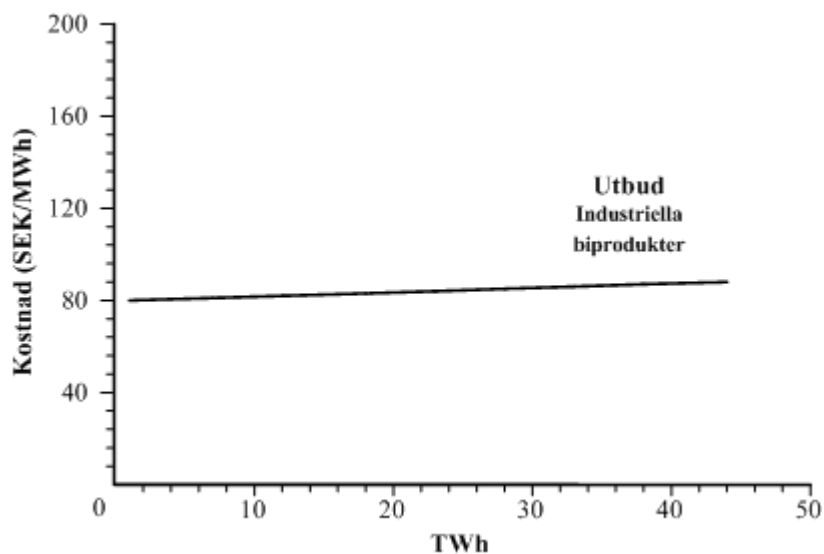
Figur 13 Utbudskurvorna för spån och sågverksflis i energitermer

#### 4.3.1 Det aggregerade utbudet av industriella biprodukter

Figur 14 illustrerar det aggregerade utbudet av industriella biprodukter och är härledd genom att horisontellt addera de två enskilda utbudskurvorna för spån och sågverksflis från Figur 13. Marginalkostnaden att tillvarata sågverksflisen och spånet skiljer sig till största delen eftersom tillgängligheten av spån är mindre. Detta innebär att marginalkostnaden – och därmed utbudskurvan – för spån har en brantare lutning, det vill säga, marginalkostnaden stiger snabbare för spån jämfört med sågverksflis. Eftersom de spån och sågverksflis klassas som biprodukter är den maximala potentialen direkt beroende av sågverkens produktion av sågade

trävaror. Det innebär att utbudet har en relativt låg kostnadsutveckling upp till den potential volymen.

Den första TWh industriella biprodukter bjuds ut vid en prisnivå motsvarande 80 kronor per TWh medan den sista fysiskt tillgängliga TWh bjuds ut vid en prisnivå på 88 kronor per TWh. Orsaken till det relativt korta prisspannet mellan först och sista TWh kan förklaras av den jämförelsevis enkla uppsamlingen av de utbudna kvantiteterna. Notera att kostnaderna inte inkluderar transporter till slutanvändarna utan reflekterar enbart de kostnader som kan associeras till sågverkens ihopsamling och förvaring av spånet och sågverksflisen.



Figur 14 Aggregerat utbud av industriella biprodukter, fritt bilväg

## 5 Analys

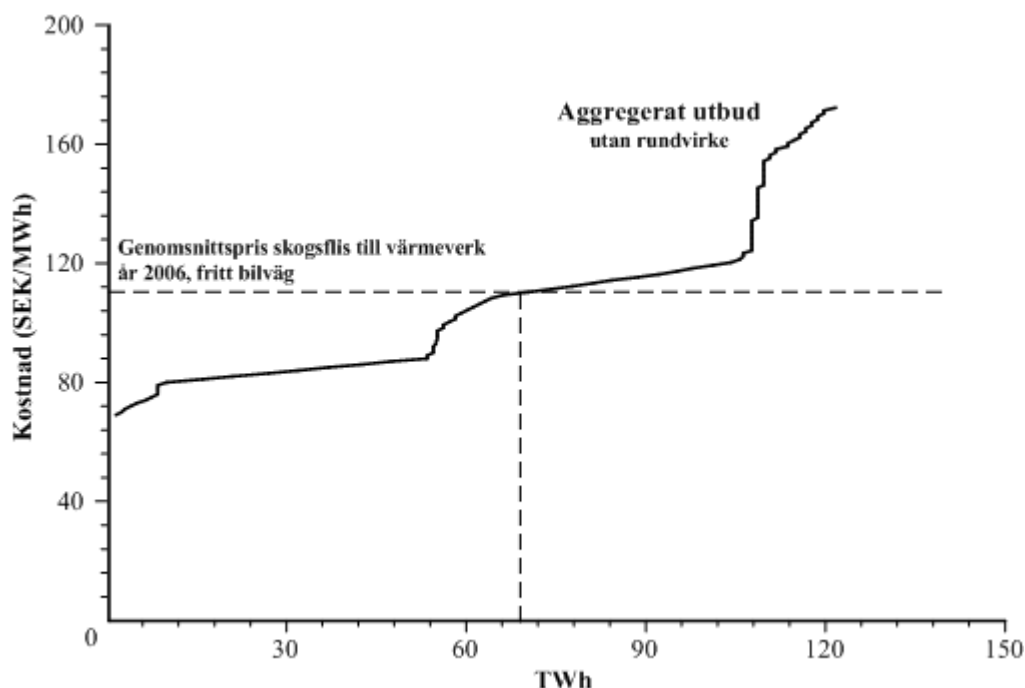
Givet de enskilda utbuderna går det att utifrån olika situationer visa på det aggregerade utbudet av biobränsle i Sverige. Vad kan hända på längre sikt om jordbruket ställer om sin produktion och ökar odlingen av energigrödor? Hur kommer utvecklingen och tillämpningen av olika tekniska lösningar att påverka uttagen av biobränslen från skogen? Hur påverkar en högre konsoliderad av sågverksindustrin utbudssituationen av industriella biprodukter? Hur påverkar på sikt en utökad gödning av skogsmarker det framtida utbudet av skogsbaserad biomassa? Givet den kostnadsstruktur som resultaten pekar på, är det bättre för Sverige att importera biobränslen istället för att utnyttja inhemska tillgångar?

En sammanställning av utbudet av biobränsle kommer inledningsvis att ske som illustrerar rådande situation. Detta ger en bild över de kvantiteter som kan finnas tillgängliga på marknaden vid olika prisnivåer uppdelat per kategori biobränsle. Följt av en kort diskussion som förklarar varför vi inte i realiteten når upp till de kvantiteter som modellen föreslår.

### 5.1 Det aggregerade utbudet av biomassa i Sverige

*Figur 15* illustrerar det aggregerade utbudet av biobränsle i Sverige med ett kort-siktigt perspektiv (exklusive rundvirke). Till skillnad från tidigare studier består inte utbudskurvan av en tydlig indelning av enskilda kategorier biobränsle. Det vill säga, en kategori biobränsle kommer inte att utnyttjas till sin fulla potential för en prisnivå som ligger strax över dess genomsnittskostnad. I stället kommer andra kategorier också att börja utnyttjas. Vi kan illustrera detta genom att analysera vilka kategorier biobränsle som kommer att utnyttjas vid det rådande priset på skogsflis. Av de cirka 70 TWh som utbudskurvan i *Figur 15* illustrerar kommer att bjudas ut med en kostnadsnivå på 110 kronor per MWh kommer 16 TWh från skogsbruket (5 TWh från grot från slutavverkning, 8 TWh från stubbar, 3 TWh från Brännved), 10 TWh från jordbruket (2,5 TWh från spannmål och 7,5 TWh från halm) och 44 TWh från industriella biprodukter. Tre observationer kan göras. För det första, hela den fysiska tillgängligheten av industriella biprodukter kommer att vid denna prisnivå att bjudas ut. Detta resultat drivs av den relativt låga uttagskostnaden och den relativt låga kostnadsutvecklingen som gäller för ökade uttag av dessa kategorier. Men som redan påpekats används dessa kategorier redan nästan uteslutande av massa- och pappersindustrin och träskiveindustrin. I slutändan är det dock respektive slutanvändares betalningsvilja som avgör resursfördelningen och den bestäms av de substitutionsmöjligheter som är tillgängliga och slutprodukternas prisnivå. För det andra, utbudskurvan indikerar att vid rådande prisnivå för skogsflis kommer salix att vara ett biobränsle som enbart på marginalen kommer in som bränsle. Detta kan till del förklara det bristande intresset för storskaliga salixodlingar. Knappheten av skogsflis måste öka och därmed dess pris innan salix kan börja bli det storskaliga biobränslet många hoppas på. På sikt

kan dock kostnadsstrukturen på salix förändras och därmed öka dess konkurrens-  
 möjligheter med skogsflis. Men samtidigt kommer förmodligen också kostnads-  
 strukturen på skogsflis att påverkas på sikt vilket innebär att salix måste i relativa  
 termer ha en mer gynnsam kostnadsutveckling jämfört med skogsflis för att ta  
 marknadsandelar.



**Figur 15** Aggregerat utbud av biobränsle, utan rundvirke, fritt bilväg

Slutligen, inte alla kategorier biomassa från skogsbruket kommer att bjudas ut. Avverkningsrester från gallringar har en för hög kostnad för att bjudas ut vid en prisnivå motsvarande 110 kronor per MWh.

### 5.1.1 Känslighetsanalys

De ingående parametrarna i utbudsanalysen är delvis baserade på statistiska uppgifter och resultat från andra studier. Dessa värden har kritiskt granskats och jämförts sinsemellan för att använda så "korrekta" estimat som möjligt. De ingående parametrarna för marginalkostnadernas förändringshastighet har dock en mer *ad hoc* skattning. Det vill säga, de har kvantitativt estimerats baserat på kvalitativa grunder inom ramen för studiens syfte. På grund av detta är det viktigt att genomföra en känslighetsanalys för att visa hur känsliga resultaten är av förändringar i marginalkostnadernas förändringshastighet.

I *Tabell 10* presenteras alternativa värden på marginalkostnadernas förändringshastighet med tillhörande resultat. Dessa resultat jämförs också med det initiala resultatet. Tre generella öknings av marginalkostnadernas förändringshastighet analyseras (I, II och III). För en lättare jämförelse rapporteras den utbudna kvantiteten för två kostnadslägen: 100 och 150 kronor per MWh. Notera att grot från gallring har en kostnadsstruktur som gör det olönsamt att utvinna redan i med de

initiala värdena. Hela den fysiska tillgängligheten av grot från slutavverkning kan utvinnas vid en kostnadsnivå på 150 kronor per MWh i alla fall utom III där en kostnadstäckning på 150 kronor per MWh enbart resulterar i 26 TWh. Uttaget av stubbar påverkas inte i de olika fallen medan uttagen av brännved reduceras något. Kategorierna biomassa från jordbruket påverkas enbart i mindre utsträckning där fram för allt den utbudna kvantiteten av salix minskar vid en högre förändringshastighet på marginalkostnaden. Slutligen de industriella biprodukterna som initialt har en relativt låg kostnadsutveckling. Den fysiska tillgängligheten nås i alla fyra fall med en kostnadstäckning på 150 kronor per MWh. Däremot reduceras den volymer som kan tas ut med en kostnadstäckning på 100 kronor per MWh vid en högre förändringshastighet.

I den sista raden beräknas den procentuella förändringen till de initiala resultaten för de två kostnadsnivåerna. För den högre kostnadsnivån (150 kronor per MWh) minskar den utbudna kvantiteten relativt lite vid högre förändringshastigheter på marginalkostnaden. Exempelvis, i fall III minskar den utbudna kvantiteten totalt med 15,9 procent jämfört med de initiala resultaten. För den lägre kostnadsnivån (100 kronor per MWh) sker det en större förändring. Exempelvis i fall II reduceras den utbudna kvantiteten med 25 procent för att i fall III halveras. Detta kan förklaras av att utbudet av de enskilda kategorierna stiger relativt snabbare och når brytgränsen (de två kostnadsnivåerna) vid lägre uttagsvolymer.

**Tabell 10 Känslighetsanalys av marginalkostnadernas förändringshastighet**

|                          | Initialt  |            | I<br>(+0,001) |            | II<br>(+0,002) |           | III<br>(+0,003) |           |
|--------------------------|-----------|------------|---------------|------------|----------------|-----------|-----------------|-----------|
|                          | Kostnad   |            | Kostnad       |            | Kostnad        |           | Kostnad         |           |
|                          | 100       | 150        | 100           | 150        | 100            | 150       | 100             | 150       |
| <b>Skogsbruk</b>         |           |            |               |            |                |           |                 |           |
| Grot<br>(Slutavverkning) | 0         | 34         | 0             | 34         | 0              | 34        | 0               | 26        |
| Grot (Gallring)          | 0         | 0          | 0             | 0          | 0              | 0         | 0               | 0         |
| Brännved                 | 2         | 9          | 1             | 5          | 1              | 4         | 1               | 4         |
| Stubbar                  | 1         | 7          | 1             | 7          | 1              | 7         | 1               | 7         |
| <b>Jordbruk</b>          |           |            |               |            |                |           |                 |           |
| Spannmål                 | 2         | 2          | 1,5           | 2          | 1,5            | 2         | 1               | 2         |
| Halm                     | 7         | 7          | 7             | 7          | 7              | 7         | 6,5             | 7         |
| Salix                    | 0         | 4          | 0             | 4          | 0              | 3,5       | 0               | 2,5       |
| <b>Ind. biprodukter</b>  |           |            |               |            |                |           |                 |           |
| Spån                     | 12        | 12         | 12            | 12         | 9              | 12        | 6               | 12        |
| Flis                     | 32        | 32         | 32            | 32         | 24             | 32        | 18              | 32        |
| <b>Totalt</b>            | <b>56</b> | <b>107</b> | <b>53</b>     | <b>103</b> | <b>42</b>      | <b>98</b> | <b>27</b>       | <b>90</b> |
|                          |           |            | -5,4%         | -3,7%      | -25%           | -8,4%     | -51,8%          | -15,9%    |

### 5.1.2 Varför når vi inte ändå upp?

Enligt Energimyndigheten användes 29,8 TWh biobränsle<sup>5</sup> i fjärrvärmeverk och 17,5 TWh biobränsle<sup>6</sup> i industrin under 2005 (Energimyndigheten, 2006). Detta summerar till en total användning av biobränsle av de kategorier som ingår i studien motsvarande 47,3 TWh. Givet 2006 års prisnivå på skogsflis indikerar det aggregerade utbudet en kvantitet motsvarande 70 TWh, en skillnad på 22,7 TWh. Frågan som uppstår är därmed varför inte redan nu – med rådande prisnivå det vill säga – större kvantiteter biobränslen bjuds ut?

<sup>5</sup> För jämförbara mått har torv, avfall och tallbeckolja exkluderats.

<sup>6</sup> Massaindustrins returflisar har exkluderats eftersom de inte ingår i studien i övrigt.

Det finns både ekonomiska och andra förklaringar till skillnaden mellan vad utbudet indikerar om den utbudna kvantiteten och vad som faktiskt används. Förutsatt att priset på skogsflis fastställs genom samverkan av utbud och efterfrågan måste det finnas andra förklaringar än bristande efterfrågan som påverkar den faktiskt använda kvantiteten negativt. En given förklaring är att det inte enbart är energisektorn som efterfrågar biomassa. Stora delar av det spån och sågverksflis som faller ut hos sågverken går till massa- och pappersindustrin samt träskiveindustrin. Två andra orsaker kan vara imperfekta marknader och/eller informationsbrist. Om marknaderna för biobränslen karaktäriseras av imperfekt konkurrens (exempelvis oligopol eller monopolistisk konkurrens) är det inte längre utbudet som tillsammans med efterfrågan som styr den utbudna kvantiteten. I stället kommer en lägre kvantitet att bjudas ut till ett högre pris. Vidare kan det finnas informationsbrist, framförallt hos mindre skogsägare och jordbrukare, i den meningen att de inte känner till dessa marknader och saknar erfarenhet av dem. Även regionala aspekter kan påverka skillnaden mellan vad som faktiskt användas och den utbudna kvantiteten. Modellen skapar ett nationellt utbud men stora regionala skillnader kan förekomma både vad gäller efterfrågan och utbudet. Efterfrågan behöver inte nödvändigtvis vara lokaliserat till samma region som utbudet varför överskott kan förekomma i vissa regioner medan ett underskott kan förekomma i andra. Av de mer icke-ekonomiska förklaringarna kan olika institutionella aspekter påverka vad som användas och bjuds ut. Till exempel, det finns förfarande osäkerheter rörande näringsförluster vid uttag av avverkningsrester.

Förekomsten av regionala marknader kan också påverka varför vi inte når rikt upp till de volymer som modellen indikerar. Det kan finnas regionala utbud av biomassa som inte är lönsamt att transportera till någon slutanvändare på grund av för långa avstånd. Eftersom utbudsmodellen beräknas utifrån ett nationellt perspektiv inkluderas av dessa utbudskällor. En annan, mer modellmässig, förklaring till skillnaden är att kostnadsutvecklingen har underskattats. Det vill säga, marginalkostnaden stiger relativt snabbare för de inkluderade kategorierna biobränsle än vad som antagits i studien. Om marginalkostnaden stiger snabbare innebär det att ett större utnyttjande av en kategori biomassa enbart kan ske till ett relativt högre pris varför hela utbudskurvan komprimeras.

## **5.2 Biomassa som bränsle till energisektorn på lite längre sikt**

Det framtida utbudet av biobränsle beror på en rad olika faktorer inklusive biobränslet tillgänglighet, international handel, EU och svensk energi-, jord- och skogsbrukspolitik. Utbudsanalysen är till viss utsträckning baserat på tillgängliga tekniska lösningar men också på utvecklingen av ny teknik. Om dessa tekniker är konkurrenskraftiga eller om de görs konkurrenskraftiga med hjälp av skatter, subventioner, el-certifikat eller andra styrmedel, kommer möjligheterna för en framtida expansion av biobränslebaserad energi att bero på om utbudskurvan i *Figur 15* kan sänkas och förlängas. Detta kommer dock att ta tid. Inom skogsbruket måste nya normer skapas och förvaltningen av skogsresurserna anpassas – och accepteras av skogsägarna. Utöver detta måste den ekonomiska incitaments-

strukturen förändras så att en större del av biobränslets värde tillfaller skogsägaren. Inom jordbruket måste också större fundamentala förändringar tillkomma innan utbudet kan öka. Naturvårdsverket (2000) uppskattar att 30 procent av Sveriges odlingsbara mark kan användas för att producera 40 TWh biobränsle. Enbart en bråkdel av detta sker dock och tillväxten förväntas vara låg av flera orsaker. För det första, den förväntade produktivitetsoökningen som ligger till grund för många studier är inte något som sker över en natt. För närvarande ligger produktiviteten kring 10 ton TS per hektar men den förväntas stiga till 30. Detta kommer att ta tid. För det andra, odling av fleråriga växter tar i sig själv tid. Salix kan till exempel skördas mellan 3-5 år efter odling. För det tredje, beslutsprocessen att börja odla, till exempel, salix tar tid. De rätta marknadsförutsättningarna måste existera och de politiska riskerna måste minimeras framför allt med tanke på omsättningstakten. Maskinparken kanske måste uppdateras, vilket kan vara betydande investeringar. Sammantaget kan jordbruket förväntas reagera långsamt för att möta en ökande efterfrågan på biobränslen.

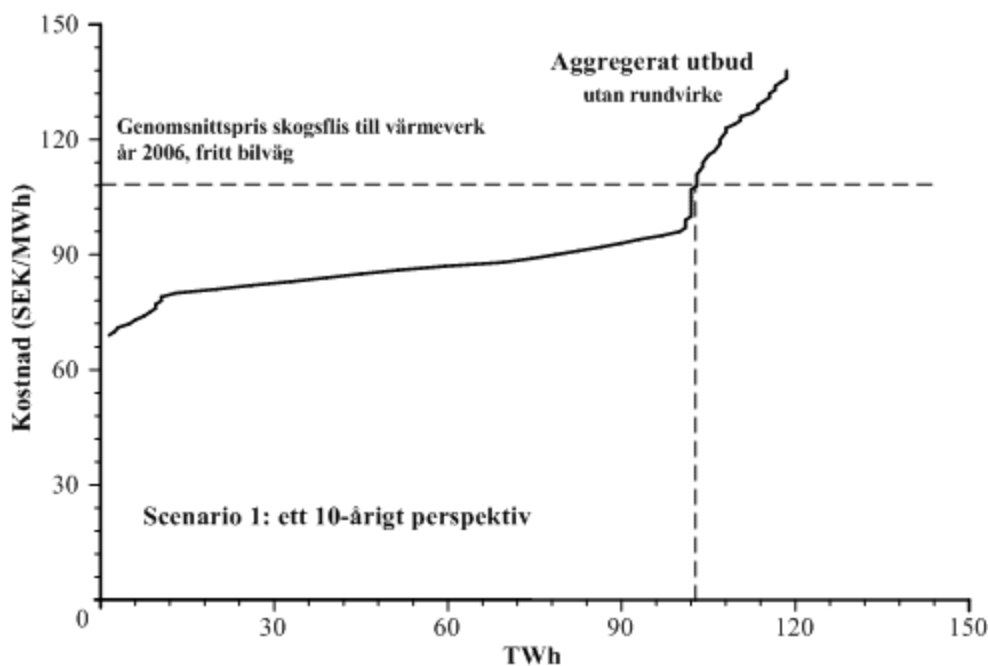
Vad som kan betraktas som lång sikt skiljer sig åt mellan skogs- och jordbrukssektorn. Det krävs omställningar och investeringar inom skogsbruket men dessa kan komma till inom en kortare tidsperiod jämfört med jordbruket. Mycket på grund av det finns betydande synergieffekter med befintlig infrastruktur för att öka uttaget av skogsbaserad biomassa men också på grund av institutionella hinder inom jordbruket. Detta innebär att de tekniska förutsättningarna finns att snabbare öka utbudet av skogsbaserad biomassa jämfört med biomassa från jordbruket. Speciellt för högre kvantitativa uttag. För att reflektera detta kommer två olika scenarion att analyseras. Det första scenariot antar ett förlopp på tio år där skogsbruket hunnit anpassa och tillämpa nya och effektiva tekniska lösningar på sin verksamhet medan jordbruket enbart marginellt hunnit anpassa sig. Det andra scenariot antar ett 25-årigt förlopp där både skogs- och jordbruket hunnit anpassa sin verksamhet i syfte att möjliggöra ett ökat uttag av biomassa. Viktigt att notera är att dessa scenarion analyserar utbudssidan. Det innebär att trots det sker en teknisk utveckling och anpassning inom skogs- och jordbrukssektorerna som pressar ner dess marginalkostnad och därmed också utbudskurvan behöver det inte nödvändigtvis innebära att efterfrågan ökar. Andra faktorer styr efterfrågan och det är fortfarande samspelet mellan utbudet och efterfrågan som styr prissättningen och därmed också konkurrenssituationen. De två scenarion som analyseras baseras på följande antaganden:

- Scenario 1 bygger på antagandet att skogsbruket hinner anpassa sin verksamhet genom att förbättra eller börja tillämpa befintliga tekniska lösningar. Modellmässigt innebär det att de lägsta uttagskostnaderna för stubbar, brännved och avverkningsrester, som beskrivs i *Tabell 7*, minskar generellt med 20 procent.
- Scenario 2 bygger vidare från det första scenariot genom att tillåta en större anpassning även inom jordbruket. Det vill säga, de förändringar som sker inom skogsbruket i scenario 1 sker också i scenario 2. De lägsta uttagskostnaderna inom jordbruket antas minska med fem procent samt att den maximala fysiska tillgängligheten ökar till 40 TWh fördelat mellan halm, spannmål och salix.

### 5.2.1 Scenario 1: 10-årigt perspektiv

Figur 16 illustrerar hur det aggregerade utbudet ser ut med ett 10-årigt perspektiv där skogsbruket har hunnit anpassat sin verksamhet genom att utnyttja synergieffekter och införskaffat ny teknik. Det genomsnittliga priset på skogsflis 2006 har inkluderats i figuren enbart för att underlätta tolkningen och utläsningen av figuren. Modellmässigt innebär scenariot att de lägsta uttagskostnaderna för avverkningsrester, stubbar och brännved har reducerats med 20 procent. Den maximala potentialen har inte ändras eftersom det ytterst är det fysiska skogsbeståndet som utgör denna begränsning. På samma sätt har utbudet av biomassa från jordbruket och från de industriella biprodukterna inte förändrats.

Som jämförelsegrund med utbudet i Figur 15 kommer det genomsnittspriset på skogsflis 2006 att användas. Med ett 10-årigt perspektiv förväntas den utbudna kvantiteten av biomassa öka från cirka 70 till 103 TWh vid en prisnivå motsvarande 110 kronor per MWh, en ökning med mer än 47 procent. Fördelat mellan de olika kategorierna av skogsbaserad biomassa ökar den utbudna kvantiteten av avverkningsrester från slutavverkningar mest, från 5 till 34 TWh. Även den utbudna kvantiteten av stubbar ökar från 8 till 9 TWh. Den utbudna kvantiteten av brännved fördubblas från tre till sex TWh. En kostnadsreduktion motsvarande 20 procent inom skogssektorn kan således innebära att en proportionerligt större kvantitet av skogsbaserad biomassa bjuds ut.



Figur 16 Aggregerat utbud av biobränsle med ett 10-årigt perspektiv, utan rundvirke

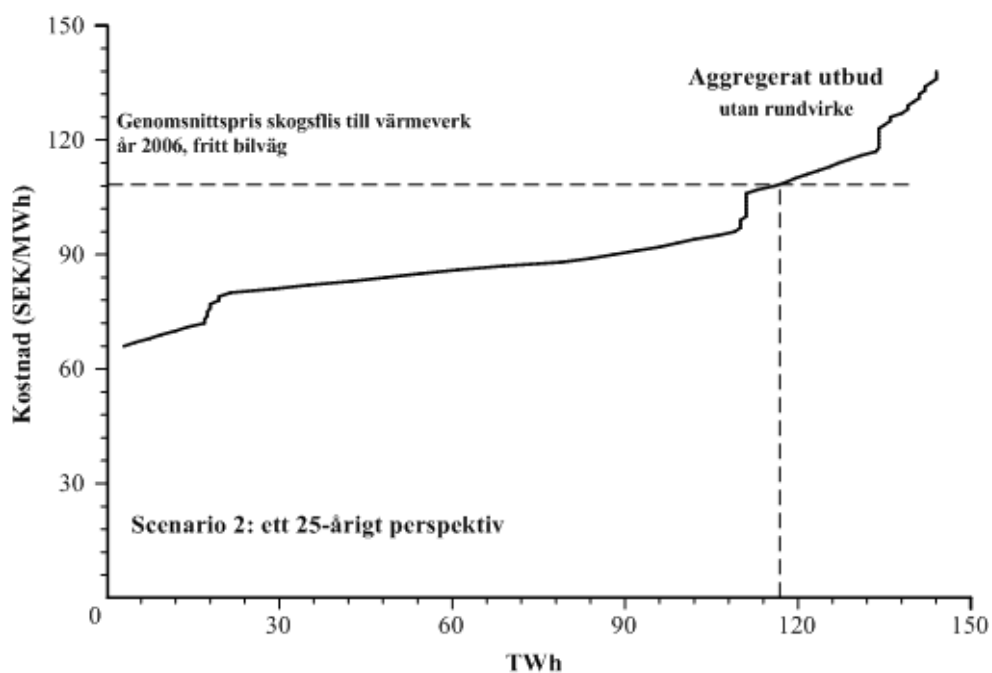
### 5.2.2 Scenario 2: 25-årigt perspektiv

Med ett längre tidsperspektiv hinner också jordbruket anpassa sin verksamhet och undanröja eventuella institutionella hinder som kan ligga till grund för en expansion av utökade arealer för odling av biomassa för energiändamål. Figur 17 illu-



strerar det aggregerade utbudet av biomassa med ett 25-årigt perspektiv. Även här används det genomsnittliga priset på skogsflis 2006 som referenspunkt. Scenariot är baserat på antagandet att de lägsta uttagskostnaderna minskar med fem procent samt att den maximala potential ökar så att den totalt kommer upp i 40 TWh som Naturvårdsverket (2000) prognostiserat. Ökningen av den maximala potentialen sker inte proportionerligt mellan de olika ingående kategorierna av biomassa från jordbruket (spannmål, halm och salix). Istället antas det att salix får ett större utrymme jämfört med spannmål och halm. Skogsbruket antas ha samma kostnadsreduktion som i scenario 1.

Med en prisnivå motsvarande 110 kronor per MWh kommer den utbudna kvantiteten biomassa att öka från cirka 70 till 120 TWh vilket motsvarar en ökning på mer än 70 procent. Trots att den maximala potentialen för salix har ökat femfald kommer enbart en marginell del av den totala ökningen från denna kategori biomassa. Salix står för en ökning på 7,5 TWh medan den utbudna kvantiteten av både spannmål och halm fördubblas från 2,5 och 5 TWh till 7,5 och 14 TWh respektive. Vid högre prisnivåer kommer dock salix att bli mer lönsamt att odla mycket eftersom spannmål och halm inte kan öka mer.



Figur 17 Aggregerat utbud av biobränsle med ett 25-årigt perspektiv, utan rundvirke

### 5.3 Internationell handel

Traditionellt har biobränslen använts i samma geografiska region som de produceras i. Under senare år har dock detta mönster förändrats i norra Europa genom storskalig användning av biobränslen i fjärrvärmeproduktion och genom ökat utbud av återvunnet träbränsle, industriella biprodukter och bättre möjligheter att tillvarata avverkningsrester. Den internationella handeln har därmed ökat som ett resultat av viljan att kontrollera avfallshantering och energipolitik. Sjötransporter

tillåter transport av stora volymer till lägre kostnad än till exempel järnväg och lastbil. Emellertid saknas tillförlitlig handelsstatistik i de flesta länder på en tillräckligt detaljerad nivå för att tillåta separering av olika flöden av olika trädbränslen. Vanligtvis särskiljer inte statistiken på slutanvändningsområdet för importen, vilket gör att det är svårt att särskilja råvaror som används för energitvinning från de råvaror som används som råmaterial i skogsindustrin.

Höga skatter på fossila bränslen och en väl utbyggd och utvecklad förbränningskapacitet av fasta bränslen i Sverige har tillsammans med en ny, mer omfattande, avfallslagstiftning i vissa Europeiska länder, som Tyskland och Nederländerna, föranlett en ökad import av återvunnet trädbränsle och andra biobränslen fram till för några år sedan. Emellertid, i samband med att EU:s energipolitiska mål rörande förnyelsebar energi har påskyndat konvertering och nybyggnad av fastbränsleanläggningar, har importen av återvunnet trädbränsle till Sverige nästan upphört idag. Som framgår av *Tabell 11* finns det en viss potential att öka importen av vissa typer av biobränsle till Sverige från angränsande länder. På grund av bristfällig statistik saknas uppgifter för Ryssland och i viss mån även för Estland. Nettotillgången består av cirka 122 TWh; merparten finns i Tyskland och Polen. Detta kan sättas i relation till den kvantitet trädbränsle som används i Sverige idag: cirka 44 TWh.

**Tabell 11 Tillgång och användning av trädbränsle i angränsande länder (TWh)**

| Land     | Avverkningsrester |      | Biprodukter |      | Återvunnet trädbränsle |      | Nettotillgång |
|----------|-------------------|------|-------------|------|------------------------|------|---------------|
|          | Tillg.            | Anv. | Tillg.      | Anv. | Tillg.                 | Anv. |               |
| Ryssland | ?                 | ?    | ?           | ?    | ?                      | ?    | ?             |
| Tyskland | 39,4              | 15,3 | 11,1        | 11,1 | 22,5                   | 3,3  | 43,3          |
| Finland  | 26,7              | 1,4  | 13,1        | 12,8 | 0                      | 1,9  | 23,6          |
| Lettland | 2,2               | 0,6  | 3,3         | 1,4  | 0                      | 0    | 3,6           |
| Polen    | 28,1              | 11,1 | 18,9        | 0    | 11,1                   | 1,7  | 45,3          |
| Estland  | 8,3               | ?    | ?           | 1,7  | ?                      | ?    | 6,6           |
| Danmark  | 3,1               | 2,5  | 1,4         | 1,7  | 0                      | 0,3  | 0             |
| Summa    | 108               | 31   | 48          | 29   | 34                     | 7    | 122,5         |

Källa: Vesterinen och Alakangas (2001).

På grundval av ett frågeformulär som besvarades av företag som handlar med trädbränslen har Alakangas m.fl. (2007) sammanställt genomsnittliga prisnivåer på trädbränsle i utvalda Europeiska länder, Sverige inkluderat. *Tabell 12* presenterar detaljhandelspriserna utan moms och har omräknats till SEK per MWh. Bränsletyper Övrig biomassa inkluderar huvudsakligen halm.

**Tabell 12 Genomsnittliga detaljhandelspriser utan moms för Europeiska länder (SEK per MWh)**

|               | Avverkningsrester | Biprodukter | Brännved | Förädlade trädbränslen | Övrig biomassa |
|---------------|-------------------|-------------|----------|------------------------|----------------|
| Österrike     | 10                | 17          | 21       | 32                     | --             |
| Belgien       | --                | 24          | 22       | 30                     | --             |
| Danmark       | 10                | 9           | 41       | 34                     | 10             |
| Finland       | 11                | 11          | 23       | 27                     | --             |
| Tyskland      | 7                 | 5           | 12       | 30                     | 10             |
| Grekland      | --                | 2           | 22       | 58                     | 71             |
| Nederländerna | --                | --          | --       | 46                     | --             |
| Spanien       | --                | --          | --       | 41                     | 13             |
| Sverige       | 10                | 9           | 8        | --                     | 6              |

Källa: Alakangas m.fl. (2007).

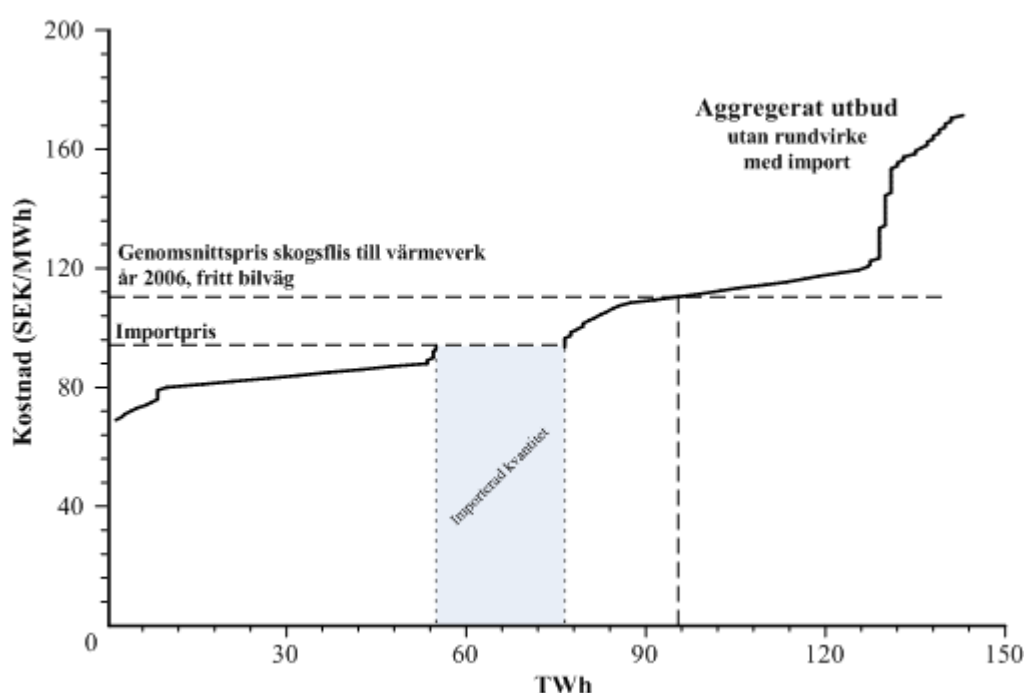
Priserna för avverkningsrester har en relativt lite varians jämfört med de andra kategorierna. Som en konsekvens finns det begränsade incitament att utöka handeln med avverkningsrester speciellt om transportkostnaderna också vägas in. För Sverige uppvisar även priserna över kategorierna en låg varians vilket reducerar de ekonomiska incitamenten att substituera mellan olika bränslen i den mån det är tekniskt möjligt. Notera att ett högre pris inte nödvändigtvis behöver innebära en stor efterfrågan. Snarare är det ett begränsat utbud som resulterar i ett högre pris. Med rimliga transportkostnader finns det en potential för att öka den svenska exporten av trädbränslen, speciellt om de biobränslebaserade energiproduktionsanläggningarna som planeras i Europa blir verklighet.

Trots stora ökningar under 1990-talet av trädbränsleimport för energiutvinning kan ökningstakten successivt komma att mattas av under kommande år. Den främsta orsaken är den politiska viljan i Europa att öka användningen av biomassa för energiutvinning vilket kommer att pressa upp de svenska importpriserna. Detta kommer att göra det mindre attraktivt för svenska energiproducenter att importera. Till viss del är denna utveckling redan påbörjad. Flödena av returträ från Holland och Tyskland har mer eller mindre upphört under den senaste tiden, sedan tyskarna byggt bioeldande kraftanläggningar för att uppnå EU:s mål avseende förnybar energi. Även de baltiska priserna på trädbränslen har av samma skäl ökat markant under den senaste perioden. Ett sannolikt scenario är därför snarare att Sverige inom en överskådlig framtid kommer att bli en nettoexportör av biobränslen till Europa.

Generellt påverkar importerade kvantiteter biomassa utbudskurvan som de svenska användarna möter. Givet ett rådande internationellt pris och begränsad kvantitet kommer den del av det aggregerade utbudet att förskjutas till höger som ligger över den internationella prisnivån. Som en följd kommer den utbudna kvantiteten vid priser över det internationella priset att öka. Vidare utökar importmöjligheter tillgängligheten av biomassa genom att addera fler biomassekategorier (till exempel returträ) samt genom att utöka den totala tillgängliga kvantiteten. Detta påverkar utbudskurvan i Sverige men inte nödvändigtvis industrisektorernas beteende eftersom det är importpriset i förhållande till andra alternativ som avgör om importerade kategorier av biomassa börjar användas eller

inte. De importerade kategorierna kanske hamnar i den övre delen av utbudskurvan varför de inte kommer att användas såvida inte efterfrågan stiger tillräckligt mycket.

Figur 18 illustrerar hur utbudet kan påverkas av en utökad import. Notera att importpriser är hypotetiskt varför enbart ett resonemang kring hur importen påverkar utbudet kan ske. Vidare antas det i figuren att den finns en maximalt tillgängliga importkvantitet och att denna kan importeras till ett fast pris. Detta må vara sant för, till exempel, spannmål som har en väl utvecklad världsmarknad men importpriserna och kvantiteterna för de andra kategorierna biomassa uppvisar mest troligt liknande mönster som de i Sverige. Det vill säga, en strikt stigande marginalkostnad vid högre uttagsvolym.



Figur 18 Aggregerat utbud av biobränsle med importmöjligheter, utan rundvirke

## 5.4 Förekomsten av regionala marknader

Utbudsfaktorerna är ofta nationella till sin karaktär i den meningen att de inte påverkar en region mer än någon annan. Några undantag finns dock och dessa kommer att belysas här. De lokala och regionala förutsättningarna styr i viss utsträckning möjligheterna att producera biobränsle. Utbudet av biobränslen som avverkningsrester styrs av avverkningsnivån som i sin tur bestäms av tillgången på produktiv skogsmark, skogstillväxt etc. Dessutom kan tillämpning av metoder som näringsoptimerad skogsgödsling komma att öka produktiviteten på skogsmarken ytterligare och förutsättningarna för näringsoptimerad skogsgödsling varierar mellan regionerna (Börjesson, 2001). Under senare tid har importen av skogsråvaror, både till skogsindustrin och till energisektorn, ökat och betydelsen av

närhet och tillgången till lokala hamnar styr möjligheten av att importera råvaror men underlättar även inhemsk handel med skogsråvaror (Roos m.fl., 2000). Samma sak gäller för industriella biprodukter som produceras vid sågverk som är regionalt utspridda. Större sågverk ligger nära kusten i Norrland, medan de i södra Sverige är utspridda med högre koncentrationer i östra Småland och med få sågar i Skåne och Halland. Centralt i detta sammanhang är transportkostnaderna för de olika råvarorna.

*Tabell 13* visar översiktligt de regionala skillnaderna i utbudet av skogsråvaror uppdelat per region. Avverkningsnivån indikerar tillgången på massaved som utgör en relativt konstant proportion av den totala avverkningen. Enbart i region 4 sker det ett större uttag av sågtimmer än massaved. Även tillgången på avverkningsrester bestäms av avverkningsnivån på grund av att uttag av enbart avverkningsrester inte förekommer. Utbudet av biprodukter är baserat på faktiska leveranser av biprodukter från sågverken till industrin och energisektorn.

**Tabell 13 Regionala skillnader i utbudet av skogsråvaror, uppdelat per region**

| Region <sup>1</sup> | Avverkningsnivå (miljoner m <sup>3</sup> ) | Varav massaved (%) | Biprodukter |
|---------------------|--|--------------------|-------------|
| 1                   | 24,1                                       | 66                 | 4,2         |
| 2                   | 15,5                                       | 65                 | 4,3         |
| 3                   | 12,1                                       | 65                 | 2,5         |
| 4                   | 22,7                                       | 40                 | 4,7         |

<sup>1</sup> Regionsindelning: (1) Norrbottens, Västerbottens och Västernorrlands län samt landskapet Jämtland; (2) Gävleborgs, Dalarnas, Västmanlands, Uppsala och Stockholms län samt landskapet Härjedalen; (3) Örebro, Värmlands, Västra Götalands län samt Dalslandsdelen av Älvsborgs län; och (4) Södermanlands län samt övriga delar av Götaland som inte ingår i region 3.

Källor: Skogsstyrelsen (2003) och Virkesmätningrådet (2002).

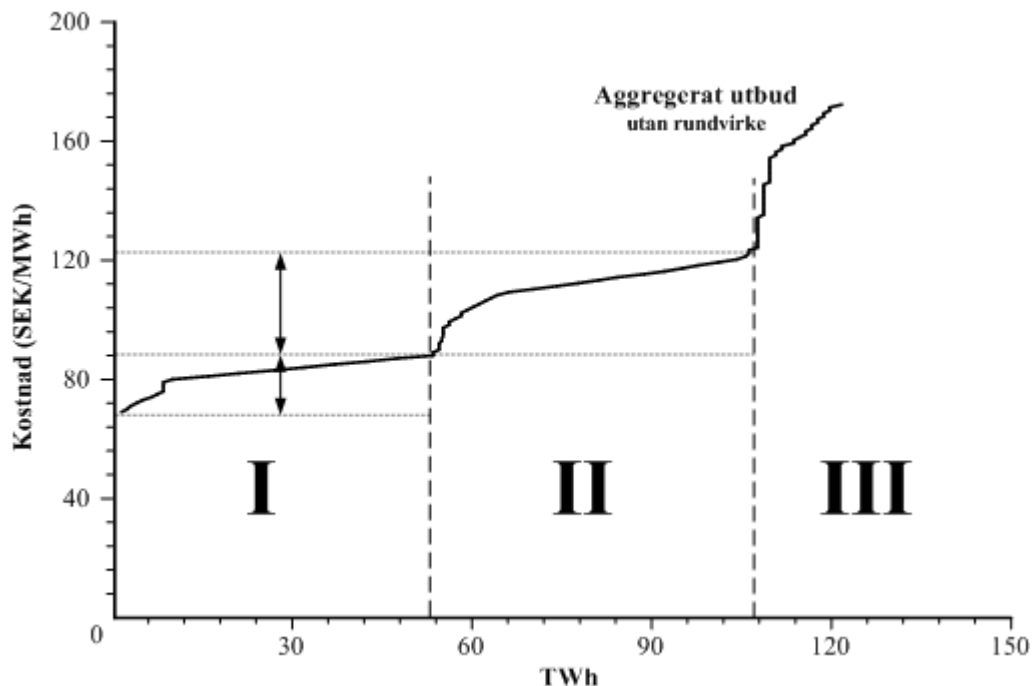
Om marknaderna är regionala (en sådan test är inte inkluderat i denna studie) kommer kanske vissa kvantiteter och kanske rent av olika kategorier biomassa att falla bort för de spatialt utspridda efterfrågepunkterna. En regional analys måste ta hänsyn till vad som faktiskt bjuds ut regionalt, hur detta utbud ser ut och vad som regionalt efterfrågas.



## 6 Slutsatser

För att korrekt bedöma effekterna av olika policy förslag rörande odling, utvinning och användningen av olika kategorier biomassa i Sverige är det viktigt att använda ett bra beslutsunderlag. En viktig aspekt är att analysera hur kostnaderna påverkas vid ökade uttagsvolymerna. Det vill säga, hur utbudet för varje enskild kategori biomassa ser ut. Även politiska beslut påverkar utbuderna av biomassa. Ekonomiska styrmedel påverkar tillgången och öppnar upp nya användningsområden genom att bland annat påverka relativpriser och den tekniska utvecklingen. På grund av biomassans mångfald och omfattning faller den politiska kontrollen av resursen inom ramen för flera politikområden. De mest uppenbara är skogs- och jordbrukspolitiken – på nationell och EU-nivå – men även klimat-, miljö-, energi-, och regionalpolitiken påverkar biomassan som en resurs. För en effektivt utnyttjande av biomassan bör dessa politikområden samordnas i så stor utsträckning som möjligt. Syftet med denna rapport är att konstruera och analysera relevanta utbudskurvor utifrån ett marginalkostnadskoncept på kort och på lång sikt. Analysen visar att det finns möjligheter att öka uttaget av biomassa utan alltför stora kostnadsökningar men dessa ökningarna är av mindre magnitud jämfört med många tidigare studier där en genomsnittlig kostnad användas istället för marginalkostnad.

Resultaten pekar på ekonomiska möjligheter att öka det aggregerade uttaget av biomassa till 70 TWh med en prisnivå kring 110 kronor per MWh (2006 pris på skogsflis). Om priset tillåts stiga genom till exempel olika efterfrågestimuli förbättras kostnadstäckningen varvid ett större uttag kan ske. Lutningen på den aggregerade utbudskurvan påverkar dock hur stor den ökade uttagsvolymen kan vara för varje ökning av priset. Vid uttagsvolymerna överstigande cirka 54 TWh ökar behoven av kostnadstäckning varför utbudskurvan får en relativt större lutning. För att ekonomiskt motivera uttag överstigande cirka 108 TWh stiger behovet av kostnadstäckning allt mer som *Figur 19* illustrerar.



**Figur 19** Kostnadsutveckling för det aggregerat utbud av biobränsle, utan rundvirke

Stamved (rundvirke) är inte inkluderat i analysen men kostnadsökningarna associerade med ökat uttag av olika kategorier biomassa indikerar att rundvirke kan komma att börja användas i större utsträckning av energisektorn.

Analysen indikerar också att det existerar större möjligheter att påverka utbudet av skogsbaserad biomassa genom olika policy åtgärder jämfört med biomassa från jordbruket och industriella biprodukter. Det vill säga, bättre kostnadseffektivitet kan uppnås genom att stimulera skogsbruket att öka utbudet av biomassa jämfört med samma stimulans till jordbruket. Det är framfört allt uttaget av stubbar och avverkningsrester från slutavverkning som utgör den kategori biomassa som kan signifikant ökas genom att antingen tillämpa befintlig teknik i större utsträckning eller genom att förbättra de tekniska lösningarna som finns.

Möjligheten att importera biobränsle påverkar den utbudskurva som de svenska användarna möter. Beroende på utbudet av biomassa i potentiella handelspartners och på transportkostnaderna kan det vara lönsamt att importera och på så sätt öka den utbudna kvantiteten i Sverige vid varje prisnivå som understiger importpriset. Emellertid så kan det visa sig att det istället blir Sverige som kommer att exportera biomassa varför den inhemska prisbildningen kan komma att påverkas och minska den kvantitet biomassa som finns tillgängligt



# Referenser

- Alakangas, E., A. Heikkinen, T. Lensu och P.Vesterinen. (2007). *Biomass fuel trade in Europe*. Summary report VTT-R-03508-07, Intelligent Energy Europe (Eubionet II – EIE/04/065/S07.38628).
- Berglund, C. (2004). Spatial cost efficiency in waste paper handling: the case of corrugated board in Sweden. *Resources, Conservation and Recycling*, 42:367-387.
- Bergman, M., och M. Nilsson. (1999). Imports of pulpwood and price discrimination: a test of buying power in the Swedish pulpwood market. *Journal of Forest Economics*, 5(3):365-387.
- Bergman, M., och R. Brännlund. (1995). Measuring oligopsony power: an application to the Swedish pulp and paper industry. *Review of Industrial Organization*, 10(3):307-321.
- Bohlin, F., och A. Roos. (2002). Wood fuel supply as a function of forest owner preferences and management styles. *Biomass and Bioenergy*, 22:237-249.
- Börjesson, P. (2001). *Framtida tillförsel och avsättning av biobränslen i Sverige – Regionala analyser*. Rapport 34, Institutionen för teknik och samhälle, Lunds universitet.
- Börjesson, P. (2006). *Biogas – energiutbyte och energiflöden* Presentation vid gasdagarna 18-19 oktober 2006, Tylösand
- Ekman, S. och J. Gullstrand. (2006). *Lantbruket & konkurrenskraften*. Rapport 2006:4 Livsmedelsekonomiska institutet.
- Elforsk. (2003). *El från nya anläggningar – 2003*, Elforsk rapport nr 03:04
- Energimyndigheten. (2003). *Lägesrapport: Uppdrag att utvärdera förutsättningarna för fortsatt marknadsintroduktion av energiskogsodling*. Energimyndigheten.
- Energimyndigheten. (2003). *Syntesrapport systemstudier bioenergi*, ER 13:2003
- Energimyndigheten. (2004). *Elcertifikatöversyn – etapp 2, bilaga 8 – Potential för biobränsle*
- Energimyndigheten. (2006). *Energiläget 2006*. Energimyndigheten.
- Energimyndigheten. (2007). *Prisblad biobränslen*. Energimyndigheten.
- Ericsson, K. och L. Nilsson. (2006). Assessment of the potential biomass supply in Europe using a resource-focused approach. *Biomass & Bioenergy*, 30:1-15.
- Gustavsson, L. och P. Börjesson. (1998). CO2 mitigation cost: Bioenergy systems and natural gas systems with decarbonisation. *Energy Policy*, 26(9):699-713.
- Hagström, P. (2006). *Biomass Potential for heat, electricity and vehicle fuel in Sweden*, Doctoral thesis, Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala
- Hakkila, P. (2000). *Wood energy in Finland*. In: *Bioenergy from sustainable forestry: Principles and practices*, 16-20 oktober, Coff Harbour, Australia, IEA Bioenergy.

- Johansson, A. (2001). *Massaved; är energiflis ett alternativ? – En ekonomisk studie om hur transportkostnader påverkar vad massaveden skall användas till*. Rapport 306, institutionen för Skogsekonomi, Sveriges Lantbruksuniversitet, Umeå.
- Klimatkommittén. (2000). *Förslag till svensk klimatstrategi*. SOU 2000:23
- Kommissionen mot oljeberoendet. (2006). *På väg mot ett oljefritt Sverige*
- LRF. (2005). *LRFs energiscenario till år 2020: Förnybar energi från jord- och skogsbruk ger nya affärer och bättre miljö*. www.lrf.se.
- Lundmark, R. (2003). *The Supply of Forest-based Biomass for the Energy Sector: The Case of Sweden*. International Institute for Applied Systems Analysis (IIASA), Interim Report IR-03-059.
- Lundmark, R. (2006). Cost Structure of and Competition for Forest-based Biomass. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 21(3):272-280.
- Lundmark, R., och P. Söderholm. (2004). *Brännhett om svensk skog: en studie om råvarukonkurrensens ekonomi*. SNS Förlag, Stockholm.
- Lönner, G., B-O. Danielsson, B. Vikinge, M. Parikka, B. Hektor, och P-O Nilsson. (1998). *Kostnader och tillgänglighet för trädbränslen på medellång sikt*. Rapport 51, Institutionen för Skog-Marknad Studier, Sveriges lantbruksuniversitet ISSN 0284-379X.
- Naturvårdsverket. (1997). *Det framtida jordbruket. Slutrapporten från systemstudien för ett miljöanpassat och uthålligt jordbruk*. Rapport 4755. Naturvårdsverket förlag: Stockholm.
- Naturvårdsverket. (2000). *Bioenergi och kretslopp stad/land – en samsyn*. Rapport 2000-12. Naturvårdsverket förlag: Stockholm.
- PROFU. (2006). *Marknadsöversikt biobränslen*. Projektinriktad forskning och utveckling.
- Radetzki, M. (1997). The economics of biomass in industrialized countries: An overview. *Energy Policy*, 25(6):545-554.
- Roos, A., F. Bohlin, B. Hektor, B. Hillring, och M. Parikka. (2000). A geographical analysis of the Swedish woodfuel market. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 15:112-118.
- SCB. (2007). *Åkerarealens användning 2000-2006*. www.scb.se.
- Skogsindustrierna. (2006). *Biobränsle från skogen – tillgång och efterfrågan*, www.skogsindustrierna.org
- Skogsindustrierna. (2007). *Biobränsle från skogen: Tillgång och efterfrågan*. Skogsindustrierna, www.skogsindustrierna.se (2007-05-29).
- Skogsstyrelsen. (2003). *Skogsstatistiska årsboken 2003*. Sveriges officiella statistik. Skogsstyrelsen, Jönköping, ISBN 91-88462-55-5.
- Skogsstyrelsen. (2007). *Skogsstatistiska årsboken 2006*. Sveriges officiella statistik. Skogsstyrelsen, Jönköping, www.skogsstyrelsen.se.
- SLU. (2004). *Uppdrag rörande den framtida användningen av bioenergi i Sverige*, Umeå
- Svebio. (2004). *Trädbränslen – en viktig del av energisystemet*. Fokus Bioenergi nr 2.

- Tilton, J. E. (1992). Economics of the Mineral Industries. I H.L. Hartman (red.). *SME Mining Engineering Handbook* (2nd edition), SME, s. 47-51.
- Walsh, M.E. (2000). Method to estimate bioenergy crop feedstock supply curves. *Biomass and Bioenergy*, 18:283-289.
- Vesterinen, P., och E. Alakangas. (2001). *Export-import possibilities and fuel prices – Task 2*. Altener programme AFB-net V, VVT Energy, Finland.
- Vinterbäck, J., och B. Hillring. (2000). Aufbau eines europäischen Handels mit Holz-Brennstoffen. *Holzforschung und Holzverwertung*, 6:114-118.
- Virkesmättningsrådet. (2002). *Sammanställningar över total virkesförbrukning och produktion av skogsprodukter 1997-2001*. Virkesmättningsrådet, Märsta.



### Vårt mål – en smartare energianvändning

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

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

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

Alla rapporter från Energimyndigheten finns tillgängliga på myndighetens webbplats [www.energimyndigheten.se](http://www.energimyndigheten.se)

