



LUND UNIVERSITY

Potential för ökad tillförsel och avsättning av inhemsk biomassa i en växande svensk bioekonomi

Börjesson, Pål

2016

Document Version:
Förlagets slutgiltiga version

[Link to publication](#)

Citation for published version (APA):

Börjesson, P. (2016). *Potential för ökad tillförsel och avsättning av inhemsk biomassa i en växande svensk bioekonomi*. Lund University. Department of Technology and Society. Environmental and Energy Systems Studies.

Total number of authors:

1

General rights

Unless other specific re-use rights are stated the following general rights apply:

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal

Read more about Creative commons licenses: <https://creativecommons.org/licenses/>

Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

LUND UNIVERSITY

PO Box 117
221 00 Lund
+46 46-222 00 00



LUNDS UNIVERSITET
Lunds Tekniska Högskola

Institutionen för teknik och samhälle
Avdelningen för miljö- och
energisystem

Potential för ökad tillförsel och avsättning av inhemsk biomassa i en växande svensk bioekonomi

Pål Börjesson

Rapport nr. 97

Mars 2016

ISSN 1102-3651
ISRN LUTFD2 / TFEM--16/3088--SE + (1-85)
ISBN 978-91-86961-23-7

Dokumentutgivare, Dokumentet kan erhållas från LUNDS UNIVERSITET Miljö- och energisystem Box 118 221 00 Lund, Sverige Telefon: int+46 46-222 00 00	Dokumentnamn Rapport
	Utgivningsdatum Mars 2016
	Författare Pål Börjesson

Dokumenttitel och undertitel

Potential för ökad tillförsel och avsättning av inhemsk biomassa i en växande svensk bioekonomi

Sammanfattning

I denna studie analyseras potentialen för en *ökad* tillförsel av biomassa från skog, jordbruk och akvatiska system i Sverige baserat på en sammanställning och bearbetning av aktuella potentialstudier. Analysen inkluderar tekno-ekonomiska begränsningar och minimering av risker för miljömålskonflikter vid en ökad produktion av biomassa. Dessutom analyseras potentialen för en *ökad* avsättning av biomassa för att ersätta fossil energi och råvara inom olika sektorer. Tidsperspektivet sträcker sig från idag till 2050. Resultaten visar att det finns en relativt god balans mellan de uppskattade ökade tillförsel- och avsättningspotentialerna inom tidsperspektivet idag till 2030 och att dessa uppgår till cirka 40-50 TWh biomassa per år. Kring 2050 bedöms tillförselpotentialen kunna öka till cirka 70-90 TWh per år medan avsättningspotentialen bedöms kunna öka till cirka 60-70 TWh per år. Tillförseln av skogsbaserad biomassa är något högre än jordbruksbaserad medan akvatisk biomassa bedöms bli marginell. Det finns dock ett stort osäkerhetsintervall både vad gäller ökad tillförselpotential och avsättningspotential, d v s beroende på vilka utvecklingsvägar som väljs kan teoretiskt såväl betydande underskott som överskott av biomassa fås. För att minimera risker för miljömålskonflikter krävs långsiktigt uthålliga produktionssystem som bl a har ett ökat landskapsperspektiv, i kombination med åtgärder på användarsidan för att begränsa ökningen av biomassabehovet genom energieffektivisering och elektrifiering inom transport-, industri- och värmesektorn. För att de långsiktigt uthålliga ökade tillförsel- och avsättningspotentialerna ska kunna realiseras krävs skärpta styrmedel och incitament inom alla berörda sektorer.

Nyckelord

Biomassa, potential, tillförsel, avsättning, Sverige, miljömålskonflikter, bioekonomi

Omfång 85 sidor	Språk Svenska Engelskt abstract	ISRN ISRN LUTFD2 / TFEM--16/3088--SE + (1-85)
ISSN ISSN 1102-3651	ISBN ISBN 978-91-86961-23-7	

Intern institutionsbeteckning

Rapport nr. 97

Organization, The document can be obtained through LUND UNIVERSITY Department of Environmental and Energy Systems Studies P.O. Box 118 SE-221 00 Lund, Sweden Telephone: int+46 46-222 00 00	Type of document Report
	Date of issue March 2016
	Author Pål Börjesson

Title

Potential supply and demand of domestic biomass feedstock in a growing Swedish bioeconomy

Abstract

This study analyses the potential *increase* in the supply of biomass from forest, agriculture and aquaculture in Sweden, based on a review of actual potential studies, in the time perspective from today to 2050. The analysis includes techno-economic restrictions and ecological constraints to an expanded biomass production. The potential *increase* in the demand of biomass for replacing fossil fuels for energy and feedstock in various sectors is also analysed. The result shows a rather good balance between the potential increase in supply and demand of biomass in the time perspective from today to 2030, equivalent to some 40-50 TWh/yr. By 2050, the potential increase in biomass supply may amount to 70-90 TWh/yr, whereas the corresponding increase in the demand may amount to 60-70 TWh/yr. The potential supply of forest-based biomass is somewhat higher than the agriculture-based supply, whereas the biomass supply from aquaculture is estimated to be marginal. The uncertainties are considerable regarding the potential increase in both the future supply and demand of biomass. Significant deficits or surpluses may arise depending on development pathway. To minimize the risk of conflicts with other environmental goals, the development of long-term sustainable biomass production systems, including increased attention to landscape impacts, is crucial. In addition, efforts are needed to reduce the future increase in the demand for biomass through end-use energy efficiency improvements and electrification in the transport-, industry- and heat sector. New policies and governance approaches will be needed to realise the biomass development pathways that are explored in this study.

Keywords

Biomass, potentials, supply, demand, Sweden, environmental conflicts, bioeconomy

Number of pages 85	Language Swedish English abstract	ISRN ISRN LUTFD2 / TFEM--16/3088--SE + (1-85)
ISSN ISSN 1102-3651	ISBN ISBN 978-91-86961-23-7	
Department classification Report no. 97		

ISSN 1102-3651
ISRN LUTFD2 / TFEM--16/3088--SE + (1-85)
ISBN 978-91-86961-23-7

Förord

Denna rapport är framtagen på uppdrag av Näringsdepartementet, Enheten för skog och klimat, som underlag i arbetet med det Nationella Skogsprogrammet. Projektet har finansierats av Näringsdepartementet.

Författaren vill rikta sitt tack till alla de granskare som lämnat värdefulla synpunkter och kommentarer på arbetet.

Lund, mars 2016

Pål Börjesson

Innehållsförteckning

1	INTRODUKTION	3
1.1	Syfte	3
1.2	Metod och avgränsningar	4
2	POTENTIAL FÖR ÖKAD TILLFÖRSEL AV BIOMASSA	4
2.1	Skogsbaserad biomassa	5
2.2	Jordbruksbaserad biomassa	22
2.3	Akvatisk biomassa	32
2.4	Sammanlagd tillförselpotential	38
3	POTENTIAL FÖR ÖKAD AVSÄTTNING AV BIOMASSA	39
3.1	Skogsindustri och övrig industri	39
3.2	Värme och kraftvärme i fjärrvärmesystem	51
3.3	Biodrivmedel	58
3.4	Sammanlagd avsättningspotential	65
4	JÄMFÖRELSE MELLAN POTENTIELL ÖKAD TILLFÖRSEL OCH AVSÄTTNING AV BIOMASSA	67
4.1	Balans mellan tillförsel och avsättning av biomassa	67
4.2	Hantering av miljömålskonflikter	70
5	SAMMANFATTANDE SLUTSATSER	73
6	REFERENSER	76

1 INTRODUKTION

I en växande biobaserad ekonomi förväntas biomassans roll öka, både som energibärare och som råvara för nya produkter och som ersättare för fossilbaserad energi och fossilbaserade produkter. Sverige bedöms ha stora förutsättningar för att expandera biobaserade energi- och produktsystem tack vare vår stora skogsresurs, men även jordbruket bedöms kunna öka sin biomassaproduktion. Större osäkerhet finns när det gäller biomassa från akvatiska system som är betydligt mindre undersökta än skogs- och jordbruksbaserade produktionssystem.

En växande biobaserad ekonomi där nationella resurser tas tillvara bedöms kunna ge såväl samhällsekonomiska som miljömässiga fördelar, t ex minskat oljeberoende, minskad klimatpåverkan osv. Det finns dock även miljömässiga risker med ett ökat uttag av biomassa om detta blir för stort, sker för snabbt och i känsliga områden. Ett långsiktigt hållbart utnyttjande av biomassa måste därför minimera potentiella miljömålskonflikter, t ex negativa effekter på biologisk mångfald, och kunna hantera dessa på effektiva sätt.

Det finns förväntningar inom olika sektorer på biomassa som en allt viktigare energiråvara och råvara för produkter. Dessa prognoser eller scenarier är ofta utförda separat inom respektive sektor vilket innebär att konkurrens om råvaran mellan olika sektorer inte alltid beaktas. Det finns således en risk att tillgänglig biomassa ”intecknas” flera gånger och att den sammanlagda förväntade avsättningspotentialen väsentligt överstiger den potentiella tillgången.

Denna rapport fokuserar på den potentiella tillgången av outnyttjad biomassa i Sverige idag och i framtiden (kommande decennier) samt på hur efterfrågan på biomassa kan komma att öka i framtiden inom olika sektorer. Rapporten beskriver också hur biomassapotentien från skog, jordbruk och akvatiska system kan begränsas av olika faktorer.

1.1 Syfte

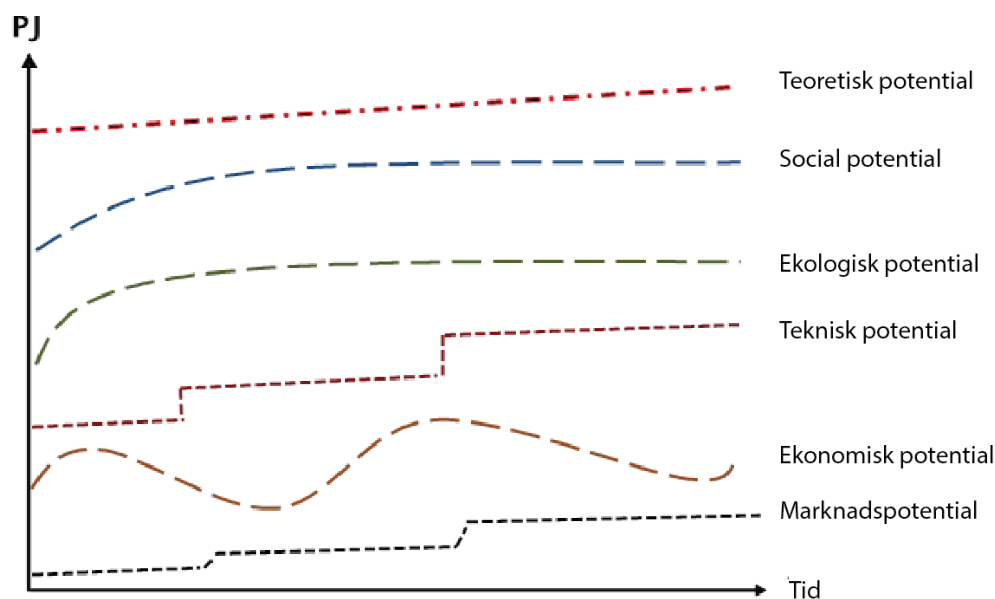
Syftet med denna kunskapsöversikt är att sammanställa aktuella studier som analyserat biomassapotentier från skog, jordbruk och akvatiska system i Sverige samt att utvärdera och bearbeta dessa för att i denna studie göra en sammanlagd bedömning av den totala potentialen för en ökad biomassatillförsel i Sverige. I denna bedömning ingår också analys av begränsningar och risker för miljömålskonflikter som kan finnas vid en ökad produktion och ett ökat uttag av biomassa. Dessutom har studier sammanställts som analyserar potentiell ökad avsättning av biomassa för olika ändamål och inom olika sektorer i Sverige. Baserat på denna sammanställning och kompletterande bearbetningar har den totala ökade avsättningspotentialen för biomassa i Sverige bedömts. Tidsperspektivet i denna studie sträcker sig från idag till 2050. Avslutningsvis analyseras balansen mellan den sammanlagda potentialen av ökad tillförsel av inhemsk biomassa och den sammanlagda potentialen av ökad avsättning samt hur potentiella miljömålskonflikter kan minimeras och hanteras.

1.2 Metod och avgränsningar

Studien bygger på en systematisk litteraturgenomgång och urval av relevanta publikationer för de aktuella frågeställningarna. Den litteratur som sammanställs och analyseras är så aktuell som möjligt, normalt inte mer än 3 år gammal. Fokus ligger på Sverige men när nationella studier är få eller saknas används kompletterande internationella studier som hjälp vid olika bedömningar. Tidsperspektivet som de sammanställda potentialuppskattningarna avser kan variera men har i denna studie justerats för att motsvara uppskattad potential från idag till 2030 respektive kring 2050. Resultaten från potentialbedömningarna presenteras dels som ett *basfall*, med en viss resultatspridning, dels som ett *osäkerhetsintervall* som till stor del täcker in de ytterligheter i potentialuppskattningar som presenteras i den sammanställda litteraturen.

2 POTENTIAL FÖR ÖKAD TILLFÖRSEL AV BIOMASSA

Potentialuppskattningar för biomassa kan variera utifrån vilka begränsningar som beaktas och inkluderas i analyserna. I Figur 1 åskådliggörs detta schematiskt. Det är med andra ord viktigt att definiera vilket potentialbegrepp som avses då det ofta är stora skillnader mellan t ex den teoretiska potentialen och aktuell marknadspotential. Teoretisk potential baseras på uppskattningar av befintliga biomassatillgångar samt uppskattningar av framtida möjliga tillgångar, t ex från ökad skogstillväxt, nya energigrödor etc. Social potential inkluderar sociala begränsningar som attityder till skogsbränsleuttag och energiskog, intresse hos odlare, närhet till stadsområden etc. Ekologisk potential inkluderar miljöbegränsningar som långsiktig markbördighet, påverkan på biologisk mångfald, övergödning, vattenresurser etc. Tekno-ekonomisk potential inkluderar begränsningar som tillgänglig skördeteknik, logistiksystem, transportkostnader etc. Slutligen nås en marknadspotential som beror av aktuell efterfrågan på biomassa inom olika sektorer och som ofta kan vara starkt policyberoende.



Figur 1. Schematisk figur som generellt illustrerar olika potentialbegrepp, där den potentiella marknadspotentialen, på grund av sociala, ekologiska, tekniska och ekonomiska begränsningar, är långt under den teoretiska potentialen (se text för utförlig beskrivning) (Egnell & Börjesson, 2012).

I följande kapitel beskrivs biomassapotentialet uppdelat på skogsbaserad biomassa, jordbruksbaserad biomassa, akvatisk biomassa samt slutligen den sammanlagda biomassapotentialet från dessa tre sektorer. Dessutom analyserar vilka typer av begränsningar som beaktas, d v s vilket/vilka potentialbegrepp som avses.

2.1 Skogsbaserad biomassa

Dagens biomassaproduktion

Sverige har idag ca 23,2 miljoner hektar produktiv skogsmark, vilket motsvarar ca 57 % av landytan (Skogsstyrelsen, 2015a). Det totala virkesförrådet på produktiv skogsmark är ca 3,3 miljarder m³sk och den årliga tillväxten ca 116 miljoner m³sk (exklusive skyddad produktiv skogsmark). Medelvirkesförrådet per hektar är ca 135 m³sk, vilket är 80 % högre än på 1920-talet. Den årliga genomsnittstillväxten för produktiv skogsmark i hela landet (medelboniteten) uppgår till 5,3 m³sk per hektar. Såväl skogsmarksandel som skogstillväxt skiljer sig dock mycket åt regionalt. Medelboniteten i norra Norrland uppgår till ca 3,1 m³sk per hektar och år medan motsvarande medelbonitet i Götaland är ca 8,6 m³sk per hektar och år. Norra Norrland har dock den största arealen av produktiv skogsmark (ca 6,7 miljoner hektar, exkl. fridlyst produktiv skogsmark) medan Götaland har minst (ca 4,9 miljoner hektar) (Riksskogstaxeringen, 2015).

Den totala tillgången på inhemsk skogsråvara uppdelad i rundved, grenar och toppar (grot) och stubbar samt årlig tillväxt redovisas i Tabell 1. De inhemska skogstillgångarna har ett energiinnehåll motsvarande ca 12 000 TWh och en årlig tillväxt om drygt 400 TWh. Genomsnittlig årlig avverkning av rundved under den senaste femårsperioden ligger på ca 83 miljoner m³sk (Skogstaxeringen, 2015). Omräknat till energienheter motsvarar detta cirka 180 TWh. Lite drygt hälften av biomassan i den skördade stamveden blir produkter medan knappt hälften (motsvarande cirka 80-90 TWh per år) blir olika slags restprodukter som utnyttjas för energiändamål. Därutöver sker uttag av hyggesrester primärt för energiändamål, huvudsakligen av grot, men också en mindre andel klen rundved och en liten mängd stubbar (framför allt som försöksverksamhet). Uppskattningar över årliga uttag av grot är osäkra men bedöms av Skogsstyrelsen (2015a) variera mellan 6 till 10 TWh, bl a beroende på varierande behov i fjärrvärmesektorn mellan olika år. Huvuddelen av grot-uttaget sker efter förnygringsavverkning (85-90 %) och endast en mindre del i samband med gallring (10-15 %). Användningen av träbränslen för fjärrvärmeproduktion bedöms ha minskat med cirka 2-3 TWh per år under de senaste åren, samtidigt som mängden avfall ökat i motsvarande omfattning (Svensk Fjärrvärme, 2015). Anledningen till denna omfördelning är framför allt att importerat avfall är billigare att använda än skogsbränslen som grot för fjärrvärmeproducenterna. Importen av avfall har t ex ökat med cirka 3,5 TWh per år under det senaste decenniet. Andelen grot som tas ut för energiändamål har framför allt minskat i norra Sverige (se också Figur 5).

Tabell 1. Skogsråvarutillgångar, tillväxt och skördenivå¹

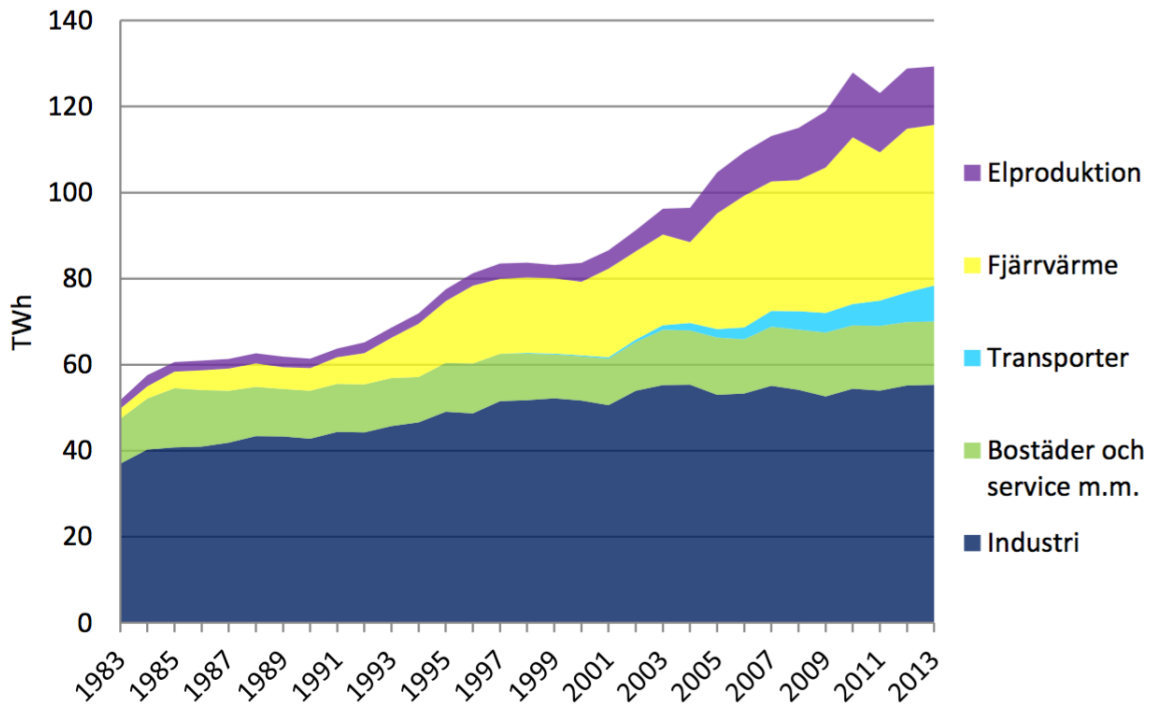
Skogsråvara	Nuvarande total mängd stående skogsbiomassa		Total tillväxt av biomassa på skogsmark		Nuvarande skördenivå (femårsmedeltal)
	Miljoner ton TS	TWh ²	Miljoner ton TS/år	TWh/år	TWh/år
Rundved	1 350	≈ 6 600	48	≈ 240	≈ 180
Grot	500	≈ 2 400	17	≈ 85	≈ 6-10
Stubbar	600	≈ 3 000	22	≈ 110	< 0,5
Totalt	2 450	≈ 12 000	87	≈ 430	≈ 190

¹ Bearbetad data från Riksskogstaxeringen (2015) och Skogsstyrelsen (2015a).

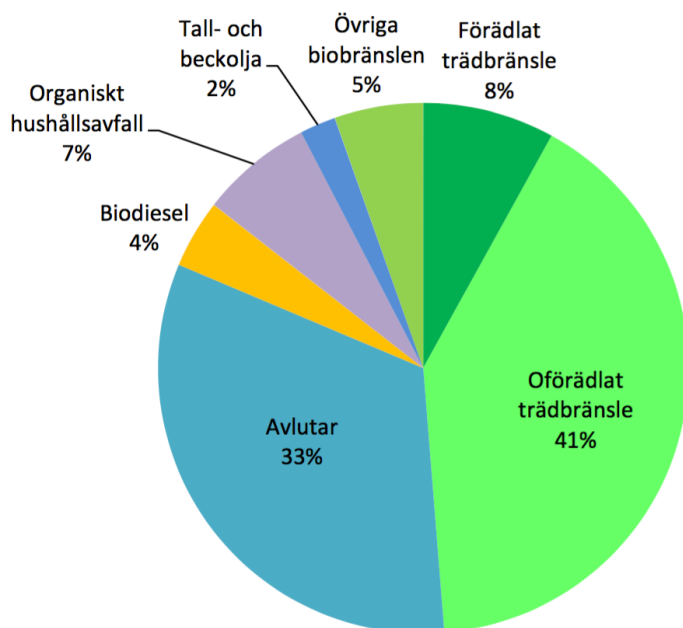
² Beräknad utifrån ett lägre värmevärde om 4,9 MWh per ton torrsbstans (TS) respektive 2,15 MWh per m³sk.

De allra största användarna av skogsbränsle är skogsindustrin (massa- och pappersbruk och sågverk), fjärr- och kraftvärmeverk samt småhussektorn. Den totala biobränsle-användningen uppgick år 2013 till ca 130 TWh, se Figur 2 (Energimyndigheten, 2015). Användningen inom industrin uppgick till 55 TWh, varav massaindustrins returlutar (till övervägande del svartlut) stod för 43 TWh (se Figur 3). Användningen av tall- och beckolja uppgick till ca 2,5 TWh. Användningen av biobränslen för fjärrvärme uppgick till ca 37 TWh, för elproduktion (via kraftvärme i skogsindustri och fjärrvärmeverk) till ca 14

TWh samt för uppvärmning av småhus och lokaler till ca 14 TWh år 2013 (Energimyndigheten, 2015). Av den totala bibränsleanvändningen 2013 utgjorde skogsbaserade bränslen cirka 85 % (cirka 110 TWh per år) medan resterande del fördelar sig relativt lika mellan avfallsbränslen (knappt 10 TWh per år) och jordbruksbaserade bränslen (drygt 10 TWh per år), se Figur 3 (Energimyndigheten, 2015).



Figur 2. Användning av bibränslen per sektor 1983-2013, TWh per år (Energimyndigheten, 2015).



Figur 3. Användning av biobränslen per bränslekategori (i %) 2013 (Energimyndigheten, 2015). Av dagens totala biobränsleanvändning utgörs cirka 85 % av skogsbaserade bränslen medan resterande del fördelar sig relativt lika mellan avfallsbränslen och jordbruksbaserade bränslen.

När det gäller kategorin *oförädlade trädbränslen* som utgjorde drygt 40 % av biobränsletillförsel 2013 (se Figur 3), motsvarande cirka 53 TWh, så inkluderar denna ett flertal olika typer av sönderdelade fasta skogsbränslen. Den största andelen utgjordes av rundved, cirka 16 TWh, följt av fasta biprodukter, cirka 14 TWh, grot, cirka 10 TWh, bark och vedrester, cirka 10 TWh, röjningsvirke, drygt 2 TWh samt avslutningsvis stubbar, cirka 0,3 TWh (Skogsstyrelsen, 2015c). I volymtermer motsvarar 16 TWh rundved ungefär 7 miljoner m³sk, som i sin tur motsvarar ungefär 8 % av dagens totala rundvedsavverkning. Ungefär 9 TWh, eller 4 miljoner m³sk, utgörs av brännved med resterande 7 TWh, 3 miljoner m³sk, utgörs av stamvedsflis. I Figur 4 redovisas hur uttaget av olika kategorier sönderdelade fasta skogsbränslen fördelar sig mellan olika regioner i Sverige (Skogsstyrelsen, 2015c). Som framgår av Figur 4 sker huvuddelen av grotuttaget i Götaland, drygt 55 %, följt av Svealand, drygt 30 %, och till sist Norrland, knappt 15 %. Uttaget av brännved och röjningsvirke är också högst i Götaland.

Bränslekategori		Ursprunglig råvara	Råvarans geografiska ursprung					Hela landet	Importerad råvara
			Götaland	Svealand	Norrland	Okänd landsdel			
Kross och flis	Stamvedsflis	Rundved	2,4	2,1	2,1	0,3	6,9	0,0	
Kross och flis	Grotflis	Grenar och toppar	5,9	3,3	1,4	0,0	10,6	..	
Kross och flis	Träddelsflis	Röjningsvirke och hela okvistade träd	1,1	0,6	0,6	0,0	2,3	..	
Kross och flis	Stubbflis	Stubbar	0,1	0,1	0,1	0,0	0,3	..	
Brännved	Brännved	Rundved	4,3	3,1	1,7	0,0	9,1	..	
Kross och flis	Kross och flis	Park- och trädgårdsrester				0,4		0,0	
Bark och reducerflis	Riven och oriven bark	Rundved				9,3		0,4	
Sågspån och hyvelspån	Sågspån och hyvelspån	Rundved och sågade trävaror				10,0		0,1	
	Torrflis	Övriga biprodukter från industri				3,7		0,0	

Figur 4. Produktion av sönderdelade oförädlade skogsbränslen 2013 fördelat per bränslekategori, råvarukategori och råvarans ursprung, TWh (Skogsstyrelsen, 2015c).

Framtidsscenarier

Skogsstyrelsen uppdaterar regelbundet långtidsanalyser av hur den svenska skogen förväntas utvecklas i fråga om tillväxt, möjliga uttagsnivåer osv, i så kallade skogliga konsekvensanalyser (SKA). Förutom analyser av virkesbalanser beräknas också potentialen för skogsbränslen som grot och stubbar utifrån olika restriktioner och geografiska områden. Skogsstyrelsen har under 2015 publicerat en ny version av skogliga konsekvensanalyser (SKA, 2015) där olika framtidsscenarier beskrivs. Tidsperspektivet är 100 år, dvs från 2010 till 2109. Scenarierna är utformade utifrån nuvarande skogsvård och markanvändning som utgör Scenario 1, *Dagens skogsbruk*. I detta bas-scenario antas den globala medeltemperaturen öka med 2 grader vilket i sin tur ger en ökad skogstillväxt om 21 % efter 100 år. Övriga scenarier speglar alternativa utvecklingar där någon eller några förutsättningar förändras relativt Scenario 1.

Övriga fem scenarier i SKA-15 är: Scenario 2, *Dagens skogsbruk – avverkning 90 procent av nettotillväxten*; Scenario 3, *Dagens skogsbruk – avverkning 110 procent av nettotillväxten*; Scenario 4, *Dubbla naturvårdsarealer* (med fokus på avsättning av produktiv skogsmark med högst biologisk mångfald och jämnt fördelat mellan alla beräkningsområden); Scenario 5, *Utan klimatförändring* (ingen ökad tillväxt pga förändrat klimat); samt Scenario 6 *Klimatförändring RCP8,5* (utsläppen av växthusgaser ökar som idag, dvs business-as-usual med högre global medeltemperatur som följd).

I Tabell 2 sammanfattas resultatet i form av årlig avverkningsnivå för de olika scenarierna. I *Dagens skogsbruk* motsvarar avverkningsnivån ungefär tillväxtnivån och det som driver tillväxtökningen är framför allt klimatförändringarna. 90 procent avverkning speglar den historiska avverkningen som ofta legat på denna nivå, d v s den historiska tillväxtökningen har framför allt drivits av ett ökat virkesförråd. Avverkningsnivån i *Dagens skogsbruk* uppskattas öka med ca 15 och 30 miljoner m³sk per år i ett 50- respektive 100-årsperspektiv. I energitermer motsvarar detta ca 32 respektive 65 TWh per år. I 110 procent avverkning bedöms avverkningsnivån öka i ungefär samma storleksordning som i *Dagens skogsbruk* i både ett 50- och 100-årsperspektiv, medan nivån är ca 7-8 miljoner m³sk per år lägre i båda tidsperspektiven i 90 procent avverkning. I *Dubbla naturvårdsarealer* minskar avverkningsnivån med ungefär 20 miljoner m³sk per år i båda tidsperspektiven jämfört med *Dagens skogsbruk*. I *Utan klimatförändringar* förblir avverkningsnivån ungefär konstant i ett 100-årsperspektiv och samma som idag i *Dagens skogsbruk*. Med ökade klimatförändringar, *Klimatförändringar RCP8,5*, ökar avverkningsnivån med ca 30 och över 50 miljoner m³sk per år i ett 50- respektive 100-årsperspektiv. Detta motsvarar ca 65 respektive 120 TWh per år i energitermer.

Sammanfattningsvis kan uttaget av rundved komma att öka med motsvarande cirka 30 TWh per år till 2050 (vilket motsvarar 15 % ökning) med antagandet att scenario *Dagens skogsbruk* ungefär kommer att motsvarar den faktiska utvecklingen. I detta scenario är dock utgångsläget att dagens uttag av rundved motsvarar tillväxten vilket inte är fallet då uttaget är cirka 90 % av tillväxten. Om vi lägger till denna differens blir det potentiella ökade uttaget av rundved i stället cirka 50 TWh per år 2050. Om denna ökade mängd biomassa används inom skogsindustrin som idag för ”traditionell” produktion kommer cirka hälften av biomassan att bli restprodukter som kan användas för energiändamål, d v s motsvarande cirka 25 TWh per år. En stor del av denna kan komma att behövas internt för att tillgodose det ökade energibehovet till följd av den ökade industriproduktionen, men om skogsindustrin fortsätter att energieffektivisera likt den gjort under senare år kan en betydande andel bli tillgänglig för extern energianvändning. En generellt ökad produktion av träbaserade produkter, i kombination med en kontinuerlig energieffektivisering inom skogsindustrin, innebär således en ökad mängd biomassa för t ex externa energiändamål. Dessutom innebär ökade avverkningsnivåer att mängden hyggesrester ökar och därmed energipotentialen från denna biomassaresurs (se Tabell 3). I förlängningen innebär en ökad produktion av skogsprodukter också att potentialen avfall från dessa produkter ökar när dessa är uttjänta, men denna ”indirekta” potential analyseras inte vidare inom denna studie.

Ett ytterligare sätt att öka skogstillväxten är genom så kallad behovsanpassad gödsling (BAG). I SKA-15 finns inte detta alternativ med vilket det gjorde i SKA-08. En bedömning i SKA-08 var att BAG skulle vara möjlig på cirka 5 % av nuvarande skogsareal vilket motsvarar 1,1 miljoner hektar. Denna areal återfinns framför allt i Svealand och södra Norrland. Detta bedöms ge en ökad potentiell avverkning om cirka 10 miljoner m³sk inom en 50-årsperiod, vilket motsvarar drygt 20 TWh per år (SKA, 2008). Samtidigt skulle detta innebära en ökad potential av hyggesrester med cirka 2-4 TWh per år till 2050 (Börjesson m fl, 2013).

Andelen rundved som idag används direkt för energiändamål via flisning, d v s exklusive brännved för enskilda bostäder, utgör cirka 4 % av dagens rundvedsavverkning (Skogsstyrelsen, 2015c). Denna rundved är oftast skadad och av låg kvalitet och är därför mindre lämplig att användas som råvara inom skogsindustrin. Andelen rundved för direkt energianvändning uppskattas här öka i minst motsvarande grad som den totala årliga avverkningen ökar och kanske något mer p g a av ökad risk för skogsskador genom klimatförändringarna. Uttaget av brännved för uppvärmning av enskilda bostäder bedöms förbli konstant de kommande decennierna (se avsnitt 3.2.1).

Rundved av hög kvalitet antas i basfallet inte användas direkt för energiändamål i framtiden. Anledningen till detta är att den globala efterfrågan på rundved bedöms överstiga den globala produktionspotentialen i framtiden, d v s rundved bedöms även fortsättningsvis att prioriteras som råvara inom skogsindustrin och inte primärt som energiråvara (se vidare avsnitt 3.1). Dock kan skogsindustrier succesivt komma att utvecklas alltmer mot bioraffinaderier där fler högvärdiga produkter, inklusive biodrivmedel och baskemikalier, kommer att samproduceras med traditionella skogsprodukter. Detta innebär att en ökad andel rundved kan indirekt komma att användas för andra ändamål än traditionella skogsprodukter i framtiden.

Av den ökade tillförseln av rundved till 2050 enligt SKA-15, *Dagens skogsbruk*, antas här i basfallet att cirka 7 % utnyttjas direkt för energiändamål via flisning p g a att denna rundved är av sämre kvalitet genom skador mm. I energitermer motsvarar detta cirka 2 TWh per år. För att illustrera hur en utveckling av skogsindustrin mot allt mer bioraffinaderikoncept kan påverka användningen av rundved för produktion av högvärdiga energibärare, baskemikalier och produkter, antas här att upp till cirka en tredjedel av den *ökade* rundvedsproduktionen (om cirka 15 miljoner m³sk per år) går till produktion av nya högvärdiga produkter. I energitermer motsvarar detta cirka 10 TWh per år och inkluderas som ett osäkerhetsintervall i kommande summeringar. Dessa två nivåer, d v s 7 % respektive 35 % av den *ökade* rundvedsavverkningen, motsvarar cirka 1% respektive 5 % av den *totala* årliga rundvedsavverkningen i scenario *Dagens skogsbruk*.

Tabell 2. Årlig bruttoavverkning (miljoner m³sk/år) för respektive scenario i SKA-15¹

Tidsperiod	Scenario					
	Dagens skogsbruk	90 % avverkning	110 % avverkning	Dubbla naturvårds-arealer	Utan klimatförändring	Klimatförändring RCP8,5
2010-2019	91	82	99	78	88	93
<i>Förändring - jmf Dagens skogsbruk</i>	-	-9	+8	-13	-3	+2
2050-2059	106	98	108	88	91	120
<i>Förändring - 50 år jmf Dagens skogsbr.</i>	+15	+7	+17	-3	0	+29
2100-2109	120	113	117	98	90	145
<i>Förändring - 100 år jmf Dagens skogsbr.</i>	+29	+22	+26	+7	-1	+54

¹SKA (2015).

Skogsbränsle

I Tabell 3 redovisas potentialen för grot och stubbar utifrån två olika nivåer, ”teoretisk potential” respektive ”ekologisk potential” avseende scenario *Dagens skogsbruk*. Teoretisk potential för grot innebär allt som faller ut som en direkt följd av den avverkning som inkluderas i scenariot, fördelat på föryngringsavverkning och gallring. Teoretisk potential för stubbar inkluderar enbart föryngringsavverkning. Ekologisk potential inkluderar de restriktioner som ligger i Skogsstyrelsens rekommendationer för grot-uttag respektive stubbskörd (se Bilaga 2 och 3 i SKA, 2015). För grotuttag beaktas bl a begränsningar i form av inget uttag i skogar med höga naturvärden, i skyddszoner, i sumpskogar eller på fuktiga marker med risk för körskador samt att minst 20 % av avverkningsresterna lämnas kvar för att värna om den biologiska mångfalden. För stubbskörd beaktas liknande ekologiska begränsningar som för grotuttag. Dessutom beaktas fornlämningar och kulturmiljöer samt rekreation och friluftsliv (sociala värden). Dock gäller dessa restriktioner bara en begränsad stubbskörsareal tills mer tillförlitliga forskningsresultat tagits fram avseende de ekologiska konsekvenserna av en storskalig stubbskörd.

Tabell 3. Skogsbränslepotential (TWh/år) för scenario "Dagens skogsbruk" i SKA-15¹

Bränslefraktion	Tidsperspektiv / potential					
	2010-2019		2050-2059		2100-2109	
	Teoretisk	Ekologisk	Teoretisk	Ekologisk	Teoretisk	Ekologisk
Grot – föryngrings- avverkning	38	28	42	32	56	41
Grot - gallring	20	15	26	20	30	23
<i>S:a</i>	58	43	68	52	86	64
Stubbar – föryngrings- avverkning	49	29	51	30	61	34
<i>Totalt – grot & stubbar</i>	<i>107</i>	<i>72</i>	<i>119</i>	<i>82</i>	<i>147</i>	<i>98</i>

¹ SKA (2015).

Den teoretiska potentialen grot och stubbar beräknas till drygt 100 TWh idag och ökar till cirka 120 respektive 150 TWh om femtio och hundra år. När ekologiska restriktioner inkluderas reduceras potentialen med ungefär en tredjedel och uppgår till cirka 70 TWh idag, drygt 80 TWh om cirka 50 år respektive cirka 100 TWh om hundra år. Den ekologiska potentialen grot från föryngringsavverkning uppgår till cirka 28 TWh idag och ökar till drygt 30 TWh om femtio år respektive cirka 40 TWh om hundra år. Förändringar i skogsbränslepotential mellan de sex olika scenarierna som inkluderas i SKA-15 motsvarar ungefär de förändringar som beräknas för avverkningsnivåer för rundved och som redovisas i Tabell 2.

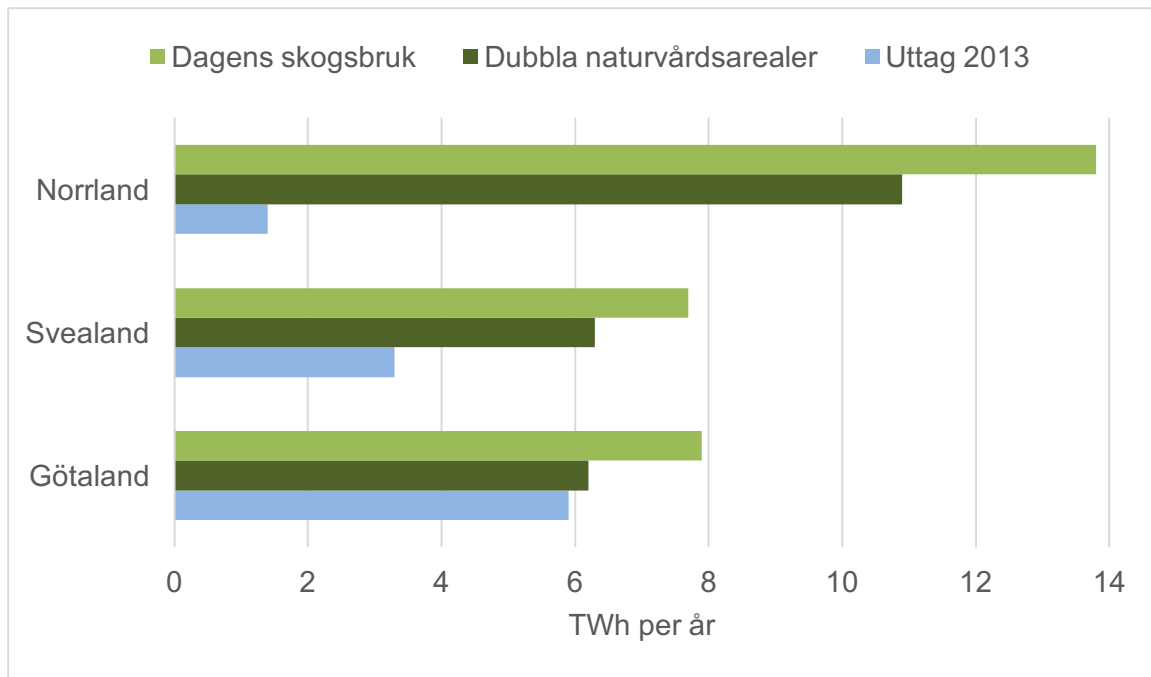
Med *Dubbla naturvårdsarealer* minskar potentialen skogsbränsle med i genomsnitt cirka 20 % både idag och ur ett femtio- respektive hundraårsperspektiv, jämfört med Scenario 1, *Dagens skogsbruk* (Tabell 4). I Scenario 1, *Dagens skogsbruk*, uppgår naturvårdsarealen till 16,4 % fördelat på reservat (3,6 %), frivillig avsättning (5,8 %) respektive hänsynsytor (7,0 %). Av den totala produktiva skogsmarksarealen om 23 miljoner hektar utgör således 19,2 miljoner hektar virkesproduktionsmark och 3,8 miljoner hektar naturvårdsareal i Scenario 1. I Scenario *Dubbla naturvårdsarealer* minskar arealen virkesproduktionsmark till cirka 15,5 miljoner hektar (motsvarande drygt 67 % av den produktiva skogsmarken) samtidigt som naturvårdsarealen ökar till cirka 7,6 miljoner hektar (motsvarande knappt 33 % av den produktiva skogsmarken). Den ekologiska potentialen grot från föryngringsavverkning bedöms således i Scenario *Dubbla naturvårdsarealer* uppgå till cirka 22 TWh idag och öka till cirka 26 respektive 33 TWh om femtio respektive hundra år, samtidigt som ungefär en tredjedel av den produktiva skogsmarksarealen utgörs av naturvårdsareal.

Tabell 4. Skogsbränslepotential (TWh/år) för scenario ”Dubbla naturvårdsarealer” i SKA-15¹

Bränslefraktion	Tidsperspektiv / potential					
	2010-2019		2050-2059		2100-2109	
	Teoretisk	Ekologisk	Teoretisk	Ekologisk	Teoretisk	Ekologisk
Grot – föryngrings- avverkning	31	22	34	26	45	33
Grot - gallring	17	12	22	17	23	18
<i>S:a</i>	48	34	56	43	68	51
Stubbar – föryngrings- avverkning	39	23	40	24	48	28
<i>Totalt – grot & stubbar</i>	87	57	96	67	116	79

¹SKA (2015).

I Figur 5 visas den regionala fördelningen av skogsbränslepotentialen avseende grot från föryngringsavverkning enligt beräkningarna i SKA 15 för perioden 2020-2029 och för scenario *Dagens skogsbruk* respektive *Dubbla naturvårdsarealer*. Som jämförelse inkluderas också skogsbränsleuttaget 2013 (Skogsstyrelsen, 2015c). Som framgår av Figur 5 finns den största potentialen i Norrland, knappt 50 %, medan den övriga potentialen fördelar sig relativt jämnt mellan Svealand och Götaland, drygt 25 % vardera. I jämförelse med uttaget 2013 finns den största ökningspotentialen för grotuttag också i Norrland, drygt 12 TWh per år avseende scenario *Dagens skogsbruk*. Motsvarande ökningspotential för Svealand och Götaland är drygt 4 TWh respektive 2 TWh per år. I scenario *Dubbla naturvårdsarealer* är potentialen för ökat uttag i Götaland marginell, medan den är cirka 3 TWh per år i Svealand respektive drygt 9 TWh i Norrland.



Figur 5. Regional fördelning av grot-potential från föryngringsavverkning enligt SKA 15 avseende perioden 2020-2029 och för scenario Dagens skogsbruk respektive Dubbla naturvårdsarealer, samt skogsbränsleuttaget 2013, TWh per år (Skogsstyrelsen, 2015c).

I föregående version av skogliga konsekvensanalyser, SKA-08, inkluderas fler restriktioner vid beräkningarna av skogsbränslepotentialer (SKA, 2008). Förutom ekologiska restriktioner beaktades också tekno-ekonomiska restriktioner och resultaten presenterades i tre olika nivåer där nivå 1, 2 och 3 avsåg teoretisk, ekologisk respektive ekologisk-teknisk-ekonomisk potential. Reduktionen i biobränslepotential mellan teoretisk och ekologisk var i samma storleksordning som den i SKA-15, d v s motsvarande ungefär en tredjedel. Reduktionen mellan teoretisk och ekologisk-teknisk-ekonomisk potential uppgick i SKA-08 till lite drygt 50 % för grot medan den var större för stubbar, cirka två tredjedelar (SKA, 2008). Om man antar att motsvarande reduktionsnivåer skulle gälla även idag blir potentialen grot och stubbar cirka 44 TWh per år idag i scenario *Dagens skogsbruk*, vilket är en minskning med cirka 40 % jämfört med när enbart ekologiska restriktioner inkluderas enligt SKA-15 (se Tabell 3).

Förutom grot- och stubbskörd bedöms en del klen rundved vid röjning vara möjlig att ta ut för energiändamål. Enligt SKA-15 uppgår den årliga bruttoavverkningen vid röjning i Dagens skogsbruk till cirka 5, 7 och 8 TWh idag, om femtio år respektive om hundra år (SKA, 2015). I SKA-08 uppskattades det möjliga biomassauttaget från röjningar motsvara drygt 2 TWh per år (SKA, 2008), vilket bedöms vara en möjlig nivå även idag med en ökning till cirka 3 och 4 TWh i ett femtio- respektive hundraårsperspektiv baserat på den ökade bruttoavverkningen i röjningar enligt SKA-15. Teknikutveckling sker kontinuerligt när det gäller uttag av klen rundved i sena röjningar vilket leder till succesivt lägre uttagskostnader.

Idag är skörd av stubbar för energiändamål en relativt marginell företeelse (se Tabell 1) men Tabell 3 indikerar att potentialen är stor, mellan 30 till 50 TWh idag med dagens skogsbruk

beroende på restriktionsnivå. I en annan studie av Egnell och Börjesson (2012) uppskattas den teoretiska potentialen stubbar i föryngringsavverkning och gallring uppgå till cirka 67 TWh per år. Stubbskörd i gallring kan dock vara direkt olämpligt då detta kan leda till negativa konsekvenser som rotskador mm, samtidigt som det dyrt att skörda klena stubbar. Med dessa restriktioner bedöms potentialen minska till cirka 45 TWh per år. Av ekologiska skäl bör man bara ta ut stubbar i bestånd som domineras av barrträd (mer än 60 %) vilket reducerar potentialen till cirka 40 TWh. En viktig faktor är markförhållande som lutning, bärighet o s v (tekniska restriktioner), vilket gör att en ganska stor skogsareal inte är lämplig för stubbskörd vilket reducerar potentialen ytterligare till cirka 28 TWh. Till sist bör stubbarna hålla en viss diameterstorlek även vid skörd efter föryngringsavverkning (av kostnadsskäl) samtidigt som stubbar bör lämnas utmed vägar, vattendrag o s v för att stabilisera marken och undvika ökad erosion mm. Beaktat alla dessa olika restriktioner bedöms därför den realiserbara potentialen uppgå till cirka 19 TWh per år (Egnell och Börjesson, 2012). Denna potential är cirka två tredjedelar av den som presenteras i Tabell 3 avseende dagens potential med ekologiska restriktioner.

Som anges i Tabell 1 uppskattas dagens grot-uttag från föryngringsavverkning och gallring uppgå till mellan 6-10 TWh per år, vilket kan jämföras med den uppskattade potentialen om drygt 40 TWh i Tabell 3 avseende dagens potential med ekologiska restriktioner. Denna jämförelse indikerar ett möjligt ökat uttag om 33-36 TWh per år. När det gäller grot-uttag i gallringar kan det dock finnas ytterligare begränsande faktorer, t ex risk för ökade körskador om risning av stickvägar minskar vilket kan leda till rotskador (Skogsstyrelsen, 2011). Osäkerheten i den realiserbara potentialen i gallringar kan därför vara något större än den realiserbara potentialen i föryngringsavverkningar.

De ekologiska restriktioner som inkluderas i SKA-15 avseende biobränsleuttag utgår från dagens rekommendationer från Skogsstyrelsens. När det gäller Skogsstyrelsens rekommendationerna för stubbuttag gäller dock dessa endast upp till en begränsad uttagsnivå, d v s vid ett storskaligt uttag av stubbar krävs reviderade rekommendationer från Skogsstyrelsen (Eriksson, 2016). Ett kraftigt ökat uttag av stubbar bedöms framför allt få en negativ påverkan på biologisk mångfald då stubbar utgör ett viktigt substrat för många arter i form av grov död ved på landskapsnivå. Forskning kring ekologiska konsekvenser av ett ökat uttag av skogsbränsle, inklusive stubbar, har pågått under lång tid i Sverige, bl a inom Energimyndighetens forskningsprogram ”Uthållig tillförsel och förädling av biobränsle”. I en syntesrapport av de Jong m fl (2012) sammanfattas kunskapsläget och där bedömningar görs över hur stort skogsbränsleuttag som är möjligt utan att komma i alvarliga konflikter med andra miljö kvalitetsmål som t ex *Levande skogar*, *Bara naturlig försurning*, *Ingen övergödning* och *Gifrfri miljö*. I Figur 6 sammanfattas en bedömning över hur grot- och stubbuttag påverkar olika miljömål beroende på hur stora andel som tas ut på bestånds- respektive landskapsnivå. Utifrån Figur 6 bedöms ett uttagsalternativ som motsvarar ett grot-uttag på 60 % på beståndsnivå och 60 % på landskapsnivå respektive ett stubb-uttag som motsvarar 80 % på beståndsnivå och 10 % på landskapsnivå som långsiktigt hållbart. I energitermer motsvarar detta cirka 24 TWh biomassa varav cirka 4 TWh utgör stubbar. Denna potential är således betydligt lägre än den som anges i SKA-15 avseende ekologiska

restriktioner (cirka en tredjedel) och den största skillnaden är en betydligt lägre potential för stubbar (cirka en sjundedel) medan potentialen för grot är cirka halverad (se Figur 7).

Bedömningarna i syntesrapporten av de Jong m fl (2012) bygger på förutsättningarna att aska av god kvalitet återförs för att kompensera för näringsbortförsel, att huvudsakligen grot och stubbar från barrträd skördas samt att skogsbrukets generella miljöhänsyn uppfylls. När det gäller miljö kvalitetsmålet *Levande skogar* bedöms ett grot- och stubb-uttag på en andel av landskapet motsvarande 80 % respektive över 10 % medföra en risk för negativ påverkan. För att möjliggöra ett ökat uttag krävs kompensationsåtgärder av olika slag. Miljö kvalitetsmålet *Bara naturlig försurning* påverkas mer av grot-uttag än stubbskörd och där ett grot-uttag på beståndsnivå motsvarande 60 % är möjlig utan negativ påverkan tack vare att en tillräcklig mängd aska kan återföras. En anledning till att inte mer grot kan tas ut är att mängden aska som kan återföras är begränsad. Ett ytterligare ökat grot-uttag kräver således kompletterande kalkningsinsatser mm om inte mängden återföringsbar aska ökar. När det gäller miljömålet *Ingen övergödning* bedöms både grot- och stubbuttag ha en begränsad påverkan medan en ökad stubbskörd kan påverka miljömålet *Giffri miljö* negativt p g a ökad risk för bildning och transport av metylkvicksilver till vatten. Om uttaget av skogsbränsle ökar till 40-45 TWh per år, d v s motsvarande grot-potentialen med ekologiska begränsningar enligt SKA-15 (Tabell 3), bedöms negativa effekter fås på framför allt biologisk mångfald och försurning enligt de Jong m fl (2012). Alla uttagsalternativ bedöms dock ge signifikanta klimatvinster när fossila bränslen ersätts, d v s positiva effekter på miljömålet *Begränsad klimatpåverkan*.

	Uttagsalternativ, Andel (%)				Levande skogar ⊗	Försurning ⊗	Övergödning ⊗	Giffri miljö ⊗	Klimat ⊗	
	Beståndsnivå		Landskapsnivå						kort sikt	Lång sikt
	Grot	Stubbar	Grot	Stubbar						
Stubb och grot	80	80	80	40	↓	↘	→	↘	↗	↗
	60	80	40	40	↓	→	→	↘	↗	↗
	80	80	80	20	↘	↘	→	↘	↗	↗
	60	80	40	20	↘	→	→	↘	↗	↗
	80	40	80	40	↘	↘	→	↘	↑	↑
	60	40	40	40	↘	→	→	↘	↑	↑
	80	80	80	10	↘	↘	→	→	↑	↑
	60	80	60	10	→	→	→	→	↑	↑
	60	80	40	10	→	→	→	→	↑	↑
	80	40	80	20	↘	↘	→	→	↑	↑
	60	40	40	20	→	→	→	→	↑	↑
	80	40	80	10	↘	↘	→	→	↑	↑
	60	40	40	10	→	→	→	→	↑	↑
	grot	80	0	60	0	→	↘	→	→	↑
80		0	40	0	→	→	→	→	↑	↑
60		0	80	0	↘	↘	→	→	↑	↑
60		0	60	0	→	→	→	→	↑	↑
60		0	40	0	→	→	→	→	↑	↑
Uttag i dag	60	40	40	2						

Figur 6. Olika uttagsalternativ för skogsbränsle och dess påverkan på måluppfyllelsen av miljö kvalitetsmålen (de Jong m fl, 2012).

I en uppdaterad syntesstudie av de Jong m fl görs uppföljande analyser baserat på de senaste forskningsresultaten avseende hur stort uttag av olika skogsbränslefraktioner som är möjligt utifrån ett landskapsperspektiv utan att försämra möjligheterna att nå olika miljömål. De miljömål som beaktas är de samma som i syntesrapporten från 2012. Preliminära resultat från denna uppdaterade syntes är att det långsiktigt uthålliga att uttaget av skogsbränslen är något större jämfört med den tidigare bedömningen i syntesrapporten från 2012 (de Jong, 2016). Den nya syntesrapporten kommer att publiceras under sommaren 2016. En jämförelse mellan uppskattade skogsbränslepotentialer i SKA 15 respektive i de Jong m fl (2012) illustreras i Figur 7.



Figur 7. Jämförelse mellan uppskattad total skogsbränslepotential (d v s inklusive dagens uttag) i SKA 15, scenario Dagens skogsbruk, och av de Jong m fl (2012), för tidsperspektiven idag respektive 2050.

Ett av de mest kritiska miljömålen vid ökat uttag av skogsbränslen är således *Levande skogar*, d v s bevarandet av biologisk mångfald. Ett sätt att kunna öka uttaget av skogsbränslen på produktiv skogsmark utan att minska möjligheterna för att miljömålet *Levande skogar* ska nås är genom olika slags kompensationsåtgärder (de Jong m fl, 2012). Dessa kan bl a inkludera en ökad andel naturvårdsarealer, t ex ökad areal hänsynsytor och frivilliga avsättningar med en stor andel grov död ved etc. En kompletterande åtgärd är att införa nya styrmekanismer på landskapsnivå där ökat uttag sker i områden med liten risk för miljömålskonflikter och som har lägre bevarandevärden. För att kunna göra detta i praktiken, och därigenom förbättrade avvägningar mellan klimatnytta och påverkan på biodiversitet vid skogsbränsleuttag, krävs tillförlitlig data på lokal och regional nivå när det gäller förekomst av värdefulla biotoper mm (Björkman & Börjesson, 2014). Sammanfattningsvis kan ökade kompensationsåtgärder och

nya styrmekanismer på landskapsnivå innebära att uttaget av skogsbränslen kan öka utöver de nivåer som bedöms vara långsiktigt uthålliga enligt de Jong m fl (2012) och utifrån dagens förutsättningar.

I scenario *Dubbla naturvårdsarealer* i SKA 15 bedöms den ekologiska potentialen för grot-uttag uppgå till cirka 34 TWh per år idag och potentialen stubbar till cirka 23 TWh, d v s totalt cirka 57 TWh per år (se Tabell 4). Denna potential är således drygt dubbel så stor som den ekologiskt uthålliga skogsbränslepotentialen enligt de Jong m fl (2012) utifrån dagens skogsproduktionsmetoder. Om man med ökad andel naturvårdsarealer kan minska begränsningar för skogsbränsleuttag avseende biologisk mångfald på landskapsnivå, enligt Figur 2 och de Jong m fl (2012), skulle det ekologiskt uthålliga uttaget av skogsbränsle kunna öka och kanske uppgå till cirka 35 TWh per år. Detta motsvarar en nettoökning om knappt 30 TWh per år jämfört med idag. Å andra sidan innebär dubbla naturvårdsarealer att uttaget av rundved för industriändmål minskar med cirka 13 miljoner m³sk per år, jämfört med dagens skogsproduktionsmetoder. Detta motsvarar cirka 28 TWh per år, d v s nästan en tre gånger större mängd i energitermer än det potentiellt ökade uttaget av skogsbränslen som skulle kunna fås vid dubbla naturvårdsarealer enligt uppskattningen ovan.

När det gäller de ekonomiska förutsättningarna för ett ökat skogsbränsleuttag är kostnaderna normalt högre för stubbskörd än för grot-uttag vid föryngringsavverkning. Detta indikerar att de ekonomiska begränsningarna är något större för potentialen stubbar jämfört med potentialen grot vid föryngringsavverkning. Detsamma gäller för potentialen grot vid gallring samt uttag av klen rundved vid röjning. Priset för skogsbränslen har gått ner från cirka 214 kr/MWh 2011 till cirka 192 kr/MWh idag (Energimyndigheten, 2015), vilket lett till ett minskat uttag av grot (se avsnitt *Dagens biomassaproduktion* ovan). En orsak till detta är ökad konkurrens från importerade avfallsbränslen, d v s framtida ekonomiska begränsningarna för potentialen av olika skogsbränslefraktioner kommer att påverkas av hur importen av andra biobränslen och avfallsbränslen kommer att utvecklas. En annan faktor som begränsar ett ökat uttag av skogsbränslen i form av stubbar är att miljöcertifieringssystemet FSC (Forest Stewardship Council) inte tillåter stubbskörd idag på den skogsmark som är FCS-certifierad. Cirka hälften av svensk skogsmark är certifierad enligt FSC idag.

En sammanfattande bedömning utifrån de potentialuppskattningar som beskrivs ovan är att potentialen för *ökat* skogsbränsleuttag i form av grot uppgår till cirka 18-25 TWh per år idag, med ett osäkerhetsintervall mellan 15 och 30 TWh per år. Potentialen för ökat uttag av stubbar bedöms uppgå till 4-6 TWh per år, med ett osäkerhetsintervall mellan 3-10 TWh per år. Dessa potentialer inkluderar tekno-ekonomiska och ekologiska begränsningar. Potentialen bedöms kunna öka med cirka 15 % till 2050, d v s motsvarande 21-28 TWh per år för grot, med ett osäkerhetsintervall om 17-35 TWh per år, respektive motsvarande 5-7 TWh per år för stubbar, med ett osäkerhetsintervall om 4-12 TWh per år. Potentialen för *ökad* skörd av klen rundved vid röjningar uppskattas till cirka 2 TWh per år idag respektive cirka 3 TWh per år kring 2050. Om behovsanpassad gödsling tillämpas på cirka 5 % av den produktiva skogsmarken kan ytterligare 2-4 TWh grot inkluderas i potentialen kring 2050.

Biprodukter inom skogsindustrin

Idag används skogsindustrins biprodukter i princip fullt ut för energiändamål, huvudsakligen internt inom skogsindustrin. En restprodukt som potentiellt kan utnyttjas för allt mer högvärdiga energibärare är svartlut som generas vid massatillverkning och som uppgår till motsvarande drygt 40 TWh per år idag (se ovan). Idag används svartlut för att generera el och processvärme vid massabruken men via nya tekniker som termisk förgasning kan svartlut också kunna användas för t ex produktion av biodrivmedel och kemikalier (se t ex Börjesson m fl, 2013). En annan möjlighet är att separera ut lignin från svartluten som i sin tur kan användas som råvara för högvärdiga produkter och/eller energibärare i form av t ex pyrolysolja som kan raffineras till biodrivmedel som HVO (hydrerade vegetabiliska oljor). En ökad användning av svartlut för drivmedels- och/eller kemikalieproduktion måste dock normalt ersättas med andra mer lågvärdiga biobränslen, t ex grot, för att kompensera energibortfallet från massabruket och för att generera den processenergi som krävs. Detta innebär således att en ökad användning av svartlut för produktion av t ex externa energibärare inte direkt ökar biomassapotentialen utan medför en omfördelning av restprodukter för energiändamål inom skogsindustrin.

En succesiv effektivisering sker dock inom skogsindustrin vilket leder till energiöverskott, t ex i form av svartlut, som i sin tur möjliggör ökad ”nettoexport” av t ex el och andra högvärdiga energibärare eller produkter. Denna effektivisering bedöms fortgå vilket succesivt leder till ett ökat nettoöverskott av skogsindustrins biprodukter. Som beskrivs ovan visar scenarierna i SKA 15 att rundvedsuttaget kan potentiellt öka med motsvarande 30-50 TWh per år kring 2050 jämfört med idag, beroende av vilken uttagsnivå som antas. När denna rundved utnyttjas inom skogsindustrin blir cirka hälften biprodukter och tillgängliga för energiändamål, d v s cirka 15-25 TWh per år. En grov uppskattning är här att cirka en tredjedel av dessa biprodukter kan bli tillgängliga för extern energianvändning tack vare den energieffektivisering som antas fortgå inom svensk skogsindustri. Detta potentiella nettoöverskott av biprodukter inom skogsindustrin kring 2050 antas således motsvara cirka 5-10 TWh per år.

En annan biprodukt inom massaindustrin är bioslam från rening av processvatten. I svensk kemisk massaindustri produceras årligen cirka 560 000 ton slam (torrsubstans) som idag oftast eldas i någon av brukets pannor. Det potentiella energiinnehållet i det producerade slammet uppgår till drygt 2 TWh per år men eftersom det innehåller relativt höga halter av organiska ämnen kan slammet vara en mer lämplig råvara för rötning och biogasframställning (Berg et al, 2011). Rötning av slam i stället för förbränningen medför dock ingen ökad nettotillförsel av energi.

Sammanfattande potential av skogsbaserad biomassa

I Tabell 5 sammanfattas potentialuppskattningarna som redovisats ovan avseende skogsbaserad biomassa under olika tidsperioder. Potentialerna avser *ökad* tillförsel jämfört med dagens uttag och användning. Den sammanlagda potentialen för ett uthålligt ökat uttag av skogsbränslen uppskattas idag till i genomsnitt cirka 25-30 TWh per år, med ett osäkerhetsintervall mellan cirka 20-40 TWh per år. Potentialen bedöms kunna öka till i genomsnitt cirka 35-50 TWh per år till 2050, med ett osäkerhetsintervall mellan cirka 30-70 TWh. De lägre nivåerna i osäkerhetsintervallen kan t ex ses motsvara hårdare ekologiska begränsningar och lägre energieffektiviseringstakt inom skogsindustrin medan de högre nivåerna i intervallen kan ses motsvara det motsatta. De största osäkerheterna i bedömningarna gäller uttagsnivåerna för grot och stubbar och uppfyllande av andra miljömål på landskapsnivå, t ex biologisk mångfald (se text ovan).

Den sammanlagda potentialuppskattningen i Tabell 5 inkluderar tekniska, ekonomiska och/eller ekologiska begränsningar. Hur denna ökade tillförselpotential kommer att realiseras beror framför allt på vilka marknadsmässiga drivkrafter som kommer att finnas i framtiden, inklusive olika styrmedel, som i sin tur påverkar konkurrensen mot framför bl a fossil energi. I dagsläget finns begränsade incitament för att realisera den ökade skogsbränslepotentialen i Tabell 5, d v s den aktuella marknadsmässiga potentialen är lägre (se Figur 1).

Tabell 5. Summering av *ökad* potentiell tillförsel av skogsbaserad biomassa för energiändamål idag och kring 2050 (TWh/år). Osäkerhetsintervall anges inom parentes.¹

Biomassa	Tidsperspektiv		Potential
	Idag	2050	
Rundved (skadad, låg kvalitet mm)	-	2 (2-10) ²	Teknisk
Skogsbränsle - grot	18-25 (15-30)	21-28 (17-35)	Tekno-ekonomisk & ekologisk
Skogsbränsle - stubbar	4-6 (3-10)	5-7 (4-12)	Tekno-ekonomisk & ekologisk
Klen rundved - röjningar	2	3	Tekno-ekonomisk & ekologisk
Grot – behovsanpassad gödning	-	(2-4)	Tekno-ekonomisk
Biprodukter - skogsindustrin	-	5-10	Tekno-ekonomisk
<i>Totalt</i>	24-33 (20-42)	36-50 (33-74)	

¹ Baserat på sammanställning och analys av den litteratur som beskrivs i texten ovan.

² Som jämförelse motsvarar 2 TWh cirka 1 % respektive 10 TWh cirka 5 % av den totala årliga rundvedsavverkningen om drygt 100 miljoner m³sk enligt scenario *Dagens skogsbruk* i SKA 15.

2.2 Jordbruksbaserad biomassa

Dagens biomassaproduktion

Den svenska jordbruksmarksarealen uppgår idag till totalt 3,05 miljoner hektar fördelat på 2,6 miljoner hektar åkermark och 0,45 miljoner hektar betesmark (Jordbruksverket, 2015).

Arealen åkermark har minskat med cirka 10 % sedan 1990, motsvarande cirka 250 000 hektar. Åkerarealens användning fördelar sig på vallodling, 45 %, spannmål, 40 %, oljevaxter 4 %, övriga grödor 6 % samt träda 5 %. I Tabell 6 redovisas en uppskattning av bruttoproduktionen av biomassa, uttryckt som energi (TWh), i svensk växtodling idag.

Som framgår av Tabell 6 uppskattas den totala biomassaproduktionen i svensk växtodling uppgå till cirka 74 TWh per år idag, varav cirka 53 TWh utgörs av skördade produkter och cirka 21 TWh av skörderester som halm och blast. Jämfört med en motsvarande uppskattning avseende svensk växtodling 2005 så har den totala biomassaproduktionen sjunkit något, från 78 till 74 TWh per år, trots att den odlade åkerarealen, exklusive träda, är ungefär samma (Börjesson, 2007). Den främsta anledningen till detta är att mängden halm som fås vid spannmålsodling har justerats ner eftersom kontinuerlig växtförädling medfört en allt lägre halm/kärn-kvot (Egnell och Börjesson, 2012; Nilsson och Bernesson, 2007). Till exempel uppskattades produktionen av halm och blast till cirka 31 TWh per år 2005, d v s nästan 50 % högre än dagens uppskattning (Börjesson, 2007). Däremot har hektarskördarna av spannmål (kärnskörd) och övriga grödor ökat det senaste decenniet vilket innebär att skördade jordbruksprodukter ökat, från cirka 47 TWh per år 2005 till cirka 53 TWh per år idag.

Användningen av halm för energiändamål är relativt begränsad i Sverige idag (framför allt i gårdsanläggningar). Däremot används en betydande mängd halm inom djurproduktionen, motsvarande drygt 5 TWh per år (Börjesson m fl, 2013). När det gäller odling av dedikerade energigrödor inom svensk växtodling är denna marginell och utgörs framför allt av salixodling på cirka 12 000 hektar (Jordbruksverket, 2015). Dessutom odlas begränsade arealer rörfen, poppel och hybridasp (mindre än 1 000 hektar vardera) (Jordbruksverket, 2011). Däremot används relativt stora mängder spannmål, framför allt i Östergötland, till etanolproduktion i Agroetanols anläggning i Norrköping. Dessutom används en del raps till RME-produktion. Andelen inhemsk producerad råvara respektive importerad till biodrivmedelsproduktion varierar dock relativt mycket mellan olika år (Energimyndigheten, 2015b). Vid full kapacitet förbrukas motsvarande cirka 600 000 ton spannmål per år i Agroetanols etanolanläggning vilket ungefär motsvarar 10 % av den svenska totala spannmålsproduktionen.

Tabell 6. Uppskattad total biomassaproduktion i svensk växtodling idag, uttryckt som energi (TWh/år).

Grödor	Total skörd (1000 ton per år) ¹	Vattenhalt (%) ²	Energiinnehåll (MWh per ton torrsubstans) ²	Total energiproduktion (TWh per år)
Spannmål	5 780	14	5,1	25,3
Vall	5 230	16,5	4,9	21,4
Oljeväxter	337	9	7,7	2,4
Potatis	822	80	4,8	0,8
Sockerbetor	2 520	76	4,9	3,0
Baljväxter	115	15	5,2	0,5
<i>Summa</i>				53,4
Halm – spannmål ³	3 800	15	5,0	16,2
Halm - oljeväxter	740	16	5,0	3,1
Blast	2 300	86	4,8	1,5
<i>Summa</i>				20,8
<i>Summa totalt</i>				74,2

¹ Baserat på total skörd 2014 enligt Jordbruksverket (2015).

² Baserat på data från Börjesson (2007).

³ Justerad halm/kärn-kvot enligt Egnell och Börjesson (2012).

Inom jordbruket produceras även gödsel som är en potentiell biogasråvara. Den totala biogasproduktionen uppgår till cirka 1,7 TWh per år idag men mindre än 10 % baseras på gödsel, cirka 150 GWh per år (Energimyndigheten, 2015; 2015b). Biogas produceras idag i avloppsreningsverk från slam, knappt 700 GWh, i samrötningsanläggningar från organiskt hushålls- och industriavfall mm, cirka 600 GWh, i deponier (deponigas), cirka 250 GWh, i industrianläggningar, drygt 100 GWh, samt i gårdsanläggningar, knappt 100 GWh per år (Energimyndigheten, 2015). En mindre mängd grödor används också som biogasråvara idag, till exempel i en storskalig biogasanläggning i Skåne (Jordberga) som producerar drygt 100 GWh biogas per år från jordbruksgrödor.

Framtidsscenarier

Halm

Tillgången av halm för energiändamål beror av en mängd olika faktorer. Den teoretiska (biologiska) potentialen baseras på arealen spannmåls- och oljeväxtodling och beskrivs i Tabell 7. Den tekniska potentialen tar hänsyn till skördeförluster mm utifrån aktuell

skördeteknik och begränsade skördemöjligheter p g a klimat och väderförhållanden (Börjesson, 2007). Den ekologiska potentialen inkluderar behovet av att lämna kvar halm för att bibehålla markens mullhalt och bördighet. Den praktiska potentialen tar hänsyn till behovet av halm som strömedel och foder i djurproduktion, d v s den praktiska potentialen utgörs av nettotillgången för t ex energiändamål och kan ses inkludera tekno-ekonomiska och ekologiska begränsningar. I Tabell 7 redovisas den praktiskt tillgängliga halmpotentialen för energiändamål i Sverige samt dess regionala fördelning (Börjesson m fl, 2013).

Ett nettoöverskott av halm beräknas finnas i ungefär åtta av Sveriges län. I län som Halland, Gotland och Kalmar finns också en relativt stor spannmåls- och oljeväxtodling men här bedöms all tillgänglig halm avsättas inom djurproduktionen. Cirka 40 % av potentialen återfinns i Skåne och vardera knappt 15 % i Östergötland, Uppsala respektive Västra Götaland. Den totala praktiskt tillgängliga halmpotentialen i Sverige uppskattas idag till cirka 3,6 TWh per år.

Tabell 7. Praktisk tillgänglig halmpotential för energiändamål i Sverige samt dess geografiska fördelning (Börjesson m fl, 2013).

Län	Praktisk tillgänglig halmmängd (inklusive tekno-ekonomiska & ekologiska begränsningar)	
	(GWh per år)	(% av total potential)
Skåne	1 450	40
Östergötland	500	14
Uppsala	500	14
Västra Götaland	450	12
Södermanland	250	7
Västmanland	200	6
Örebro	200	6
Stockholm	50	1
Summa totalt	3 600	100

Hur tillgången på skörderester som halm kan komma att förändras i framtiden beror av en mängd olika faktorer som t ex arealen spannmålsodling i framtiden, avkastningsnivåer och förändringar i halm/kärn-kvot, andra användningsområden osv. Därför blir uppskattningar om framtida potentialer väldigt osäkra. Trots dessa stora osäkerheter görs här en grov uppskattning baserat på modelleringar av framtidens jordbruk i Sverige som gjorts av Jordbruksverket (2012). I studien *Ett klimatvänligt jordbruk 2050* analyserar och modellerar Jordbruksverket olika scenarier över hur svenskt jordbruk kan komma att utvecklas fram till

2050 och vilka konsekvenser detta får för bl a jordbrukets klimatpåverkan. Bland annat modelleras hur markanvändningen kan komma att förändras och som visar att spannmålsarealen kan minska med cirka 30 % och samtidigt producera lika mycket livsmedel som idag. Baserat på detta scenario görs här ett grovt antagande att tillgången på halm för energiändamål också kan komma att minska med cirka 30 % till 2050, och då motsvara cirka 2,5 TWh per år. För att beakta de stora osäkerheter som finns involverade i denna bedömning inkluderas ett osäkerhetsintervall motsvarande 2-4 TWh per år.

Biogasråvara

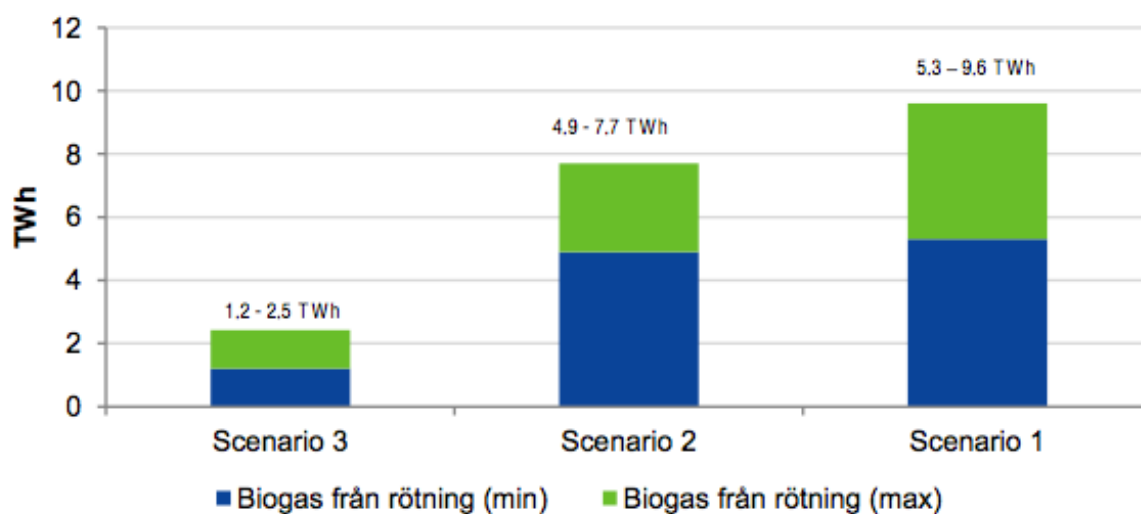
Olika typer av våta och blandade restprodukter (främst olika typer av avfall) är ur energiändamål framför allt relevanta för produktion av biogas via rötning. Från jordbruket återfinns den största biogaspotentialen från gödsel och därefter blast (huvudsakligen sockerbetsblast). De potentialstudier som genomförts för biogassubstrat är därför oftast uttryckta i färdig produkt (biogas), snarare än i råvarutermer. Förutom ökad användning av gödsel och skörderester från jordbruket bedöms biogasproduktionen också kunna öka från avloppsslam, matavfall samt avfall från livsmedelsindustrin. I Tabell 8 redovisas den totala tekniska biogaspotentialen (med vissa ekonomiska restriktioner) från avfall och restprodukter. Totalt bedöms biogaspotentialen uppgå till drygt 6 TWh biogas per år vilket innebär en möjlig ökning med drygt 4 TWh per år jämfört med dagens produktion om cirka 1,7 TWh per år (Energimyndigheten, 2015). I en tidigare utredning från Energimyndigheten år 2010 bedömdes den realiserbara biogaspotentialen uppgå till mellan 3-4 TWh per år, baserat på det kostnadsläge och de ekonomiska förutsättningar som gällde 2010 (Energimyndigheten, 2010).

Tabell 8. *Biogaspotential (teknisk med vissa ekonomiska restriktioner) från olika restprodukter och avfall i Sverige (Börjesson m fl, 2013).*

Län	Biogaspotential (GWh per år)
Gödsel	2 800
Avfall livsmedelsindustri	1 100
Odlingsrester (blast)	800
Matavfall	800
Slam - avloppsreningsverk	700
Summa totalt	6 200

I en studie av WSP (2013) uppskattas den realiserbara biogaspotentialen i tre olika scenarier fram till år 2030. Förutom avfall och restprodukter som råvara antogs även att grödor började odlas i allt större utsträckning för biogasproduktion. I scenario 1 antogs gynnsamma

förhållanden för biogasutvecklingen avseende ekonomisk tillväxt, energipriser, politiska styrmedel samt tekniska förbättringar. I detta scenario antogs att 10 % av åkermarken utnyttjas för odling av energigrödor varav en fjärdedel används för biogasproduktion. I scenario 2 antogs relativt gynnsamma förhållanden ("medelbra" utveckling) och där 6 % av åkermarken utnyttjas för energigrödor varav en fjärdedel till biogasproduktion. Scenario 3 motsvarar en mindre gynnsam utveckling för biogas ur ekonomisk och teknisk synvinkel där styrmedel saknas och ingen ökad odling av energigrödor sker. I Figur 8 redovisas resultaten från WSP's studie där scenario 3 visar en i stort sett oförändrad biogasproduktion jämfört med idag. I scenario 1 och 2 bedöms biogasproduktionen öka 5 till 10 gånger motsvarande cirka 5 TWh per år (minimum) till nästan 10 TWh per år (maximum).



Figur 8. Realiserbar biogaspotential från rötning till år 2030 under specifika förutsättningar beskrivna i WSP (2013) där scenario 1, 2 och 3 avser "gynnsamma", "relativt gynnsamma" respektive "mindre gynnsamma" förhållanden för biogasproduktion avseende styrmedel, energipriser och övriga tekno-ekonomiska förhållanden.

Baserat på de olika scenarioanalyser som beskrivs ovan görs här bedömningen att en ökad tillförselpotential av biogas motsvarande cirka 4,5 TWh per år är möjlig idag när tekno-ekonomiska och ekologiska begränsningar beaktas. I denna potential ingår inte biogas från grödor eftersom energigrödor behandlas i separata bedömningar nedan. För att beakta osäkerheterna i bedömningen av biogaspotentialen inkluderas ett osäkerhetsintervall om 3-6 TWh per år. Hur biogaspotentialen kan komma att förändras till 2050 beror på ett stort antal faktorer, inte minst eftersom biogas produceras från en mix av olika råvaror vars potentiella tillgångar kan förändras på olika sätt i framtiden. I Jordbruksverket scenarier över svenskt jordbruk 2050 antas t ex att trenden med ett minskat antal nötkreatur och grisar fortsätter och kan vara drygt 10 % lägre än idag (Jordbruksverket, 2012). Detta i sin tur påverkar tillgången på gödsel för rötning så att den tekniska potentialen minskar. Samtidigt kan en fortsatt strukturomvandling med allt större jordbruksenheter göra att den ekonomiska

biogaspotentialen från gödsel ökar. En minskad andel organiskt avfall från livsmedelsindustri och hushåll i framtiden kan minska biogaspotentialen något medan t ex ökade mängder avloppsslam kanske kan kompensera för detta. Sammantaget antas här att biogaspotentialen från avfall och restprodukter kan komma att förbli relativt konstant totalt sett till 2050 och också innehålla ungefär samma osäkerhetsintervall som antas för dagens ökad produktionspotential.

Nedlagd jordbruksmark

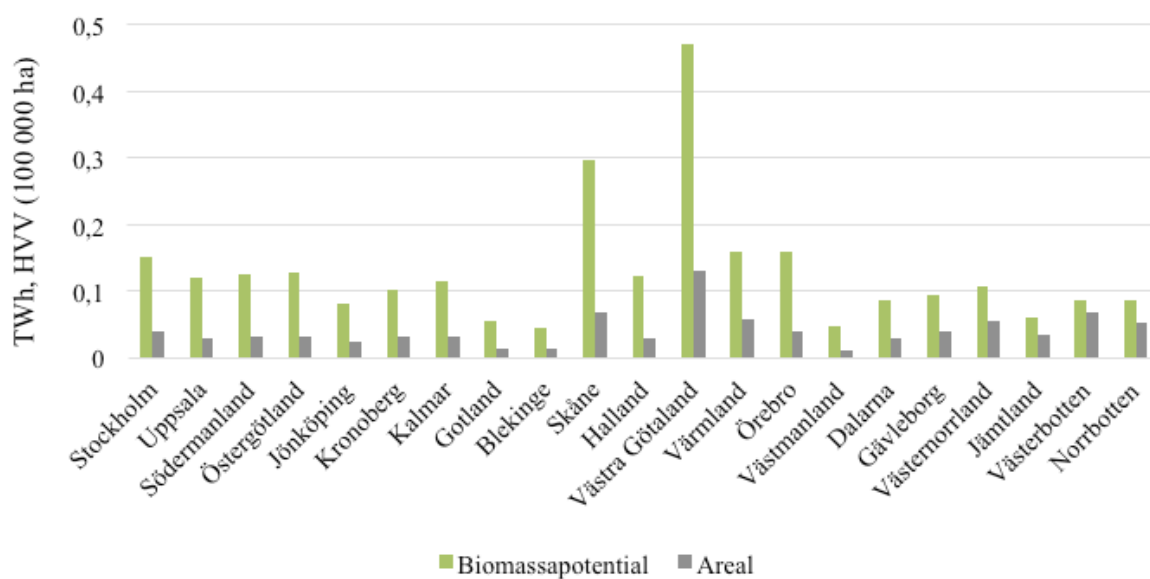
Enligt Jordbruksverket (2015; 2009) uppskattas cirka 300 000 hektar jordbruksmark ha lagts ned i Sverige under den senaste 30-årsperioden. Denna mark består av både nedlagd åkermark och betesmark och ingår inte i den traditionella jordbruksstatistiken idag då den inte uppbär några jordbruksstöd (d v s inkluderar t ex inte åkermark i träda då denna uppbär stöd). Denna nedlagda jordbruksmark ingår normalt inte heller i skogsstatistiken då den oftast inte omvandlats till skogsmark. I tidigare potentialanalyser har grova antaganden gjorts att cirka 100 000 till 200 000 hektar nedlagd jordbruksmark skulle kunna finnas tillgänglig för ökad biomassaproduktion för t ex energiändamål, vilket motsvarar mellan 2-6 TWh biomassa per år (Börjesson m fl, 2013).

I en ny studie av Olofsson och Börjesson (2016) har en mer detaljerad kartläggning och analys av nedlagd åkermark genomförts med syfte att minska osäkerheten kring dess faktiska areal, geografiska fördelning samt potential för att producera biomassa för t ex energiändamål. Statistik från olika markdatabaser har sammanställts och bearbetats på nya sätt, bl a med hjälp av GIS-analys. I studien har endast nedlagd åkermark inkluderats och inte nedlagd betesmark. En anledning till detta är att nedlagd betesmark bedöms generellt sett ha högre naturvärden än nedlagd åkermark (t ex hagmarker) och följaktligen högre bevarandevärden. Denna bedömning bör dock analyseras mer i detalj i kommande studier liksom arealen nedlagd betesmark som potentiellt kan utnyttjas för biomassaproduktion utan att komma i konflikt med andra miljömål som biologisk mångfald.

Resultatet från studien av Olofsson och Börjesson (2016) visar att cirka 88 000 hektar nedlagd åkermark potentiellt finns tillgängligt för biomassaproduktion i Sverige idag. Av denna totala areal utgörs mer än 86 % av fält som är större än ett halvt hektar och mer än 65 % av fält som är större än ett hektar. Cirka 10 % av den nedlagda åkermarken utgörs av fält som är större än 5 hektar. I Figur 9 redovisas den geografiska fördelningen av nedlagd åkermark och den största arealen finns i Västra Götalands län följt av Västerbottens, Skåne, Värmlands och Västernorrlands län. I Figur 3 redovisas också biomassapotentialen på denna mark när den utnyttjas för odling av snabbväxande lövträd som hybridasp och poppel. Den totala tekniska biomassapotentialen (exklusive eventuella ekonomiska begränsningar) bedöms i basfallet uppgå till cirka 2,8 TWh per år. Beroende på osäkerheter i avkastningsnivåer och gräns för minsta fältstorlek uppskattas dock denna potential kunna variera mellan cirka 1,3 och 3,1 TWh per år.

Eftersom omloppstiden för snabbväxande lövträd som poppel och hybridasp är cirka 20 till 25 år kan inte denna potential realiserats idag utan först om några decennier, d v s denna potential

antas gälla kring 2050. Samtidigt kan arealen nedlagd åkermark ha ökat till dess vilket medför att potentialen kan vara något högre än vad dagens beräkningar visar. Här antas att potentialen kan uppgå cirka 3 TWh per år 2050 med ett osäkerhetsintervall om 2-4 TWh per år. Eftersom enbart nedlagd åkermark inkluderas i potentialuppskattningen och inte nedlagd betesmark då gammal betesmark bedöms vara viktigare att bevara utifrån biodiversitetssynpunkt, är ekologiska begränsningar indirekt inkluderats i denna potentialuppskattning. Nedläggningen av betesmark mellan 1999 och 2014 uppgick till cirka 80 000 hektar, d v s ungefär i samma storleksordning som den areal nedlagd åkermark som bedöms vara tillgänglig för energiproduktion enligt Olofsson och Börjesson (2016).



Figur 9. Biomassapotentia (teknisk), uttryckt som TWh per år (högre värmevärde), på nedlagd åkermark fördelat på län när denna utnyttjas för odling av hybridasp och poppel samt potentiell areal per län, uttryckt som 100 000 hektar (Olofsson och Börjesson, 2016).

Ett alternativ till att odla snabbväxande lövträd på nedlagd åkermark är att plantera traditionell barrskog, framför allt gran. Ur ekonomisk synpunkt kan detta vara mer attraktivt för en markägare, trots något lägre biomassaavkastning, då intäkter kan fås också från timmer och massaved. Vid odling av snabbväxande lövträd som poppel och hybridasp finns osäkerheter kring om denna biomassa kan säljas, förutom till energiändamål, också som timmer och massaved i framtiden. Idag säljs biomassa från poppel- och hybridaspodlingar framför allt som bioenergiråvara men till viss del också som massaved.

I en tidigare statlig utredning om jordbrukets potential att producera bioenergi (SOU 2007:36, se Börjesson, 2007) uppskattades avkastningsnivån för nedlagd åkermark ungefär motsvara de lägre normskördarna för åkergrödor. Denna nivå motsvarar i sin tur ungefär den genomsnittliga boniteten på medelgod skogsmark inom samma område. Baserat på denna uppskattning av avkastningsnivå för nedlagd åkermark bedöms den totala biomassapotentia från granskog (avseende helträdsskörd, exklusive stubbar) uppgå till cirka 1,8 TWh per år, med ett osäkerhetsintervall om 1,5 till 2,0 TWh per år.

Biomassapotentialet på nedlagd åkermark bedöms således vara cirka 35 % lägre när gran odlas i stället för snabbväxande lövträd.

Befintlig åkermark

Som beskrivits ovan utnyttjas idag befintlig åkermark i Sverige för odling av grödor för energiändamål, t ex spannmål för etanolproduktion, raps för biodieselproduktion samt gräs, majs, helsäd och sockerbetor för biogasproduktion. Under de senaste åren har en livlig debatt förts kring hållbarheten av att använda livsmedelsgrödor för t ex biodrivmedelsproduktion. Argument som förts fram är bl a eventuella negativa indirekta miljöeffekter som en följd av en ökad biodrivmedelsproduktion i t ex Europa som potentiellt kan leda till ökad nyodling av odlingsmark i andra delar av världen (så kallade iLUC-effekter, indirect land use changes). För en mer detaljerad beskrivning av dessa frågeställningar hänvisas till Börjesson m fl (2013). Som ett resultat av denna debatt kring långsiktig hållbarhet av biodrivmedel baserat på åkergrödor har EU beslutat att dessa får utgöra maximalt 7 % av den totala användningen av drivmedel för vägtransporter. Det totala målet för andelen förnybara drivmedel inom transportsektorn är 10 % till 2020 i EU's direktiv om förnybar energi (Renewable Energy Directive, RED). För svensk del motsvarar en begränsning om 7% i dagsläget cirka 6 TWh biodrivmedel från grödor i transportsektorn och gäller både inhemskt producerade och importerade. Förändringar i den totala mängden drivmedel som förbrukas i transportsektorn kommer också att förändra hur stor mängd 7 % biodrivmedel från grödor innebär i absoluta volymer.

Oavsett de begränsningar som idag finns i EU's lagstiftning kring användningen av grödor för biodrivmedelsproduktion är det intressant att utveckla olika beräkningsexempel och scenarier avseende åkermarkens produktionspotential när det gäller biomassa för t ex energiändamål. Ett möjligt scenario är att använda den åkermark som idag ligger i träda (och som uppbär EU-stöd för detta) för biobränsleproduktion, eftersom denna produktion inte direkt konkurrerar med livsmedelsproduktion. Tidigare analyser av Börjesson m fl (2013) visar att den tekniska potentialen för biomassaproduktion på åkermark i träda uppgår till mellan 4 och 5 TWh per år. Denna uppskattning baseras på den geografiska fördelningen av trädesarealen, d v s skillnader i avkastningsnivåer mellan olika delar av Sverige, en mix av energigrödor med olika skördenivåer samt att mark som trädas bedöms i genomsnitt ha cirka 20 % lägre avkastning än genomsnittlig åkermark. Potentialen bedöms dock vara något lägre idag eftersom arealen åkermark i träda har minskat de senaste åren (Jordbruksverket, 2015). En uppdaterad bedömning är därför att biomassapotentialet från energigrödor på åkermark i träda kan uppgå till mellan 3 till 4 TWh per år.

Hur arealen åkermark i träda eller som inte utnyttjas för livsmedelsproduktion kommer att utvecklas i framtiden är mycket svårt att bedöma. Å ena sidan kan växtförädling och förbättrade produktionsmetoder leda till att behovet av åkermark minskar för att producera motsvarande mängd livsmedel som idag. Å andra sidan kan behovet av livsmedel komma att öka eftersom befolkningens mängd ökar globalt och om också en allt större andel av livsmedelsproduktionen sker via så kallade "ekologisk odling" där inte kemiska bekämpningsmedel eller mineralgödsel får användas så kan behovet av åkermark komma att

öka i framtiden. I Jordbruksverkets studie om det svenska jordbruket 2050 visar de modellberäkningar som gjorts att arealen åkermark som ligger i träda eller som kan utnyttjas för industri- och energigrödor kan öka kraftigt fram till 2050 och utgöra drygt 900 000 hektar 2050 om dagens trend med produktivitetsökningar och sjunkande lönsamhet inom livsmedelsproduktion fortsätter (Jordbruksverket, 2012). Jordbruksverket påpekar med stor tydlighet att detta inte är någon prognos utan bara ett scenario bland andra scenarier som kan vara minst lika troliga beroende på de omvärldsförändringar som kan komma att ske. Om denna åkerareal om cirka 900 000 hektar skulle finnas tillgänglig för energigrödor kring 2050 bedöms biomassapotentialet kunna öka minst sju gånger jämfört med den potential som uppskattas avseende odling på dagens trädesareal enligt ovan. I energitermer motsvarar detta mellan 20 och 30 TWh per år. Med tanke på de stora osäkerheter som finns bedöms denna potential utgöra en övre gräns medan den undre gränsen bedöms vara betydligt lägre, t ex motsvarande dagens potential på åkermark i träda. Biomassapotentialet på åkermark som inte används för livsmedelsproduktion antas här således kunna variera mellan cirka 3 och 30 TWh per år 2050, med ett genomsnitt om cirka 18-22 TWh.

En annan kategori åkermark som är potentiellt tillgänglig för energiproduktion utan att komma i direkt konflikt med livsmedelsproduktion är åkermark som idag utnyttjas för vallodling, men som inte behövs för foderproduktion. Under de senaste åren har arealen vallodling för foderproduktion ökat samtidigt som antalet nötkreatur minskat. En tidigare uppskattning från 2007 visar att det produceras cirka 30 % mer foder än vad behovet är (SOU, 2007). Detta motsvarar en åkerareal om cirka 250 000 hektar där omkring 7 TWh biomassa skulle kunna produceras per år via en mix av energigrödor. Arealen vallodling har legat relativt konstant de senaste åren medan antalet nötkreatur fortsatt att minska något (Jordbruksverket, 2015), d v s den tidigare potentialuppskattningen bedöms fortfarande vara aktuell. Biomassapotentialet från överskottsmark i form av vallodling som inte behövs för foderproduktion bedöms därför i dagsläget uppgå till cirka 7 till 8 TWh per år, när denna utnyttjas för odling av en mix av energigrödor.

I Jordbruksverkets modellberäkningar antas vallarealen minska med cirka 20 % till 2050 jämfört med idag, vilket motsvarar drygt 200 000 hektar (Jordbruksverket, 2012). Samtidigt antas antalet nötkreatur minska med cirka 10 %. En anledning till varför inte vallarealen och djurantalet minskar i samma omfattning är att skördeavkastningen av vall bedöms kunna öka till 2050, d v s en mindre vall-areal krävs för att tillgodose samma foderbehov. Överskottet av vallodling bedöms därför kunna bestå även i framtiden men osäkerheterna i denna bedömning är stora. Om en större andel av vallodlingen sker via ”ekologisk odling” i framtiden kan avkastningen bli lägre och större arealer krävas för att tillgodose foderbehovet. Å andra sidan kan kött- och mjölkproduktionen komma att minska ännu mer än 10 % till 2050 vilket frigör mer vallodling för andra ändamål. Ett osäkerhetsintervall om 3-10 TWh per år inkluderas därför i potentialuppskattningen för 2050.

Sammanfattande potential av jordbruksbaserad biomassa

I Tabell 9 sammanfattas potentialuppskattningarna som redovisats ovan avseende jordbruksbaserad biomassa under olika tidsperioder. Potentialerna avser *ökad* tillförsel jämfört med dagens uttag och användning. Den sammanlagda potentialen för ett uthålligt ökat uttag av jordbruksbaserad biomassa uppskattas idag till i genomsnitt cirka 18-20 TWh per år, med ett osäkerhetsintervall mellan cirka 16-22 TWh per år. Potentialen bedöms kunna öka till cirka 35-40 TWh per år till 2050 men här är osäkerhetsintervallet betydligt större, mellan cirka 15-55 TWh. De lägre nivåerna i osäkerhetsintervallen kan t ex ses motsvara större ekologiska begränsningar (t ex väsentligt ökad andel ”ekologisk odling”) och konkurrens om åkermark för livsmedelsproduktion medan de högre nivåerna i intervallen kan ses motsvara mindre konkurrens om åkermark och ungefär dagens inhemska livsmedelsproduktion.

Den sammanlagda potentialuppskattningen i Tabell 9 inkluderar tekniska, ekonomiska och/eller ekologiska begränsningar. Hur denna ökade tillförselpotential kommer att realiseras beror framför allt på vilka marknadsmässiga drivkrafter som kommer att finnas i framtiden, inklusive olika styrmedel inom jordbruks-, energi- och klimatpolitiken osv, som i sin tur påverkar konkurrensen mot andra energislag, jordbruksprodukter, markanvändning mm (se Figur 1). I dagsläget finns begränsade incitament för att realisera den ökade tillförselpotentialen som sammanfattas i Tabell 9, d v s den marknadsmässiga potentialen är betydligt lägre under nuvarande förutsättningar.

Tabell 9. Summering av *ökad* tillförsel av jordbruksbaserad biomassa för energiändamål idag och kring 2050 (TWh/år). Osäkerhetsintervall anges inom parantes.¹

Biomassa	Tidsperspektiv		Potential
	Idag	2050	
Halm	3,5	2,5 (2-4)	Tekno-ekonomisk & ekologisk
Biogas – avfall och restprodukter	4,5 (3-6)	4,5 (3-6)	Tekno-ekonomisk & ekologisk
Nedlagd åkermark – snabbväxande lövträd	-	3 (2-4)	Teknisk & ekologisk
(– gran)	-	2	Tekno-ekonomisk & ekologisk
Befintlig åkermark- energigrödor på trädesmark	3-4	18-22 (3-30)	Teknisk & ekologisk
Befintlig åkermark- energigrödor på överskottsmark av vallodling	7-8	7-8 (3-10)	Teknisk & ekologisk
<i>Totalt</i>	<i>18-20</i> <i>(16-22)</i>	<i>35-40</i> <i>(13-54)</i>	

¹ Baserat på sammanställning och analys av den litteratur som beskrivs i texten ovan.

2.3 Akvatisk biomassa

Alger som råvara för produktion av drivmedel, kemikalier och andra högvärdiga produkter kan bli aktuellt på längre sikt. Generellt sett är den tekniska potentialen stor, men det återstår många tekniska och ekonomiska utmaningar för att göra systemen kommersiellt konkurrenskraftiga i stor skala. Intresset för odling av alger har ökat under senare år, bl a i samband med debatten kring jordbruksbaserade biodrivmedel och ökad konkurrens om åkermark för livsmedelsproduktion. Algodling motiveras av möjligheten att uppnå hög produktivitet per odlingsyta samt att ej produktiv mark och vattenresurser av låg kvalitet (t ex förorenat vatten eller saltvatten) kan användas. Viktiga krav är dock att odlingens energibalans ska gå ihop, d v s att ett positivt energiutbyte fås, samt att de ekonomiska förutsättningarna är rimliga. Alger delas vanligen upp i (i) makroalger och (ii) mikroalger.

Makroalger

Makroalger är ett annat ord för olika former av ”sjögräs”, och delas in i grön-, brun- och rödalger. Dessa odlas och skördas idag i mindre mängder, för livsmedel och som råvara för kosttillskott och läkemedel i framförallt Asien. Den globala produktionen uppgick till cirka 15

miljoner ton kring 2010 (FAO, 2010). De kan utgöra en potentiell biomassaresurs också för energiproduktion, framförallt genom rötning till biogas, men också för jäsning eller förgasning. Det finns idag få bra uppgifter om vilket utbyte som går att uppnå praktiskt för produktion av makroalger. Under kontrollerade förutsättningar har man dock kommit upp till nivåer kring 45 ton torrs substans (ts) per hektar och år (Bauen et al, 2009a). Under sämre förutsättningar avseende temperatur, vattensammansättning (bräckt vatten med låg salthalt mm), solinstrålning mm som t ex odling i Östersjön visar försök att produktionen kan uppgå till cirka 1,5 ton ts per hektar och år (Seppälä m fl, 2013). En slutsats är därför att odling av makroalger i Östersjön som råvara för ”bulkprodukter” inte kommer att vara kommersiellt realistiskt i stor skala under en överskådlig framtid (Seppälä m fl, 2013). Dock finns ett kommersiellt företag idag i Tyskland som odlar makroalger i Östersjön för högvärdiga produkter som kosmetika och läkemedel (Risén, 2014).

Ett svenskt forskningsprojekt med titeln *Makroalger för ett biobaserat samhälle – Seafarm* pågår sedan ett par år tillbaka med finansieras av Formas där makroalger studeras i ett brett tvärvetenskapligt perspektiv (Seafarm, 2016). I projektet ingår försöksodling, utveckling av skörd och hantering, utvinning av olika produkter (inklusive energibärare) i bioraffinaderikoncept samt hållbarhetsanalyser ur ett miljö- och socioekonomiskt perspektiv. Kopplat till Seafarm-projektet pågår ett kompletterande forskningsprojekt vid Göteborgs Universitet finansierat av Mistra kring odling av brunalger på västkusten (Mistra, 2016). I dessa två projekt görs odlingsförsök i bl a Kosterhavet som inkluderar analyser av nya odlingstekniker, massproduktion av sporer och nya groddplantor, avel av odlingsvarianter mm. Projekten har än så länge inte genererat några vetenskapliga publikationer men ett examensarbete publicerades inför Seafarms uppstart. I detta gjordes bl a en översiktlig ekonomisk studie över två scenarier med olika potentiella produktionskedjor inom Seafarm-projektet (Thomas, 2013). Det ena produktionssystemet utgjordes av ett storskaligt system optimerat för produktion av bulkbiomassa för energiändamål (framför allt biodrivmedel) och det andra av ett småskaligt system optimerat för produktion av högvärdiga produkter. Resultaten från studien visade att det småskaliga systemet med fokus på högvärdiga produkter var överlägset det storskaliga systemet ur ekonomisk synpunkt genom framför allt högre och mer diversifierade intäkter (Thomas, 2013). Ur miljösynpunkt kan storskaliga odlingsystem för biodrivmedelsproduktion innebära fördelar genom ett större upptag av näringsämnen och därmed minskad övergödning av Västerhavet. Denna ekosystemtjänst ersätts dock inte monetärt idag vilken krävs om storskaliga algodlingssystem ska bli konkurrenskraftiga mot småskaliga algodlingssystem med fokus på högvärdiga specialprodukter (Thomas, 2013).

Cirka 95 % av den globala produktionen av makroalger kom från odling 2010 (FAO, 2010). Den resterande delen kommer från skörd av naturligt förekommande makroalger utmed stränder och i kustnära områden. Sådana aktiviteter har pågått under många år, t ex inom Östersjöområdet, men då är det primära syftet oftast att rensa badstränder från illaluktande alger för att inte riskera minskad badturism (Risén, 2014). Pilotprojekt har dock studerat möjligheterna att använda de insamlade makroalgerna för biogasproduktion, till exempel i Trelleborg och Kalmar. Resultaten från dessa pilotprojekt visar att man kan nå en positiv energibalans när biogasen används för att ersätta fossila drivmedel (insatsenergin motsvarar

25-40 % av erhållen biogas), men att det finns tekniska svårigheter med skörd och hantering av algerna (Risén, 2014). Kostnaderna för systemen blir höga och inte konkurrenskraftiga idag varför pilotprojekten lagts ned. Enkätstudier i Trelleborg visar dock att det finns en hög betalningsvilja bland medborgarna för att få bort illaluktande makroalger på stränderna som försämrar badmöjligheterna, d v s om även dessa ekonomiska fördelar beaktas kan lönsamhet fås ur ett samhällsekonomiskt perspektiv (Risén, 2014).

Den teoretiska biomassapotentialet i form av makroalger är väldigt stor och det kustnära beståndet av makroalger utmed hela Sveriges Östersjökustlinje (drygt 1000 mil) har grovt uppskattats till cirka 100 000 miljon ton ts (Risén, 2014). Skillnaden mellan teoretisk potential och teknisk potential bedöms dock vara mycket stor, framför allt eftersom det är tekniskt sett mycket svårt att skörda naturligt förekommande makroalger. Därtill kommer en stor skillnad mellan den tekniska potentialen och den ekonomiska, eftersom kostnaderna för skörd och hantering av makroalger oftast är väsentligt dyrare än t ex skördesystem för landbaserad biomassa. Den totala skörden av makroalger inom Östersjöområdet (bl a i Danmark och Estland) som råvara för produkter och energi är därför liten idag och bedöms uppgå till cirka 25 000 ton ts, framför allt för biogasproduktion (Risén, 2014). I energitermer motsvarar detta cirka 0,14 TWh biomassa per år.

Inom ett EU-finansierat projekt gjordes en förstudie över biogaspotentialen från makroalger i Gotland och Kalmar län (Grontmij, 2010). Mängden makroalger som beräknades vara möjliga att skörda från stränder uppgick till cirka 24 000 ton ts per år. Den potentiella biogasproduktionen från denna mängd alger bedömdes i sin tur till cirka 33 GWh biogas. I ett annat EU-finansierat projekt gjordes en motsvarande potentialstudie för Skåne. Denna studie visade att mängden makroalger som potentiellt kan skördas på skånska stränder uppgick till cirka 11 000 ton ts per år, vilket skulle kunna generera cirka 18 GWh biogas (Bucefalos, 2014a).

Sammantaget bedöms biomassapotentialet från makroalger skördade på stränder och kustnära områden i Gotlands, Kalmar och Skåne län uppgå till knappt 0,2 TWh per år. Vid rötning till biogas blir energiutbytet cirka 50 GWh per år. Eftersom dessa län endast representerar en del av Sveriges kustremsa, är totala potentialen för Sverige större. En grov uppskattning här är att den kan vara mellan 2 och 4 gånger större, eller cirka 0,4-0,8 TWh biomassa per år. Storskalig kommersiell odling av makroalger som biomassaråvara bedöms inte vara realistiskt i Sverige inom de närmaste decennierna utifrån dagens förutsättningar.

Mikroalger

Mikroalger är mikroskopiska fotosyntetiska organismer (t ex blågröna alger eller grönalger) som producerar olika ämnen beroende av algtyp. Mest intressant för energiproduktion och då framför allt biodrivmedelsproduktion är alger med hög oljeandel. En stor del av forskningen kring mikroalger under de senaste decennierna har därför fokuserats på att identifiera och modifiera algarter för maximerad oljeandel. Oljan från algerna kan sedan extraheras och esterifieras eller hydreras till t ex FAME (fatty acid methyl ester) respektive HVO (hydrerad vegetabilisk olja). Mikroalger har potentiellt ett mycket högt biomassautbyte per ytenhet vid

odling. Nivåer på 10-100 m³ bio-olja per hektar nämns i litteraturen (med 15 respektive 50 % oljeandel i alger). Detta är 2-20 gånger högre än för t ex palmolja som annars är den oljeväxt med högst utbyte per hektar (Bauen et al, 2009a). För att uppnå dessa höga utbyten krävs dock riklig tillgång till vatten, solljus (energi) och näringsämnen. Av ekonomiska skäl är det särskilt intressant om näringsämnen kan tillgodoses via näringsrika avloppsvatten och koldioxid via rökgaser, samt om lågvärdiga värmekällor kan bidra till energiförsörjningen. Tillgången till lågvärdiga värmekällor, t ex vid skogsindustrier, fjärrvärmeverk mm, gör att odling av mikroalger även har bedömts kunna vara intressant i Sverige.

Utvecklingen av odlingssystem för mikroalger är inriktade på antingen (i) öppna dammar eller (ii) slutna bio-reaktorer. Senare tids utvärderingar tyder på att de öppna, mindre kostsamma, systemen har bäst ekonomiska förutsättningar för realisering när det gäller mer storskalig produktion, trots lägre tillväxthastigheter. En utmaning för algproduktion är att upprätthålla populationen, med hög produktivitet och oljeutbyte, över längre tid. En annan är att sänka kostnaderna, vilket kräver högre produktivitet och oljeutbyte, hantering av föroreningar av odlingen samt utveckling av skördetekniker och metoder för att undvika behov av torkning (Bauen et al, 2009b). En möjlig strategi för att förbättra ekonomin i mikroalgsproduktion är att samproducera bulkråvara med mer högvärdiga produkter.

Att uppskatta den totala potentialen för mikroalger som råvara för t ex biodrivmedelsproduktion är mycket svårt idag eftersom det finns stora osäkerheter kring odlingsmöjligheter mm. Bauen m fl (2009a) nämner en global teoretisk potential på flera hundra EJ för mikroalger vilket kan jämföras med världens totala energianvändning på knappt 500 EJ per år. Likt potentialen för makroalger bedöms dock den tekniska potentialen vara avsevärt mindre, och framför allt den ekonomiska.

Trots dessa osäkerheter kring teknik och ekonomi finns det ett betydande antal företag som är engagerade i utvecklingen av mikroalger på global nivå idag. De största industriella satsningarna på biodrivmedel från alger står amerikanska företag för (Berlin m fl, 2013). Som exempel driftsatte Sapphire Energy i augusti 2012 första steget av sin ”kommersiella demonstrationsanläggning” för produktion av alger till ”green crude”. Företaget anger själva en reduktion av växthusgaser utsläpp på 60-70% jämfört med fossil råolja (Sapphire Energy, 2013). Ett annat exempel är företaget Solazyme, baserat i Kalifornien, USA, som bygger sin process på mörk jäsning av socker till olja med hjälp av alger. Solazyme har demonstrationsanläggningar i Illinois, USA, och i Frankrike (Solazyme, 2013).

Även i Sverige pågår pilotprojekt där man undersöker möjligheterna att odla mikroalger för bl a energiproduktion. Projektet ”Bäckhammars algbruk” har t ex under tre års tid undersökt produktionsförutsättningarna för algproduktion vid Bäckhammars massa- och pappersbruk i Kristinehamn. Algodlingen sker i dammar som värms av spillvärme från bruket samtidigt som koldioxid tillförs via brukets rökgaser. Pilotprojektet drivs av SP, Sveriges Tekniska Forskningsinstitut, och är under utvärdering (Berlin m fl, 2013). Preliminära resultat från 2014 visar en biomassaproduktion om cirka 0,5 kg ts per m² damm-yta (knappt 30 kg ts biomassa per 60 m²) (Ekendahl, 2015). Detta motsvarar cirka 5 ton ts per hektar, d v s betydligt lägre jämfört med den teoretiska potentialen som anges för mikroalgsproduktion.

Ett annat pilotprojekt har genomförts i Trelleborg där mikroalgotodling testades som ett sätt att rena kommunalt avloppsvatten från kväve och fosfor och samtidigt producera biomassa för energiändamål. Resultaten visar att algodling som metod för rening av avloppsvatten avseende näringsämnen är tekniskt möjligt (Bucefalos, 2015). Om dessutom algodling i anslutning till kommunala reningsverk kompletteras med koldioxidtillförsel från t ex näraliggande fjärrvärmeverk kan energiproduktionen öka. En uppskattning av den teoretiska biogaspotentialen från mikroalgotodling i anslutning till kommunala reningsverk i Skåne visar att knappt 40 GWh biogas per år skulle kunna produceras (Bucefalos, 2014b). Omräknat till mängd energi i form av biomassa motsvara detta knappt 50 GWh per år (biogasutbytet per kg ts algbiomassa anges till 5,5 kWh och värmevärdet antas här vara 6,8 kWh per kg ts).

För drivmedelsproduktion baserat på alger som råvara finns det drygt ett tjugotal livscykelanalyser publicerade, de allra flesta avseende produktion av biodiesel från mikroalger (Berlin m fl, 2013). Resultaten från dessa varierar dock mycket, speciellt när det gäller reduktionen av växthusgaser jämfört med bensin och diesel. Vissa studier visar på en avsevärd reduktion av växthusgaser medan andra visar på att utsläppen blir betydligt högre från alg-baserade drivmedel än bensin och diesel. Flertalet analyser pekar dock ut energibalansen som en kritisk faktor vid produktion av biodrivmedel från mikroalger. I många fall bedöms energibalansen vara negativ, d v s att det krävs mer insatsenergi än vad som fås ut i det färdiga drivmedlet (Berlin m fl, 2013). För att utveckla långsiktigt uthålliga produktionssystem för biodrivmedel från alger krävs därför i många fall avsevärda energieffektiviseringsförbättringar.

Sammanfattningsvis bedöms en storskalig kommersiell produktion av mikroalger för energi- och biodrivmedelsproduktion i Sverige ligga flera decennier fram i tiden, eftersom en avsevärd teknikutveckling krävs (t ex när det gäller energieffektivitet) liksom kostnadsreduktion. Produktionskostnaderna för landbaserad biomassa från jord- och skogsbruk är i dagsläget många gånger lägre. Däremot sker kommersiell produktion av mikroalger redan idag när det gäller högvärdiga produkter som t ex omega-3-fetter (Simris Alg, 2016) och antioxidanter (AstaReal, 2016). En anledning till att kommersiella demonstrationsanläggningar för mikroalgotodling till biodrivmedelsproduktion utvecklas i USA och inte i t ex norra Europa är att den teoretiska mikroalgotodlingens produktivitet bedöms vara drygt dubbelt så hög i mellersta och södra USA (cirka 160-200 ton ts per hektar och år) jämfört med t ex i de nordiska länderna (cirka 80 ton ts per hektar och år) (Tredici, 2010). I nordöstra Afrika den teoretiska produktiviteten tre gånger högre än i de nordiska länderna.

För att kunna göra en mycket grov uppskattning av den tekniska potentialen mikroalgotodling kring 2050 görs här följande räkneexempel. Om en stor del av dagens massa- och pappersbruk i Sverige (här antas 40 bruk) började odla mikroalger i 10 hektar stora dammar per bruk, och produktiviteten är i genomsnitt 50 ton ts alger per hektar, skulle totalt cirka 20 000 ton ts biomassa produceras. Med ett energiinnehåll om cirka 6,8 kWh per kg ts motsvarar detta en energiproduktion om knappt 150 GWh per år. För att inkludera osäkerheter i fråga om produktivitet och hur stora dammarealer som är möjliga antas här ett osäkerhetsintervall mellan 0,1 TWh till 0,3 per år. När det gäller den tekniska potentialen mikroalgotodling i kommunala reningsverk baseras denna på potentialen som uppskattats för Skåne och som

beskrivs i texten ovan. Utifrån invånarantalet i Skåne i förhållande till hela Sverige (där Skånes invånarantal utgör cirka 13,5 %) är en grov uppskattning att den teoretiska potentialen för mikroalgsodling i kommunala reningsverk i Sverige uppgår till cirka 0,4 TWh per år. Detta kräver dock stora odlingsdammar i anslutning till reningsverken vilket inte bedömts praktiskt möjligt i många fall (Bucefalos, 2014b). Dessutom finns det tekniska begränsningar för att tillföra koldioxid via rökgaser från fjärrvärmeverk mm till algodlingarna. En grov uppskattning är därför att den framtida tekniska potentialen för mikroalgsodling i svenska reningsverk varierar mellan 0,1-0,4 TWh per år.

Sammanfattande potential av akvatisk biomassa

I Tabell 10 sammanfattas potentialuppskattningarna som redovisats ovan avseende akvatisk biomassa. Den sammanlagda tekniska potentialen uppskattas mycket grovt till mellan cirka 0,6-1,5 TWh per år till 2050. Bedömningen bygger på att endast naturligt förekommande makroalger utnyttjas, d v s storskalig odling av makroalger i t ex havsbassänger för energiändamål bedöms inte vara tekniskt-ekonomiskt realistiskt i Sverige inom de närmaste decennierna. När det gäller odling av mikroalger antas detta endast ske i olika slags dammar, d v s storskalig odling av mikroalger i slutna bio-reaktorer för energiändamål bedöms inte heller vara tekniskt-ekonomiskt realistiskt inom de närmaste decennierna. Osäkerheterna i dessa uppskattningar är således mycket stora. För att kunna göra säkrare bedömningar i framtiden krävs betydligt fler pilotstudier, tekniksystemstudier osv. Detta innebär också att det finns mycket stora osäkerheter i hur stor del av potentialen i Tabell 10 som kan komma att realiseras i framtiden, d v s hur stor den marknadsmässiga potentialen blir (se Figur 1).

Tabell 10. Summering av ökad tillförsel av akvatisk biomassa för energiändamål idag och kring 2050 (TWh/år).¹

Biomassa	Produktionssystem	Tidsperspektiv		Potential
		Idag	2050	
Makroalger	Skörd av alger på stränder och i kustnära områden	-	0,4-0,8	Teknisk
	Odling i havsbassänger	-	-	Teknisk-ekonomisk
Mikroalger	Odling i dammar vid massa- och pappersbruk	-	0,1-0,3	Teknisk
	Odling i dammar vid kommunala reningsverk	-	0,1-0,4	Teknisk
	Storskalig odling i slutna bio-reaktorer	-	-	Teknisk-ekonomisk
<i>Totalt</i>		-	<i>0,6-1,5</i>	

¹ Baserat på sammanställning och analys av den litteratur som beskrivs i texten ovan samt grova uppskattningar utifrån räkneexempel.

2.4 Sammanlagd tillförselpotential

I Tabell 11 sammanfattas potentialuppskattningarna som redovisats i avsnitten ovan avseende skogsbaserad, jordbruksbaserad samt akvatisk biomassa under olika tidsperioder.

Potentialerna avser *ökad* tillförsel jämfört med dagens uttag och användning. Den sammanlagda potentialen för en uthålligt ökad produktion av biomassa uppskattas idag till cirka 42-53 TWh per år, med ett osäkerhetsintervall mellan cirka 36-64 TWh per år.

Potentialen bedöms kunna öka till cirka 72-92 TWh per år till 2050 men här är osäkerhetsintervallet betydligt större, mellan cirka 47-130 TWh. De lägre nivåerna i osäkerhetsintervallen kan t ex ses motsvara större ekologiska begränsningar och konkurrens om biomassaråvara och mark medan de högre nivåerna i intervallen kan ses motsvara det motsatta förhållandet.

Tillförselpotentialen bedöms vara något större från skogssektorn än jordbrukssektorn idag, medan denna skillnad bedöms kunna minska något till 2050. Osäkerheten i potentialuppskattningarna är dock större för jordbruksbaserad biomassa än skogsbaserad 2050, framför allt på grund av stora osäkerheter i fråga om tillgången på åkermark som inte utnyttjas för livsmedelsproduktion och som är tillgänglig för biomassaproduktion. Tillförselpotentialen från akvatiska system bedöms vara liten jämfört med potentialen från jord- och skogsbruk och endast utgöra någon procent, baserat på dagens förutsättningar och de som bedöms gälla de närmaste decennierna.

Som beskrivits i tidigare avsnitt (2.1-2.3) så inkluderar potentialuppskattningarna tekniska, ekonomiska och/eller ekologiska begränsningar i olika grad. Det finns stora osäkerheter i hur stor del av den summerade potentialen i Tabell 11 som kan komma att realiseras i framtiden, dvs hur stor den ökade *marknadspotentialen* kommer att bli. Den marknadsmässiga potentialen påverkas i stor utsträckning av styrmedel inom t ex energi-, klimat- och jordbrukspolitiken som i sin tur påverkar konkurrensen mot andra energislag, skogs- och jordbruksbaserade produkter mm, samt annan markanvändning osv. I dagsläget är den marknadsmässiga potentialen betydligt lägre än den potential som summeras i Tabell 11, dvs förändringar krävs (t ex betydligt mer effektiva ekonomiska styrmedel) för att denna potential ska komma att realiseras i väsentligt omfattning.

Tabell 11. Summering av *ökad* tillförsel av skogsbaserad, jordbruksbaserad samt akvatisk biomassa för energiändamål idag och kring 2050 (TWh/år). Osäkerhetsintervall anges inom parentes.¹

Biomassa	Tidsperspektiv		Potential
	Idag	2050	
Skogsbaserad	24-33 (20-42)	36-50 (33-74)	Tekno-ekonomisk & ekologisk alt. Tekno-ekonomisk
Jordbruksbaserad	18-20 (16-22)	35-40 (13-54)	Tekno-ekonomisk & ekologisk alt. Teknisk & ekologisk
Akvatisk	-	0,6-1,5	Teknisk
<i>Totalt</i>	<i>42-53</i> <i>(36-64)</i>	<i>72-92</i> <i>(47-130)</i>	

¹ Baserat på sammanställning och analys av den litteratur som beskrivs i texten ovan.

3 POTENTIAL FÖR ÖKAD AVSÄTTNING AV BIOMASSA

I följande kapitel beskrivs aktuella studier som bedömt och analyserat potentialen för ökad avsättning av biomassa inom industrin, för värme- och kraftvärmeproduktion, för biodrivmedelsproduktion samt för framställning av nya biobaserade produkter. Kapitlet avslutas med en summering av den totala avsättningspotentialen för biomassa när alla sektorer, energibärare och produkter beaktas.

3.1 Skogsindustri och övrig industri

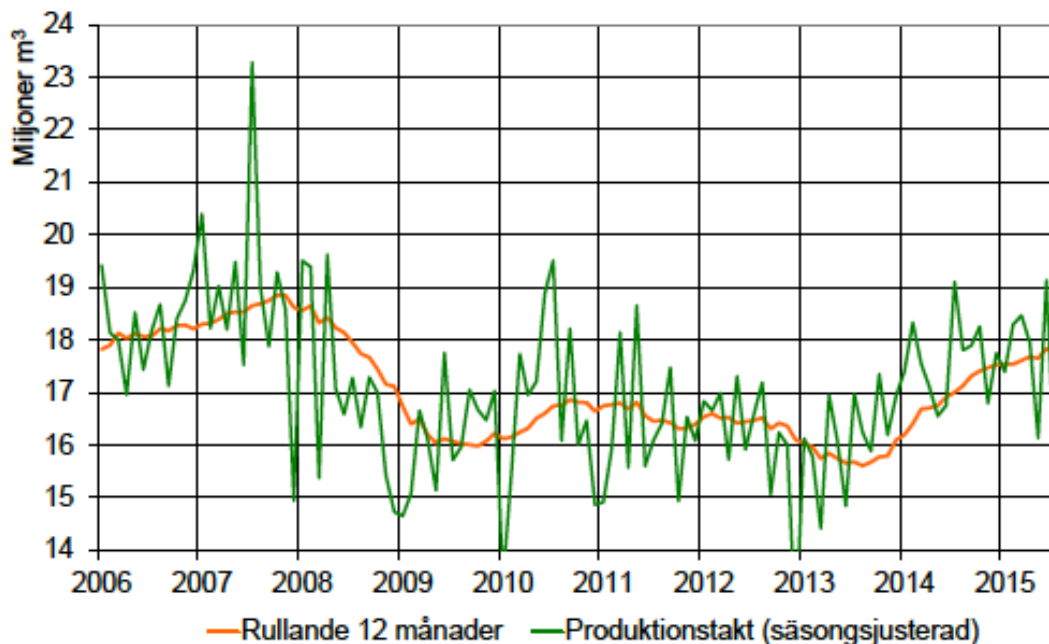
Dagens situation

Skogsindustrins produkter

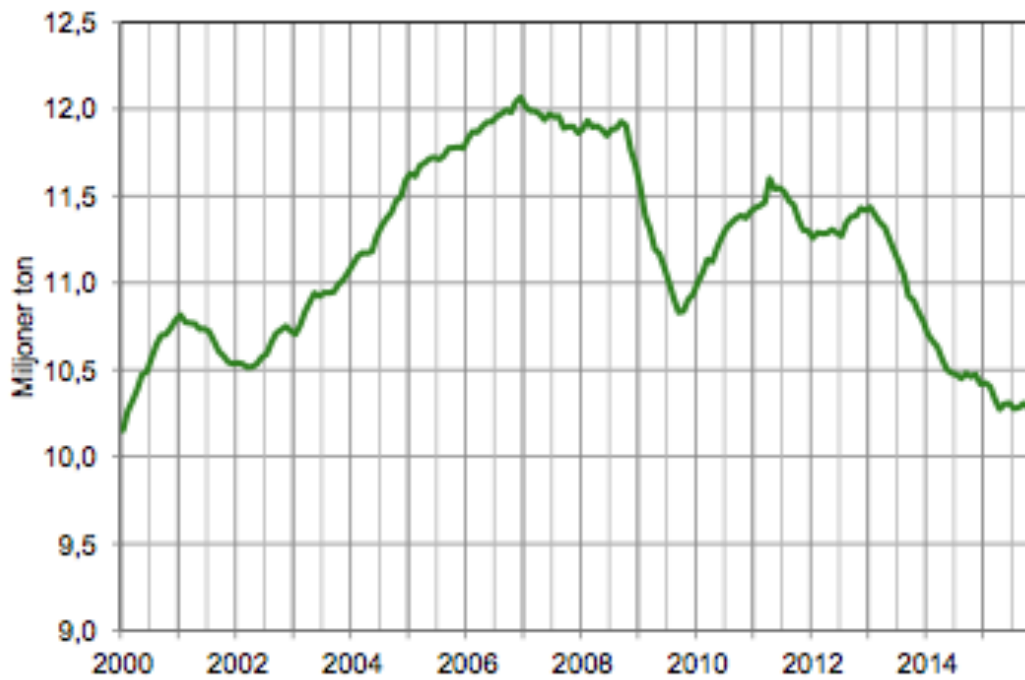
Av den mängd stamved som förbrukas inom skogsindustrin årligen (cirka 83 miljoner kubikmeter per år i femårsmedeltal) utgör ungefär vardera hälften sågtimmer respektive massaved. Drygt hälften av den totala stamvedsvolymen som förbrukas blir produkter medan knappt hälften utnyttjas för energiändamål (se Avsnitt 2.1). Produktionen av sågade trävaror uppgår till knappt 18 miljoner kubikmeter per år idag och har varierat mellan cirka 16 och 19 miljoner kubikmeter det senaste decenniet (Figur 10). När det gäller produktionen av papper har denna minskat med cirka 15 % sedan 2007 och är nu på ungefär samma nivå som år 2000 (drygt 10 miljoner ton per år) (Figur 11). Det är produktionen av grafiskt papper

(tidningspapper, skriv- och tryckpapper mm) som minskat kraftigt, cirka 30 %, medan övrigt papper som förpackningar, mjukpapper mm legat relativt konstant (Figur 12). Under det senaste året har dock nedgången i produktionen av grafiskt papper mattats av och börjat stabilisera sig samtidigt som produktionen av övrigt papper har en positiv trend med en viss ökning. När det gäller produktion av marknads massa (avsalumassa), d v s den massa som säljs på den öppna marknaden och inte tillverkas för brukens egen pappersproduktion, har denna ökat något under de senaste två åren men ligger fortfarande något under produktionsvolymerna under 2004-2008 (Figur 13).

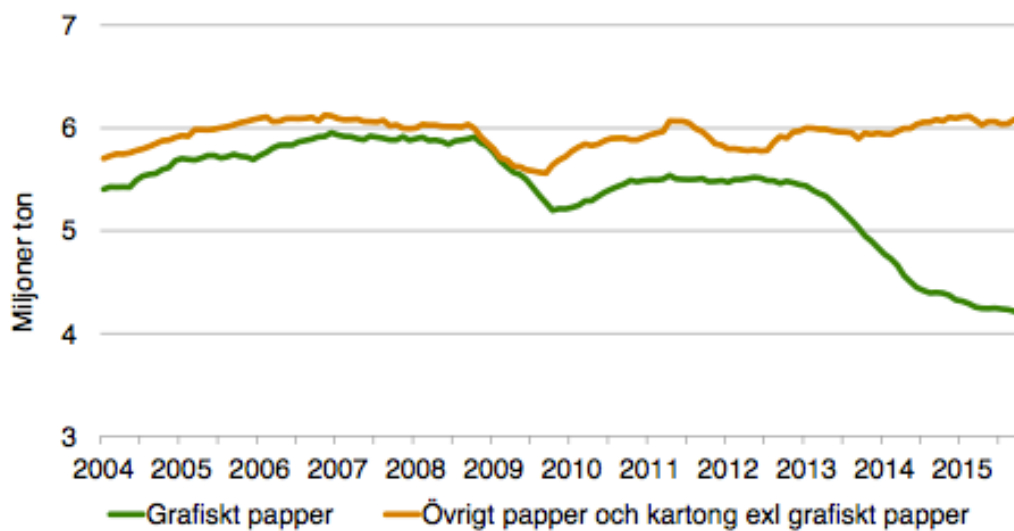
I tidigare potentialstudier har det antagits att cirka hälften av den massaved som tidigare användes för tidningspapper (innan nedgången) skulle kunna användas för andra ändamål som t ex energiråvara, vilket motsvarar 5-7 TWh per år (Börjesson m fl, 2013). Den specifika nedgången i produktion av tidningspapper i Sverige motsvarar cirka 40 % mellan 2005 och 2013 (Skogsstyrelsen, 2014). När det gäller den totala produktionen av massa i Sverige (inklusive all pappersproduktion, avsalumassa, dissolvingmassa mm) har dock nedgången varit relativt liten, drygt 5 %, vilket motsvarande cirka 0,7 miljoner ton per år (Skogsstyrelsen, 2014). I energitermer motsvarar detta totalt cirka 4-5 TWh per år, d v s tidigare uppskattningar av biomassapotentia i form av massavedsöverskott från minskad tidningspappersproduktion bedöms vara något överskattade (se Figur 14).



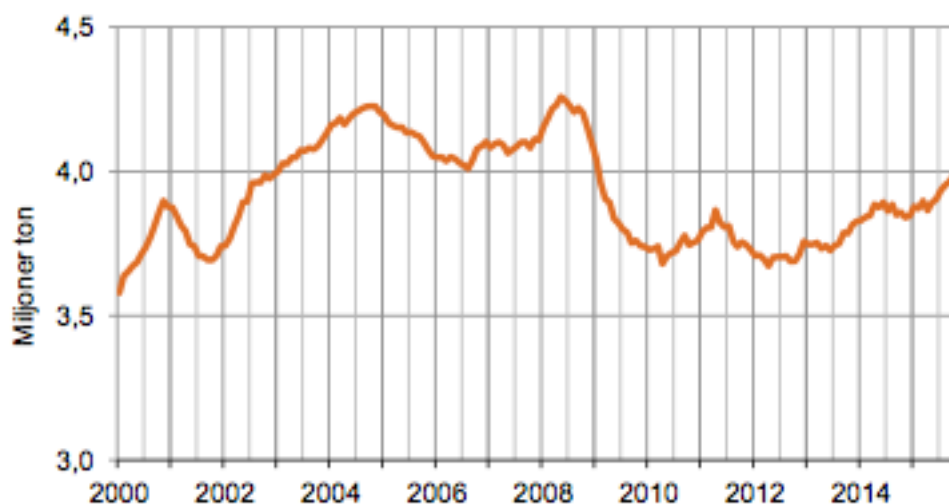
Figur 10. Produktion av sågade trävaror i Sverige (Skogsindustrierna, 2015).



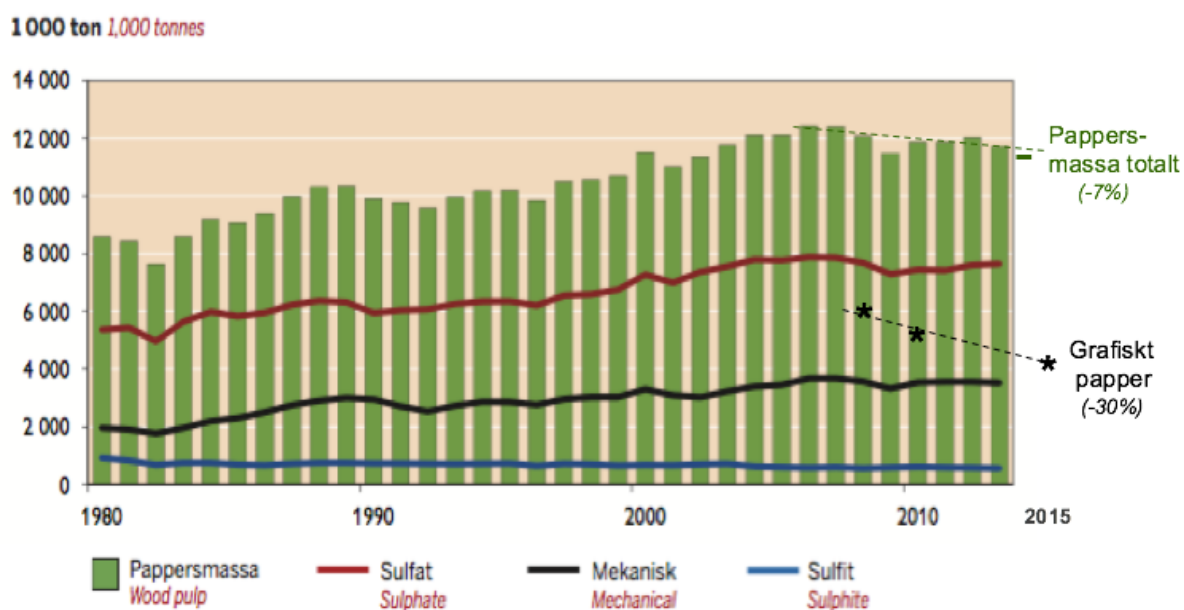
Figur 11. Produktion av papper i Sverige under den senaste 15-årsperioden (Skogsindustrierna, 2015).



Figur 12. Produktion av papper i Sverige fördelat på grafiskt papper (tidningspapper, skriv- och tryckpapper mm) och övrigt papper (förpackningar, mjukpapper mm) (Skogsindustrierna, 2015).



Figur 13. Produktion av marknadsmassa i Sverige (Skogsindustrierna, 2015).



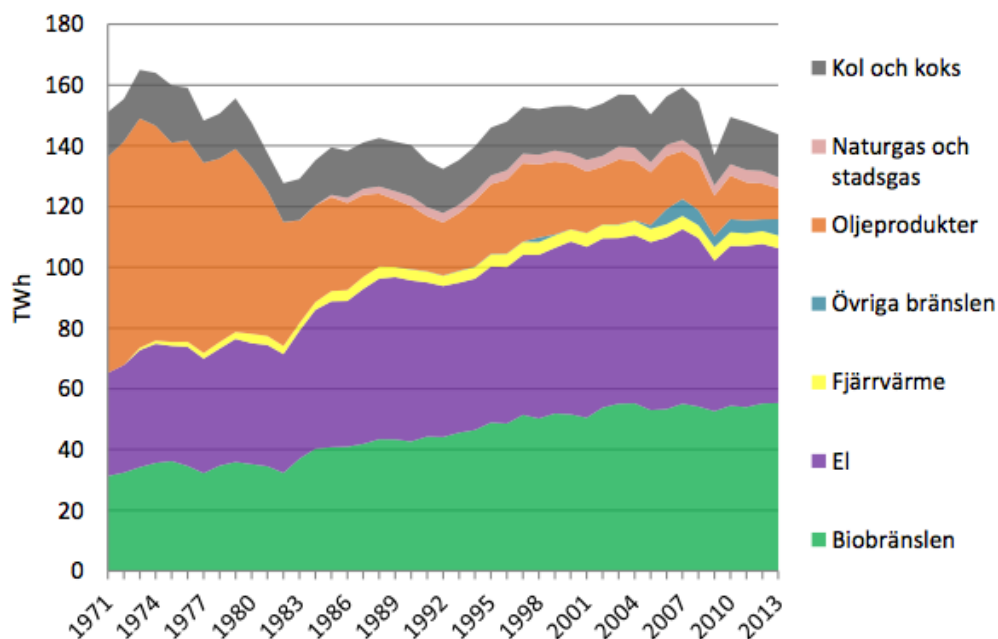
Figur 14. Produktion av pappersmassa totalt i Sverige och i jämförelse med produktion av grafiskt papper samt trenderna i produktionsvolymerna de senaste åren (Skogsindustrierna, 2015; Skogsstyrelsen, 2015).

Biobränslen

Industrins energianvändning i Sverige uppgår idag till cirka 143 TWh, vilket motsvarar drygt 38 % av den slutliga användningen i landet (Energimyndigheten, 2015). Biobränslen utgör den största delen, cirka 38 % (55 TWh), följt av el, cirka 36 % (Figur 15). Massa- och pappersindustrin svarar för drygt hälften av industrins energianvändning och det är nästan

uteslutande el och bibränslen som används. Omkring 70 % av Sveriges totala bibränsleanvändning sker inom massa- och pappersindustrin och trävaruindustrin (motsvarande cirka 80-90 TWh per år), som använder egna biprodukter för produktion av värme och el. Övriga industribranscher som järn- och stålindustri, kemiindustri, gruvindustri, cement- och kalkindustri mm använder framför allt el och fossila bränslen. Energianvändningen inom industrin har legat ganska stabilt sedan 1970-talet samtidigt som produktionsvolymerna ökat, d v s energiintensiteten har minskat tack vare energieffektiviseringsåtgärder och en övergång till mindre energiintensiv industri (Ericsson m fl, 2015). Det har dock skett en betydande förändring i energimixen i industrin sedan 1970-talet då användningen av olja radikalt minskat och användningen av el och bibränslen ökat. Idag används årligen cirka 10 TWh petroleumprodukter, 14 TWh kol och koks samt 4 TWh naturgas som bränsle inom industrin, d v s totalt cirka 28 TWh fossila bränslen (Energimyndigheten, 2015).

Biobränslen används framför allt för generering av processvärme och processånga inom industrin idag. Dock produceras även el inom industrin via kraftvärmeproduktion som uppgår till cirka 6 TWh el per år (Energimyndigheten, 2015). Huvuddelen produceras inom skogsindustrin via så kallat industriellt mottryck och baseras på biobränslen (uppemot 90 %) (se även Figur 21).



Figur 15. Energianvändningen i svensk industri 1971-2013 (Energimyndigheten, 2015).

Utöver industrins användning av fossila bränslen för energiändamål använder industrin stora mängder fossila råvaror, framför allt olja. Den svenska industrins användning av fossila råvaror uppgår idag till motsvarande cirka 24 TWh, varav cirka 19 TWh används inom kemisk och petrokemisk industri (Ericsson m fl, 2015). Huvuddelen utgörs av olja men även

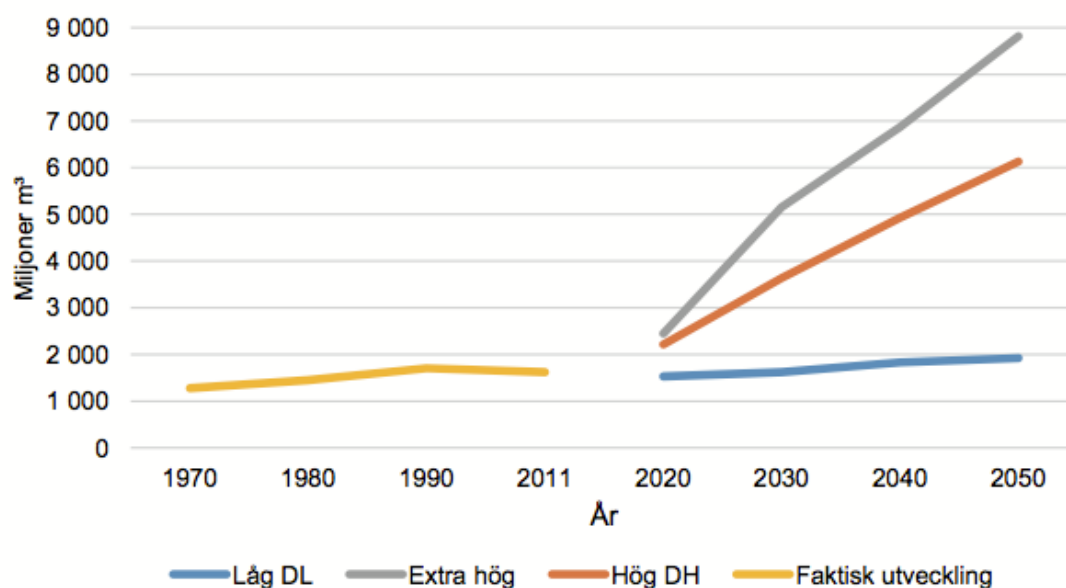
mindre mängder gasol, nafta och etan används. Användningen av olja som råvara är således drygt dubbelt så stor som användningen av olja som bränsle inom svensk industri idag.

Framtidsscenarier

Skogsindustrins produkter

När det gäller den generella efterfrågan på produkter från skogsindustrin bedöms denna totalt sett öka i framtiden (Skogsstyrelsen, 2015b). Efterfrågan på specifika produkter kommer att förändras över tid där vissa kommer att minska (t ex likt för tidningspapper idag) medan andra kommer att öka (t ex likt för mjukpapper idag). Förändringar i efterfrågan kommer också att skilja mellan olika regioner och länder över tid, men sammantaget förväntas den globala efterfrågan på skogsbaserade produkter att öka och sannolikt i en snabbare takt än historiskt (Skogsstyrelsen, 2015b).

Skogsstyrelsen presenterar i en studie tre efterfrågescenarier på rundvirke för industriändamål respektive två utbudsscenarier för att analysera den globala balansen mellan potentiell efterfrågan och potentiellt utbud av virkesråvara i framtiden (Skogsstyrelsen, 2015). I Figur 16 illustreras de tre efterfrågescenarierna, som i sin tur baserat på data från Indufor (2012), vilka utgörs av i) Scenario Låg (DL, demand low), ii) Scenario Hög (DH, demand high) samt iii) Scenario Extra hög. Dessa scenarier visar på en ökande respektive kraftigt ökande efterfrågan på trädbaserade produkter till 2050. Detta beror framför allt på en fortsatt ökad levnadsstandard för en stor del av världens befolkning och en fortsatt befolkningstillväxt, samt en ökad inriktning på hållbarhet och förnybar råvara. För mer detaljerade beskrivningar av respektive scenario hänvisas till Skogsstyrelsens rapport (2015b). Skogsstyrelsen bedömning är att den troliga utvecklingen kommer att ligga mellan Scenario Låg och Scenario Hög, d v s Scenario Extra Hög anses mindre trolig och exkluderas därför i följande analyser. I Scenario Låg är efterfrågan år 2030 ungefär samma som idag respektive cirka 20 % högre 2050. Skogsstyrelsen anser att denna låga ökningstakt sannolikt är mindre trolig med tanke på befolkningstillväxten och stigande BNP per capita i tillväxtekonomierna. Därför bedömer Skogsstyrelsen att Scenario Hög är mer trolig där den ökade efterfrågan är drygt dubbelt så stor år 2030 jämfört med idag, respektive knappt fyra gånger större 2050. Utifrån dessa bedömningar av Skogsstyrelsen är ett grovt antagande att den globala efterfrågan på rundvirke kan komma att öka med drygt 1,5 gång till 2030 (motsvarande totalt 2,5 miljarder m³) och med cirka 2 till 3 gånger till 2050 (motsvarande totalt drygt 3 till 4,5 miljarder m³).

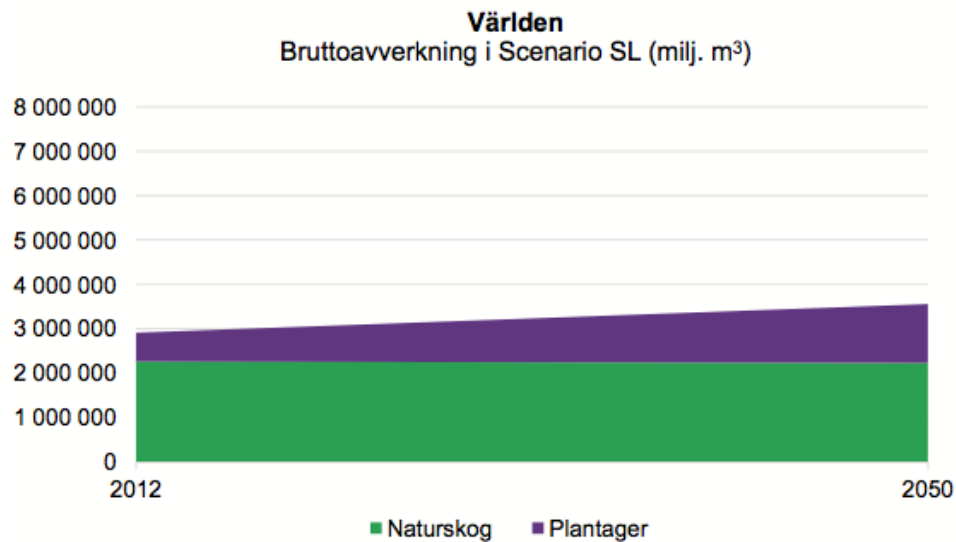


Figur 16. Historisk global efterfrågan på rundvirke för industriändamål samt tre scenarier avseende möjlig efterfrågan till 2050 (Skogsstyrelsen, 2015b).

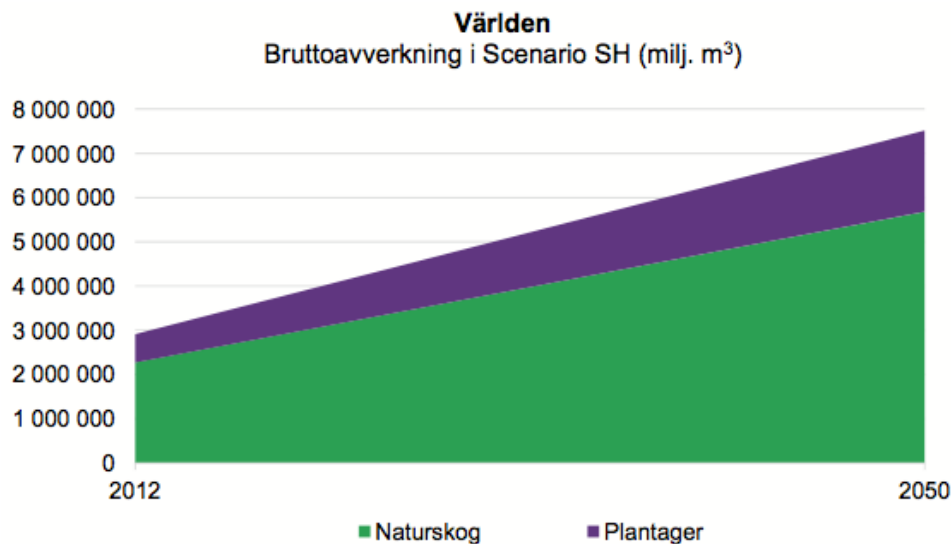
För att kunna svara mot den ökade globala efterfrågan på rundvirke krävs högre skogstillväxt genom ökade investeringar i skogsvård och ökade arealer plantager (Skogsstyrelsen, 2015b). I Skogsstyrelsens rapport presenteras följande två utbudsscenarier: i) SL - Supply Low/Låg respektive ii) SH – Supply High/Hög, där SL innebär att den globala bruttoavverkningen (inklusive bark, toppar och kvarlämnade fällda träd) ökar med cirka 25 % till 2050 (från cirka 2,9 till 3,6 miljarder m³ per år) och där HL innebär en ökning med drygt 2,5 gånger (till 7,5 miljarder m³ per år). Snabbväxande plantager utgör idag en relativt liten andel av den globala skogsarealen, cirka 1,3 %, men bedöms öka till 2-4 % till år 2050 i de två scenarierna och då svara för cirka 20-40 % av det möjliga virkesutbudet (se Figur 17 och 18). Skogsstyrelsen bedömer att utbudsscenario SL är långsiktigt hållbart ur ett resurshushållningsperspektiv då virkesförrådet bibehålls på global nivå. Dock tilltar de regionala obalanserna vilket bedöms leda till ökad internationell handel. Däremot bedöms inte utbudsscenario SH vara långsiktigt hållbart, varken på global nivå eller för flertalet regioner p g a kraftigt ökade regionala obalanser samt minskade virkesförråd.

Sammanfattningsvis anser Skogsstyrelsen att det blir allt viktigare att öka nyttan av varje kubikmeter virkesråvara för att kunna svara mot den ökade efterfrågan. Idag utnyttjas cirka 60 % av rundvirket till industriella ändamål på global nivå medan ungefär 40 % används som energived, framför allt i utvecklingsländerna (Skogsstyrelsen, 2015b). I framtiden krävs sannolikt alltmer resurseffektiva system där industriprodukter och energibärande samproduceras i större utsträckning samt att uttjänta industriprodukter återvinns på mer effektiva sätt. En jämförelse mellan de mest sannolika efterfrågandescenarierna (motsvarande cirka 3-4,5 miljarder m³ rundvirke per år) och de långsiktigt hållbara utbudsscenarierna (motsvarande cirka 3,5 miljarder m³ bruttoavverkning per år) till år 2050 visar att efterfrågan sannolikt kommer att överstiga utbudet (se Figur 19). En konsekvens av detta är att den

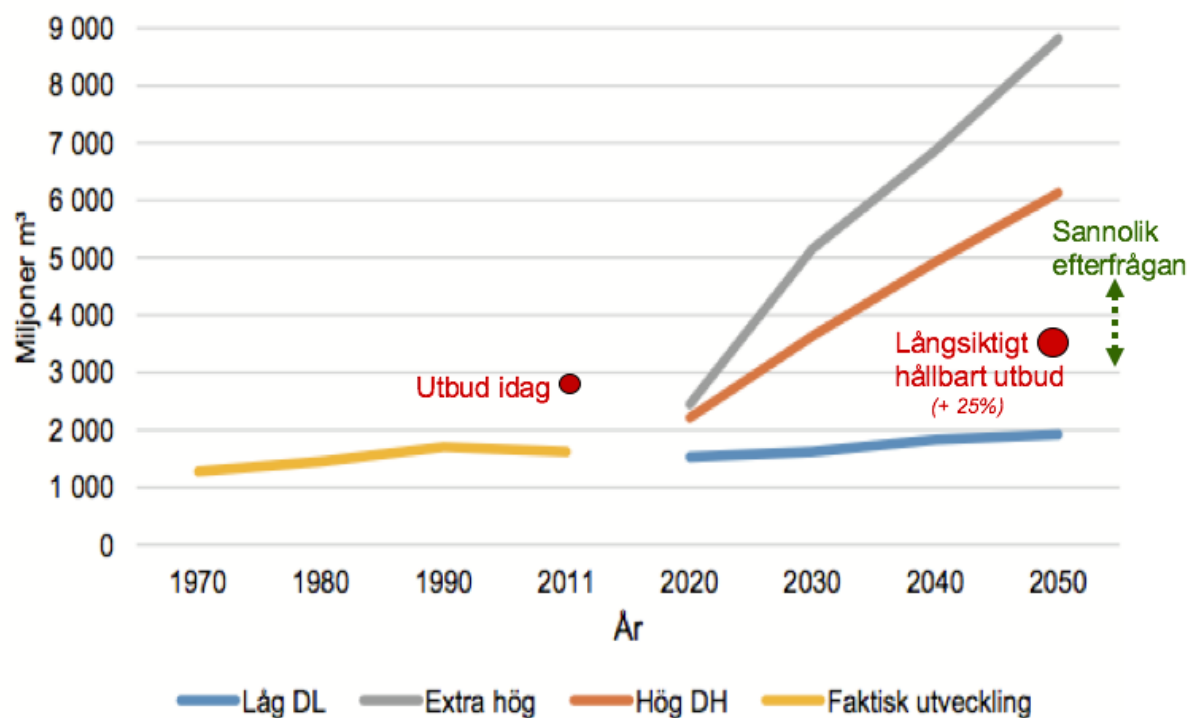
svenska skogssektorn har stora förutsättningar att fortsätta utvecklas och att fortsatta satsningar på forskning och utveckling blir centrala för att öka förädlingsvärdet på skogsprodukterna och därmed bibehålla och öka den svenska skogsindustrins internationella konkurrenskraft (Skogsstyrelsen, 2015b).



Figur 17. Fördelning av global bruttoavverkning mellan plantager och naturskog till år 2050 i utbudsscenario Supply Low/Låg - SL (Skogsstyrelsen, 2015b).



Figur 18. Fördelning av global bruttoavverkning mellan plantager och naturskog till år 2050 i utbudsscenario Supply High/Hög - SH (Skogsstyrelsen, 2015b).



Figur 19. Jämförelse mellan globalt långsiktigt hållbart utbud av skogsråvara samt bedömd efterfrågan (baserat på Skogsstyrelsen, 2015b).

Biobränslen och ersättning av fossil råvara

Trenden med betydande skiften av energibärare i industrin bedöms fortgå även i framtiden (Ericsson m fl, 2015; Naturvårdsverket, 2012). Framtida val och byten av energibärare påverkas av flera faktorer där t ex höga energi- och klimatpolitiska ambitioner driver på den tekniska utvecklingen av utsläppsnåla tekniker och energi- och klimatpolitiska styrmedel påverkar relativpriserna på energibärare. Klimatomställningen utgör en drivkraft för att fortsätta ersätta fossila bränslen med biobränslen, el eller vätgas, samt för att introducera system för koldioxidavskiljning och lagring (CCS). En konvertering till biobränslen inom industrin kräver ofta högt förädlade biobränslen med låg fukthalt då många industriprocesser fordrar höga temperaturer (Ericsson m fl, 2015). Att ersätta fossila bränslen med el innebär ännu större förändringar inom industrin, t ex fortsatt utveckling av elektrotermiska och elektrolytiska processer.

Framtida klimatpolitik kommer också att påverka omställningen från fossila råvaror till förnybara, t ex inom kemiindustrin (Naturvårdsverket, 2012). De fossila råvarorna kan antingen ersättas av bioråvara eller syntetiska kolväten producerade via elektrolys av vatten med efterföljande syntes tillsammans med koldioxid, s k elbaserade kolväten (Ericsson m fl, 2015). För att belysa hur industrins energianvändning och val av råvaror skulle kunna se ut kring 2050 har Ericsson m fl (2015) utformat fem scenarier som involverar förändringar med avseende på två variabler: i) val av energibärare och råvaror samt ii) basmaterialindustrins produktionsvolym och energibehov i nya energiintensiva verksamheter. Scenarierna omfattar hela industrin och innebär att utsläppen av växthusgaser reduceras med minst 80 %. I

Figur 20 redovisas resultaten från scenarioanalysen. Scenario 1-3 utgår från dagens industriproduktion men involverar byte av energibärare och råvaror. Scenario 4-5 utgår från både förändrad industriproduktion (utbyggnad respektive nedläggningar) och byten av energibärare och råvaror och bedöms vara mer spekulativa än scenario 1-3. Scenarierna bedöms således inte nödvändigtvis vara troliga utan syftar till att spänna upp möjligheterna (Ericsson m fl, 2015). Scenarierna kan således betraktas som tekniska potentialer utan ekonomiska begränsningar eller dylikt.

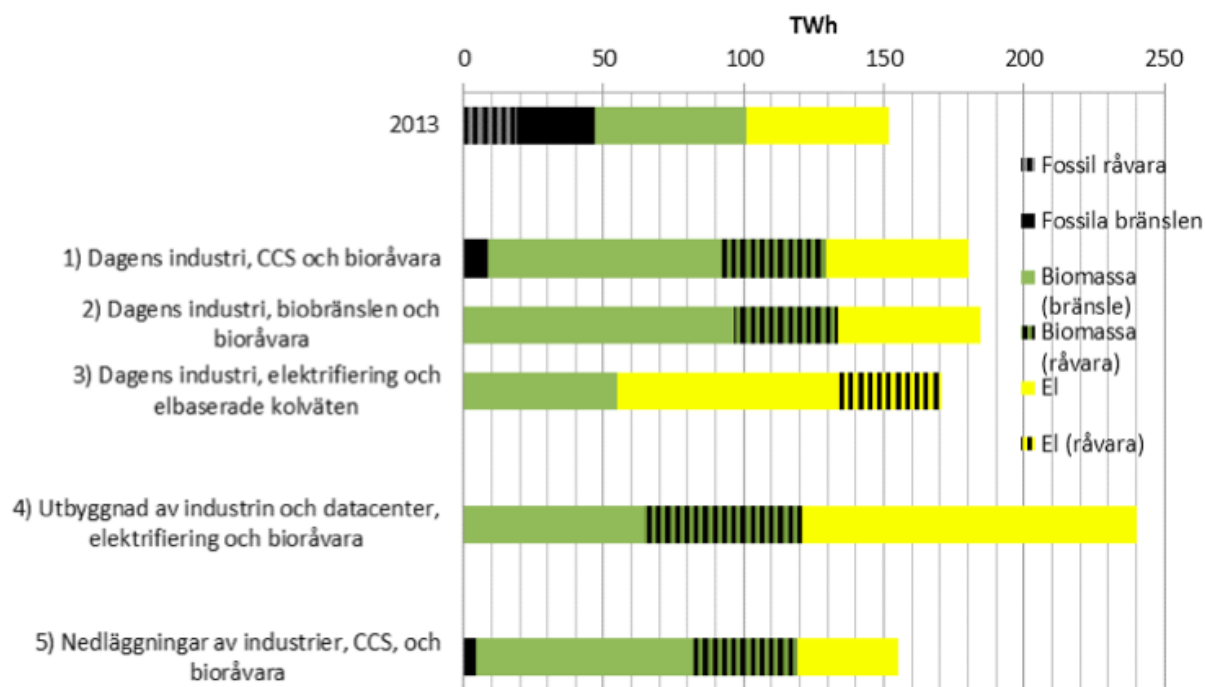
I alla scenarier utom ett (scenario 3) bedöms användningen av biomassa för energi och råvara öka med mellan cirka 60 och 80 TWh (exklusive skogsindustrins råvaruanvändning) till 2050. Användningen av biobränslen bedöms öka med mellan cirka 10 och 40 TWh per år och biomassa som råvara med mellan cirka 40 och 50 TWh. Den största potentialen för ökad användning av biomassa inom industrin finns således som råvara för att byta ut fossil råvara inom framför allt kemikalieproduktion (exklusive biodrivmedel). I scenario 3 bedöms biobränsleanvändningen vara konstant då detta scenario enbart inkluderar ökad elektrifiering och el-baserade kolväten (Ericsson m fl, 2015). En ökad användning av biomassa som råvara inom framför allt dagens fossilbaserade kemiindustri bedöms förutsätta en utveckling av bioraffinaderier där förutom kemikalier även andra biobaserade produkter och energibärare produceras för att optimera och effektivisera utnyttjandet av bioråvaran (Ericsson m fl, 2015; Naturvårdsverket, 2012). Dessa uppskattningar av Ericsson m fl (2015) kan således ses som tekniska potentialer där ekonomiska och marknadsmässiga restriktioner inte är inkluderade.

I studien av Ericsson m fl (2015) används dock relativt konservativa omvandlingsfaktorer för biomassa till förädlad råvara respektive energibärare. Vid omvandling till förädlad råvara antas 50 % omvandlingseffektivitet av Ericsson m fl (2015) vilket i föreliggande studie bedöms något låg, speciellt med tanke på den teknikutveckling som bedöms kunna ske till 2050. Redan idag nås en omvandlingseffektivitet kring 60 till 70 % när termokemisk förgasning och biokemiska processer används för produktion av t ex plattformskemikalier (Börjesson m fl, 2013). Vid omvandling av biomassa till energibärare som ersätter fossil energi antar Ericsson m fl (2015) en omvandlingseffektivitet om cirka 67 %. I biobaserade energikombinat där värme, el samt gasformiga eller flytande energibärare samproduceras ligger omvandlingseffektiviteten ofta betydligt högre, över 80 % (Börjesson m fl, 2013). I föreliggande studie har därför behoven av biomassa för att ersätta fossil energi respektive fossil råvara i industrin och som presenteras i Figur 20 (scenario 1-5) justerats genom att omvandlingseffektiviteten antas vara 80 respektive 65 % när biomassa förädlas till energibärare respektive industriråvara.

Med dessa justeringar antas behovet av biomassa för att ersätta fossil energi inom industrisektorn uppgå till mellan 10 och 35 TWh per år. Motsvarande behov av biomassa för att ersätta fossil råvara bedöms uppgå till mellan 30 och 40 TWh per år. Dessa uppskattningar inkluderar inte scenariot med enbart elektrifiering och el-baserade kolväten. Om också scenariot med det högsta behovet av biomassa för energiändamål respektive råvara tas bort, dvs där elektrifieringen antas bli försumbar, fås ett biomassaintervall om cirka 10-25 TWh per år avseende energi. Det genomsnittliga behovet i dessa scenarier blir cirka 17-18 TWh per år. Motsvarande genomsnittliga behov av biomassa som råvara blir cirka 28-30 TWh per år, med

ett intervall om cirka 20-40 TWh. Dessa justerade genomsnitt och intervall kommer att användas i efterföljande summeringar av framtida potentiella biomassabehov inom industrin till år 2050, då dessa intervall bedöms vara de mest troliga eftersom de inkluderar en kombinerad utveckling av biomassaanvändning och elektrifiering inom industrin.

Som jämförelse har Energimyndigheten i sin rapport ”Scenarier över Sveriges energisystem” bedömt det ökade behovet av skogsbaserad energi inom den svenska industrisektorn till cirka 5 TWh till 2030 (Energimyndigheten, 2014). En känslighetsanalys indikerar att ökningen kan bli något högre beroende på den ekonomiska utvecklingen och framtida energipriser. Om man antar en linjär ökning från dagens bioenergianvändning inom industrin till den antagna ökningen om 17-18 TWh per år till 2050 enligt ovan, blir motsvarande ökning 2030 cirka 7-8 TWh, d v s något högre än Energimyndighetens referensscenario. Energimyndighetens rapport kan ses som en konsekvensanalys av nuvarande förutsättningar och styrmedel, d v s denna inkluderar fler begränsningar än bara tekno-ekonomiska avseende den framtida potentiella förändrade energianvändningen.



Figur 20. Industrins användning av olika energibärare (exklusive fjärrvärme) och av fossila råvaror för produktion av kemikalier år 2013 samt fem scenarier som visar hur industrins användning av energibärare och råvaror kan se ut kring 2050, enligt Ericsson m fl (2015).

Kraftvärme

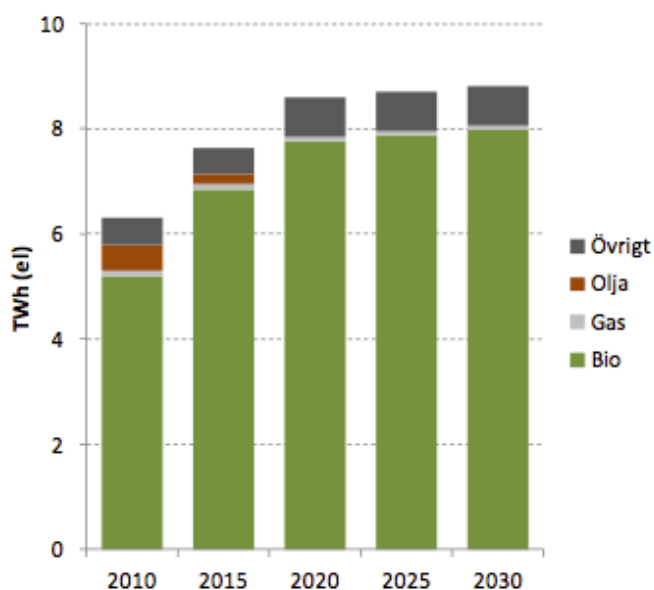
I uppskattningarna ovan avseende ökad användning av biomassa för energiändamål inom industrin inkluderas inte en potentiellt ökad kraftvärmeproduktion då fokus i uppskattningarna ovan är på ersättning av fossila bränslen. Kraftvärmeproduktion sker idag framför allt inom skogsindustrin och denna elproduktion bedöms kunna öka i framtiden. Den potentiella

utvecklingen av industriell kraftvärme har uppskattats i en studie av Sköldberg m fl (2013) som i sin tur bygger sina bedömningar på en sammanställning av fem olika källor, bl a Energimyndighetens Långsiktsprognoz 2012 (Energimyndigheten, 2013). Deras samlade bedömning är att kraftvärmepotentialen inom industrin kan komma att uppgå till cirka 9 TWh el till år 2030, d v s en ökning med cirka 3 TWh el jämfört med idag. I Figur 21 visas den uppskattade kraftvärmepotentialen per bränsleslag och som framgår av figuren är det biobränsle som dominerar och bedöms öka i framtida.

I Energimyndighetens långsiktiga scenarioanalys bedöms också elproduktionen via industriell kraftvärme öka (Energimyndigheten, 2014). Deras bedömning är, baserat på dagens förutsättningar och styrmedel, att elproduktionen kan öka med cirka 2 TWh el per år 2030 jämfört med idag.

Baserat på dessa potentialuppskattning av Sköldberg m fl (2013) och Energimyndigheten (2014) antas behovet av skogsbränslen för industriell kraftvärmeproduktion öka med cirka 2-3 TWh per år till 2030 (inklusive omvandlingsförluster). För att beakta de osäkerheter som finns i denna potentialuppskattning inkluderas ett osäkerhetsintervall om +/- 2 TWh per år i kommande summeringar av framtida avsättningspotential för skogsbränslen.

Potentialuppskattningar för utvecklingen av industriell kraftvärme mellan 2030 och 2050 saknas i litteraturen idag. I potentialuppskattningen av Sköldberg m fl (2013) beskrivs en avtagande ökning av kraftvärmepotentialen inom industrin fram till 2030 (se Figur 21). Här antas att denna trend fortsätter till 2050, d v s att elproduktionen inom industrin ligger på ungefär samma nivå 2050 som 2030 vilket i sin tur innebär ett oförändrat behov av skogsbränslen. Liksom tidigare inkluderas dock ett osäkerhetsintervall där tillförseln av skogsbränsle antas kunna variera med +/- 2 TWh per år.



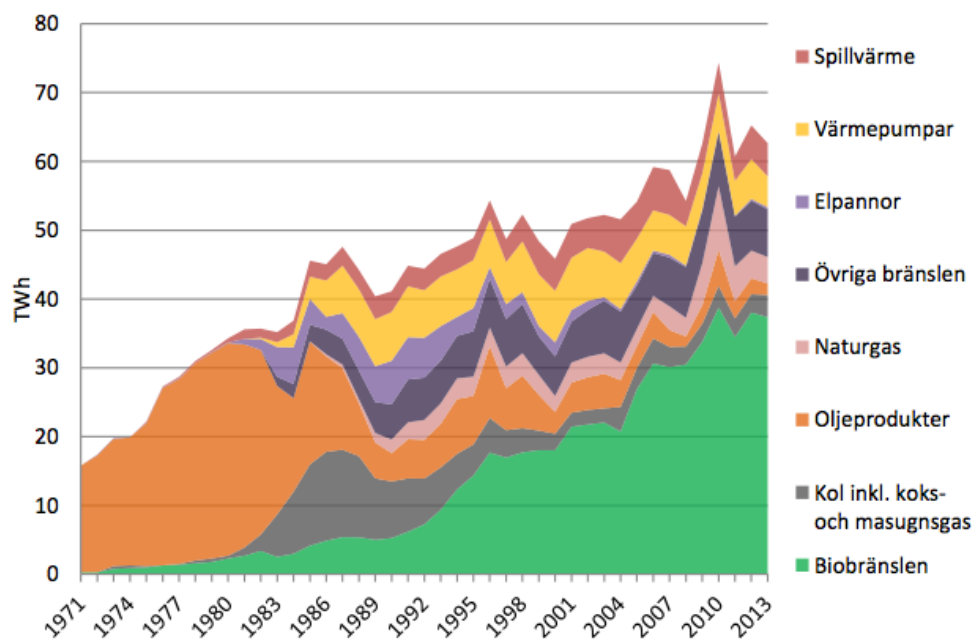
Figur 21. Bedömd potential av elproduktion från kraftvärme inom industrin per bränsleslag till och med 2030 enligt projektet Fjärrsyn (Sköldberg m fl, 2013).

3.2 Värme och kraftvärme i fjärrvärmesystem

3.2.1 Värme

Dagens situation

Värmemarknaden är den största energimarknaden i Sverige (motsvarande cirka 100 TWh tillförd energi per år), tillsammans med elmarknaden. Småhus är den största förbrukargruppen följt av flerbostadshus, lokaler och industri. De fyra största uppvärmningsteknikerna är fjärrvärme (drygt 50 %), elvärme och värmepumpar (tillsammans cirka 35 %) samt biobränslepannor (drygt 10 %) (Sköldberg & Rydén, 2014). Av fjärrvärmens baseras drygt 60 % på biobränslen vilket motsvarar cirka 38 TWh tillförd energi per år (Energimyndigheten, 2015). Biobränsleanvändningen i individuella uppvärmningssystem utgörs framför allt av småhus idag och uppgår till cirka 11 TWh per år (huvudsakligen i form av ved, pellets och flis), dvs total mängd biobränslen till värmemarknaden utgör cirka 50 TWh per år idag (Energimyndigheten, 2015). Användningen av biobränslen för fjärrvärmeproduktion har ökat kraftigt under de senaste decennierna (Figur 22).



Figur 22. Tillförd energi för svensk fjärrvärmeproduktion 1971-2013 (Energimyndigheten, 2015).

Framtidsscenarier

Värmemarknaden bedöms stå inför stora förändringar i framtiden. Trots en befolkningsökning om nästan 20 % till 2050 och oförändrad areastandard bedöms det totala uppvärmningsbehovet i bostäder och lokaler kunna komma att minska med upp till en tredjedel. Detta beror framför allt på ökad energieffektivisering och låg energiförbrukning i nya fastigheter (Sköldberg och Rydén, 2014). Konkurrensen mellan de olika teknikerna

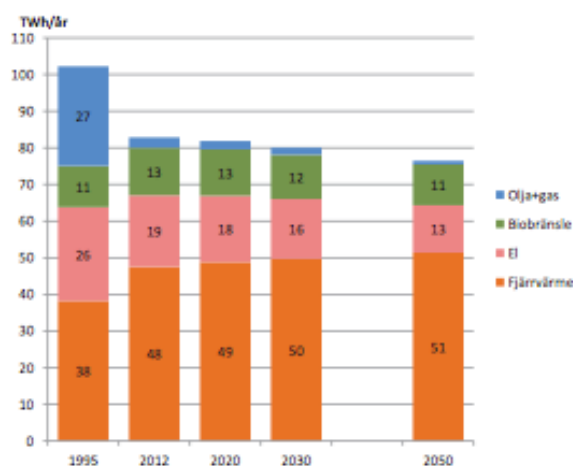
bedöms öka där värmepumpar ersätter elvärmens och fjärrvärmens alltmer. Fjärrvärmens strategiska fördelar tillsammans med hög värmetäthet bedöms dock ge fortsatt stark konkurrens i tätorter.

Det finns dock stora osäkerheter i hur värmemarknaden kommer att utvecklas i framtiden. Inom projektet *Värmemarknad Sverige* har därför fyra scenarier studerats för att beskriva konsekvenserna av olika utvecklingsvägar (Sköldberg och Rydén, 2014). De fyra scenarierna är (i) *långsam utveckling*, (ii) *energislåtare hus*, (iii) *mer individuellt* samt (iv) *kombinerade lösningar*. Inget av scenarierna ska betraktas som det mest sannolika utan spannet mellan dessa ska ses som ett möjligt ”utfallsrum” där den verkliga utvecklingen sannolikt återfinns. För en mer ingående beskrivning av respektive scenario hänvisas till Sköldberg och Rydén (2014). I Figur 23 sammanfattas resultaten av dessa scenarier avseende levererad och köpt energi. Oavsett utveckling bedöms värmeproduktion via biobränslepannor förbli relativt konstant till 2030 och 2050, kring 11 TWh per år med en variation mellan 9 till 12 TWh per år 2030 respektive 7 till 12 TWh per år 2050. Fjärrvärmeproduktionen bedöms dock minska med mellan 8-15 TWh och 11-22 TWh per år till 2030 respektive 2050 i tre av de fyra scenarierna. Endast i scenario *långsam utveckling* bedöms fjärrvärmens bli relativt konstant. I genomsnitt antas fjärrvärmeproduktionen minska med cirka 20 % till 2030 (motsvarande cirka 10 TWh per år), respektive med cirka 25 % till 2050 (motsvarande cirka 12 TWh per år), med en variation mellan cirka +5 % och – 50 %. Hur tillförseln av biobränslen inom fjärrvärmesektorn kan komma att påverkas i de olika scenarierna redovisas inte specifikt.

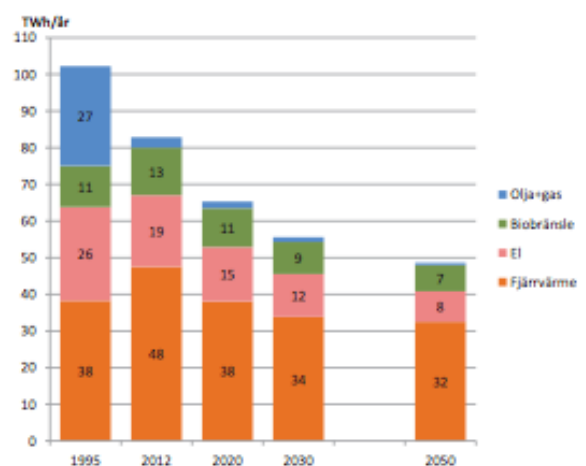
I Energimyndighetens rapport ”Scenarier över Sveriges energisystem” beskrivs ett referensfall fram till 2030, samt två känslighetsfall (Energimyndigheten, 2014). Rapporten ska ses som en konsekvensanalys av dagens styrmedel och de förutsättningar som gäller idag för utvecklingen av energisystemet. I referensfallet bedöms energianvändningen för uppvärmning minska med cirka 10 % till år 2030, framför allt tack vare energieffektivare hus i kombination med ett ökat antal värmepumpar som ersätter direktverkande el och oljeuppvärmning. I energitermer motsvarar detta cirka 8 TWh per år. I känslighetsfallen ”högre ekonomisk utveckling” bedöms den totala energianvändningen öka något jämfört med referensfallet men inom bostäder och service bedöms energianvändningen bli ungefär oförändrad. I känslighetsfallet ”högre fossilbränslepriser” bedöms den totala energianvändningen minska något jämfört med referensfallet liksom energianvändningen inom bostäder och service. Användningen av fjärrvärme bedöms av Energimyndigheten (2014) också minska med cirka 10 % till 2030, vilket i energitermer motsvarar cirka 5 TWh per år. Fjärrvärmeanvändningen förändras marginellt i de två känslighetsfallen.

Inom projektet *Fjärrsyn* har utvecklingen av fjärrvärme i Sverige studerats specifikt (Rydén m fl, 2013). Även inom detta projekt har scenarier utvecklats och man presenterar här ett bas-scenario där fjärrvärmeproduktionen bedöms minska med cirka 10 % till 2025, vilket motsvarar cirka 6 TWh per år. Om nyanslutningar exkluderas bedöms minskningen vara nästan upp till 30 %. Den största orsaken till minskningen är effektiviseringsåtgärder följt av konverteringar till värmepumpar, d v s elektrifiering av värmesektorn (Rydén m fl, 2013). En uppdaterad analys med samma metodik som i den ursprungliga analysen i *Fjärrsyn* har därefter gjorts av Sköldberg m fl (2013) där basåret flyttats fram från 2007 till 2011 och

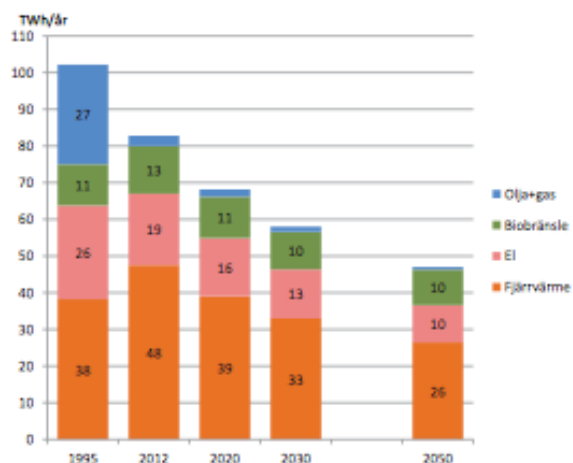
tidshorisonten förlängts till 2030. Dessutom har en ny avstämning med Energimyndigheten gjorts avseende nybyggnadstakten och energianvändningen i nybyggda fastigheter. Resultatet som presenteras i Figur 24 visar likt den tidigare studien på ett minskat behov av fjärrvärme men där minskningen är något lägre, cirka 4 TWh per år till 2030, och där minskningen i leveranser till befintlig bebyggelse uppgår till cirka 12 TWh per år respektive nyanslutningen till cirka 8 TWh per år. Slutsatsen från båda studierna är att nyanslutningar av fjärrvärme som sker i både befintlig och i ny bebyggelse inte väger upp den nedgång som samtidigt sker i de redan anslutna byggnaderna till följd av effektiviseringar och konverteringar till värmepumpar (Sköldberg m fl, 2013). Ej heller i denna studie av Sköldberg m fl (2013) redovisas specifikt hur tillförseln av biobränslen kan förändras vid en minskat framtida behov av fjärrvärme.



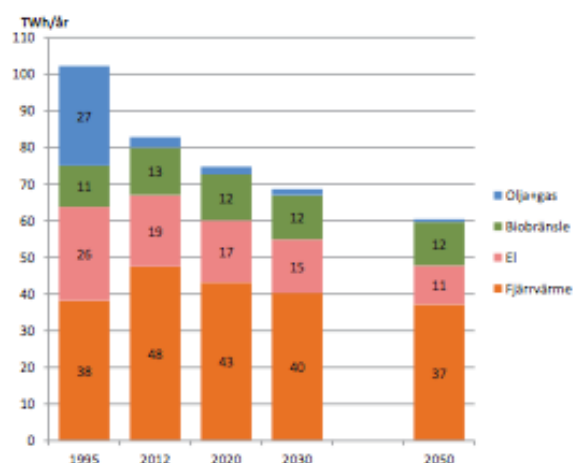
Långsam utveckling



Energisnåla hus

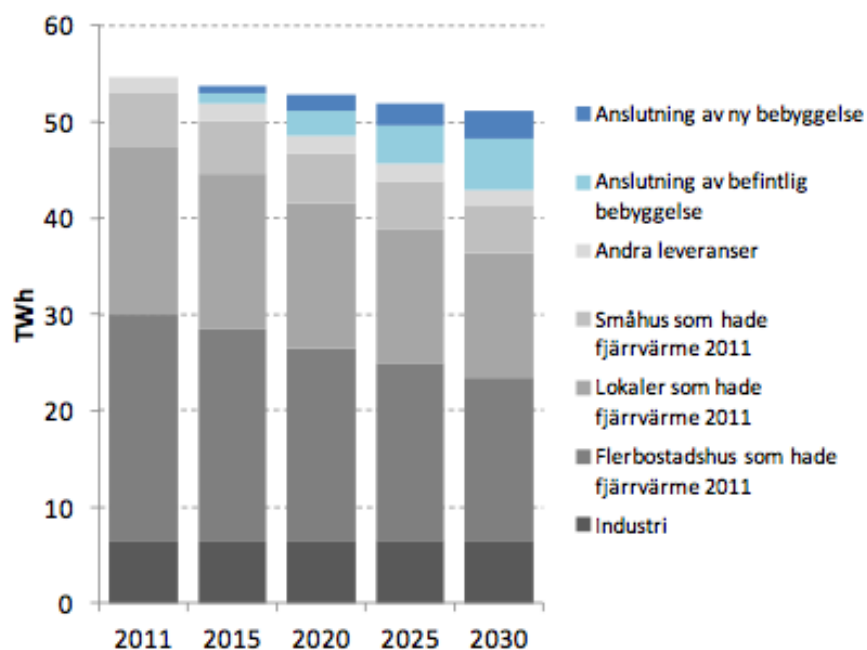


Mer individuellt



Kombinerade lösningar

Figur 23. Utvecklingen av levererad/köpt energi i de fyra scenarier som beskriver olika utvecklingsvägar för värmemarknaden i Sverige enligt projekt Värmemarknad Sverige (Sköldberg och Rydén, 2014).



Figur 24. Den beräknade utvecklingen av Sveriges samlade fjärrvärmeleveranser till och med 2030 enligt projektet Fjärrsyn (Sköldberg m fl, 2013).

Eftersom största delen av fjärrvärmens baseras på biobränslen idag innebär ett minskat behov av fjärrvärme i framtiden att även behovet av biobränslen kan påverkas. Övriga energibärare som används i dagens fjärrvärmeproduktion är framför allt spillvärme, värmepumpar, naturgas och övriga bränslen som avfall av icke förnybart ursprung (Energimyndigheten, 2015). Som tidigare beskrivits (se avsnitt 2.1) har t ex avfallsförbränningen ökat inom fjärrvärmeproduktionen som i sin tur medfört att användningen av skogsbränsle (framför allt hyggesrester som grot) minskat under senare år. Vilka energibärare som framför allt kommer att påverkas vid en minskad fjärrvärmeproduktion i framtiden beror av en mängd olika faktorer som tillgänglighet, pris, teknikutveckling, politiska styrmedel osv.

I Energimyndighetens scenarioanalys bedöms andelen biobränsle öka i framtida fjärrvärmeproduktion och utgöra drygt 75 % år 2030, jämfört med cirka 68 % idag (Energimyndigheten, 2014). I absoluta tal innebär detta i princip en oförändrad biobränsletillförsel till 2030 pga en minskad fjärrvärmeproduktion totalt sett, baserat på den beräknade framtida utvecklingen av fjärrvärme enligt Sköldberg m fl (2013). Enligt Energimyndighetens långsiktsprogno (2014) bedöms dock avfallsförbränningen öka på bekostnad av användningen av skogsbränslen inom fjärrvärmesektorn. I absoluta tal innebär detta att tillförseln av skogsbränslen kan komma att minska med cirka 3-4 TWh per år inom fjärrvärmeproduktionen till 2030 (inklusive omvandlingsförluster). Det finns dock stora osäkerheter i de olika faktorer som ligger till grund för denna uppskattning varför ett osäkerhetsintervall om +/- 2 TWh skogsbränslen inkluderas i kommande summeringar av skogsbränslepotentialen.

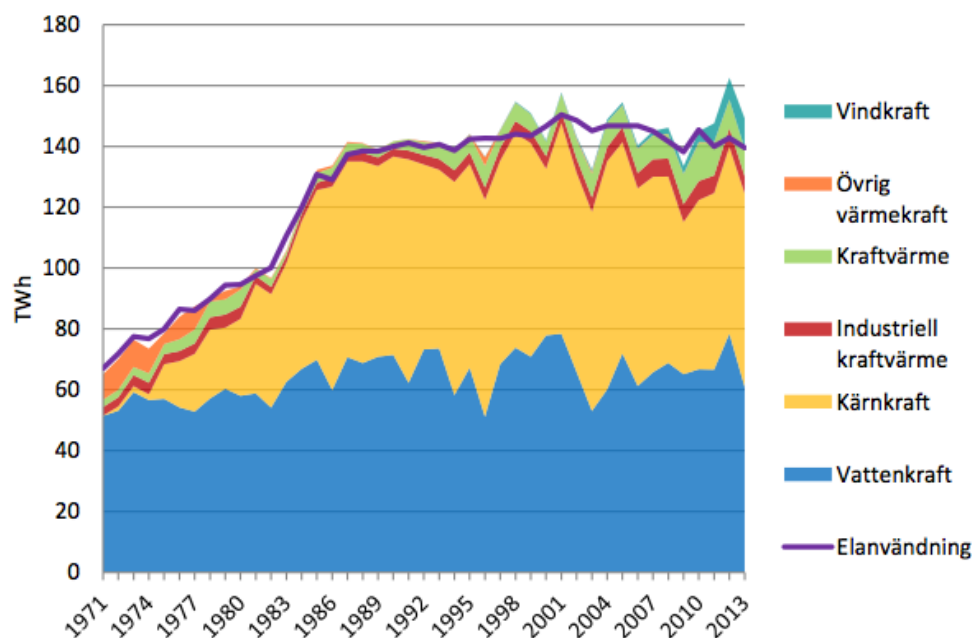
Varken Energimyndighetens scenarioanalys (Energimyndigheten, 2014) eller den uppdaterade fjärrvärmestudien av Sköldberg m fl (2013) beaktar tidsperspektivet mellan 2030 och 2050.

Därför utnyttjas här den mer generella värmemarknadsstudien av Sköldberg och Rydén (2014) för att grovt uppskatta hur behovet av skogsbränslen för fjärrvärmeproduktion kan komma att förändras efter 2030. Enligt de scenarier över framtida utveckling av värmemarknaden i Sverige som presenteras av Sköldberg och Rydén (2014) beräknas fjärrvärmerna kunna öka marginellt till att minska med upp till cirka 7 TWh per år mellan 2030 och 2050 (se Figur 23). I de två ”mellan-scenarierna” minskar fjärrvärmerna med cirka 2-4 TWh per år vilket här används som ett genomsnitt. Denna minskning antas framför allt belasta tillförseln av biobränslen och antas fördela sig någorlunda jämt mellan en minskad tillförsel av avfallsbränslen och skogsbränslen. Detta i sin tur innebär ett minskat behov av skogsbränslen om ytterligare cirka 1-2 TWh per år mellan 2030 och 2050. Även denna bedömning innefattar stora osäkerheter varför ett osäkerhetsintervall om +/- 2 TWh skogsbränslen per år inkluderas i kommande summeringar.

3.2.2. Kraftvärme

Dagens situation

Idag produceras drygt 9 TWh el per år via i kraftvärme i fjärrvärmesystem (Energimyndigheten, 2015). Tillsammans med industriell kraftvärme uppgår den totala kraftvärmeproduktionen till cirka 15 TWh per år vilket motsvarar 10 % av den totala elproduktionen i Sverige (Figur 25). Den biobränslebaserade kraftvärmeproduktionen har ökat väsentligt under det senaste decenniet.



Figur 25. Sveriges elproduktion per kraftslag och total elanvändning 1971-2013 (Energimyndigheten, 2015).

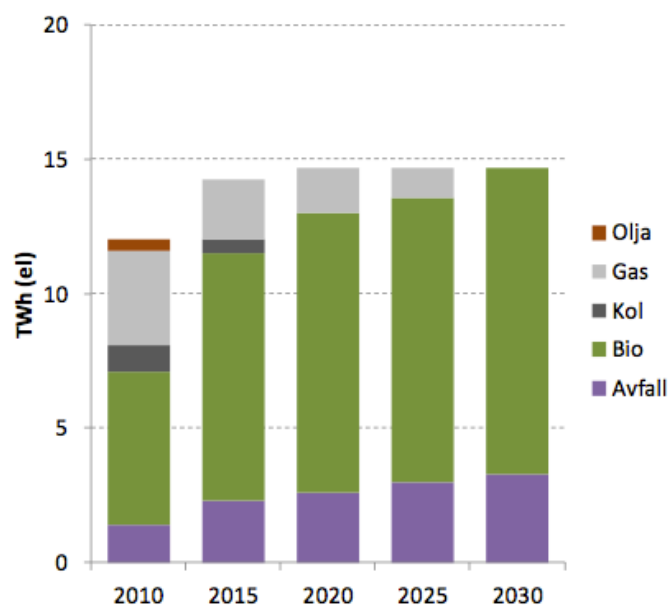
Framtidsscenarier

Inom projektet Fjärrsyn har också utvecklingen av kraftvärme i fjärrvärmesystem bedömts (Sköldberg m fl, 2013). Denna potentialuppskattning bygger på en sammanställning och bearbetning av resultat från sju olika källor, bl a Energimyndighetens Långsiktsprogno 2012 (Energimyndigheten, 2013). Den samlade bedömningen är att kraftvärmepotentialen uppgår till cirka 15 TWh el, både för år 2020 och 2030, d v s en ökning med cirka 6 TWh jämfört med dagens produktion (Energimyndigheten, 2015). Den uppskattade ökningen till 2020 inkluderar antagandet att fjärrvärmeleveranserna minskar något på sikt (se ovan angående fjärrvärmens utveckling) (Sköldberg m fl, 2013). För utvecklingen till 2030 antas ett svagt minskande fjärrvärmebehov vilket leder till att kraftvärmepotentialen förblir relativt konstant. I Figur 26 beskrivs den uppskattade kraftvärmepotentialen per bränsleslag. Som framgår av figuren är biobränsle, t ex skogsbränsle, det bränsleslag som bedöms öka mest, följt av avfallsbränslen.

I Energimyndighetens scenarioanalys bedöms elproduktionen via kraftvärme i fjärrvärmesystem kunna öka med cirka 4 TWh till år 2030 jämfört med idag (Energimyndigheten, 2014). Även i denna analys bedöms framför allt skogsbränslen stå för denna ökning, följt av avfallsbränslen.

En bedömning i föreliggande studie är att tillförseln av skogsbränsle för elproduktion via kraftvärme kan komma att öka med cirka 4-5 TWh per år till 2030 (inklusive omvandlingsförluster). Denna tillförsel kan således ”kompensera” för den minskade tillförsel som beräknas för värmeproduktion i fjärrvärmesystemen (se avsnitt 3.2.1). Sköldberg m fl (2013) visar i känslighetsanalyser att om värmeunderlaget är 20 % lägre 2030 blir kraftvärmepotentialen cirka 5 TWh per år lägre, d v s utvecklingen av fjärrvärmebehovet har en stor påverkan på kraftvärmepotentialen. Baserat på dessa osäkerheter och andra osäkra faktorer kopplat till framtida elproduktion via kraftvärme inkluderas här ett osäkerhetsintervall om +/- 2 TWh skogsbränsle per år i kommande summeringar.

En fortsatt minskning av fjärrvärmebehovet mellan 2030 och 2050 bedöms här innebära att potentialen för kraftvärme minskar något efter 2030. I avsnitt 3.2.1 ovan antas att fjärrvärmebehovet minskar med cirka 2-4 TWh per år mellan 2030 och 2050. Detta i sin tur bedöms minska potentialen för elproduktion via kraftvärme med cirka 1-2 TWh per år och i motsvarande omfattning behovet av skogsbränslen då skogsbränslen bedöms vara det dominerande bränslet vid kraftvärmeproduktion (se Figur 26) (Sköldberg m fl, 2013). Denna minskade efterfrågan på skogsbränslen för elproduktion via kraftvärme mellan 2030 och 2050 ska således läggas till den minskade efterfrågan på skogsbränslen för fjärrvärmeproduktion som antas mellan motsvarande period (se avsnitt 3.2.1.). Även denna uppskattade förändring av kraftvärmepotential och behov av skogsbränslen till 2050 innehåller stora osäkerheter varför ett osäkerhetsintervall om +/- 2 TWh skogsbränslen per år inkluderas.



Figur 26. Bedömd potential av elproduktion från kraftvärme inom fjärrvärmenätet per bränsleslag till och med 2030 enligt projektet Fjärrsyn (Sköldberg m fl, 2013).

Det finns ett antal förklaringar till varför elproduktionen via kraftvärme bedöms kunna öka de närmaste åren trots att fjärrvärmeunderlaget minskar. Idag utnyttjas bara cirka 40 % av fjärrvärmeunderlaget för kraftvärmeproduktion vilket indikerar en betydande potential för att öka utnyttjandet av det befintliga värmeunderlaget för kraftvärmeproduktion via investeringar och installation av betydligt fler turbiner och generatorer (Svebio, 2015). Dessutom kan man förlänga drifttiderna för biokraftproduktionen i befintliga anläggningar, sammankoppla befintliga fjärrvärmenät för att optimera värmeunderlagen, öka elutbytet genom ny teknik mm. I projektet ”Biokraftplattformen” har en bred expertpanel bedömt den totala teoretiska tekniska potentialen för ökad biokraftproduktion via kraftvärme till 2040 i fjärrvärmesystem, industri, småskalig värmeproduktion mm (Svebio, 2015). Deras bedömning är att den biobaserade elproduktionen via kraftvärme kan öka med mellan 25 till 30 TWh jämfört med idag. För att förverkliga denna potential krävs dock fortsatt teknikutveckling och betydligt mer effektiva styrmedel än idag. Inom projektet *Vägval el* gör IVA en liknande uppskattning om den tekniska potentialen för biobaserad elproduktion som bedöms kunna öka med som mest 40 TWh per år i framtiden jämfört med idag (IVA, 2016a). I detta fall krävs dock också en avsevärd teknikutveckling, utbyggda kraftvärmesystem och betydligt effektivare elproduktion i både storskaliga och småskaliga kraftvärmesystem.

Fjärrkyla

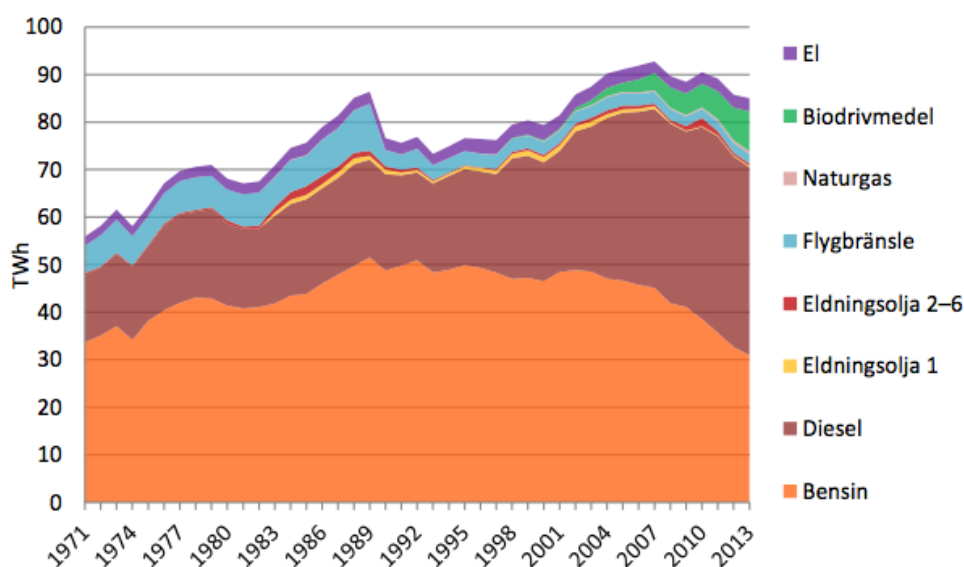
Leveranser av fjärrkyla har ökat snabbt sedan början av 1990-talet och uppgår nu till cirka 1 TWh per år. En grov uppskattning av Sköldberg m fl (2013) är att potentialen för fjärrkyla kan öka med cirka 2 TWh till 2030, d v s till totalt cirka 3 TWh. Av denna ökning bedöms knappt 1 TWh utgöras av absorptionskyla baserat på fjärrvärme som drivkälla. Övriga

tekniker är frikyla och kompressorkyla med el som drivkälla (Sköldberg, 2013). Eftersom fjärrvärme till största delen antas baseras på biobränslen kring 2030, enligt Energimyndighetens framtidsprognos (Energimyndigheten, 2013), bedöms behovet av biobränslen för fjärrkyla öka med knappt 1 TWh till 2030. Leveranser av fjärrkyla bedöms fortsätta öka till 2050 men biobränslebaserad adsorptionskyla med fjärrvärme som drivkälla antas här förbli relativt konstant, d v s cirka 1 TWh per år. På grund av osäkerheter i denna bedömning inkluderas ett osäkerhetsintervall om +/- 1 TWh per år.

3.3 Biodrivmedel

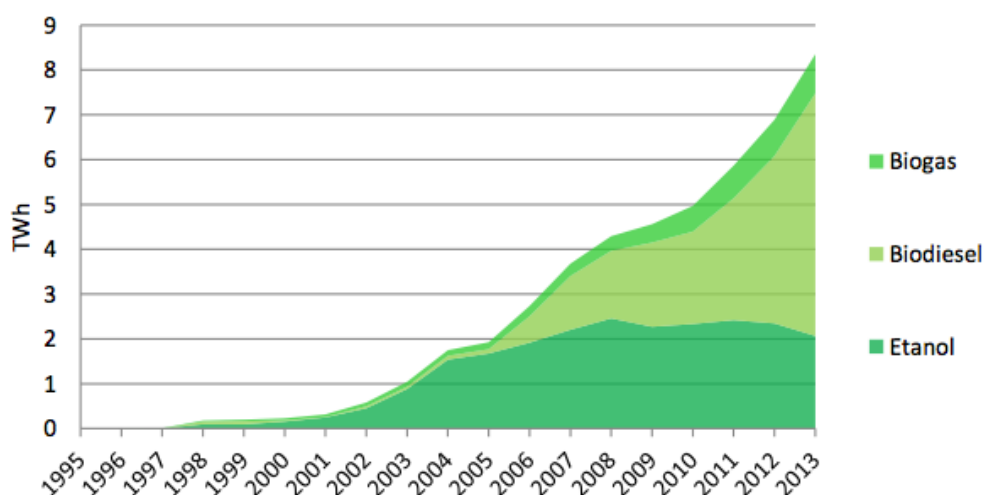
Dagens situation

Andelen biodrivmedel i transportsektorn har ökat under det senaste decenniet och drygt en tiondel av den totala energianvändningen (Figur 27). Under 2014 ökade den ytterligare med cirka 2 TWh och motsvarar då totalt cirka 12 % (Energimyndigheten, 2015c). Sedan 2007 har den totala energianvändningen inom den inhemska transportsektorn minskat med cirka 10 %, framför allt tack vare effektivare fordon (Energimyndigheten, 2015). När det gäller biodrivmedel har etanolanvändningen stagnerat och t o m minskat under senare år och utgör idag cirka 25 % av biodrivmedelsanvändningen (Figur 28). Det är framför allt höginblandad etanol, E85, som minskat medan låginblandad etanol i bensin är relativt konstant. Däremot har användningen av biodiesel ökat kraftigt och utgör idag cirka 65 % av biodrivmedelsanvändningen. Det är framför allt inblandning av HVO (hydrerad vegetabilisk olja) i diesel som ökat då denna kan blandas in i höga andelar i traditionell fossil diesel. Användningen av biogas utgör en relativt liten andel, cirka 10 %, och har varit relativt konstant under de senaste åren (Energimyndigheten, 2015c).



Figur 27. *Energianvändningen i transportsektorn, inrikes, 1971-2013 (Energimyndigheten, 2015).*

Råvarorna till den etanol som används idag utgörs nästan uteslutande av jordbruksgrödor som spannmål (framför allt vete men också rågvetete och korn, totalt knappt 70 %), majs (20 %), sockerbeter (8 %) och sockerrör (4 %) (Energimyndigheten, 2015b). Knappt 20 % av etanolen baseras på inhemska råvaror medan drygt 80 % importeras, huvudsakligen från Europa. När det gäller biodiesel utgörs denna av drygt 50 % HVO och knappt 50 % FAME (fettsyrametylester) som till uteslutande del utgörs av raps (så kallad rapsmetylester, RME). Mindre än 10 % av denna raps odlas i Sverige medan över 90 % importeras, framför allt från Europa men även från Australien (Energimyndigheten, 2015b). Råvarorna till HVO utgörs av avfall från slakteri (35 %), vegetabilisk eller animalisk avfallsolja (23 %), råttallolja (22 %), palmolja (15 %) samt animaliskt fett (5 %). Knappt 20 % av HVO'n baseras på inhemska råvaror medan drygt 80 % importeras, huvudsakligen från Europa men även från Indonesien och Malaysia (palmolja). Den största inhemska råvaran utgörs av tallolja som är en restprodukt inom massaindustrin och motsvarar ungefär 1 TWh per år. Biogasen som används som drivmedel produceras till cirka 95 % av inhemska råvaror, framför allt avloppsslam, matavfall samt avfall från livsmedelsindustri och slakteri. Endast cirka 6 % kommer från gödsel (Energimyndigheten, 2015). Sammanfattningsvis produceras drygt 40 % av alla biodrivmedel av restprodukter och avfall idag medan knappt 60 % produceras av grödor och trenden är att andelen biodrivmedel baserat på restprodukter och avfall ökar. Endast knappt 10 % utgör drivmedel från skogsbaserad råvara medan drygt 90 % utgör drivmedel från jordbruksbaserad råvara.



Figur 28. Användningen av biodrivmedel i transportsektorn 1995-2013 (Energimyndigheten, 2015).

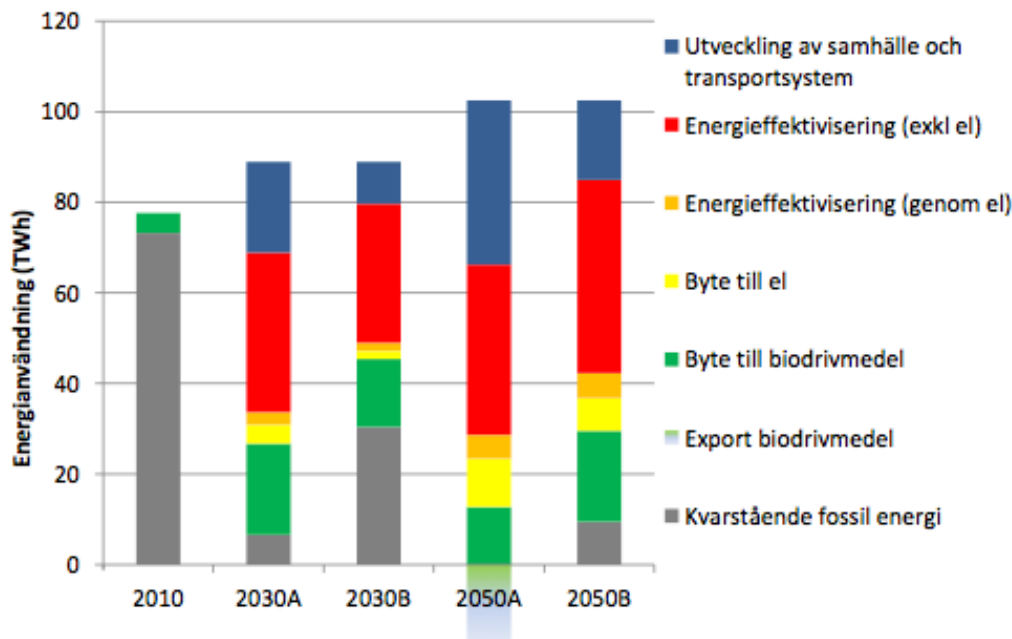
Framtidsscenarier

Under 2013 genomfördes en statlig utredning om fossilfri fordonstrafik, den så kallade FFF-utredningen (SOU, 2013). Uppdraget var att kartlägga möjliga handlingsalternativ samt identifiera åtgärder för att reducera transportsektorns utsläpp och beroende av fossila bränslen i linje med visionen att Sverige 2050 ska ha en hållbar och resurseffektiv energiförsörjning

utan nettoutsläpp av växthusgaser till atmosfären samt prioriteringen om en fossiloberoende fordonsflotta 2030. Utredningen definierade en fossiloberoende fordonsflotta enligt följande: ”ett vägtransportsystem vars fordon i huvudsak drivs med biodrivmedel eller elektricitet” (SOU, 2013). Dock fastställdes att effektiviseringar var prioritet ett och att först undersöka hur långt behovet av drivmedel kan begränsas. Utredningen identifierade därför följande fem åtgärdsområden där betydande insatser krävs för att nå en tillräcklig omställning: i) planera och utveckla attraktiva och tillgängliga städer som minskar efterfrågan på transporter och ger ökad transporteffektivitet, ii) infrastrukturåtgärder och byte av trafikslag, iii) effektivare fordon och ett energieffektivare framförande av fordon, iv) biodrivmedel samt v) eldrivna vägtransporter.

I Figur 29 sammanfattas utredningens bedömning av omställningspotentialen och vägtrafikens minskning av fossil energi till år 2030 respektive 2050. Vid varje tidsperspektiv anges två potentialuppskattningar som illustrerar hög utsläppsminskning (A) respektive låg utsläppsminskning (B). De åtgärdspotentialer som presenteras bedöms vara tekniskt-ekonomiskt rimliga och som kan realiseras inom den aktuella tidsramen under förutsättning av styrmedel av olika slag implementeras (och som presenteras i utredningen) (SOU, 2013). Som framgår av Figur 29 bedöms användningen av biodrivmedel öka jämfört med idag och motsvara 20 respektive 15 TWh per år kring 2030 i scenario A respektive B, samt 13 respektive 20 TWh per år kring 2050 i scenario A respektive B. Denna minskning av biodrivmedel mellan 2030 och 2050 i scenario A (hög utsläppsminskning) beror på ett lägre totalt transportbehov och högre andel elektrifiering 2050. Det ökade behovet av drivmedel kring 2030 och 2050 motsvarar ungefär en fördubbling jämfört med användningen idag. Dessutom görs bedömningen att ökningen framför allt måste baseras på biodrivmedel från avfall, biprodukter, lignin, cellulosa och hemicellulosa där den största produktionspotentialen beräknas finnas, d v s till stor del skogsbaserad råvara.

Ett framtida behov om 15-20 TWh biodrivmedel per år innebär ett biomassabehov om cirka 23-30 TWh när omvandlingseffektiviteten från biobaserad råvara till färdigt drivmedel ligger kring 65 %. Olika produktionssystem för biodrivmedel har olika omvandlingseffektivitet men för tekniker och system under utveckling bedöms omvandlingseffektiviteten oftast ligga mellan cirka 55-70 % (Börjesson m fl, 2013). Med tanke på den teknikutveckling som bedöms kunna ske fram till 2050 antas en omvandlingseffektivitet om 65 % vara rimlig. En viss andel biodrivmedel kommer sannolikt att baseras på andra råvaror än enbart skogsråvara också i framtiden, t ex biomassa från jordbrukssektorn, organiskt avfall osv, men huvuddelen antas här baseras på skogsråvara. En grov uppskattning är att cirka en tredjedel kommer att baseras på annan råvara än skogsråvara och att två tredjedelar kommer att baseras på skogsråvara, vilket ger ett behov av skogsbränslen om cirka 15-20 TWh per år. Eftersom vi idag använder cirka 1 TWh skogsbaserad råvara för biodrivmedelsproduktion i form av tallolja blir det ökade nettobehovet cirka 14-19 TWh per år.



Figur 29. Vägtrafikens användning av fossil energi med och utan åtgärder föreslagna inom den statliga utredningen om fossilfri fordonstrafik (SOU, 2013).

I en studie av Hansson och Grahn (2013) har ett stort antal scenarier utvecklats för att beskriva hur den potentiella utvecklingen av förnybara drivmedel i svensk vägtransportsektor till år 2030 kan komma att se ut beroende på olika förutsättningar. Studien baseras på en sammanställning av andra aktörers visioner för utvecklingen av förnybara drivmedel, en sammanställning av styrmedel för förnybara drivmedel, en kartläggning av befintlig och planerad produktionskapacitet för biodrivmedel i Sverige och utblick mot övriga världen, en diskussion kring Sveriges framtida importmöjligheter samt en kartläggning av situationen för infrastruktur och fordon. Scenarierna bygger på olika antaganden avseende den inhemska produktionskapaciteten av biodrivmedel, mängden import och mängden el till fordon. Studien baseras på en omfattande litteraturstudie där aktuella och relevanta potentialuppskattningar och scenarier sammanställs samt kontakter med aktuella aktörer inom området.

De scenarier som analyseras består av en kombination av följande fyra grupperingar av antaganden:

- A. Inhemsk biodrivmedelsproduktion: 1) endast befintliga och planerade anläggningar ingår, 2) befintliga och planerade anläggningar kompletteras med antaganden om fortsatt utbyggnad, samt 3) befintliga anläggningar ingår men planerade anläggningar fördröjs.
- B. Import av biodrivmedel: 1) importen ökar till 2020 för att därefter vara konstant, samt 2) importen minskar och är noll 2030.
- C. Elanvändning för vägtransporter: 1) mindre ambitiös utveckling, samt 2) mer ambitiös utveckling.
- D. Förnybar el till elbilar: 1) 100 % förnybar el, samt 2) 50 % förnybar el.

I Tabell 12 sammanfattas resultaten som ett intervall utifrån utvecklingen av den inhemska biodrivmedelsproduktionen till 2030 och där antaganden inom de övriga grupperingarna varierar. Resultaten visar att den totala mängden förnybara drivmedel inom svensk vägtransportsektor kan variera mellan 14 och 32 TWh per år till år 2030 när alla biodrivmedelsanläggningar producerar till full kapacitet och hela den inhemska produktionen används i den svenska vägtransportsektorn. Inhemskt producerade biodrivmedel bedöms uppgå till cirka 14-15 TWh per år när endast befintliga och planerade anläggningar ingår men kan öka till cirka 25 TWh per år vid en fortsatt utbyggnad av nya biodrivmedelsanläggningar. En framtida produktion om 15 respektive 25 TWh biodrivmedel per år innebär ett biomassabehov om cirka 25 respektive 40 TWh när omvandlingseffektiviteten från biobaserad råvara till färdigt drivmedel ligger kring 65 % (Börjesson m fl, 2013).

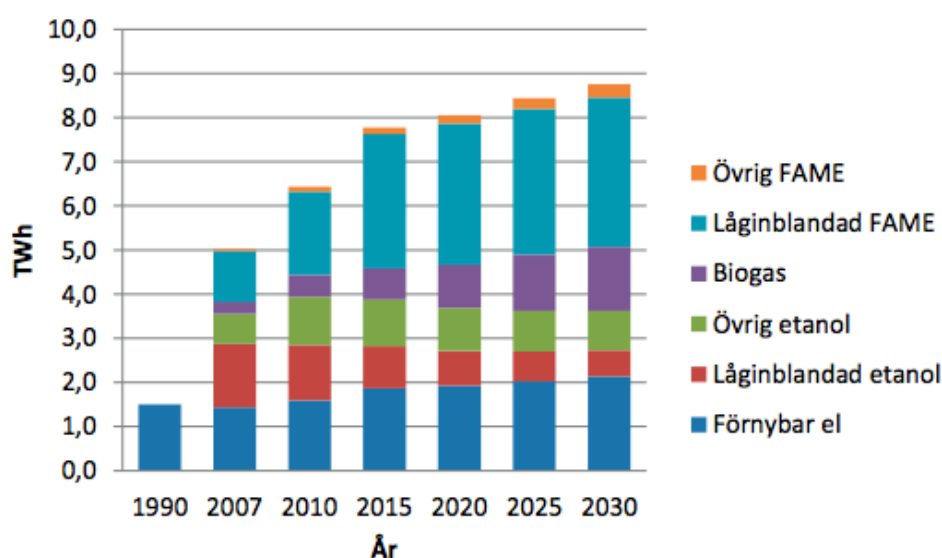
Tabell 12. Resultat för scenarier över möjlig utveckling av förnybara drivmedel i svensk vägtransportsektor år 2030 (TWh/år) baserat på olika kombinationer av antaganden, enligt Hansson och Grahn (2013).

Scenario	Inhemskt producerade biodrivmedel	Import av biodrivmedel	Förnybar el	Totalt förnybara drivmedel
A1. Endast befintliga och planerade biodrivmedels-anläggningar ingår + övriga antaganden varierar	14,6	0-3,4	0,4-4,0	15,0-22,0
A2. Befintliga och planerade anläggningar ingår och kompletteras med en fortsatt utbyggnad + övriga antaganden varierar	24,7	0-3,4	0,4-4,0	25,1-32,1
A3. Befintliga anläggningar ingår men planerade fördröjs + övriga antaganden varierar	14,0	0-3,4	0,4-4,0	14,4-21,4

I en uppdaterad version av scenarioanalysen som beskrivs ovan har Grahn och Hansson (2015) enbart inkluderat två scenarier, (i) befintliga anläggningar och realisering av planerade samt fortsatt utbyggnad respektive (ii) befintliga anläggningar men försenad realisering av planerade samt begränsad fortsatt utbyggnad. I denna uppdaterade scenarioanalys, som likt den tidigare beaktar tekno-ekonomiska förutsättningar, uppskattas den inhemska produktionen av biodrivmedel kunna uppgå till mellan 18-26 TWh per år 2030. En bedömning av Grahn och Hansson (2015) är att ungefär 30 % av biomassaråvaran kommer att utgöras av jordbruksbaserad biomassa och organiska avfallsprodukter utanför skogssektorn, d v s cirka 70 % kommer att baseras på skogsråvara. Med en omvandlingseffektivitet om cirka 65 % (Börjesson m fl, 2013) bedöms behovet av skogsbränslen att uppgå till cirka 19-28 TWh per år 2030. Nettoökningen jämfört med idag, d v s inklusive dagens användning av tallolja, blir då cirka 18-27 TWh per år.

I Energimyndighetens tidigare Långtidsprognos 2012 studeras också transportsektorns framtida energianvändning och ökning av förnybara drivmedel (Energimyndigheten, 2013).

Den totala energianvändningen för inrikes transporter bedöms minska med cirka 10 % till 2030 (från 2007) medan ökningstakten för förnybara drivmedel bedöms bli ganska låg. I Figur 30 redovisas Energimyndighetens prognos för förnybara drivmedel till 2030 vilka då bedöms uppgå till totalt cirka 9 TWh per år inklusive förnybar el. Som redovisats ovan har vi redan idag nått denna mängd biodrivmedel varför Energimyndighetens prognos bedöms inaktuell avseende framtida användning av biodrivmedel. Till exempel inkluderas inte HVO i prognosen vilket är det snabbast växande biodrivmedlet idag. I Energimyndighetens senaste scenarioanalys har därför uppdateringar gjorts och basåret flyttats fram till 2011 (Energimyndigheten, 2014). I denna scenarioanalys bedöms användningen av biodrivmedel uppgå till cirka 15 TWh per år 2030. Omräknat till biomassabehov motsvarar detta ungefär 23 TWh per år (Börjesson m fl, 2013).

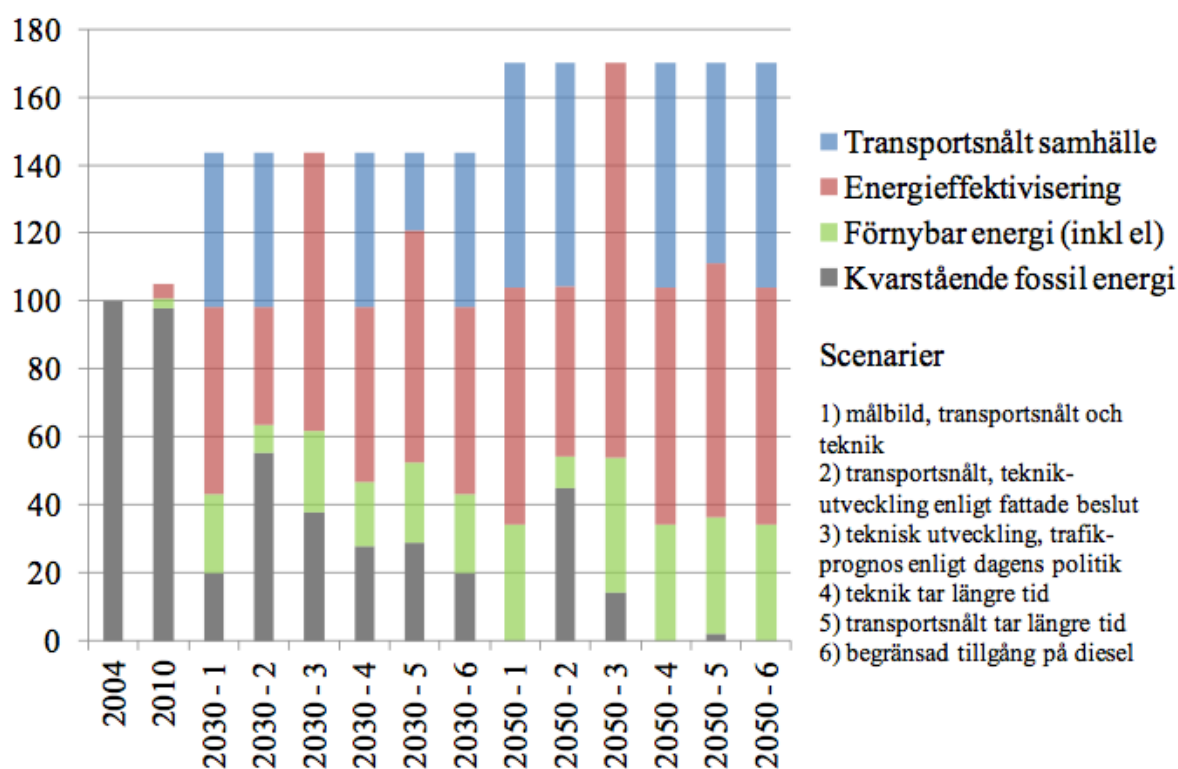


Figur 30. Användningen av förnybara drivmedel 1990, 2007 samt för prognosåren 2015, 2020, 2025 och 2030 enligt Energimyndighetens Långsiktsprogno 2012 (Energimyndigheten, 2013).

Naturvårdsverket tog 2012 på regeringens uppdrag fram ett underlag till en färdplan för hur Sverige ska kunna nå målvisionen att inte ha några nettoutsläpp av växthusgaser 2050 (Naturvårdsverket, 2012). I samband med detta färdplansarbete fick Trafikverket i uppdrag att ansvara för delprojekt *Transporter* med syfte att analysera hur det svenska transportsystemet kan utvecklas så att det bidrar till uppsatta klimatmål inom miljö- och transportpolitiken (Trafikverket, 2012). Resultaten redovisas i form av en målbild för ett framtida samhälle och transportsystem där klimatmål nås och där sektorn har anpassats till minskade oljetillgångar. Dessutom redovisas även alternativa scenarier samt åtgärder och styrmedel som behövs för att förverkliga målbilden.

I Figur 31 redovisas resultaten från Trafikverkets studie i form av sex olika scenarier för år 2030 respektive 2050 och där scenario 1 representerar målbilden om en fossiloberoende fordonsflotta inom vägtrafiken och scenario 2-6 representerar alternativa scenarier där

förutsättningar varierats. En slutsats från resultaten är att biodrivmedel bedöms utgöra en viktig del i fem av sex scenarier och i målbilden uppgå till cirka 15 TWh per år till 2030 och till cirka 18 TWh 2050 (motsvarande användning av förnybar el bedöms uppgå till cirka 7 respektive 14 TWh per år). Trafikverkets studie har ingått som en viktig del i den tidigare redovisade FFF-utredningen (SOU, 2013) varför resultaten avseende framtida användning av biodrivmedel är liknande. Omräknat till framtida behov av primär biomassa blir därför också liknande, cirka 25 TWh till 2030 respektive 30 TWh till 2050 (Börjesson m fl, 2013). Med antagandet om att cirka 70 % kommer att utgöras av skogsbränsle samt att vi idag använder cirka 1 TWh tallolja blir det ökade nettobehovet cirka 17 TWh per år till 2030 respektive 20 TWh per år till 2050.



Figur 31. Vägtrafikens användning av fossil energi med och utan åtgärder och styrmedel enligt olika scenarier som beskrivs i Trafikverkets delprojekt "Transporter" inom "Färdplan 2050" (Trafikverket, 2012). Index 2004 = 100. Scenario 1 motsvarar målbilden om en fossiloberoende fordonsflotta.

En sammanfattande bedömning baserat på de scenarioanalyser som beskrivs ovan är här att det ökade behovet av skogsråvara för biodrivmedelsproduktion kan komma att uppgå till i genomsnitt cirka 18-20 TWh per år 2030, med ett osäkerhetsintervall om 14-27 TWh per år. Behovet bedöms förbli relativt konstant till 2050 men med ett något ökat osäkerhetsintervall om 12-27 TWh per år.

3.4 Sammanlagd avsättningspotential

I Tabell 13 sammanfattas den sammanlagda potentialuppskattningen för *ökad* avsättning av biomassa för energiändamål samt som råvara för att ersätta dagens användning av fossil råvara in svensk industri. Den uppskattade ökade avsättningspotentialen uppgår totalt till cirka 30 TWh biomassa per år till 2030, med ett osäkerhetsintervall om cirka 10 till 50 TWh per år. Detta motsvarar ungefär 25 % av dagens användning av biomassa för energiändamål i Sverige. Avsättningspotentialen bedöms öka något till 2050 och då uppgå till cirka 35-40 TWh per år, med ett något större osäkerhetsintervall om cirka 10 till 60 TWh per år. De sektorer som bedöms ha störst ökad avsättningspotential är transportsektorn i form av biodrivmedel, följt av industrisektorn i form av process-energi. Behovet av biomassa för elproduktion via kraftvärme bedöms också öka medan behovet av biomassa för uppvärmning bedöms minska något. Om också behovet av biomassa som råvara för att ersätta fossil råvara inom dagens kemi- och petrokemiska industri inkluderas ökar avsättningspotentialen med ytterligare cirka 10-15 TWh biomassa per år till 2030, respektive till cirka 25-30 TWh till 2050.

Två kritiska parametrar som påverkar den framtida ökade avsättningspotentialen av biomassa för energiändamål och som råvara för att ersätta fossil råvara är dels graden av energieffektiviseringar, dels utvecklingen av elektrifiering i de olika sektorerna. Exempel är implementeringen av värmepumpar i bostadssektorn och i fjärrvärmeproduktion, elfordon i transportsektorn samt elektro-baserade processer och kolväten som råvara inom industrin. En snabb och kraftig effektivisering av energianvändningen i kombination med en omfattande elektrifiering inom de olika sektorerna som leder till minskad användning av fossil energi och råvara, representerar de lägre nivåerna i potentiell biomassaavsättning i osäkerhetsintervallerna (se Tabell 13). Om däremot utvecklingen går långsamt när det gäller energieffektivisering och elektrifiering under kommande decennier så ökar behovet av biomassa väsentligt och avsättningspotentialerna motsvarar då de högre nivåerna i osäkerhetsintervallerna.

Tabell 13. Uppskattning av *ökad* avsättningspotential för biomassa för energiändamål och som råvara för att ersätta fossil råvara inom olika sektorer i Sverige till 2030 respektive 2050. Uppskattningen baseras på en sammanställning av de referenser som beskrivs i texten ovan.

Energitjänst	Sektor	2030		2050		Potential
		Uppskattat genomsnitt	Intervall	Uppskattat genomsnitt	Intervall	
		(TWh/år)	(TWh/år)	(TWh/år)	(TWh/år)	
Värme	Fjärrvärme (FV)	-4 - -3	-6 - -1	-6 - -4	-8 - -2	Tekno-ekonomisk
	Individuell uppvärmning	0	-2 - 1	0	-4 - 1	Tekno-ekonomisk
Fjärrkyla	FV	1	0 - 2	1	0 - 2	Tekno-ekonomisk
Elproduktion	Kraftvärme i FV-system	4 - 5	2 - 7	2 - 4	0 - 6	Tekno-ekonomisk
	Kraftvärme i industri	2 - 3	0 - 5	2 - 3	0 - 5	Tekno-ekonomisk
Process-energi	Industri	7 - 8	4 - 10	17 - 18	10 - 25	Teknisk
Biodrivmedel	Vägtransport	18 - 20	14 - 27	18 - 20	12 - 27	Tekno-ekonomisk
Industri-råvara (ersättning av fossil råvara)	Kemisk och petrokemisk industri	12 - 13	8 - 17	28 - 30	20 - 40	Teknisk
Totalt-energi		28 - 34	12 - 51	34 - 42	10 - 64	
Totalt – inklusive råvara		40 - 47	20 - 68	62 - 72	30 - 104	

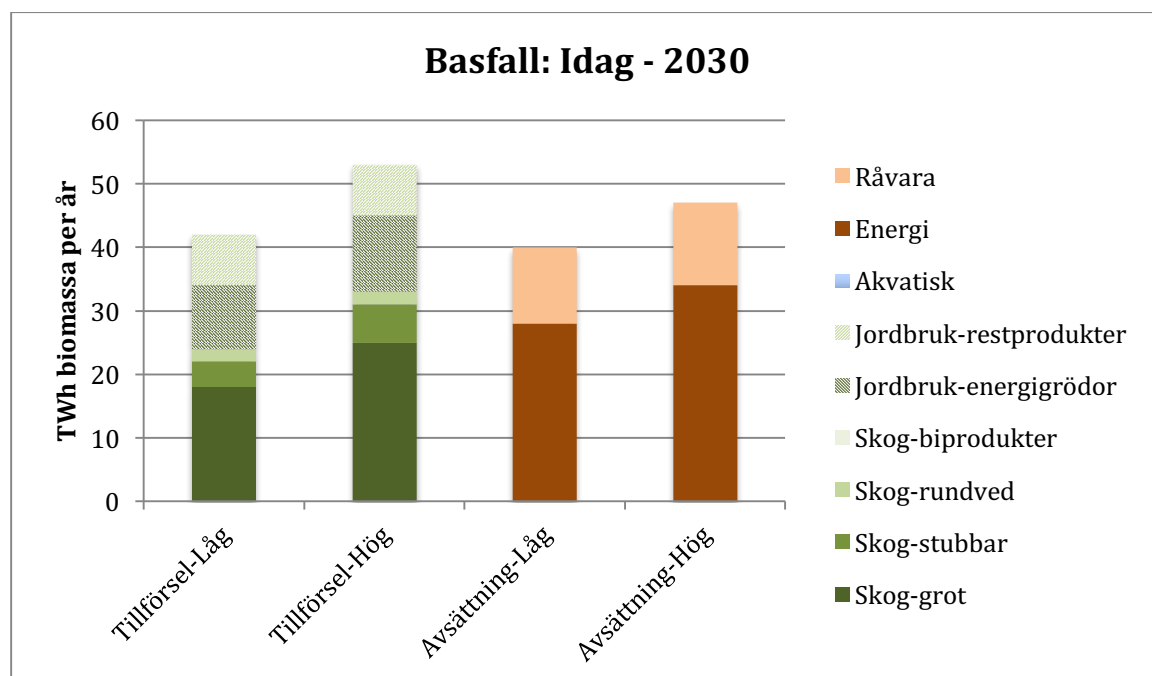
I Tabell 13 ingår inte uppskattningar över hur avsättningen av skogsbaserad råvara i form av rundvirke kan komma att öka i framtiden inom svensk skogsindustri för produktion av mer traditionella industriprodukter. Som beskrivs i avsnitt 3.1 bedömer dock Skogsstyrelsen att den globala efterfrågan på rundvirke för industriprodukter kommer att överstiga den potentiella globala tillförseln i framtiden (Skogsstyrelsen, 2015b). En konsekvens av detta är att förädlingen av rundvirke bedöms komma att öka allt mer inom skogsindustrin och att fler högvärdiga produkter kommer att produceras. Detta i sin tur kommer sannolikt att leda till att utnyttjandet av restprodukter inom skogsindustrin också kommer att effektiviseras och optimeras.

4 JÄMFÖRELSE MELLAN POTENTIELL ÖKAD TILLFÖRSEL OCH AVSÄTTNING AV BIOMASSA

I detta kapitel sammanfattas och jämförs de potentialberäkningar som utförts i tidigare kapitel för att beskriva hur framtida efterfrågan av biomassa i Sverige kan tillgodoses av inhemsk producerad biomassa. Jämförelserna inkluderar således inte import eller export av biomassa för energiändamål vilket sker idag och kommer att ske även i framtiden. I detta kapitel diskuteras dessutom vilka strategier som kan vara möjliga för att minimera potentiella miljömålskonflikter i samband med en ökad tillförsel av biomassa.

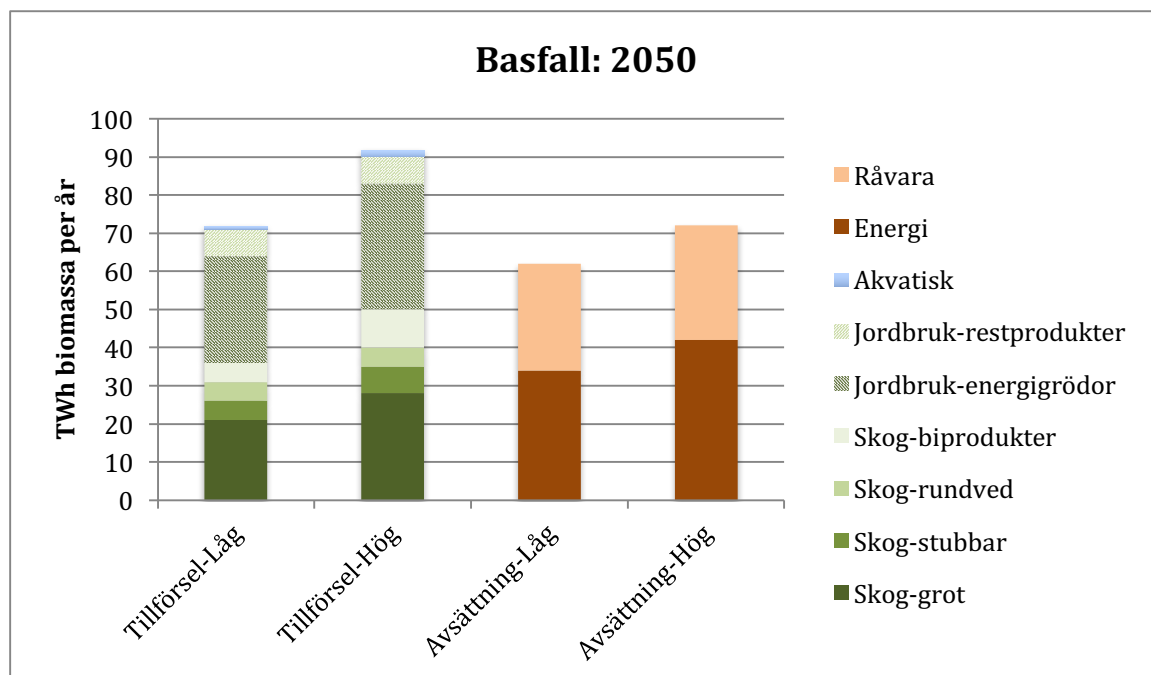
4.1 Balans mellan tillförsel och avsättning av biomassa

I Figur 32 redovisas balansen mellan uppskattad ökad tillförsel- och avsättningspotential för biomassa i Sverige för tidsperioden idag till 2030 (baserat på Tabell 11 och 13). Bedömningen avser ”basfallet” med ett intervall som speglar en något lägre respektive högre uppskattning baserat på de indata som legat till grund för bedömningen. Som framgår av Figur 32 bedöms balansen mellan potentiell ökad tillförsel och avsättning av biomassa vara relativt god. Beroende på om man väljer de lägre eller högre värdena i respektive intervall bedöms ett mindre underskott alternativt överskott av biomassa fås motsvarande i genomsnitt ungefär 9 TWh biomassa per år. Detta i sin tur motsvarar ungefär 20 % av den ökade tillförsel- och avsättningspotentialen.



Figur 32. Balans mellan uppskattad ökad tillförsel- och avsättningspotential för biomassa i Sverige avseende tidsperioden idag till 2030. Beräkningarna avser ”basfallet” inklusive en låg respektive hög uppskattning (baserat på Tabell 11 och 13).

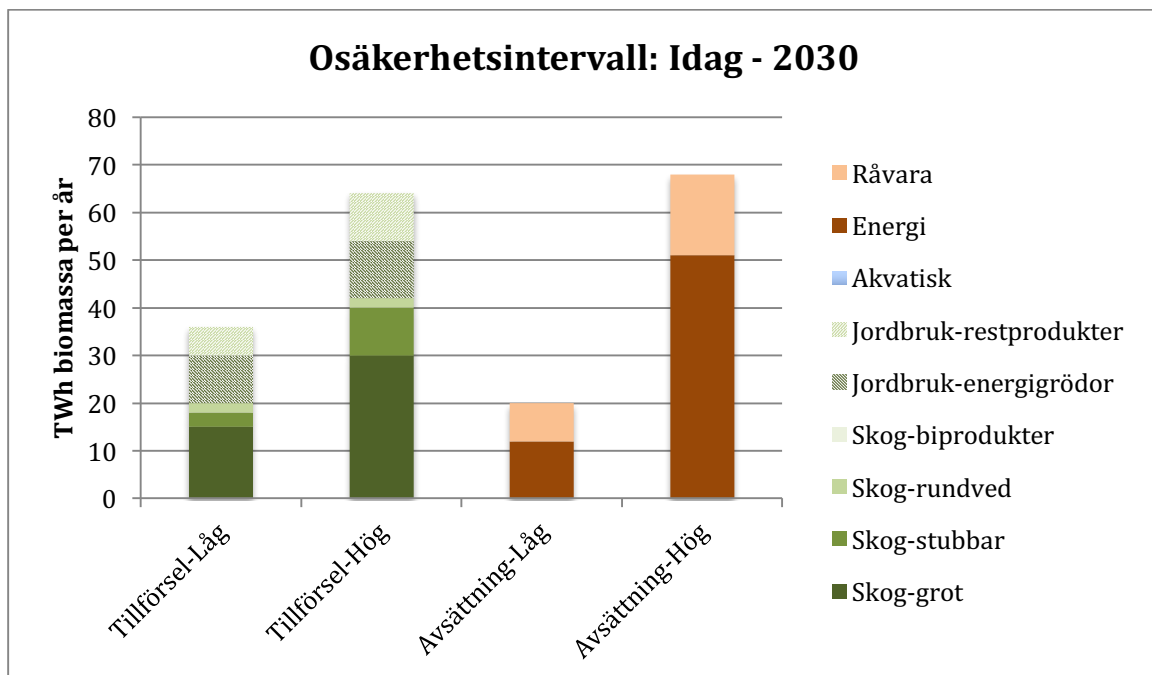
I Figur 33 redovisas balansen mellan uppskattad ökad tillförsel- och avsättningspotential för biomassa i Sverige för tidsperioden kring 2050 (baserat på Tabell 11 och 13). Bedömningen avser ”basfallet” med ett visst intervall (se texten ovan). Jämfört med idag till 2030 bedöms tillförselpotentialen 2050 öka något mer än avsättningspotentialen, d v s förutsättningarna för att möta en ökad efterfrågan med inhemskt producerad biomassa bedöms förbättrad. Intervallen indikerar att underskottet av inhemsk biomassa är försumbart medan överskotten kan uppgå till cirka 30 TWh per år.



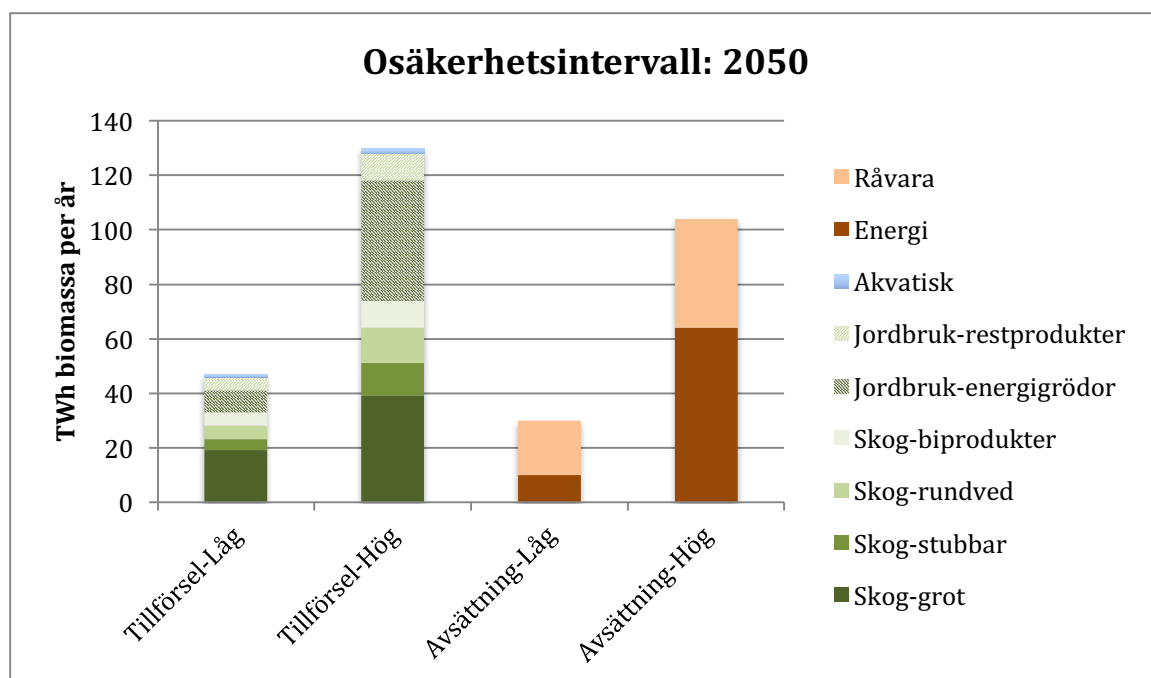
Figur 33. Balans mellan uppskattad ökad tillförsel- och avsättningspotential för biomassa i Sverige avseende tidsperioden kring 2050. Beräkningarna avser ”basfallet” inklusive en låg respektive hög uppskattning (baserat på Tabell 11 och 13).

I Figur 34 och 35 beskrivs balanserna mellan potentiell ökad tillförsel och avsättning av biomassa utifrån de osäkerhetsintervall som uppskattats inom respektive potentialberäkning (se Tabell 11 och 13). Som framgår av Figur 34 och 35 kan såväl stora överskott som underskott av biomassa fås beroende vilka utvecklingsvägar som väljs. I tidsperspektivet idag till 2030 är t ex skillnaderna mellan lägsta tillförselpotential (minimum) och högsta avsättningspotential (maximum) drygt 30 TWh biomassa per år. Motsvarande skillnad mellan högsta tillförselpotential och lägsta avsättningspotential är drygt 40 TWh per år. I tidsperspektivet kring 2050 ökar dessa skillnader. Underskottet av biomassa bedöms kunna uppgå till maximalt knappt 60 TWh per år medan överskottet bedöms kunna uppgå till maximalt cirka 100 TWh per år. Dessa osäkerhetsintervall speglar ”ytterligheterna” i utvecklingsvägarna för framtida tillförsel- respektive avsättningspotentialer för biomassa och kan därför antas vara något mindre realistiska. Om t ex en ambitiös klimatpolitik implementeras som leder till en ökad efterfrågan på biomassa för att ersätta fossilbaserad

energi och råvara så stimulerar detta sannolikt samtidigt en ökad tillförsel av långsiktigt hållbar biomassa, d v s en potentiellt ökad efterfrågan följs rimligen av en potentiellt ökad tillförsel. Dock visar intervallerna vilka möjligheter det potentiellt finns att med t ex olika styrmedel driva utvecklingen mot ökad tillförsel respektive avsättning av biomassabaserade energibärare och råvara.



Figur 34. Balans mellan uppskattad ökad tillförsel- och avsättningspotential för biomassa i Sverige avseende tidsperioden idag till 2030. Beräkningarna avser "osäkerhetsintervall" inklusive en miniminivå respektive maximal nivå (baserat på Tabell 11 och 13).



Figur 35. Balans mellan uppskattad ökad tillförsel- och avsättningspotential för biomassa i Sverige avseende tidsperioden kring 2050. Beräkningarna avser "osäkerhetsintervall" inklusive en miniminivå respektive maximal nivå (baserat på Tabell 11 och 13).

4.2 Hantering av miljömålskonflikter

En ökad tillförsel och avsättning av biomassa för att ersätta fossilbaserad energi och råvara är, och har varit, en av de viktigaste strategierna i Sverige för att nå uppsatta klimatmål. För att en fortsatt ökad tillförsel och avsättning av biomassa ska vara långsiktigt hållbar ur miljösynpunkt krävs dock att denna potentiella ökning inte minskar möjligheterna för att nå andra väsentliga miljömål. Det finns i princip två olika strategier för att minska potentiella miljömålskonflikter, dels (i) utveckla långsiktigt uthålliga produktionssystem för biomassa, dels (ii) minska behov av biomassa genom olika slags effektiviseringsåtgärder på användarsidan. I praktiken behövs båda dessa strategier parallellt.

Långsiktigt hållbara tillförselsystem

De miljömässiga effekterna av ett ökat uttag av skogsbränslen som grot (grenar och toppar) och stubbar måste bedömas utifrån både ett bestånds- och landskapsperspektiv. Detta gäller framför allt uttaget av stubbar och effekterna på biologisk mångfald. I avsnitt 2.1. ovan beskrivs den ekologiskt uthålliga skogsbränslepotentialen enligt dels uppskattningar inom SKA 15 (SKA, 2015), som bygger på Skogsstyrelsens nuvarande riktlinjer, dels enligt synteser från Energimyndighetens Bränsleprogram (de Jong m fl, 2012). Skillnaderna i dessa potentialuppskattningar är relativt stora för framför allt stubbar och enligt Skogsstyrelsen

kommer nya (mer restriktiva) riktlinjer att krävas vid en storskalig skörd av stubbar (Eriksson, 2016).

Potentiella konflikter med miljömål som t ex *Bara naturlig försurning* kan minimeras vid skogsbränsleuttag via ökad återföring av vedaska, vilket endast sker i begränsad omfattning idag (Björkman och Börjesson, 2014). Enligt de Jong m fl (2012) är den potentiella mängden vedaska som kan återföras till skogsmark inte tillräcklig för att hela grot-potentialen ska utnyttjas utan att detta påverkar försurningen negativt. Det kan därför i framtiden krävas att vedaska kompletteras med t ex kalk för att fullt ut kunna utnyttja bränslepotentialen i form av grot. Påverkan på miljömålet *Ingen övergödning* bedöms också förbli relativt marginell medan ett ökat uttag av framför allt stubbar kan leda till en ökad risk för bildning och läckage av metylkvicksilver vilket potentiellt kan påverka miljömålet *Giftfri miljö* negativt (de Jong m fl, 2012). Här kan mer forskning behövas för att utveckla skördestrategier för att minimera dessa risker. Alla dessa tre miljömål hanteras huvudsakligen på beståndsnivå och endast delvis på landskapsnivå. Däremot måste miljömålet *Levande skogar* hanteras lika både på bestånds- och landskapsnivå. En viktig anledning till varför en kraftigt ökad stubbskörd påverkar biologisk mångfald negativt på landskapsnivå är att stubbar utgör en betydande andel av mängden grov död ved i skogslandskapet som i sin tur är en ”bristvara” för den biologiska mångfalden (de Jong m fl, 2012).

Ett sätt att kunna skapa förutsättningar för ett långsiktigt uthålligt ökat uttag av stubbar är genom kompensationsåtgärder som ger motsvarande ekologiska effekter som stubbarna gör när dessa sparas. Sådana kompensationsåtgärder kan t ex inkludera större arealer hänsynsytor och frivilliga avsättningar för att öka andelen grov död ved utifrån ett landskapsperspektiv. Ökade avsättningar för naturvårdsändamål minskar produktionsarealen något, och därmed skogsproduktionen, men det finns också möjligheter att skörda en viss andel skogsbiomassa även i avsatta områden utan att negativt påverka biologisk mångfald. För att kunna göra dessa avvägningar mellan miljömål i praktiken vid specifika skogsbränsleuttag krävs dock nya och utvecklade bedömningsmetoder och ofta också bättre data på lokal nivå (Björkman och Börjesson, 2014). När det gäller ökad tillförsel av biomassa i form av restprodukter från skogsindustrin bedöms denna inte leda till en direkt ökad risk för miljömålskonflikter, d v s restprodukter från skogsindustrin har fördelar jämfört med hyggesrester i detta avseende.

När det gäller ökad biomassatillförsel från jordbruket och risk för miljömålskonflikter beror detta till stor del på om biomassan utgörs av restprodukter eller om den är primärt producerad på åkermark. Ett ökat utnyttjande av organiska avfallsprodukter och gödsel kan till och med leda till positiva synergieffekter ur miljösynpunkt, d v s dessa biomassaråvaror har fördelar ur miljösynpunkt (se t ex Börjesson m fl, 2013). Ett ökat uttag av halm kan potentiellt leda till ökad risk för miljömålskonflikter om uttaget blir för stort och leder till minskade markkolshalter och bördighet, d v s här krävs väl avvägda uttagsnivåer. Metoder för detta finns till stor del utvecklade idag men dessa behöver tillämpas mer på mer lokal nivå vid ett väsentligt ökat uttag av halm för t ex energiändamål.

En ökad odling av snabbväxande lövträd på nedlagd åkermark kan påverka miljömålet *Ett rikt odlingslandskap* på olika sätt. Nedlagd jordbruksmark kan i många fall vara rik på biologisk mångfald, t ex gamla betesmarker och hagmarker osv. Om sådana marker planteras med t ex

snabbväxande lövträd leder detta sannolikt till negativa effekter på den biologiska mångfalden. I potentialuppskattningarna ovan har därför endast lövträdsodling på nedlagd åkermark inkluderats, d v s inte på nedlagd betesmark. Här antas att nedlagd åkermark generellt sett har lägre naturvärden än nedlagd betesmark, men detta kan sannolikt skilja utifrån lokala förutsättningar. I vissa fall kanske nedlagd åkermark är viktigare att skydda ur biodiversitetssynpunkt samtidigt som det kan finnas nedlagd betesmark med låga naturvärden som är lämpliga för skogsodling. Hur landskapet ser ut i övrigt spelar också roll, t ex om den nedlagda jordbruksmarken finns i skogsbygder, mellanbygder eller jordbruksbygder. Lövträdsodling på nedlagd åkermark i jordbruksintensiva områden med begränsad förekomst av skog kan sannolikt leda till ökad biologisk mångfald, d v s synergieffekter mellan olika miljömål. För noggrannare bedömningar av eventuella miljömålskonflikter vid skogsodling på nedlagd jordbruksmark krävs därför mer detaljerade studier med tillräckligt hög geografisk upplösning.

En stor del av biomassapotentialet från jordbruket som beskrivs i avsnitt 2.2. ovan utgörs av odling av energigrödor på åkermark som inte utnyttjas för livsmedelsproduktion. En ökad odling av energi- och industrigrödor kan dels ge en direkt miljöpåverkan, dels en indirekt om odlingen konkurrerar ut t ex livsmedelsproduktion som flyttas till någon annan plats och där ger en förändrad miljöpåverkan (så kallade iLUC-effekter). En direkt miljöpåverkan kan vara antingen positiv eller negativ beroende på vilken gröda och odlingssystem som väljs och vad åkermarken annars används till. Om t ex fleråriga grödor ersätter ettåriga leder detta ofta till positiva effekter för miljömål som *Ett rikt odlingslandskap* och *Ingen övergödning*. Det finns ett stort antal studier och publikationer under senare år som beskriver hur energiodlingar kan utformas, lokaliseras och skötas för att ge olika synergieffekter och därigenom bidra till olika miljömål (se t ex Börjesson, 2007; IEA Bioenergy, 2015). Genom att styra vilka grödor och odlingssystem som premieras vid en ökad biomassaproduktion för energi- och industriändamål inom jordbruket kan således miljömålskonflikter minimeras.

I potentialuppskattningarna i avsnitt 2.2. ovan antas att en ganska stor andel av dagens åkermark kan komma att vara tillgänglig för energi- och industrigrödor även i framtiden utan att konkurrera med livsmedelsproduktion. Om däremot den inhemska livsmedelsproduktionen skulle öka väsentligt i framtiden och därigenom också behovet av åkermark, så ökar konkurrensen om åkermark och riskerna för indirekta miljömålskonflikter (iLUC-effekter) vid en expanderad biomassaproduktion via odling av energi- och industrigrödor. I detta fall är den åkerbaserade biomassapotentialet som antagits inte långsiktigt hållbar. Om inte åkermark finns tillgängligt för energi- och industrigrödor så minskar potentialen för ökad tillförsel av biomassa från jordbruket med cirka 55-60 % under dagens förutsättningar och med cirka 70-75 % kring 2050 (se Tabell 9). Hur jordbrukspolitik och lönsamhet inom svensk livsmedelsproduktion utvecklas i framtiden, och därigenom tillgången på åkermark för andra ändamål, styr med andra ord hur långsiktigt hållbar åkerbaserad biomassa kommer att vara.

När det gäller produktion av akvatisk biomassa bedöms denna leda till marginella risker för miljömålskonflikter. Tvärtom kan dessa produktionssystem leda till olika synergieffekter och effektivare resursutnyttjande.

Reducerade behov tack effektivisering och elektrifiering

Den andra principiella strategin för att minimera riskerna för miljömålskonflikter vid ökad biomassatillförsel är att reducera behovet av biomassa för att ersätta fossilbaserad energi och råvara. På detta sätt kan de biomassaresurser som bedöms ha bäst miljöprestanda och medföra minst risk för miljömålskonflikter prioriteras. Som framgår av Kapitel 3 ovan kan behovet av biomassa reduceras väsentligt inom olika sektorer tack vare effektivisering och elektrifiering. Med endast marginell och långsam effektivisering och elektrifiering kan det potentiella ökade biomassabehovet komma att uppgå till som mest cirka 70 TWh per år kring 2030 respektive cirka 100 TWh per år kring 2050 (se Tabell 13). Endast cirka 60-70 % av detta behov kan i bästa fall tillgodoses av ekologiskt hållbar skogsbiomassa (se Tabell 11, avsnitt 2.4). Det övriga behovet (30-40 %) måste tillgodoses av framför allt jordbruksbaserad biomassa, vilket i sin tur kräver att en avsevärd areal åkermark finns tillgänglig för odling av energi- och industrigrödor i långsiktigt uthålliga odlingsystem. Som mest kan mer än en tredjedel av åkermarken krävas för biomassaproduktion för att tillgodose de maximala behoven kring 2050.

Om däremot en signifikant och snabb effektivisering och elektrifiering sker inom respektive sektor kan det potentiella ökade behovet av biomassa begränsas till som minst endast cirka 20 TWh per år kring 2030 respektive cirka 30 TWh per år kring 2050. Detta behov bedöms mer än väl kunna tillgodoses av enbart skogsbiomassa, alternativt enbart jordbruksbaserad biomassa om cirka 15-25% av åkerarealen finns tillgänglig för biomassaproduktion. En ökad elektrifiering inom transport-, industri- och värmesektorn kräver ökad tillförsel av el för dessa nya specifika energitjänster. Denna eltilförsel måste vara miljömässigt hållbar som t ex bio-baserad el via kraftvärme som enligt denna potentialstudie bedöms kunna öka med cirka 6-8 TWh per år till 2030, eller andra förnybara energislag som vindkraft och sol. En ökad elektrifiering inom olika sektorer behöver dock inte betyda att den totala elanvändningen ökar dramatiskt i framtiden. Detta beror dels på en generell energieffektivisering som medför att elbehovet för andra energitjänster minskar, dels på strukturförändringar inom vissa sektorer som kan "frigöra" el för andra ändamål. Ett exempel är nedläggning av mekanisk massaproduktion som enligt en studie av IVA (2015b) kan minska elbehovet på sikt med cirka 10 TWh el per år. Enligt samma studie bedöms den totala elanvändningen i Sverige efter 2030 kunna vara i ungefär samma nivå som idag, cirka 130 TWh el per år, eller öka till cirka 165 TWh el per år (IVA, 2015b). Även i Energimyndighetens scenarioanalys bedöms den totala elanvändningen kunna förbli relativt konstant fram till 2030 (Energimyndigheten, 2014).

5 SAMMANFATTANDE SLUTSATSER

Den sammanlagda potentialen för ett uthålligt ökat uttag av skogsbränslen uppskattas till cirka 25-30 TWh per år idag respektive 35-50 TWh per år kring 2050, med ett osäkerhetsintervall mellan cirka 20-40 respektive 30-70 TWh per år. De lägre nivåerna i osäkerhetsintervallen kan ses motsvara hårdare ekologiska begränsningar, begränsade kompensationsåtgärder och

lägre energieffektiviseringstakt inom skogsindustrin (som medför lägre överskott av restprodukter) medan de högre nivåerna i intervallen kan ses motsvara det motsatta. De största osäkerheterna i bedömningarna gäller uttagsnivåerna för grot (grenar och toppar) och stubbar och uppfyllande av miljömål på landskapsnivå, t ex biologisk mångfald. Den största ökningspotentialen för grot finns i norra Sverige medan den är mer begränsad i södra Sverige.

Potentialen för ett uthålligt *ökat* uttag av jordbruksbaserad biomassa uppskattas till cirka 18-20 TWh per år idag respektive 35-40 TWh per år kring 2050. Osäkerhetsintervallet bedöms till mellan cirka 16-22 TWh per år idag men som ökar till mellan 15-55 TWh per år kring 2050, framför allt beroende på stora osäkerheter i fråga om tillgång på åkermark för odling av energi- och industrigrödor. Den tekniska potentialen för akvatisk biomassa uppskattas mycket grovt till mellan cirka 0,6-1,5 TWh per år kring 2050. Potentialen baseras på de tekniskt-ekonomiskt mest realistiska produktionssystemen vilka bedöms vara utnyttjande av naturligt förekommande makroalger (d v s ej odling av makroalger i havsbassänger) samt odling av mikroalger i öppna dammar (d v s ej odling i slutna bio-reaktorer).

Den sammanlagda potentialen för en uthålligt *ökad* inhemsk produktion av biomassa uppskattas således till cirka 42-53 TWh per år idag respektive cirka 72-92 TWh per år kring 2050, med ett osäkerhetsintervall om 36-64 respektive 47-130 TWh per år. Som jämförelse uppgår dagens biobaserade energitillförsel till cirka 130 TWh per år. Tillförselpotentialen bedöms vara något större från skogssektorn än jordbrukssektorn idag, medan denna skillnad bedöms kunna minska något till 2050. Osäkerheten i potentialuppskattningarna är dock större för jordbruksbaserad biomassa än skogsbaserad 2050, framför allt på grund av stora osäkerheter i fråga om tillgången på åkermark som inte utnyttjas för livsmedelsproduktion.

Tillförselpotentialen från akvatiska system bedöms vara liten jämfört med potentialen från jord- och skogsbruk och endast utgöra någon procent, baserat på förutsättningar som bedöms gälla de närmaste decennierna.

De uppskattade potentialerna inkluderar tekniska, ekonomiska och/eller ekologiska begränsningar i olika grad och det finns stora osäkerheter i hur stor del av dessa som kan komma att realiseras i framtiden, d v s hur stor den ökade *marknadspotentialen* kommer att bli. Denna påverkas i stor grad av styrmedel inom t ex energi-, klimat- och jordbrukspolitiken som i sin tur påverkar konkurrensen mot andra energislag, skogs- och jordbruksbaserade produkter, annan markanvändning osv. I dagsläget är marknadspotentialen betydligt lägre än den potential som uppskattas i denna studie, d v s förändringar krävs inom framför allt styrmedelsområdet för att den uppskattade ökade tillförselpotentialen ska komma att realiseras i väsentligt omfattning.

Den sammanlagda potentialen för *ökad* avsättning av biomassa för energiändamål uppskattas till totalt cirka 30 TWh biomassa per år till 2030, med ett osäkerhetsintervall mellan 10 till 50 TWh per år. Avsättningspotentialen bedöms öka något till 2050 och då uppgå till cirka 35-40 TWh per år, med ett något större osäkerhetsintervall om cirka 10 till 60 TWh per år. De sektorer som bedöms ha störst ökad avsättningspotential är transportsektorn (i form av biodrivmedel) följt av industrisektorn (i form av process-energi). Behovet av biomassa för elproduktion via kraftvärme bedöms också öka medan behovet av biomassa för uppvärmning bedöms minska något. Om också behovet av biomassa som råvara för att ersätta fossil råvara

inom dagens kemi- och petrokemiska industri inkluderas ökar avsättningspotentialen med ytterligare cirka 10-15 TWh per år till 2030 samt cirka 25-30 TWh per år kring 2050.

Två kritiska parametrar som påverkar den framtida ökade avsättningspotentialen är dels graden av energieffektiviseringar, dels graden av elektrifiering i de olika sektorerna som t ex implementeringen av värmepumpar i bostadssektorn och i fjärrvärmeproduktion, elfordon i transportsektorn samt elektro-baserade processer och kolväten som råvara inom industrin. De lägre nivåerna i osäkerhetsintervallen ovan representerar en snabb och kraftig energieffektivisering i kombination med en omfattande elektrifiering inom de olika sektorerna. Om däremot utvecklingen går långsamt när det gäller energieffektivisering och elektrifiering under kommande decennier så ökar behovet av biomassa väsentligt och avsättningspotentialerna motsvarar då de högre nivåerna i osäkerhetsintervallen.

Balansen mellan potentiell *ökad* tillförsel och avsättning av biomassa bedöms i "basfallet" vara relativt god för tidsperioden idag till 2030 (se Figur 32, avsnitt 4.1). Det potentiella underskottet alternativt överskottet av biomassa motsvarande cirka 20 % av den ökade tillförsel- och avsättningspotentialen. När det gäller balansen kring 2050 bedöms tillförselpotentialen öka något mer än avsättningspotentialen, d v s förutsättningarna för ett överskott av biomassa bedöms vara större än ett underskott vilket innebär förbättrade möjligheter att möta en ökad efterfrågan med inhemskt producerad biomassa (se Figur 33, avsnitt 4.1).

En kombination av de uppskattade osäkerhetsintervallen avseende potentiell *ökad* tillförsel respektive avsättning av biomassa visar att såväl stora överskott som underskott av biomassa kan fås beroende vilka utvecklingsvägar som väljs. I tidsperspektivet idag till 2030 är skillnaderna mellan lägsta/högsta tillförselpotential och högsta/lägsta avsättningspotential drygt 30 respektive 40 TWh per år. Kring 2050 ökar dessa skillnader där det maximala underskottet respektive överskottet av biomassa bedöms kunna uppgå till cirka 60 respektive 100 TWh per år. Dessa osäkerhetsintervall speglar "ytterligheterna" i utvecklingsvägarna för framtida tillförsel- respektive avsättningspotentialer för biomassa och bedöms därför vara mindre realistiska. En ambitiös klimatpolitik som leder till en ökad efterfrågan på biomassa för att ersätta fossilbaserad energi och råvara stimulerar sannolikt samtidigt en ökad tillförsel av långsiktigt hållbar biomassa. Dock visar intervallerna vilka möjligheter det potentiellt finns att med t ex olika styrmedel påverka utvecklingen av biobaserade system.

En ökad tillförsel och avsättning av biomassa för att ersätta fossilbaserad energi och råvara är, och har varit, en av de viktigaste strategierna i Sverige för att nå uppsatta klimatmål. För att denna strategi ska vara fortsatt långsiktigt hållbar ur miljösynpunkt krävs dock att en ökad tillförsel inte minskar möjligheterna för att nå andra viktiga miljömål. Detta är möjligt genom utvecklingen av långsiktigt uthålliga produktionssystem för biomassa i kombination med ett begränsat ökat behov av biomassa genom olika slags effektiviseringsåtgärder på användarsidan. För att denna kombination ska bli realitet krävs skärpta styrmedel inom alla berörda sektorer. På detta sätt möjliggörs en fortsatt växande bioekonomi i Sverige.

6 REFERENSER

AstaReal AB (2016). www.astareal.se

Bauen A., Berndes G., Junginger M., Londo M., Vuille F., Ball R., Bole T., Chdziak C., Faaij A. & Mozaffarian H. (2009a). *Bioenergy – A sustainable and reliable energy source, a review of status and prospects*. IEA Bioenergy: ExCo: 2009:06.

Bauen A., Hoves J., Bertuccioli L. & Chudziak C. (2009b). *Review of the potential for biofuels in aviation. Final report for CCC (Committee on Climate Change)*. E4Tech, London, UK.

Berg A., Karlsson A., Ejlertsson J. & Nilsson F. (2011). *Utvärdering av samrötningspotential för bioslam från massa-/pappersbruk*. Värmeforsk Rapport S09-204. Stockholm.

Björnsson L., Lantz M., Börjesson P., Prade T., Svensson S-E. and Eriksson H. (2013). *Impact of biogas energy crops on GHG emissions, soil organic matter and food crop production – a case study on farm level*. f3-rapport 2013:27, The Swedish Knowledge Centre for Renewable Transportation Fuels.

Björkman M. & Börjesson P. (2014). *Balancing different environmental effects of forest residue recovery in Sweden – A stepwise handling procedure*. Report No 84, Environmental and Energy Systems Studies, Lund University.

Bucefalos (2015). *Artificial algae cultivation on municipal wastewater as a volume efficient water cleaning system and energy source*.

Bucefalos (2014a). *Biogaspotential från akvatiska substrat i Skåne*. Delrapport 1.

Bucefalos (2014b). *Biogaspotential från akvatiska substrat i Skåne*. Delrapport 2.

Börjesson P., Lundgren J., Ahlgren S. & Nyström I. (2013). *Dagens och framtida hållbara biodrivmedel. Underlagsrapport från f3 till Utredningen om FossilFri Fordonstrafik (SOU 2013:84)*. f3-rapport 2013:13, Svenskt Kunskapscenter för Förnybara Drivmedel.

Börjesson P. (2007). *Bioenergi från jordbruket – en växande resurs*. Bilagedel, Statens Offentliga Utredningar, SOU 2007:36, Stockholm.

de Jong J. (2016). Personlig kommunikation. Sveriges Lantbruksuniversitet, Centrum för Biologisk Mångfald (CBM), Uppsala.

de Jong J. & Lönnberg L. (red.) (2012). *Konsekvenser av ett ökat uttag av skogsbränsle. En syntes från Energimyndighetens bränsleprogram 2007 – 2011*. ER 2012:08, Energimyndigheten, Eskilstuna.

Egnell G. & Börjesson P. (2012). *Theoretical versus market available supply of biomass for energy from long-rotation forestry and agriculture – Swedish experiences*. IEA Bioenergy Task 43, Report 2012:02.

Ekendahl, S. (2015). Sveriges Tekniska Forskningsinstitut, SP. Presentation på Nordic Baltic Bioenergy Conference 2015, Riga Lettland.

Energimyndigheten (2015). *Energiläget 2015*. Eskilstuna.

Energimyndigheten (2015b). *Hållbara biodrivmedel och flytande biobränslen under 2014*. Rapport ET 2015:12. Eskilstuna.

- Energimyndigheten (2015c). *Transportsektorns energianvändning 2014*. Rapport ES 2015:01. Eskilstuna.
- Energimyndigheten (2014). *Scenarier över Sveriges energisystem*. Rapport ER 2014:19. Eskilstuna.
- Energimyndigheten (2013). *Energimyndighetens Långsiktsprogno 2012*. Rapport ER 2013:03. Eskilstuna.
- Ericsson K., Johansson B., Nilsson L.J., Åhman M. (2015). *Industrins långsiktiga utveckling i samspel med energisystemet*. Rapport ER 2015:18, Energimyndigheten, Eskilstuna.
- Eriksson H. (2016). Personlig kommunikation. Skogsstyrelsen, Jönköping.
- FAO (2010). *Fishery and Aquaculture Statistics*. Rome, Italy.
- FSC (2016). Forest Stewardship Council, FSC Sweden. www.se.fsc.org
- Grontmij (2010). *Biogas – nya substrat från havet*. Malmö.
- Hansson J. & Grahn M. (2013). *Utsikt för förnybara drivmedel i Sverige*. Rapport B2083, IVL Svenska Miljöinstitutet AB, Stockholm.
- IEA Bioenergy (2015). *Assessing the environmental performance of biomass supply chains*. Schweinly J. et al. Report 2015:TR01, International Energy Agency, Bioenergy Task 43.
- IVA (2016a). *Sveriges framtida elproduktion – en delrapport*. IVA-projekt Vägval el, Rapport IVA-M 463. Kungliga Ingenjörsvetenskapsakademien, Stockholm.
- IVA (2016b). *Framtidens elanvändning – en delrapport*. IVA-projekt Vägval el, Rapport IVA-M 461. Kungliga Ingenjörsvetenskapsakademien, Stockholm.
- Jordbruksverket (2015). *Jordbruksstatistik sammanställning 2015*. Jönköping.
- Jordbruksverket (2012). *Ett klimatvänligt jordbruk 2050*. Rapport 2012:35. Jönköping.
- Jordbruksverket (2011). *Energigräs – en kunskapssammanställning*. Jönköping.
- Kautsky U. & Kautsky H. (1994). Coastal productivity in the Baltic Sea. I: Eleftheriou A., Ansell A. & Smith C. (eds.) *Biology and Ecology of Shallow Coastal Waters*. 28th European Marine Biology Symposium, Crete, Greece.
- Mistra (2016). AquaAgri – Produktionssystem inom vatten och jordbruk. www.aquaagri.se
- Naturvårdsverket (2012). *Underlag till en färdplan för ett Sverige utan klimatutsläpp 2050*. Rapport 6537, Stockholm.
- Nilsson D. & Bernesson S. (2009). *Straw as fuel: available resources and harvest time*. Report 011, Dept. of Energy and Technology, Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala.
- Olofsson J. & Börjesson P. (2015). *Nedlagd åkermark för biommassaproduktion – kartläggning och potentialuppskattning*. f3-rapport 2016:01, Svenskt Kunskapscenter för Förnybara Drivmedel.
- Riksskogstaxeringen (2015). *Skogsdata 2015*. Sveriges Officiella Statistik, Inst. för Skoglig Resurshushållning, Sveriges Lantbruksuniversitet, Umeå.

- Risén E. (2014). *Sustainability aspects of bioenergy and nutrient recovery from marine biomass*. Doktorsavhandling, Industriell Ekologi, Kungliga Tekniska Högskolan, KTH, Stockholm.
- Rydén B., Sköldberg H., Stridsman D., Göransson A., Sahlin T., Sandoff A., Williamsson J., Hansson N., Holmberg U. & Gunnarsson A. (2013). *Slutrapport för Fjärrsynprojektet: Fjärrvärmens affärsmodeller*. Fjärrsyn rapport 2013:7 (www.fjarrvarmensaffarsmodeller.se)
- Sapphire Energy (2013). www.sapphireenergy.com
- Seppälä J., Spilling K., Salo E., Natunen K., Suutari M., Kostamo K., Haupt F., Regmi G. & Lakkonen E. (2013). *Potential uses of micro- and macroalgae in the Baltic Sea Region*. Report 10:2013, Finnish Environment Institute (SYKE), Marine Research Centre, Finland.
- Seafarm (2016). Makroalger för ett biobaserat samhälle. www.seafarm.se
- Simris Alg AB (2016). www.simrisalg.se
- SKA (2015). *Skogliga konsekvensanalyser 2015 – SKA15*. Rapport 10, Skogsstyrelsen, Jönköping.
- Skogsindustrierna (2015). *Så går det för skogsindustrin*. Kvartalsrapport - December 2015. Stockholm.
- Skogsstyrelsen (2011). *Skogs- och miljöpolitiska mål – brister, orsaker och förslag på åtgärder*. Meddelande 2:2011. Jönköping.
- Skogsstyrelsen (2014). *Skogsstatistikens Årsbok 2014*. Jönköping.
- Skogsstyrelsen (2015a). *Skog och skogsmark*. [Elektronisk] Tillgänglig: <http://www.skogsstyrelsen.se/arealer> (2015-12-04).
- Skogsstyrelsen (2015b). *Global fratida efterfrågan på och möjligt utbud av virkesråvara*. Rapport 4:2015. Jönköping.
- Skogsstyrelsen (2015c). *Rundvirkes- och skogsbränslebalanser för år 2013 – SKA 15*. Meddelande 3:2015. Jönköping.
- Sköldberg H., Unger T. & Göransson A. (2013). *Potentialen för kraftvärme, fjärrvärme och fjärrkyla*. Fjärrsyn rapport 2013:15. Svensk Fjärrvärme AB.
- Sköldberg H. och Rydén B. (2014). *Värmemarknaden i Sverige – en samlad bild*. Värmemarknad Sverige (www.varmemarknad.se)
- Solazyme (2013). www.solazyme.com
- SOU (2013). *Fossilfrihet på väg. Betänkande av Utredningen om fossilfri fordonstrafik*. Statens Offentliga Utredningar, SOU 2013:84. Stockholm.
- Svebio (2015). *Ett 100 procent förnybart elsystem kräver en betydande andel biokraft*. Biokraftplattformen. Svenska Bioenergiföreningen, Stockholm.
- Svensk Fjärrvärme (2015). *Statistik och pris*. [Elektronisk] Tillgänglig: <http://www.svenskfjarrvarme.se/Statistik--Pris/> (2015-12-09).
- Thomas J-B. (2013). *An investigation of development pathways for an economically viable seafarm cultivation at the Kosterfjorden, Sweden*. Master of Science Thesis, Industrial Ecology, KTH, Stockholm.

Trafikverket (2012). *Delrapport transporter. Underlag till färdplan 2050*. Rapport 2012:224, Borlänge.

Tredici M. (2010). Photobiology of microalgae mass cultures: understanding the tools for the next green revolution. *Biofuels*

WSP (2013). *Realiserbar biogaspotential i Sverige år 2015 genom rötning och förgasning*. Stockholm.