



LUND UNIVERSITY

Biogent kol i nya produkter

Nilsson, Lars J; Ericsson, Karin

Published in:
Perspektiv på bioenergi

2024

Document Version:
Förlagets slutgiltiga version

[Link to publication](#)

Citation for published version (APA):

Nilsson, L. J., & Ericsson, K. (2024). Biogent kol i nya produkter. I *Perspektiv på bioenergi: Biomassans framtida roll i en föränderlig värld* (s. 71-76). (IMES/EESS Rapport 133; Nr Rapport Nr 133). Miljö- och energisystem, LTH, Lunds universitet.

Total number of authors:
2

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

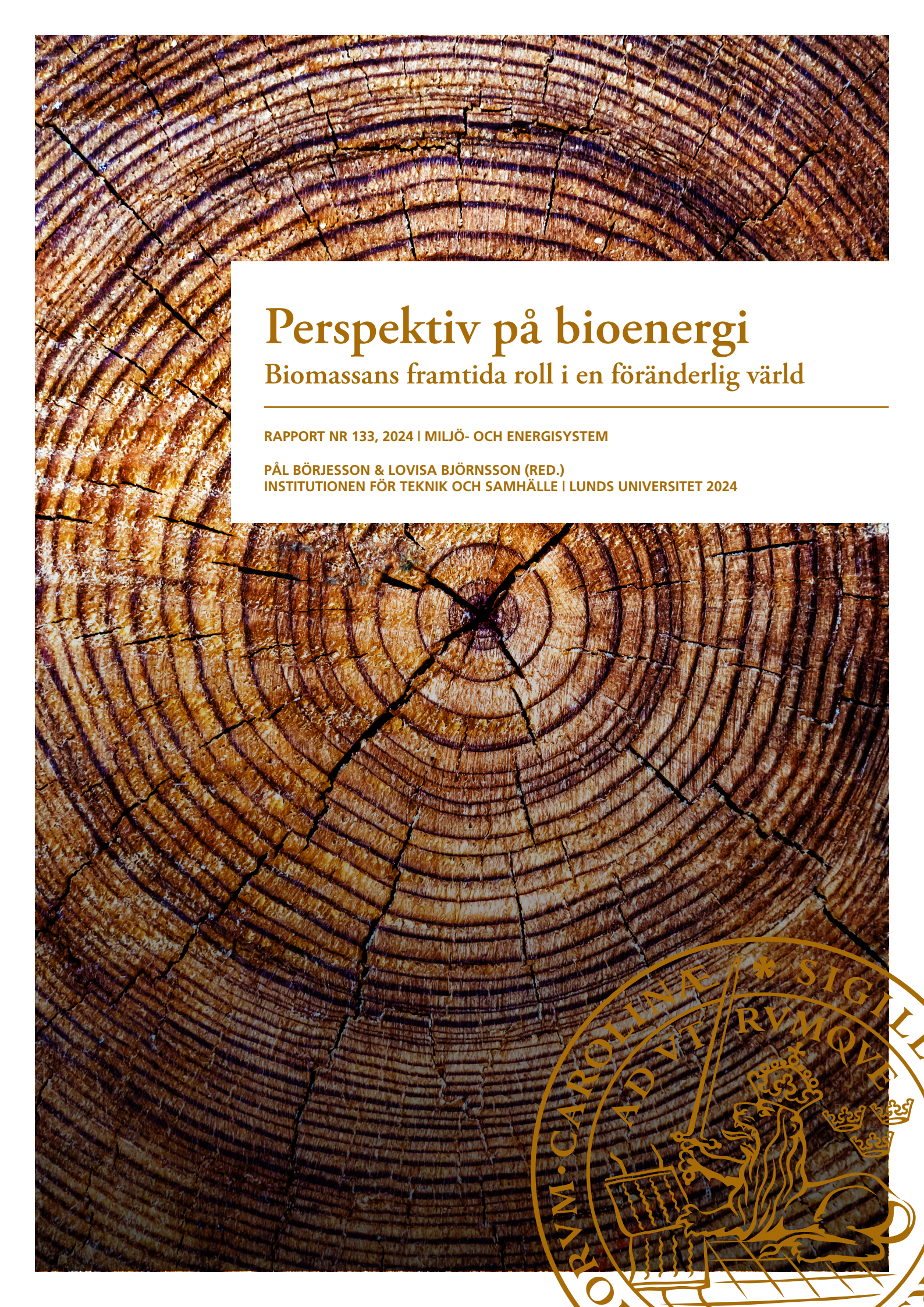
Read more about Creative commons licenses: <https://creativecommons.org/licenses/>

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



Perspektiv på bioenergi

Biomassans framtida roll i en föränderlig värld

RAPPORT NR 133, 2024 | MILJÖ- OCH ENERGISYSTEM

PÅL BÖRJESSON & LOVISA BJÖRNSSON (RED.)
INSTITUTIONEN FÖR TEKNIK OCH SAMHÄLLE | LUNDS UNIVERSITET 2024



Perspektiv på bioenergi

Biomassans framtida roll i en föränderlig värld

Pål Börjesson & Lovisa Björnsson
(redaktörer)

Miljö- och energisystem, Institutionen för teknik och samhälle,
Lunds tekniska högskola, Lunds universitet



LUND
UNIVERSITY

Dokumentutgivare, Dokumentet kan erhållas från

LUNDS UNIVERSITET

Avdelningen för miljö- och energisystem

P.O. Box 118

SE-221 00 Lund, Sweden

<https://www.miljo.lth.se>

Dokumentnamn Rapport 133

Utgivningsdatum Februari 2024

Redaktörer Pål Börjesson & Lovisa Björnsson

Författare Lovisa Björnsson, Pål Börjesson, Karin Ericsson, Jamil Kahn, Mikael Lantz, Alexandra Nikoleris, Lars J. Nilsson, Johanna Olofsson & Max Åhman

Dokumenttitel och undertitel

Perspektiv på bioenergi – Bioenergins framtida roll i en föränderlig omvärld

Omslagsbild

Snitt av trädstam av tall med årsringar

Foto: Adobe Stock

Abstract

Bioenergi spelar idag en stor roll i det svenska energisystemet ur klimat- och energisäkerhetssynpunkt men vilken roll kan inhemsk bioenergi komma att spela framöver för att Sverige ska bli ett fossilfritt samhälle med nettonollutsläpp 2050? Syftet med detta arbete är att utifrån olika perspektiv beskriva viktiga förutsättningar, skeenden och förändringar som kan spela roll för utveckling av inhemsk bioenergi de kommande decennierna. Rapporten ska ses som underlag för fortsatta fördjupade analyser. Slutsatserna är att inhemsk bioenergi även 2050 kommer att spela en viktig roll i Sveriges energisystem men att osäkerheterna i framtida tillgång på bioråvara ökar. Nya politiska prioriteringar och regleringar samt klimatförändringar är faktorer som påverkar tillgången. Konkurrensen om bioråvara kommer att öka liksom priset vilket driver på ökad förädlingsgrad och skiftande användningsområden över tid. Detta påverkas också av i vilken takt elektrifiering och elektrobränslen, som är både konkurrerande och kompletterande till bioenergi, utvecklas, samt hur prisrelationen mellan el och biomassa och konsumtionsmönster förändras. Sammantaget behövs allt mer integrerade, tidsdynamiska och tvärvetenskapliga angreppssätt för att studera bioenergins framtida utveckling där tekniska, naturvetenskapliga, samhälleliga och beteendenaspekter beaktas.

Nyckelord

Bioenergi, tillförsel, användning, energisystem, 2050, tvärvetenskaplig systemanalys

Omfång 84

Språk Svenska

ISRN LUTFD2/TFEM-- 24/3124--SE + (1-84)

ISSN 1102-3651

ISBN 978-91-86961-59-6

Intern institutionsbeteckning

IMES/EESS Rapport 133

Printed in Sweden by Tryckeriet i E-huset, Lund University

Lund 2024

Förord

Denna rapport har skrivits inom ramen för projektet ”Bioenergins roll för att nå de energi- och klimatpolitiska målen – en analys av en föränderlig funktion i ett dynamiskt energisystem” som finansieras av Energimyndigheten via forskningsprogrammet Bio+. Syftet med rapporten är att ge ett breddat interdisciplinärt perspektiv på bioenergins framtida möjligheter men också begränsningar i att bidra till ett klimatneutralt och fossilfritt energisystem i Sverige. I arbetet beskrivs hur förutsättningarna för inhemsk tillförsel av biomassa för energiändamål från jordbruks-, skogs- och avfallssektorn kan komma att förändras kommande decennier liksom efterfrågan av biobaserade energibärare inom olika sektorer, inklusive konkurrerande avsättning som råvara för nya biobaserade produkter. Ambitionen är inte att ge en heltäckande bild av aspekter kring bioenergins framtida utveckling utan snarare ge olika exempel som belyser vikten av att betrakta bioenergins förutsättningar ur ett tillräckligt tvärvetenskapligt och mångfacetterat perspektiv. Rapporten är tänkt att ligga till grund för vidare fördjupningar kring bioenergins framtida roll via utvecklade framtidsscenarier samt kvantifieringar av potentiell tillförsel och användning av biomassa och relaterade miljöeffekter.

Pål Börjesson och Lovisa Björnsson har varit redaktörer för arbetet som utförts gemensamt av forskare vid Avdelningen för miljö- och energisystem, Institutionen för teknik och samhälle vid Lunds universitet. Den tvärvetenskapliga forskning som bedrivs inom avdelningen kopplar direkt eller indirekt till bioenergins framtida utveckling och roll i energi- och klimatomställningen. Författarna besitter specifika ämneskunskaper inom teknik-, natur- och samhällsvetenskap och har bidragit med bl a följande forskningskompetens: Lovisa Björnsson, professor, hållbarhetsvärderingar för bioenergirelaterade teknik- och jordbruksfrågor, Pål Börjesson, professor, bioenergisystems hållbarhets- och miljöprestanda, Karin Ericsson, docent, systemperspektiv på användning av biomassa/biogent kol, Jamil Khan, docent, governance och styrmedel samt transportpolitik, Mikael Lantz, doktor, systemstudier av biodrivmedel och elektrifiering, Alexandra Nikoleris, doktor, omställnings- och framtidsstudier, Lars J. Nilsson, professor, industri- och klimatpolitik, Johanna Olofsson, doktor, hållbarhetsvärderingar för användning av restbiomassa i cirkulär ekonomi och Max Åhman, docent, energiintensiva industrins omställning.

Författarna tackar referensgruppen i projektet för värdefulla synpunkter på rapportens synteskapitel: Per Bodin, Jordbruksverket, Patrik Söderholm, Klimatpolitiska rådet samt Johan Vinterbäck, Energimyndigheten.

Lund, februari 2024

Författarna

Innehållsförteckning

1. Inledning	1
2. Biomassans framtida roll – en syntes	3
2.1 Var behövs bioenergin?	3
2.1.1 Snabba svängningar i transportsektorns biodrivmedelsefterfrågan	3
2.1.2 Flexibel produktion av flytande biodrivmedel för flyg- och sjöfart	4
2.1.3 Elektrobränslen kommer in längre fram i tiden	5
2.1.4 Bioenergi till fjärr- och kraftvärme minskar	5
2.1.5 Elektrifiering i industrin premieras framför biobränsleanvändning	6
2.2 Hur utvecklas konkurrensen om biomassa?	6
2.2.1 Framtida elpriser och begränsningar i tillförsel av bioråvara är viktiga faktorer.	6
2.2.2 Den fossilfria kemiindustrin behöver kolatomer	7
2.2.3 Bio-CCS, bio-CCU och biokol förutsätter fortsatt biobränsleanvändning	7
2.3 Vad påverkar ett hållbart uttag av inhemsk bioråvara?	8
2.3.1 Osäkra faktorer påverkar framtidens uttag av biomassa från skogen	8
2.3.2 Hur utvecklas framtida krav på skog som kolsänka?	8
2.3.3 Ökad kolinbindning och minskade lustgasutsläpp nödvändigt för åkermark	9
2.3.4 Tillgången på biomassa från jordbruket kan förändras på olika sätt	9
2.3.5 Kaskadprincipen minskar avfallsströmmarna	10
2.3.6 Energiutvinning från avfall kvarstår dock även framöver	10
2.4 Slutsatser	11
3. Bioenergens historik och framtid	13
3.1 Bioenergens historiska utveckling	13
3.2 Befintliga framtidsscenarier	16
3.3 Källor	19
4. Skogen som energikälla	21
4.1 Den skogliga råvaran och möjlig framtida användning	21
4.2 Nya skogsbruksmetoder och ett förändrat klimat	23
4.3 Styrmedel och ökade krav på skogsbruket	26
4.4 Källor	27

5. Jordbruk och bioenergi	29
5.1 Minskad klimatpåverkan i fokus	29
5.2 Fossilfri energi och gödselmedel	30
5.3 Jordbruksbiomassa för energi idag	30
5.3.1 Livsmedelsgrödor för bioenergi	30
5.3.2 Biogas från gödsel	31
5.3.3 Snabbväxande lövträd	31
5.4 Åkermark för bioenergi i framtiden	31
5.4.1 Ekologisk och konventionell produktion.....	32
5.4.2 Minskade åkermarksarealer	32
5.4.3 Vall för energi.....	32
5.4.4 Kolflöden i åkermark	33
5.4.5 Odlingrester	34
5.4.6 Nya odlingssystem	35
5.5 Källor	35
6. Avfall och biprodukter som energikällor	39
6.1 Konkurrerande användningsområden för biomassarester i en cirkulär ekonomi	39
6.2 Biprodukter som råvaror och energikällor i ljuset av netto-noll-utsläpp	41
6.3 Förutsättningar för energi från avfallsförbränning	42
6.4 Källor	43
7. Fjärr- och kraftvärmesektorns framtida utveckling	45
7.1 Kort historik och nuläge	45
7.2 Minskat uppvärmningsbehov och ökad konkurrens med värmepumpar	46
7.3 Ökad konkurrens om biomassa	46
7.4 Ökad betydelse av alternativa fjärrvärmekällor	47
7.5 Kraftvärmeverken i ett förändrat elsystem	48
7.6 Bioraffinaderier - integrerad produktion av biodrivmedel	49
7.7 Koldioxidinfångning för negativa utsläpp eller drivmedelsproduktion	50
7.8 Källor	52

8. Industrin – högvärme via el eller bioenergi?	55
8.1 Svensk industri och dess energianvändning	55
8.2 Framtida förändring av energimixen	56
8.3 El och/eller biomassa för att nå netto-noll inom industrin	57
8.4 Vad avgör el gentemot biomassa-användning inom industrin?	58
8.4.1 Prisrelationen mellan el och bioenergi	58
8.4.2 Konkurrens utifrån och "Renewables pull" effekten	59
8.5 Källor	60
9. Transportsektorns utveckling	61
9.1 Klimatmål och styrmedel i transportsektorn	61
9.2 Biodrivmedel i transportsektorn idag	62
9.3 Framtida utveckling av biodrivmedel	64
9.3.1 Scenarier för transportsektorn	64
9.3.2 Branschens perspektiv på biodrivmedel	66
9.4 Politik och styrmedel	67
9.4.1 Sverige	67
9.4.2 EU	69
9.5 Källor	70
10. Biogent kol i nya produkter	71
10.1 Introduktion	71
10.2 Efterfrågan på kolatomer	72
10.3 Tillgång och källor	73
10.4 Processer	74
10.5 Politik och styrmedel	75
10.6 Källor	76

1. Inledning

Biobränsleanvändningen överstiger sedan 2015 användningen av råolja och petroleumprodukter i det svenska energisystemet. Genom att bioenergi har ersatt fossila bränslen har de nationella utsläppen av växthusgaser minskat betydligt samtidigt som Sveriges energisäkerhet ökat. Vad har då bioenergi för roll i klimatarbetet framöver och hur kan bioenergi bidra till att Sverige ska vara ett fossilfritt samhälle med nettonollutsläpp 2050?

Syftet med detta arbete är att skapa underlag för fördjupade systemstudier genom att utifrån olika perspektiv beskriva viktiga förutsättningar, skeenden och förändringar som kan spela roll för utvecklingen av inhemsk bioenergi de kommande decennierna. Genom systemstudier av bioenergi blir det mer och mer tydligt att allt fler perspektiv behöver sammanvägas då många faktorer, såväl befintliga som nya, påverkar bioenergins utveckling där vissa förstärker varandra och andra motverkar varandra. Det blir med andra ord allt viktigare att studera bioenergisystem, inklusive kolflöden i mark och växande biomassa, i relation till den snabba utvecklingen av till exempel mer el- och vätgasbaserade industri- och energisystem och mer cirkulära materialflöden.

Rapporten inleds med en syntes (kapitel 2) där olika perspektiv på rollen för biomassa och hur den kan påverka framtidens användning för bioenergi sammanfattas och diskuteras. Vi diskuterar vilka behov och avsättningsmöjligheter som kan bli aktuella inom kraftvärme-, industri- och transportsektorn, hur biogent kol kan spela en större roll i nya produkter eller som kolsänka samt vilka övergripande slutsatser dessa förändringar kan leda till.

Fördjupad information och källor hittas i rapportens huvuddel (kapitel 3–10), som bygger på material publicerat till och med december 2023. Kapitel 3 inleds med en historisk tillbakablick över bioenergins utveckling följt av en presentation av olika framtidsbilder i scenarier för 2050. I kapitel 4–6 följer sektorsvisa presentationer av var vi står idag och vilka förutsättningar som finns för framtida tillförsel av inhemsk biomassa från skogs-, jordbruks- och avfallssektorn. Slutligen presenteras i kapitel 7–10 de sektorer som använder bioenergi idag och/eller förväntas göra det i framtiden, det vill säga fjärr- och kraftvärme, industri, transport samt kemi (inklusive bioråvara), och som kan få betydelse för efterfrågan på biomassa och bioenergi kommande decennier.

2. Biomassans framtida roll – en syntes

I detta kapitel sammanfattas de identifierade huvuddragen vad gäller möjligheter och utmaningar med bioenergens framtida roll i det svenska. Kapitlet besvara frågorna ”Var behövs bioenergin?”, ”Hur utvecklas konkurrensen om biomassa?”, samt ”Vad påverkar ett hållbart uttag av inhemsk bioråvara?”. Avslutningsvis sammanfattas identifierade tydliga trender och osäkerheter i några korta slutsatser.

2.1 Var behövs bioenergin?

2.1.1 Snabba svängningar i transportsektorns biodrivmedelsefterfrågan

Transportsektorn svarar för den största användningen av fossila bränslen i Sverige och den dominerande strategin för minska sektorns klimatbelastning har varit biobaserade drop in-bränslen i bensin och diesel, vilket kan användas i existerande fordonsflotta. Biodrivmedel utgjorde 27 % av energianvändningen i inrikes transporter 2022 och majoriteten används inom persontransporter i vägtransporter (personbilar och bussar) medan användningen inom tunga transporter, flyg och sjöfart är begränsad. Cirka 90 % av biodrivmedelsanvändningen baseras idag på import.

I framtidsscenarier dominerar ett tillförselperspektiv medan fokus på att minska transportarbetet och förändra beteenden i stort sett saknas. Minskat transportarbete skulle minska behovet av både biodrivmedel och elektrifiering för att uppnå klimatmålen. Denna lösning har ännu inte fått så stort gehör inom politiken men kan få större aktualitet framöver. Istället pekar framtidsscenarier både från myndigheter och berörda branscher på en kraftigt ökad användning av biodrivmedel i vägtransportsektorn under kommande år för att nå våra nationella klimatmål samt åtaganden inom EUs ansvarsfördelningsförordning (ESR) till 2030, följt av en successiv utfasning där istället el, och kanske vätgas, kommer att vara de dominerande energibärarna på sikt.

Även om ett stort behov av biodrivmedel inom vägtransportsektorn kvarstår på medellång sikt kan efterfrågan ändå komma att begränsas på grund av de politiska signaler som ges idag. Det finns en stor politisk osäkerhet vad gäller synen på biodrivmedel, både i Sverige och EU. I Sverige drivs denna osäkerhet av motståndet mot ökade bränslepriser, både hos politiska partier och bland många medborgare. Detta har gjort att klimatpolitiska styrmedel inom transportsektorn har dragits tillbaka eller försvagats. Det gäller för såväl skattebefrielse som reduktionsplikten, som kommer att minskas kraftigt från 2024. Styrmedel inom EU premierar också i ökad grad elektrifiering framför biodrivmedel och ett exempel är beslutet om att förbjuda förbränningsmotorer i nya personbilar efter 2035 med undantag för bilar som enbart kör på elektrobränslen.

Dagens fokus på elektrifiering kan minska intresset för biodrivmedel även på kort sikt, trots att scenarier visar tydligt att en kombination av biodrivmedel, elektrifiering och minskat transportarbete krävs under kommande två, tre decennier för att fasa ut fossila drivmedel. Aktörers investeringsvilja i ny, inhemsk biodrivmedelsproduktion påverkas i allt ökad omfattning av politiska risker och i minskad utsträckning av tekniska risker. Ett minskat politiskt stöd till biodrivmedel även på kort sikt

kan minska investeringsviljan bland svenska aktörer, och påverka viljan att vidareutveckla ny teknik för inhemsk biodrivmedelsproduktion från skogs- och jordbruksbaserade biprodukter och avfall (avancerade biodrivmedel). Samtidigt efterfrågas i ökande grad avancerade biodrivmedel i EU vilket delvis kan motverka detta. Vägtransporter kommer också att om några år ingå i EUs handelssystem för utsläppsrätter av koldioxid (ETS 2) vars betydelse för biodrivmedel fortfarande är osäker. Sverige har redan idag flera anläggningar för produktion av avancerade biodrivmedel, och en ökad internationell efterfrågan skulle kunna öka investeringsviljan för denna typ av produktion.

En aspekt som kan få ökad betydelse är energisäkerhet och minskad sårbarhet drivet av krig och allvarliga kriser i vår närhet. Vår självförsörjningsgrad när det gäller energi har ökat väsentligt under de senaste femtio åren, mycket tack vare en ökad tillförsel och användning av inhemsk bioenergi. Importberoendet av drivmedel är dock fortfarande stort varför en ökad inhemsk produktion av biodrivmedel baserad på långsiktigt hållbara inhemska råvaror skulle leda till en starkt försörjningsförmåga. Kopplingen mellan ökad inhemsk bioenergi och ökad energisäkerhet pekas ut i allt fler nationella utredningar men än så länge har inte denna koppling omvandlats i politiska styrmedel. Sådana styrmedel skulle troligen delvis kunna kompensera för dagens osäkra klimatdrivna styrmedel och minska de politiska riskerna för kommersiella aktörer.

2.1.2 Flexibel produktion av flytande biodrivmedel för flyg- och sjöfart

På grund av ökad politisk osäkerhet kring biodrivmedel för vägtransporter har en förflyttning skett mot ett ökat fokus på flyg och sjöfart. Här bedöms behovet och efterfrågan på biodrivmedel finnas under längre tid än för vägtransporter eftersom elektrifieringen har fler och större begränsningar samtidigt som styrmedel för förnybara drivmedel inom dessa sektorer håller på att utvecklas och implementeras. På sikt bedöms därför betalningsförmågan för dessa biodrivmedel öka alltmer, framför allt för bioflygbränslen.

För att hantera dessa marknadsförändringar samt politiska risker krävs utveckling av flexibla produktionssystem för att undvika inlåsnings effekter av olika slag. På så sätt kan produktion av biodrivmedel till vägtransporten öka på kort och medellång sikt samtidigt som man planerar för en alternativ användning av bioråvaran på längre sikt som drivmedel inom flyg och sjöfart, men även som råvara inom kemiindustrin.

En strategi för existerande stora producenter och användare av biobränslen som skogsbolag och fjärr- och kraftvärmeaktörer med lämplig teknisk infrastruktur skulle kunna bli att utveckla industrierna till bioraffinaderier för samproduktion av flytande biobränslen. Genom integrerad förädling av biomassa i existerande industriinfrastruktur kan så kallade intermediära produkter, till exempel olika slags oraffinerade biooljor och alkoholer, produceras på energi- och resurseffektiva sätt. Dessa kan sedan säljas vidare till raffinaderier som framställer de slutprodukter som de aktuella marknaderna efterfrågar, till exempel biodrivmedel för vägfordon, flyg och fartyg. Här är dock de politiska drivkrafterna idag mer osäkra då bland annat riktade produktionsstöd till nya produktionsteknologier och system bedöms behövas under en introduktionsfas som komplement till de mer marknadsdrivande stöd vi haft historiskt (exempelvis reduktionsplikten).

En faktor som sällan beaktas är hur transportefterfrågan kommer att förändras i framtiden, vilket i sin tur också påverkar behovet av biodrivmedel. Ökade transportkostnader och en generell effektivisering av transportsystemet kan leda till minskade behov. En överflyttning från väg- till tågtransporter kan också minska behovet av biodrivmedel medan en överflyttning till sjöfart kan bibehålla eller öka behovet då volymerna sjöfartsbränslen är stora även om energibehovet per tonkilometer minskar vid en överflyttning till sjöfart från vägtransporter.

2.1.3 Elektrobränslen kommer in längre fram i tiden

Efterfrågan på biodrivmedel påverkas av en tillkommande produktion av elektrobränslen, för vilka de politiska riskerna bedöms vara lägre idag. Elektrobränslen (vilket inkluderar vätgas) är även efter 2035 tillåtna i förbränningsmotorer. EUs förnybartdirektiv lägger dock ribban på låga 1 % av energianvändningen i transportsektorn till 2030. De tekniska riskerna är höga och utbyggnaden av en storskalig produktion av elektrobränslen bedöms ta betydligt längre tid än för biodrivmedel samtidigt som produktionskostnaderna bedöms högre.

Det framtida elpriset spelar stor roll för konkurrensen mellan biodrivmedel och elektrobränslen. Tillgång till billig el, till exempel på grund av kraftig utbyggnad av variabel elproduktion som vindkraft, bedöms vara en förutsättning för att elektrobränslen ska kunna bli konkurrenskraftiga. Elektrobränslen som innehåller kolatomer, det vill säga inte ren vätgas, leder till ett ökat behov av biogen koldioxid som avskiljs från biokemisk eller termisk omvandling av biomassa (bio-CCU). Detta innebär i sin tur att det krävs en fortsatt eller ökad användning av bioråvara och biobränslen i t ex storskalig energiomvandling vars konkurrenskraft därmed kan stärkas genom ökade intäkter från biogena kolatomer.

En utmaning för styrning i framtiden kan bli hur man hanterar gränsdragningar mellan biodrivmedel och elektrobränslen som innehåller biogent kol. När man i integrerade processer använder både bioråvara och el/vätgas kan sådana gränsdragningar bli svåra.

2.1.4 Bioenergi till fjärr- och kraftvärme minskar

Flera trender pekar mot att behovet av biobränslen i fjärr- och kraftvärmesektorn minskar i framtiden. Uppvärmningsbehovet minskar succesivt på grund av klimatförändringar och tack vare energieffektiva byggnader, och konkurrenstrycket ökar från andra uppvärmningstekniker som värmepumpar, tillgång till spillvärme och geoenergi samt utvecklingen mot lågtemperatur-fjärrvärmenät. Även denna utveckling drivs av det framtida ökade priset på bioråvara relativt elpriset som kan bli konsekvensen av ökad konkurrens om biomassa i kombination med elmarknadens utveckling mot mer volatila och lägre elpriser. Det finns dock osäkerheter kring utvecklingen av framtida elpriser. En mängd faktorer kommer att påverka detta, bland annat eventuella flaskhalsar i utbyggnaden av ny elproduktion och elinfrastruktur utifrån det kommunala vetot, vilken teknik som väljs, hur stor användningen blir och var någonstans utbyggnad sker.

Dessa trender påverkar kraftvärmeverkens lönsamhet och drift negativt och skulle kunna leda till att kraftvärmeproduktionen minskar på sikt. Samtidigt utvecklas nya affärsmöjligheter för fjärrvärmesystem att fungera som temporära energilager och planerbar effekt i städer och regioner med elkapacitetsbegränsningar, vilket kan ge nya intäkter. De biobränsleeldade kraftvärmeverken har också möjlighet att avskilja biogen koldioxid som kan säljas till produktion av elektrobränslen (bio-CCU) eller bidra till negativa koldioxidutsläpp genom långtidslagring (bio-CCS), vilket kan påverka totalekonomin för kraftvärmeverken. Detsamma gäller möjlig samproduktion av intermediära produkter för biodrivmedel och biokemikalier.

Betydelsen av vår fjärrvärme- och kraftvärmeproduktion baserat på inhemska biobränslen har, likt för biodrivmedel, lyfts i olika strategiarbeten avseende energisäkerhet och försörjningsförmåga. Nya politiska beslut och styrmedel kopplat till detta kan eventuellt komma att påverka framtida lönsamhet för fjärrvärme- och kraftvärmesektorn.

Sammantaget skulle behovet av biobränslen för fjärrvärme- och kraftvärmeproduktion kunna minska under det kommande decenniet för att därefter plana ut när efterfrågan på bio-CCU och bio-CCS

ökar. Ökad lönsamhet för reglerbar kraft, ökad efterfrågan på intermediära produkter samt ökat fokus på energisäkerhet kan också komma att kompensera för ett minskat behov av biobränslen för fjärrvärmeproduktion.

2.1.5 Elektrifiering i industrin premieras framför biobränsleanvändning

Behovet av biobränslen inom industrisektorn bedöms kunna öka det närmaste decenniet för att ersätta dagens fossila bränslen. Hur det mer långsiktiga behovet och efterfrågan kommer att bli beror på, liksom inom transportsektorn, hur snabbt elektrifieringen sker. Elektrifiering inom skogsindustrin skulle också kunna frigöra biomassa för annan användning. Detta påverkas i sin tur av, likt för övriga sektorer, utvecklingen av elpriset relativt priset på biobränslen men också vilka risker som upplevs med respektive teknikspår. Biobränslen och elektrifiering kan således ses som både konkurrerande och kompletterande spår inom industrins framtida utveckling.

Eftersom investeringar i tung processindustri är långsiktiga spelar timing stor roll avseende vilka teknologier som finns kommersiellt utvecklade vid investeringstillfället samt aktuella styrmedel. Om en kommersiell utveckling av elektrifierade industriprocesser går långsamt kan behovet av biobränslen förbli stort även på längre sikt. Idag är dock trenden att elektrifiering premieras före satsningar på biobränslen. Teoretiskt skulle en mindre mängd biokoks kunna ersätta fossil koks i järn- och stålindustrin men detta sker inte i praktiken idag.

En generell faktor som påverkar efterfrågan på biobränslen är hur industrins totala energibehov utvecklas i framtiden och som i sin tur påverkas av industrins konkurrenskraft och utbyggnad samt energieffektiviseringstakt. Konkurrenskraften inom svensk industri kan t ex stärkas genom en snabb utveckling av fossilfri produktion med låga klimatutsläpp drivet av skärpta klimatrelaterade styrmedel inom EU.

2.2 Hur utvecklas konkurrensen om biomassa?

2.2.1 Framtida elpriser och begränsningar i tillförsel av bioråvara är viktiga faktorer

Som beskrivs ovan kommer framtida elpriser att ha stor påverkan på konkurrensen om biomassa för energjändamål vilket i sin tur påverkas av hur snabbt utbyggnaden av vind- och solkraft samt elinfrastruktur kommer att ske. Konkurrensen om bioråvara kommer att öka vilket innebär att betalningsförmågan i olika sektorer kommer att styra användningen, som i sin tur drivs av utvecklingen av styrmedel i respektive sektor.

Ökade priser på biomassa i kombination med tillgång på kostnadseffektiva alternativa tekniker där el kan ersätta bioenergi minskar således bioenergins konkurrenskraft. Detta innebär förflyttningar av biomassa från till exempel fjärr- och kraftvärmesektorn och industrisektorns värmeproduktion till mer högvärdiga produkter och klimateffektiva energitjänster. Dock kan konkurrenskraften komma att öka för biomassa för elproduktion via kraftvärme om nya ersättningssystem för balanskraft införs i områden med elkapacitetsbegränsningar. Nya styrmedel kopplat till energisäkerhet kan eventuellt också komma att påverka den inhemska bioenergins konkurrenskraft inom olika sektorer.

Tillförseln av bioråvara i form av t ex skogsbaserade bränslen kan komma att begränsas via nya lagstiftningar inom framför allt EU. Nya regleringar kopplat till biologisk mångfald, kolinlagring, sköt-

selmetoder mm kan eventuellt leda till ökad andel skyddad skogsmark och lägre skogsproduktion vilket i sin tur innebär ökad konkurrens om den skogsbiomassa som finns tillgänglig. Andra styrmedel kopplat till en ökad cirkulär ekonomi och den så kallade kaskadprincipen kan leda till att biprodukter som sågspån och lignin i första hand måste användas till mer långlivade produkter vilket minskar tillgången av dessa råvaror för energiändamål (se vidare avsnitt 2.3).

2.2.2 Den fossilfria kemiindustrin behöver kolatomer

Kemiindustrins behov av biogena kolatomer kommer att öka när produkter som idag baseras på fossila kolatomer succesivt ska fasas ut. En fossilfri kemiindustri bedöms därför leda till en ökad konkurrens om bioråvara och ökad betalningsförmåga relativt andra sektorer. Denna direkt ökade konkurrens om bioråvara kan dock delvis reduceras av att kemiindustrin också börjar utnyttja biogen koldioxid via bio-CCU samt via ökad återvinning av till exempel plast som innebär minskat behov av jungfrulig fossil råvara.

Än så länge saknar kemiindustrin styrmedel som främjar användning av biobaserad råvara, exempelvis genom beskattning av fossil råvara, och på global nivå sker fortfarande stora investeringar i fossilbaserad kemiindustri. Detta indikerar att behoven av biobaserad råvara kommer att öka först på längre sikt. Avgörande för kemiindustrins omställning är därför när tillräckligt effektiva politiska styrmedel introduceras inom kemisektorn och hur konkurrensen om biobaserad råvara utvecklas, framför allt gentemot flyg- och sjöfartssektorn. Bioråvarans konkurrenskraft påverkas dessutom av hur snabbt effektiva styrmedel införs avseende bio-CCU och återvinning av plast, vilka också saknas idag.

En teknikutveckling och kommersiell produktion av biodrivmedel och elektrobränslen för flyg och sjöfart kan dock möjliggöra en snabbare omställning i kemiindustrin när väl tillräckligt effektiva politiska styrmedel är på plats eftersom produkterna kan samproduceras och oftast utgår från samma plattformskemikalier, som t ex metanol. Idag används grovt räknat en tiondel av den globala tillförseln av olja och naturgas inom kemiindustrin. Våra överslagsberäkningar visar att den svenska kemiindustrins nuvarande råvarubehov motsvarar en mycket begränsad del av den nuvarande användningen av biomassa för energiändamål och skulle kunna mötas med hjälp av biobränslen som frigörs från fjärrvärmesektorn och skogsindustrin genom ökad elektrifiering av dessa, samt med biogen koldioxid från dessa sektorer. Det framtida råvarubehovet påverkas också av framtida konsumtionsmönster av plast och styrmedel som påverkar detta.

2.2.3 Bio-CCS, bio-CCU och biokol förutsätter fortsatt biobränsleanvändning

Bio-CCU bygger på att vi avskiljer biogen koldioxid för användning som byggstenar för ofta kortlivade produkter så att klimatnyttan består i att vi ersätter fossila kolatomer. Om den avskilda biogena koldioxiden istället tas ur cirkulation genom långtidslagring, bio-CCS, bortförs koldioxid från atmosfären. Infångning av koldioxid har inte omfattats av styrmedel som EU ETS och koldioxidskatt, och ett nytt stöd för bio-CCS har därför införts (genom så kallade omvända auktioner). För CCU finns idag inga motsvarande incitament. Hur bio-CCS och bio-CCU utvecklas i framtiden genom nya styrmedel, liksom konkurrensen dem emellan, påverkar i sin tur också konkurrensen om bioråvara på olika sätt.

En utbyggnad av koldioxidinfångning förutsätter en fortsatt förbränning av biomassa i till exempel massabruk och kraftvärmeverk vilket bidrar till en ”inlåsningseffekt” genom att det skapas en drivkraft för fortsatt användning av biobränslen. Att avskilja koldioxid är dock en relativt energikrävande pro-

cess, där energin antas tillgodose av framför allt ökad tillförsel av biobränslen vilket leder till en ökad konkurrens. Dock är nya mer energieffektiva tekniker under utveckling vilket leder till lägre behov. Om bio-CCU ersätter primär bioråvara i nya produkter och energibärare minskar konkurrensen om biomassa, medan den i stället ökar vid bio-CCS om fossila produkter och energibärare fortsatt ska ersättas med biobaserade.

En ökad efterfrågan på biokol producerat i energiomvandling av biomassa kan också leda till en viss ökad konkurrens om bioråvara. Eventuellt kan en marknad för biokol i industriella tillämpningar inom t ex järn- och stålindustrin utvecklas (se 2.1.5). Produktionen av biokol för industriell tillämpning förväntas ske storskaligt, t ex i större fjärrvärme- och kraftvärmeverk, men det utvecklas även biokolsproduktion i mindre skala (i små och medelstora biokolspannor) där biokol framför allt är tänkt att användas som jordförbättringsmedel och som kolinlagring. En sammantagen bedömning är dock att mängden bioråvara för biokol, både för industriell tillämpning och för kolinlagring, bedöms förbli begränsad jämfört med den totala tillgången av biomassa för energiändamål.

2.3 Vad påverkar ett hållbart uttag av inhemsk bioråvara?

2.3.1 Osäkra faktorer påverkar framtidens uttag av biomassa från skogen

Efterfrågan på biobaserade material (papper, massa och träprodukter) förväntas öka globalt samtidigt som kraven på skogens övriga ekosystemtjänster också ökar vilket på sikt kan leda till lägre råvarutillgång. Ny lagstiftning kring biodiversitet, framför allt inom EU, kan innebära mer skyddad skogsmark och nya skogsskötselmetoder vilket kan begränsa tillförseln av skogsråvara och skogsbränslen, men dessa effekter fås framför allt på längre sikt. Här spelar också enskilda skogsägares attityder och mål med sitt skogsbruk stor roll.

Synen på bioenergi har blivit mer negativ inom framför allt EU under senare år vilket kan innebära snabba och betydande begränsningar ifall ny lagstiftning beslutas, till exempel gällande hur avverkningsrester (grenar och toppar, grot) miljömässiga hållbarhet uppfattas. Utifrån dagens hållbarhetskriterier bedöms dock tillförseln av inhemska skogsbaserade rest- och biprodukter kunna öka för energiändamål. Som tidigare beskrivits kan ett ökat fokus på energisäkerhet medföra att synen på inhemsk bioenergi blir mer positiv och delvis motverkar dagens ökade negativa syn.

Klimatförändringarna kommer att påverka förutsättningarna för skogsbruk i Sverige på olika sätt men här är osäkerheterna stora kring vad nettoeffekten blir. Hur skogsägares vilja, eller ovilja, att anpassa sig till klimatförändringarna via nya skogsskötselmetoder och trädslag kommer också att påverka tillgången på skogsråvara framöver.

Sammantaget bedöms ökningstakten för inhemsk skogsbaserad bioenergi inte bli lika stor kommande decennier som den varit under de senaste decennierna, men med en osäkerhet kring hur frågan om energisäkerhet värderas.

2.3.2 Hur utvecklas framtida krav på skog som kolsänka?

Sveriges ökade åtagande inom LULUCF-förordningen innebär att skogsbruket behöver öka nettoinbindningen av kol genom en ökad andel sparad skog som kolsänka. Detta kan få en snabb och direkt effekt på tillförseln av skogsråvara och därmed också skogsbränslen i form av avverkningsrester och

biprodukter från skogsindustrin. Dock kan minskade utsläpp utöver målen i andra sektorer (handlande eller icke handlande sektorn) användas för att kompensera för om målet inom LULUCF inte skulle nås. Ett exempel skulle kunna vara ökad användning av biodrivmedel i vägtransportsektorn på kort sikt. Andra alternativ är att köpa utsläppsätter från andra länder som överpresterar avseende sina mål alternativt att betala böter motsvarande den del som överskrider det nationella målet. Hur dessa avvägningar landar kan således påverka tillgången av inhemsk skogsbiomassa och biobränslen.

När det gäller skog som kolsänka finns dock olika typer av osäkerheter som kan påverka dess framtida acceptans, utveckling och omfattning. En osäkerhet gäller vilken metodansats man har vid beräkningar av kolbalanser. Resultaten kan till exempel skilja stort om man väljer att studera ett enskilt skogsbestånd jämfört med ett större geografiskt område innehållande bestånd i olika åldrar, eller om tidsperspektivet inkluderar ett fåtal år eller en hel omloppstid. Andra osäkerheter gäller mätning och verifiering av faktiska förändringar i skogens kolpooler ovan och under mark samt kolsänkans beständighet när risker för skogsskador via insektsangrepp, brand och storm kan komma att öka på grund av klimatförändringarna.

2.3.3 Ökad kolinbindning och minskade lustgasutsläpp nödvändigt för åkermark

LULUCF-förordningen innebär att ökad kolinbindning i åkermark också kan bli en viktig del i att uppfylla Sveriges åtaganden, tillsammans med ökad kolinbindning i skog och skogsmark. En ökad mullhalt i åkermark blir dessutom allt viktigare för att bibehålla eller öka markens bördighet och motståndskraft mot effekter av klimatförändringar såsom torka eller kraftigt regn. Att ställa krav på ökad kolinbindning i jordbruket står därför inte i konflikt med leveransen av huvudprodukten, livsmedel, på samma sätt som i skogsbruket och effekterna blir också mycket långsammare. EU:s framtida jordbrukspolitik kommer sannolikt att omfatta ytterligare incitament för "carbon farming" och andra ekosystemtjänster. Detta kan i sin tur generera ovanjordisk biomassa som blir tillgänglig för bioenergitillämpningar.

Lustgasutsläppen i jordbruket härrör i huvudsak från kvävegödning av åkermark, och odling utan lustgasutsläpp är inte möjligt. Att bortföra odlingsrester kan dock minska lustgasutsläppen med ca 10 % tack vare att kväve bortförs. I Sverige och EU är halm den odlingsrest som dominerar, och halm kan komma att bli en viktig energiråvara i hela Europa. Vid bortförsel av halm blir det dock ännu viktigare att samtidigt öka mullhalten med hjälp av andra åtgärder.

2.3.4 Tillgången på biomassa från jordbruket kan förändras på olika sätt

Jordbrukets möjligheter som biobränsleproducent styrs till stor del av klimatpolitiken och eventuella krav på minskade utsläpp av metan som nästan uteslutande härrör från djurhållning. En framtida minskad efterfrågan på kött och mejeriprodukter skulle minska metanutsläppen och samtidigt frigöra stora arealer jordbruksmark för annan användning. En annan förändring som skulle frigöra stora arealer jordbruksmark är om möjligheterna för hästhållning som hobby skulle regleras av miljö- och klimatskäl. Att fortsätta odla vall på arealer som inte längre krävs för foderproduktion är en möjlighet, och skulle kunna bidra med biomassa för t ex samproduktion av inhemsk proteinråvara och bioenergi i utvecklade bioraffinaderier. Nedlagd åkermark kan även användas för energigrödor som snabbväxande lövträd. En minskad animalieproduktion kan å andra sidan minska ökningspotentialen för gödselbaserad biogas.

Odling av mellangrödor för ökad kolinbindning i åkermark har subventionerats genom EU:s jordbrukspolitik sedan ett par år, och kommer att bli ett viktigt inslag i framtidens jordbruk. Biomassa från odling av mellangrödor, och även från ekologiska fokusarealer, kan skördas och bortföras och användas för till exempel biogasproduktion utan att komma i konflikt med livsmedelsproduktion eller ökad kolinbindning i åkermark. Inom EU kommer livsmedelsgrödor att finnas kvar i begränsad utsträckning som råvara för drivmedel 2030, men troligen inte 2050. Vill vi bibehålla de biodrivmedel som idag baseras på livsmedelsgrödor, i Sverige främst etanolproduktion från spannmål, bör en övergång succesivt ske till biomassa som till exempel halm. Andra förändringar, som ökad andel ekologisk produktion, kan ge lägre avkastning från åkermarken, och istället minska tillgången på överskottsbiomassa.

2.3.5 Kaskadprincipen minskar avfallsströmmarna

Avfall och restprodukter som energikälla har ökat under de senaste decennierna men med en övergång till en ökad cirkulär ekonomi kommer denna trend att brytas. Inom EU-lagstiftningen lyfts den så kallade "kaskadprincipen" allt mer vilket innebär att långlivade produkter premieras före kortlivade produkter och energibärare vilket i sin tur ökar konkurrensen om biobaserade rest- och biprodukter som råvara. Vissa förflyttningar uppåt i värdepyramiden kan ske snabbt genom införandet av nya styrmedel och där tekniska lösningar redan finns, till exempel sågspån som råvara till byggmaterial, medan andra kan tänkas ske successivt över ett eller flera decennier, till exempel lignin för olika högvärdiga produkter.

Historiskt har biologiskt avfall och restprodukter setts som oproblematiske och premierats som bioråvaror för att undvika konflikter med livsmedelsproduktion och produktion av rundved för högvärdiga skogsprodukter. Detta synsätt kommer att skifta genom att, förutom en ökad anpassning till kaskadprincipen, en allt tydligare koppling till primärproduktionssystemen och deras hållbarhet också kommer att göras. Vi har tidigare sett att både kunskapsläge och opinion förändrats för olika typer av råvaror för bioenergi på relativt kort tid (till exempel grödor för biodrivmedel och palmolja som råvara för HVO). Med bredare samhällsförändringar och ökade krav på klimatomställning samt ökad biologisk mångfald mm inom jord- och skogsbruk kommer såväl huvudprodukter som restprodukter inte betraktas som hållbara om inte de primära produktionssystemen betraktas som hållbara.

2.3.6 Energiutvinning från avfall kvarstår dock även framöver

Trots en ökad konkurrens om bioråvara och lagstiftning som styr mot ökad återvinning och cirkulära system, d v s kaskadprincipen, kommer det alltid att finnas restprodukt- och avfallsströmmar som inte är lämpliga för något annat än energiutvinning. Detta beror dels på att inte all biomassa, eller alla beståndsdelar av en viss biomassa, kommer att kunna utnyttjas för högvärdiga produkter, dels för att även produkter med förlängd livslängd kan komma att utnyttjas för energiändamål i slutet av en kaskadanvändning då det inte är lämpligt att återföra materialet till mark. I vissa fall kan det också finnas synergieffekter mellan utnyttjande av biomassa för energi och material. Ett ökat fokus på kaskadanvändning av biomassa kan dock påverka mängden och typen av biomassarester som blir tillgängliga för energiändamål och i vilken takt, och därmed kan värdekedjor för dessa material komma att påverkas på både kort och lång sikt.

2.4 Slutsatser

Inhemsk biomassa för energi kommer även 2050 att spela en viktig roll i Sveriges energisystem, men om användningen planar ut eller fortsätter öka är osäkert. Det som främst inverkar på den framtida efterfrågan är hur snabb elektrifieringen av industri och transporter blir, hur prisrelationen mellan el och bioenergi utvecklas samt hur konsumtionsmönster förändras.

Osäkerheterna i framtida tillgång på bioråvara ökar där allt fler faktorer påverkar som nya politiska prioriteringar kring biologisk mångfald och kolinbindning, regleringar av olika bioråvarors hållbarhet och krav på ökad cirkularitet samt styrmedel för biomassa från jordbruket med olika synergier, men även effekterna av förändrat klimat på jord- och skogsbruk och i vilken utsträckning markägare anpassar sig. Nya politiska prioriteringar kring ökad försörjningstrygghet och energisäkerhet kan också få ökad betydelse.

Konkurrensen om biomassa kommer att öka, liksom priset, vilket driver på en ökad förädlingsgrad av rest- och biprodukter till mer högvärdiga produkter och där den biobaserade kolatomen blir en viktig byggsten också i cirkulära fossilfria materialsystem. Bioenergins användningsområde kommer att förflyttas över tid mot kemikalieindustrin men där biodrivmedel för väg-, flyg- och sjötransporter kommer att ha en viktig roll under flera decennier för att nå klimatmål och fossilfrihet. Företag kommer att hantera dessa förflyttningar genom prioritering av flexibla produktionssystem.

Elektrifiering och elektrobränslen är både konkurrerande och kompletterande till bioenergi och där utvecklingshastigheten för de olika teknologierna påverkar deras inbördes konkurrenskraft över tid. Utveckling av bio-CCS och bio-CCU säkerställer en fortsatt användning av biomassa för energiändamål. Bioenergi kan således ses som en möjlig nyckel för att lyckas med omställning mot fossilfrihet i tillräcklig takt och där andra lösningar är svårare att implementera.

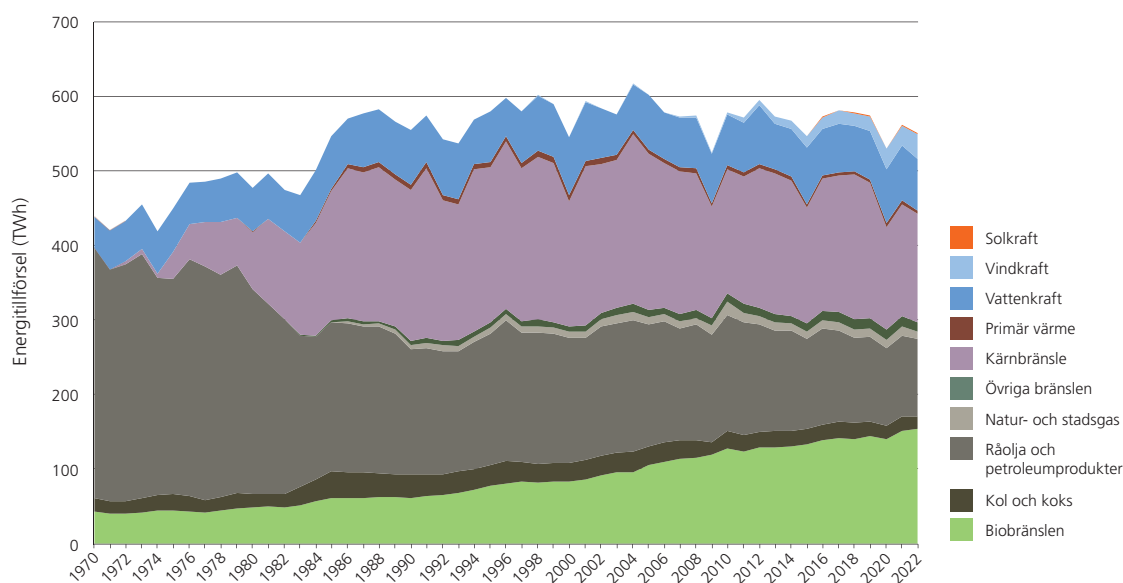
Bioenergins framtida roll kommer att förändras och alla aktörer - myndigheter, företag, organisationer, skogsägare, lantbrukare och allmänheten - behöver förbereda sig för dessa förändringar. Det behövs därför ett mycket mer holistiskt och tvärvetenskapligt angreppssätt för att studera utvecklingen av bioenergi där såväl tekniska, naturvetenskapliga, samhällsliga och beteendenaspekter omfattas. Det är också viktigt med ett utvecklat tidsdynamiskt perspektiv som omfattar olika möjliga trender och utvecklingsvägar, för att synliggöra att dessa kan påverka varandra och leda till såväl förväntade som oväntade förändringar.

3. Bioenergins historik och framtid

Pål Börjesson & Lovisa Björnsson

3.1 Bioenergins historiska utveckling

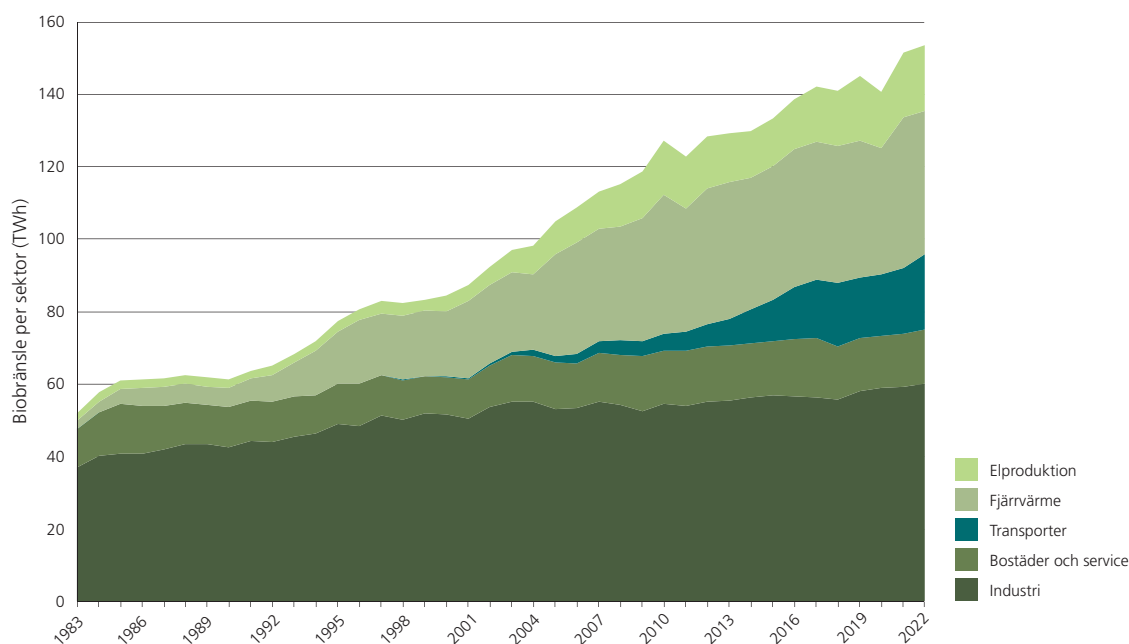
Biobränslen är den energiråvara som dominerar tillförseln i Sverige idag, strax över tillförseln av kärnbränsle. Tillförseln av råvara för bioenergi har ökat med cirka 100 TWh på 50 år i det svenska energisystemet, från cirka 40 TWh 1970 till 154 TWh 2022 (Figur 1). Samtidigt har tillförseln av fossil olja minskat kraftigt under samma tid, från drygt 330 TWh 1970 till cirka 100 TWh 2022, och kring 2015 blev tillförseln av biobränsle större än tillförseln av råolja och petroleumprodukter. Den ökade tillförseln av biobränsle är således en viktig orsak till den minskade tillförseln av olja i det svenska energisystemet. Samtidigt har energisäkerheten ökat då den inhemska energitillförseln endast stod för 20 % kring 1970 medan den idag står för nästan 50 % (inklusive kärnkraftens värmeförluster, 60 % om dessa värmeförluster exkluderas) baserat på förnybar energi där biobränslen och vattenkraft utgör de största energislagen.



Figur 1 Total energitillförsel per energiråvara i det svenska energisystemet från 1970 till 2022 (baserad på data från Energimyndigheten, 2023a).

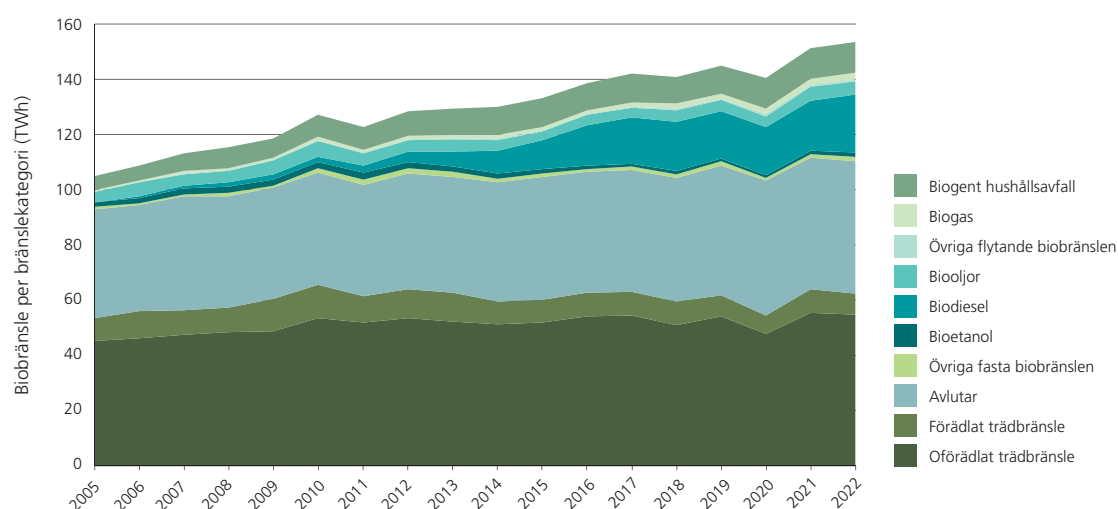
Den största användningen av biobränsle sker inom industrisektorn och då skogsindustrin, följt av fjärrvärmesektorn (Figur 2). Dessa två sektorer svarar för knappt 70% av den totala bioenergianvändningen idag. Den största ökningen under de senaste 40 åren svarar fjärrvärmesektorn för, från cirka 2 TWh 1983 till 40 TWh 2022, vilket har varit en starkt bidragande orsak till att växthusgasemissioner-

na i värmesektorn minskade med 90 % mellan 1970 och 2015 och idag är lägst i EU (Ericsson and Werner, 2016; Bertelsen and Mathiesen, 2020). Ökningen inom skogsindustrin har under samma tid varit ungefär hälften så stor, från cirka 40 TWh 1983 till 60 TWh 2022. Även användningen av biot drivmedel inom transportsektorn har ökat sedan introduktionen för drygt 20 år sedan och utgör cirka 20 TWh 2022, vilket gjorde att Sverige tillsammans med Finland låg på topp i andel förnybart i transportsektorn i EU (Eurostat, 2023). Dessutom har användningen av biobränslen för elproduktion via kraftvärme i massabruk och fjärrvärmeverk ökat från cirka 2 TWh 1983 till 18 TWh 2022. Biobränslen i bostads- och servicesektorn har däremot legat relativt konstant under de senaste decennierna.



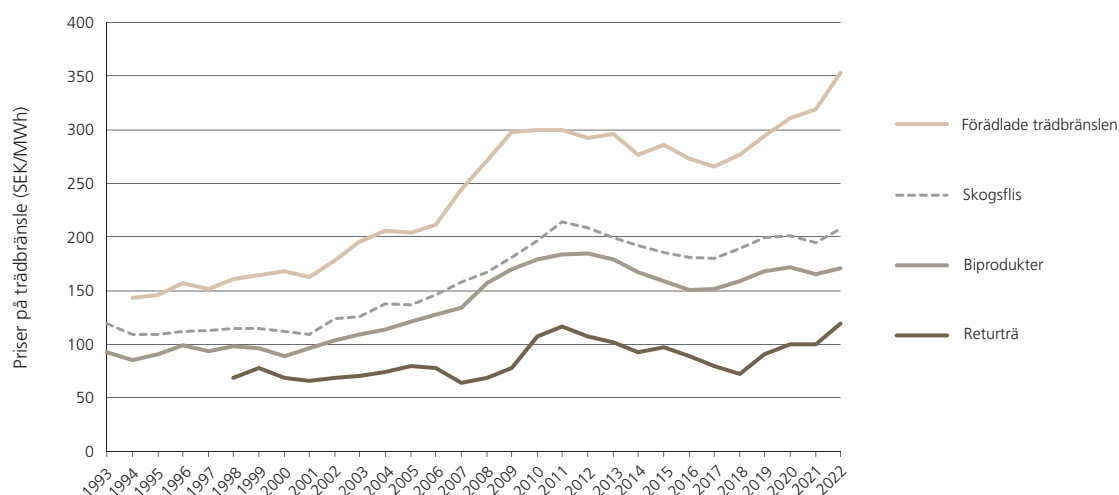
Figur 2 Användning av biobränsle per sektor i det svenska energisystemet från 1983 till 2022 (baserad på data från Energimyndigheten, 2023a).

När det gäller vilken typ av biobränslen vi framför allt använder så utgörs dessa av avlutar som är en biprodukt vid massatillverkning i sulfatmassabruk (huvudsakligen bestående av lignin) samt oförädlade trädbränslen som bark, sågspån, flis och avverkningsrester från skogsbruk (Figur 3). Avlutar respektive oförädlade trädbränslen utgjorde knappt 50 TWh vardera 2022, totalt 67 % av den totala användningen av biobränsle. Cirka 90 % av detta utgjordes av inhemsk skogsbiomassa medan cirka 10 % importerades (Svensson et al., 2023). Skogsindustrins totala användning av biobränsle om cirka 60 TWh per år består således av knappt 50 TWh avlutar och drygt 10 TWh oförädlade trädbränslen som bark och sågspån. Resterande del av oförädlade trädbränslen, 45 TWh, användes huvudsakligen inom fjärrvärmesektorn men också för individuell uppvärmning i form av t ex vedeldning (cirka 9 TWh per år). Förädlade trädbränslen som pellets (framför allt från sågspån) har minskat något under det senaste decenniet, utgjorde cirka 7 TWh 2022 och används huvudsakligen för uppvärmning inom bostads- och servicesektorn. Biogent hushållsavfall, vilket inkluderar returträflis, trädgårdsavfall, organiskt matavfall mm samt avfallsimport, har ökat från cirka 5 TWh 2005 till 11 TWh 2022 och används i fjärrvärmeproduktion. Bland användningen av flytande och gasformiga biobränslen om totalt 31 TWh 2022 dominerar biodrivmedel (framför allt biodiesel) medan biooljor och andra flytande biobränslen för el- och värmeproduktion utgör cirka 5 TWh.



Figur 3 Användning av biobränsle per bränslekategori i det svenska energisystemet från 2005 till 2022 (baserat på data från Energimyndigheten, 2023a).

Transformationen av det svenska energisystemet där olja och petroleumprodukter minskat och biobränslen ökat beror av olika samverkande faktorer. Den kraftigt minskade tillförseln av fossil olja i slutet av 70-talet (Figur 1) var en konsekvens av de oljekriser vi hade under mitten av 70-talet vilket också stimulerade en ökad användning av inhemska biobränslen. Användningen av biobränslen stimulerades ytterligare i samband med att en koldioxidskatt på fossila bränslen infördes 1991 vilket tydligt ses i Figur 2 avseende en allt snabbare ökad användning av biobränslen inom fjärrvärmesektorn. Ett elcertifikatsystem infördes i Sverige 2003 för att stimulera utbyggnaden av förnybar elproduktion vilket är en förklaring till den ökade användningen av biobränslen för elproduktion (via kraftvärme) som också tydligt framgår i Figur 2. I Figur 4 redovisas hur priserna på såväl förädlade som oförädlade trädbränslen har förändrats under de senaste två decennierna. Som framgår av Figur 4 var priset på förädlade trädbränslen 2022 nära 70 % högre än skogsflis som i sin tur är något högre än biprodukter som sågspån och bark. Priset på returträflis är cirka 40 % lägre än priset på skogsflis vilket är en förklaring till ökningen av biogent hushållsavfall i fjärrvärmesektorn. Ytterligare beskrivningar av bioenergens utveckling inom fjärrvärme- och kraftvärmesektorn ges i Kapitel 7 samt inom industrin i Kapitel 8.

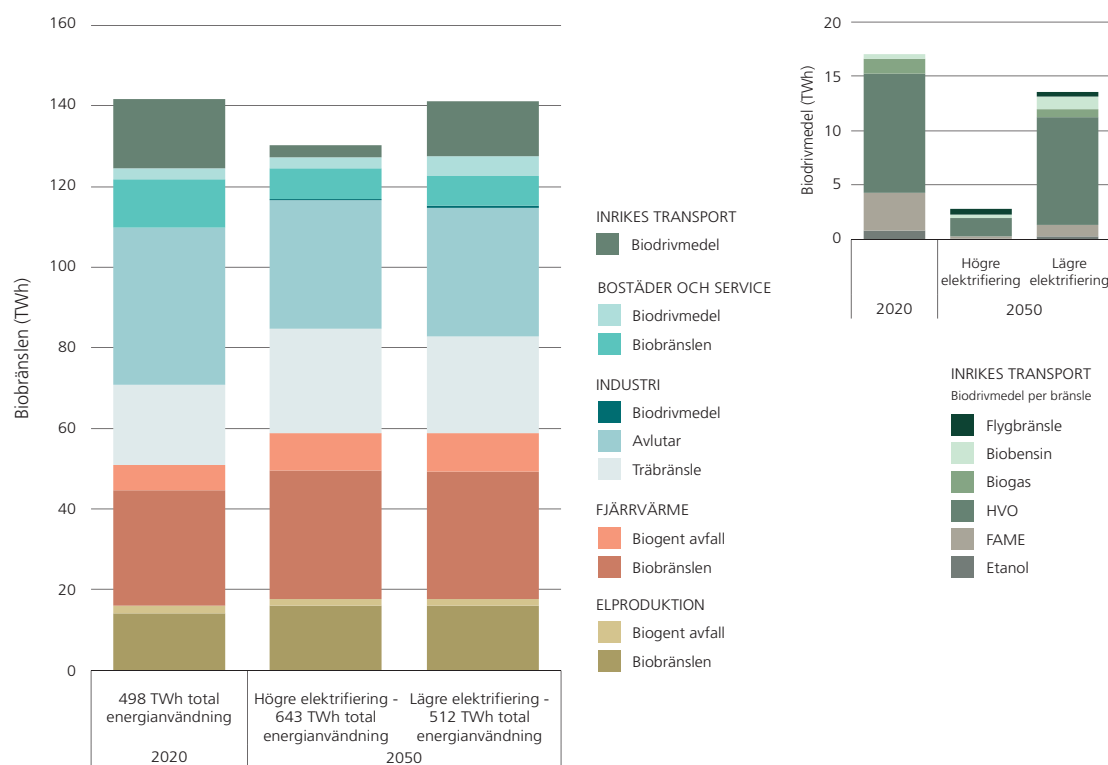


Figur 4 Priser på trädbränslen för värmeverk mellan 1993-2022 (baserad på data från Energimyndigheten, 2023a).

När det gäller användningen av biodrivmedel i transportsektorn har denna stimulerats av koldioxidskatten på fossila drivmedel men det var först i början och mitten av 00-talet som vi ser en tydlig ökning (Figur 2). Efterföljande styrmedel som drivit på utvecklingen av biodrivmedel, och påverkat vilka specifika drivmedel som stimulerats mest, har t ex varit nedsatt förmånsvärde på miljöbilar, den så kallade pumplagen, reduktionsplikten osv, vilket diskuteras mer ingående i Kapitel 9.

3.2 Befintliga framtidsscenarier

En intressant frågeställning är hur existerande framtidsscenarier redovisar bioenergins utveckling och om den ökningstakt vi sett historiskt (Figur 1–3) kommer att fortsätta. Energimyndigheten presenterar regelbundet framtidsscenarier för det svenska energisystemet och den senaste presenteras i Figur 5. I dessa framtidsscenarier antas bioenergianvändningen 2050 ligga mycket nära dagens användning trots att annan energianvändning antas genomgå omvälvande förändringar, huvudsakligen genom elektrifiering (Energimyndigheten, 2023b). Scenarierna för bioenergianvändning ser också mycket lika ut, oavsett antaganden om total energianvändning i samhället, eller om elektrifieringsgraden har varit hög eller låg. Bioenergianvändningen i el- och värmesektorn antas t ex öka från dagens 51 TWh till 59 TWh, oavsett elektrifieringsgrad, och industrins interna bioenergianvändning förblir i stort sett oförändrad. Den sektor där scenarierna uppvisar större skillnader är i inrikes transporter, där biodrivmedelsanvändningen vid hög elektrifiering sjunker till 3 TWh 2050 (Figur 5). Energimyndigheten konstaterar samtidigt att den framtida utvecklingen för efterfrågan och inhemsk tillgång på biomassa för energi innehåller stora osäkerheter.

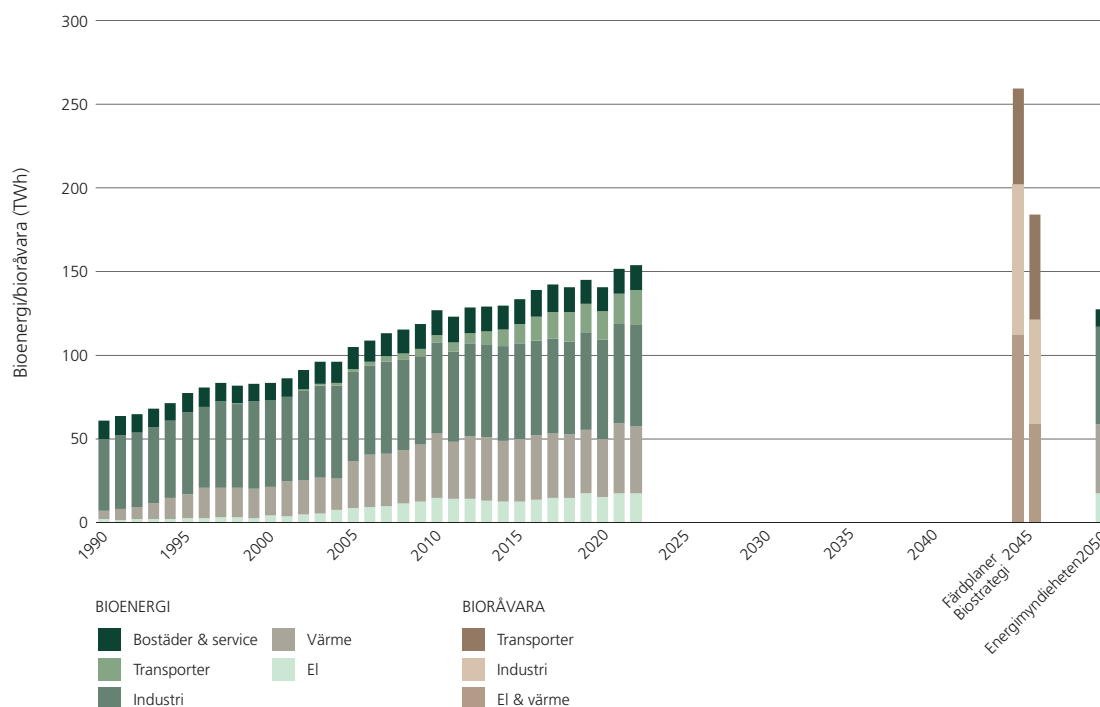


Figur 5 Energi från biobränslen i Sverige 2020 och i olika scenarier för elektrifiering 2050. Under grafen anges även den totala energianvändningen för 2020 samt i Energimyndighetens scenarier för högre och lägre elektrifiering 2050. Den lilla grafen visar detaljerna kring nuvarande och antaget framtida bidrag från biodrivmedel per bränsle. Baserad på data från Energimyndigheten, 2023b.

De faktorer som framför allt beskrivs skapa osäkerheter i framtida utfall, och som delvis kan förklara den statiska bilden för bioenergianvändningen i olika sektorer i Figur 5, är (Energimyndigheten, 2023b):

- Hur kraven på utsläppsminskningar vid användning av flytande drivmedel i transportsektorn (reduktionsplikten) utvecklas
- Hur kommande hållbarhetsbedömningar för bioenergi (genom revisioner av förnybartdirektivet, RED) betraktas på EU-nivå
- Vilka alternativa konkurrerande användningsområden för biomassa som kan uppkomma
- Den ökande internationella efterfrågan på biodrivmedel, där konkurrens kan leda till minskad import, vilket i sin tur kan ge ökad användning av inhemska råvaror
- Målkonflikter vid ökad efterfrågan på inhemska biomassa

Om Energimyndighetens framtidsscenarier skulle bli verkligheten innebär detta således att den historiskt kontinuerliga ökningen av bioenergi i det svenska energisystemet skulle brytas och i stället plana ut eller minska något. I Figur 6 visas den historiska utvecklingen 30 år bakåt, där vi haft en ökad bioenergianvändning från 61 till 154 TWh mellan 1990 och 2022. Som jämförelsevisas Energimyndighetens scenario högre elektrifiering för 2050 (från Figur 5) där användningen backar till 130 TWh.



Figur 6 Statistik över bioenergianvändning 1990-2022 (Energimyndigheten, 2023a), behovet av bioråvara enligt industrins färdplaner för fossilfritt Sverige utan (Färdplaner 2045) och med (Biostrategi 2045) hänsyn till tillgång och effektiviseringsmöjligheter (Fossilfritt Sverige, 2021) samt ett av Energimyndighetens scenarier för 2050 (högre elektrifiering, se även Figur 5) (Energimyndigheten, 2023b). Notera att staplarna för 2045 avser energi i bioråvara medan övriga staplar avser använd biobaserad energi.

Andra framtidsscenarier visar dock på andra strategier, d v s att behovet av bioråvara för energi fortsätter att öka kommande decennier och tillsammans med elektrifiering utgör redskap för att nå klimatmålen. De färdplaner för fossilfrihet som tagits fram inom ramarna för regeringens initiativ Fossilfritt Sverige, där näringslivets olika branscher får måla upp sin bild av ett framtida bioenergi behov, visar på ett ökat behov av råvara för bioenergi på totalt dryg 250 TWh för att uppnå fossilfrihet till 2045 (Färdplaner 2045, Figur 6). För att detta skulle kunna bli verklighet skulle den årliga tillväxten av bioenergi i det framtida svenska energisystemet bli ännu högre än vad den varit historiskt, och behovet av bioråvara skulle överstiga den inhemska tillgången (Fossilfritt Sverige, 2021). Inom Fossilfritt Sverige har därför även den s k Biostrategin tagits fram, som utgår från potentialen för en framtida ökad tillförsel av biomassa för energiändamål. Denna ökning bedöms uppgå till mellan 50-60 TWh kring 2045. I Biostrategin läggs därför ett ”pussel” för hur olika sektorer kan minska sitt behov av bioenergi genom effektivisering, elektrifiering mm så att behovet matchar den inhemska tillgången (Biostrategi 2045, Figur 6, Fossilfritt Sverige, 2021). På detta sätt identifieras också sektorer där det bedöms vara lättast respektive svårast att ersätta bioenergi med andra alternativ.

Dessa nationella scenarier kan sättas i relation till EU-övergripande scenarier, där nästan alla scenarier

förutser att ökad bioenergianvändning utgör en del av att nå klimatmålen till 2050 (European scientific advisory board on climate change, 2023). Scenariot med högst bioenergianvändning, mer än en fördubbling till 2050, beskrivs förutsätta en övergång till mer hälsosamma och hållbara kostvanor. Minskad efterfrågan på kött och mejeriprodukter gör då markarealer tillgängliga för produktion av energigrödor. Den andra ytterligheten, där bioenergianvändningen till 2050 sjunker med dryga 10 % jämfört med idag, bygger istället på ett vägval med fokus på markanvändning som ger ökar kolinbindning. (European scientific advisory board on climate change, 2023)

Dessa framtidsscenarier, som tagits fram på olika sätt och som ger väldigt olika utfall, beskriver på ett mer övergripande och aggregerat plan olika syn på bioenergens möjliga framtida utveckling. Mer detaljerade existerande framtidsscenarier inom enskilda sektorer presenteras i följande kapitel.

3.3 Källor

- Bertelsen, N., Mathiesen, B. V. (2020) EU-28 residential heat supply and consumption: historical development and status. *Energies* 13, 1894. Doi: 10.3390/en13081894
- Energimyndigheten (2023a) Energiläget i siffror 2023. Statistik. <https://www.energimyndigheten.se/nyhetsarkiv/2023/energilaget-i-siffror-2023/> Statens Energimyndighet, Eskilstuna.
- Energimyndigheten (2023b) Scenarier över Sveriges energisystem 2023. Med fokus på elektrifieringen 2050. Rapport ER 2023:07. Statens Energimyndighet, Eskilstuna.
- Ericsson, K., Werner, S. (2016) The introduction and expansion of biomass use in Swedish district heating systems. *Biomass and Bioenergy* 94, 57-65
- European scientific advisory board on climate change (2023) Scientific advice for the determination of an EU-wide 2040 climate target and a greenhouse gas budget for 2030-2050. Publication office of the European Union, Luxembourg.
- Eurostat (2023) <https://ec.europa.eu/eurostat/web/products-eurostat-news/w/ddn-20230123-2>
- Fossilfritt Sverige (2021) Strategi för fossilfri konkurrenskraft – bioenergi och bioråvara i industrins omställning.

4. Skogen som energikälla

Pål Börjesson & Alexandra Nikoleris

Idag pågår en livlig diskussion kring skogens roll i omställningen av vårt energisystem bort från fossila bränslen till mer förnybar energi. Skogen ska leverera många olika värden samtidigt och flera olika intressen ligger i konflikt med varandra. Eftersom ungefär hälften av all skog i Sverige ägs av mindre privata skogsägare, totalt 300 000, finns det också många röster om hur skogen ska brukas. Hur mycket bioenergi som skogen kan bidra med framöver kommer att påverkas av en mängd olika faktorer som också påverkar varandra: vilka alternativa användningsområden det finns för skogsråvaran och hur attraktiva dessa kommer att vara framgent, hur olika modeller och metoder för skogsbruk utvecklas i ljuset av klimatförändringar och minskad biologisk mångfald, och vilka samhällskrav som omsätts i styrning av olika slag, både på global nivå, EU-nivå och i Sverige.

4.1 Den skogliga råvaran och möjlig framtida användning

Åren 2018–2022 uppskattades Sveriges skogsareal uppgå till 27,9 miljoner hektar. Av dessa var 23,5 miljoner hektar produktiv skogsmark, vilket utgör 58 % av Sveriges totala landyta (Riksskogstaxeringen, 2023: 58). Trädbiomassans torrvikt (levande träd) uppgick till cirka 2700 miljoner ton torrsubbstans (TS), varav 90,6 % finns på icke-skyddad mark (Ibid: 67). Både tillväxten och avverkningen av skog har ökat sedan 1950-talet men de senaste 15 åren har avverkningen ökat mer än tillväxten och år 2022 var den totala avgången (avverkning plus naturlig minskning) nästan lika stor som tillväxten (Ibid: 68). Samma år avverkades 96,9 miljoner skogskubikmeter (m³sk) (Ibid: 156). Den största mängden (69 %) av den skogliga biomassan som används i Sverige kommer från slutavverkning men uttag görs även vid gallring och andra åtgärder (ibid: 155).

Ett argument som ofta förs fram är att vi inte ska använda skog för energiändamål utan i stället producera långlivade produkter som också fungerar som kolsänkor, till exempel byggnader i trä. Detta underbyggs bland annat av EU:s kaskadprincip för användning av biomassa som handlar om att maximera skogsråvarans ekonomiska och miljömässiga värde och där man presenterar en prioriteringssordning med följande steg: (i) träbaserade produkter, (ii) förlängd användningstid, (iii) återanvändning, (iv) återvinning, (v) bioenergi samt (vi) deponering (EC, 2023). Användningen av skogsråvara för energiändamål kommer således som näst sista alternativ i denna prioritering innan deponering. Syftet med principen är att minimera den direkta användningen av rundved av god kvalitet för energiändamål. Vid produktion och förädling av rundved uppkommer dock oundvikligen biprodukter som till stor del används för energiändamål idag. Dessa utgörs av så kallade primära biprodukter som grenar och toppar (grot) vid föryngringsavverkningar/slutavverkningar samt sekundära biprodukter som sågspån och bark vid sågverk respektive bark och lignin (i så kallad svartlut) vid massabruk. Uttryckt i energitermer så omvandlas drygt hälften av rundveden till högvärdiga produkter som sågad trävara och pappersmassa i skogsindustrin medan knappt hälften utnyttjas för energiändamål. Även

när det gäller kolföden och hur skogsbiomassa används hamnar ungefär hälften av kolet i respektive kategori, eller cirka 47% i produkter och 53% i energiråvara som förbränns (Svensson et al, 2022). Fördelningen mellan produkter och energiråvara kan dock komma att förändras om kaskadprincipen implementeras i alltmer skarpa styrmedel, t ex i framtida revideringar av EU:s Förnybartdirektiv (Renewable Energy Directive, RED).

Sågspån som genereras idag används huvudsakligen för energiändamål där en stor andel förädlas till bränslepellets som innebär att sågspån används både i storskalig förbränning (till exempel fjärrvärme och skogsindustri) och småskalig förbränning (till exempel närvärme och enskild uppvärmning). Sågspån skulle dock också kunna användas till produktion av exempelvis byggsivor, alltså långlivade produkter i byggnader, i linje med kaskadprincipen. Detta var också vanligt för några decennier sedan. Sågspån svarar idag för drygt 10% av tillförseln av skogsbaserade biobränslen i Sverige (cirka 12 TWh/år inklusive kutterspån jämfört med cirka 105 TWh/år skogsbaserade biobränslen totalt) (Energimyndigheten, 2022). Om sågspån utnyttjas alltmer för långlivade byggprodukter kommer en märkbar effekt att fås på tillförseln av skogsbaserade biobränslen. Samtidigt är sågspån en lämplig råvara för produktion av biodrivmedel och biokemikalier såsom pyrolysolja och etanol, eftersom sågspån är en homogen råvara med få orenheter. Idag produceras pyrolysolja från sågspån vid ett sågverk i Sverige (Setra's sågverk vid Gävle) (Setra Group, 2023). Förädling till biodiesel och storskalig etanolproduktion från sågspån har utvärderats både kommersiellt och vetenskapligt (Haus et al, 2020). Sågspånsbaserad bio-olja och etanol kan fungera som råvara för bioplast i framtiden och i långlivade produkter, också detta i linje med kaskadprincipen. I ett kortare perspektiv kan etanol utnyttjas som drivmedel via inblandning i bensen och på sikt också som råvara för produktion av flygbränsle (Ericsson, 2021). Det finns med andra ord flera drivkrafter för att även sågspånsbaserad etanol, likt pyrolysolja, kan utvecklas kommersiellt inom en snar framtid.

Till skillnad från sågspån är bark en mindre homogen råvara som ofta innehåller olika slags orenheter vilket gör den mindre lämplig som råvara till produkter som t ex byggmaterial. Energitillförseln i form av bark är ungefär lika stor som sågspån, cirka 12,5 TWh/år (Börjesson, 2021a). Bark förädlas inte likt sågspån till pellets utan används huvudsakligen i storskalig förbränning. Bark innehåller dock små mängder extraktivämnen (t ex tanniner) som kan lakas ut och raffinerats till högvärdiga kemikalier. Denna extraktion av högvärdiga kemikalier har en liten påverkan på bark som energikälla som endast minskar med några enstaka procent, vilket innebär att bark fortsatt kan utgöra en viktig energiråvara även om den först utnyttjas som råvara för kemikalieproduktion (Carlqvist et al., 2020). Nya omvandlingsteknologier för att producera bio-olja från fast skogsråvara, till exempel hydrotermisk förvätskning (HTL), kan dock sannolikt även utnyttja mindre homogena bioråvaror som bark. Detta innebär att bark i framtiden kan komma att förädlas till såväl drivmedel som bioplast och kemikalier.

Vid tillverkning av pappersmassa via sulfatmetoden (vilket är den vanligaste produktionsmetoden för pappersmassa i Sverige idag) fås biprodukten svartlut där vedråvarans ligninnehåll koncentreras. Svartlut utgör idag det enskilt största biobränslet i Sverige och används för att generera el och processvärme samt för att återvinna processkemikalier. Tack vare en kontinuerlig energieffektivisering inom pappersmasseproduktionen (som uppgått till 1-3% per år under de senaste decennierna) så bedöms det vara möjligt att på sikt separera ut upp till 25% av ligninet och samtidigt tillgodose behovet av processenergi samt upprätthålla en effektiv kemikalieåtervinning (Börjesson, 2021b). I energitermer motsvarar detta cirka 10 TWh/år, i samma storleksordning som dagens energitillförsel i form av sågspån respektive bark (Börjesson, 2021a). Precis som sågspån och bark bedöms utvunnet lignin på sikt kunna förädlas till olika slags högvärdiga produkter (t ex bindemedel i träbaserade byggprodukter och kolfiberprodukter) men också till biodrivmedel och flygbränslen via bio-olja. Jämfört med sågspån bedöms det dock vara tekniskt svårare att omvandla lignin till biodrivmedel eftersom

lignin är en mer komplex kemisk förening. En annan möjlighet är att plocka ut en delström (cirka 20-25%) av svartluten och använda denna direkt, utan ligninseparering, som råvara för produktion av drivmedel eller kemikalier via termisk förgasning (Carvalho et al., 2018).

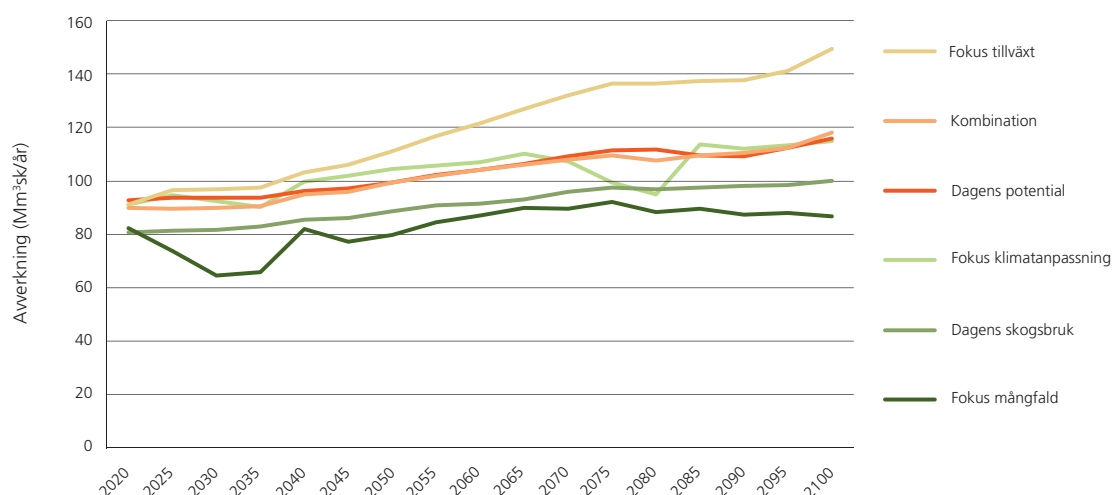
Sågsån, bark och lignin utgör sekundära biprodukter från rundved som genereras i skogsindustrin. Hur stor potentialen för primära biprodukter kan bli beror till stor del på hur skogsbruksmetoder och regleringar av dessa utvecklas framöver. Den främsta primära biprodukten från rundved är grenar och toppar (grot). Idag används ca 7-9 TWh/år av grot för energiändamål och ett miljömässigt hållbart uttag bedöms vara möjligt att göra på knappt 50 % av avverkningsytorna, vilket innebär ett ökat uttag jämfört med idag, förutsatt att askåterföringen också ökar för att motverka försurning och bibehålla näringsbalans (Börjesson, 2021b). EU:s forskningsinstitut Joint Research Center (JRC) har gjort en syntesrapport av miljömässigt hållbara skogsbränslen och där man klassar klen grot från barrträd som hållbar bioråvara förutsatt att man inte överskrider gränser för ekologiskt hållbara uttag på landskapsnivå (Camia et al., 2021). Däremot bör man lämna t ex grov grot från lövträd samt stubbar för att öka andelen grov död ved för att säkerställa biologisk mångfald (ibid).

Grot är likt bark en mindre homogen råvara men som kan omvandlas till biodrivmedel och biokemikalier via termisk förgasning, HTL eller andra termokemiska processer som t ex pyrolys. På sikt kan således också grot förädlas till långlivade produkter via intermediära plattformskemikalier. Förutom grot så bedöms också en något ökad andel skadad rundved, till exempel från barkborreangrepp, storm eller brand, kunna utnyttjas för energiändamål i framtiden eftersom volymerna skadad rundved förväntas öka på grund av klimatförändringarna (Börjesson, 2021b). En del skadad rundved kan dock bli aktuell att spara i skogen för att stärka biologisk mångfald medan t ex barkborreskadad rundved bör plockas ut för att minimera insektsspridningen. En annan kategori råvara som kan öka i framtiden är klen rundved i eftersatta röjningar och så kallad slytäkt där buskar och klena träd skördas på igenväxta betesmarker, i kraftledningsgator, utmed vägkanter och åkerkanter osv. (Börjesson, 2021b). En förutsättning för ökad skörd av denna typ av biomassa är att inte biologisk mångfald försämrats utan snarare förbättras som t ex röjningar av igenväxta betesmarker med hög biologisk mångfald.

4.2 Nya skogsbruksmetoder och ett förändrat klimat

Den framtida tillgången på skogsbaserade primära och sekundära biprodukter, och därmed mängden skoglig biomassa som är tillgänglig för energiändamål, beror i stor utsträckning också på hur skogsbruksmetoder kommer att förändras och hur klimatförändringarna påverkar framtida skogsbruk. Nuvarande trakthyggesbruk (eller kalhyggesbruk) ifrågasätts alltmer till förmån för så kallat hyggesfritt skogsbruk där skogen sköts så att marken alltid är trädbevuxen (Skogsstyrelsen, 2022a; SVT, 2022). I de skogliga konsekvensanalyser som nyligen publicerades av Skogsstyrelsen (SKA-22) finns olika scenarier modellerade (Skogsstyrelsen, 2022b). Enligt SKA-22 så bedöms den hållbara avverkningsvolymen de närmaste decennierna ligga mellan 95-100 miljoner skogskubikmeter (Mm³sk) per år när man balanserar åtgärder för ökad tillväxt, biologisk mångfald och klimatanpassning Figur 7. I detta scenario, som kallas ”Kombination”, ligger avverkningsvolymerna ungefär i nivå med den genomsnittliga avverkningsnivån under de senaste fem åren som legat kring 94 Mm³sk per år (Riksskogstaxeringen, 2023). I ett annat scenario ligger fokus på biologisk mångfald (”Fokus mångfald”). I detta scenario avsätts drygt 10 % mer av produktiv skogsmark till naturvård jämfört med övriga scenarier och hyggesfria metoder tillämpas på 30 % av arealen (Skogsstyrelsen, 2022b). Jämfört med scenariot ”Dagens potential” som utgår från nuvarande inriktning och skötsel av skogen samt avverkningsbeteenden, och som innebär att avverkningsnivån succesivt bedöms öka fram till 2100 jämfört med

idag, så minskar den potentiella avverkningen i scenariot ”Fokus mångfald”. Avverkningsnivåerna ligger i dessa två fall kring 78 och 87 Mm3sk per år 2050 respektive 2100 (Skogsstyrelsen, 2022b). Detta innebär en minskad tillförsel av inhemsk rundved med cirka 17 % till 2050 respektive 7 % till 2100, jämfört med dagens avverkningsnivåer (Skogsstyrelsen, 2022b). I en kompletterande studie från Skogsstyrelsen kring potentiella skogliga åtgärder för att påverka skogen som kolsänka bedöms t ex 10% minskad avverkning leda till att kolinbindningen i skog ökar med cirka 10 Mt CO₂ per år jämfört med idag (Skogsstyrelsen, 2023). Däremot bedöms en ökad andel hyggesfritt inte ha någon större effekt på kolsänkan men dessa modeller är osäkra och behöver analyseras mer utförligt i framtida studier. I SKA-22 presenteras också ett scenario där hög tillväxt prioriteras och som benämns ”Fokus tillväxt”. I detta scenario bedöms avverkningsnivåerna kunna ligga kring 110 och 150 Mm3sk per år 2050 respektive 2100, d v s motsvarande cirka 17% respektive 60% högre än dagens avverkningsnivå. Den betydligt högre avverkningspotentialen kring 2100 jämfört med kring 2050 visar på den långa tidsperiod som krävs för att tillväxthöjande åtgärder ska få stor effekt i skogsekosystem med långa omloppstider. Samtidigt så minskar så kallade ”naturvårdsvariabler” som gammal skog, lövskog, gammal död ved mm i detta scenario jämfört med i ”Fokus mångfald”, medan den årliga kolinlagringen är högre i ”Fokus tillväxt” kring 2100 (Skogsstyrelsen, 2022b). Däremot får man en större årlig kolinlagring fram till 2050 i ”Fokus mångfald” genom att mer skog sparas men därefter planar denna ökade kolinbindning ut och blir succesivt lägre än i alla övriga scenarier.



Figur 7 Avverkning av levande träd på produktiv skogsmark för olika scenarier 2020-2100 enligt Skogsstyrelsens skogliga konsekvensanalyser (SKA-22), uttryckt i miljoner skogskubikmeter (Mm3sk) per år (Skogsstyrelsen, 2022b).

Om mer produktiv skogsareal avsätts för naturvård och hyggesfria metoder kan mängden primära och sekundära skogsbiprodukter alltså komma att minska. Hur stor minskningen blir för primära biprodukter som grot avgörs också av hur mycket av den ytterligare avsatta skogsmarken samt marken som brukas med hyggesfria metoder som sammanfaller med den skogsmark där grot-uttag bedöms möjlig idag (se t ex de Jong et al, 2017). Om dessa endast i mindre omfattning sammanfaller blir påverkan begränsad medan minskningen kan bli mer betydande om det omvända råder. Grot-uttag antas i dagens diskussion inte vara ekonomiskt eller praktiskt möjligt på skogsmark som brukas med hyggesfria metoder men här krävs framtida studier för att bekräfta eller motsäga detta. Hur stor minskningen

blir för sekundära biprodukter beror på skogsindustrins utveckling, om skogsindustrin kompenserar för den minskade tillförseln av inhemsk rundved med till exempel ökad import eller andra bioråvaror. Om skogsindustrins produktionskapacitet anpassas efter en minskad tillförsel av inhemsk rundved enligt scenario "Fokus mångfald" så kan teoretiskt mängden biprodukter minska i motsvarande grad, dvs med cirka 17 % till 2050 (se ovan).

En annan faktor som nämnts ovan och som kan få stor betydelse för framtida möjliga avverkningsnivåer, förutom ökat fokus på naturvård, biologisk mångfald och hyggesfria metoder, är ifall kraven ökar på att skogen ska användas som kolsänka. I Skogsstyrelsens kompletterande studie om skogliga åtgärders effekter på kolflöden (se ovan) har man undersökt de skötselåtgärder i SKA-22 som bedöms påverka kolsänkan i skogen (Skogsstyrelsen, 2023). De förändringar i skogsskötseln som bedöms ha en sådan påverkan är förlängd omloppstid, minskade viltskador, mer lövskog, hyggesfritt skogsbruk, kvävegödsling, avsättning till naturvård och minskad avverkning. I de här simuleringarna ingår inte markkol på grund av osäkerheter i simuleringen. Ökad kunskap om just markkolens betydelse i skogens kolinbindning kan därför komma att påverka den här bilden. Bilden rapporten ger är inte direkt jämförbar med siffrorna ovan eftersom antagandet gjorts att ifall åtgärder som påverkar kolinbindningen i skogen leder till mindre intensivt skogsbruk kompenseras det av att skogsbruket intensifieras på andra ställen, så att avverkningsvolymen hålls lika stor som idag. Om istället kolinbindning prioriteras tillsammans med biologisk mångfald och hyggesfria metoder utan att intensiteten i skogsbruket ökar på andra ställen kan därför potentialen för uttag av skoglig biomassa för energiändamål minska ytterligare. Minskad avverkning av skog med 10 % tillsammans med förlängd rotationstid är de åtgärder som har störst effekt på kolsänkan i skogen enligt rapporten.

Samtidigt kommer skogsbruket att ställas inför flera utmaningar på grund av de pågående klimatförändringarna. Ett varmare klimat kan leda till högre tillväxt i skogen men samtidigt till ökade risker såsom stormskador, förändrad nederbörd, ökade angrepp av skadedjur såsom barkborre eller av rötsvampar. Klimatförändringarna kan också komma att påverka skogens möjlighet att binda kol på grund av den ökade risken för sommartorka (Jönsson, 2021). Många av de åtgärder som kan vidtas för att minska riskerna med ett förändrat klimat, som kortare rotationstid, har negativ påverkan på den biologiska mångfalden (Felton et al. 2016) samtidigt som de kan öka potentialen för bioenergi från skogen. Andra åtgärder, som ökad andel lövträd och hyggesfritt skogsbruk kan istället minska potentialen som vi sett ovan.

Skogliga aktörer har alltså ett ökat antal faktorer och osäkerheter de måste förhålla sig till när de lägger upp planer för hur de ska sköta skogen och ge råd om detta. Forskning visar att skogsägare i Sverige inte är lika bekymrade över klimatförändringar som skogsägare i södra Europa och att detta inte kan förklaras med strukturella faktorer men framför allt de skogsägare som själva upplevt att de drabbats av klimatförändringar uppger att de är väl medvetna om riskerna och att klimatförändringarna kommer att påverka skogen (Blennow et al. 2016; Jönsson och Swartling, 2014; Lidskog och Sjödin, 2014). Ifall denna medvetenhet verkligen leder till att skogsbruket anpassas till de pågående klimatförändringarna är däremot osäkert. Tidigare studier visar på en rad faktorer som skulle kunna förklara varför variationen av skogsbruksmetoder inte är större bland mindre privata skogsägare. Utvecklingen de senaste tjugo åren har lett till att privata skogsägare har mindre kontakt med skogliga rådgivare från Skogsstyrelsen och får mer råd från industrin. Framtiden upplevs också som osäker, särskilt faktorer som hur klimatförändringar kommer att påverka just deras skog (lokal påverkan) men också i mer generellt på en konkret nivå (till exempel stormskador, skadedjur, vattenhantering, vilka trädslag som bör väljas) och vad nya skötselstrategier har för svagheter. Att fortsätta som man alltid har gjort med den praktiska erfarenhet som nästan sitter i kroppen är därför ett säkrare val, särskilt ifall de flesta andra också fortsätter så. En slags kultur bland skogsaktörer går också att skönja, där det som anses

vara det traditionella sättet att bruka skogen med röjning, rensning, slutavverkning och återplantering också ses som det enda rätta sättet att bruka men också vårda skogen långsiktigt (Löfmarck m fl. 2017; Nordén m fl. 2017).

4.3 Styrmedel och ökade krav på skogsbruket

I EU:s förordning ”Land Use, Land Use Change and Forestry”, eller LULUCF, har man kommit överens om ett ökat nettoupptag av koldioxid i mark och skog för 2030 inom EU och förhandlingar pågår om fördelningen mellan olika länder (EU, 2023). Nuvarande förslag är att Sveriges nettoinbindning i skog och mark ska vara cirka 9% högre år 2030 än idag, närmare bestämt 4 Mt CO₂. Om huvuddelen av denna ökade nettoinbindning kommer att ske via sparad produktiv skog så kan avverkningsvolymerna komma att begränsas i motsvarande grad liksom potentialen av såväl primära som sekundära biprodukter för energiändamål. Det finns dock olika typer av osäkerheter när det gäller skogen som kolsänka vilket kan påverka acceptansen för denna åtgärdsstrategi och därmed dess utveckling och omfattning framöver. En osäkerhet är vilka metodansatser som används för att analysera kolbalanser och särskilt när enskilda skogsbestånd studeras så har analysens utformning stor betydelse för vilka slutsatser som dras. Ett argument är att kolbalanserna på den lilla skalan inte är representativa för större skogslandskap där kolinbindning (fotosyntes) och utsläpp (växternas respiration, nedbrytning, uttag vid avverkningar och förbränning) sker simultant och mängden kol som finns lagrad i skogen speglar balansen mellan dessa motriktade flöden (Berndes m fl. 2018). Detta kopplar också till vilket tidsperspektiv man anlägger, ett fåtal år eller en komplett omloppstid. En annan osäkerhet gäller svårigheter att mäta och verifiera faktiska förändringar i skogens olika kolpooler ovan och under mark. En tredje osäkerhet gäller beständigheten i skog som kollager då skogsskador i form av insektsangrepp, brand och storm kan innebära att inlagrat kol snabbt återgår till atmosfären. Risken för skogsskador bedöms också öka med ökade klimatförändringar. Om inte det nationella målet i LULUCF-förordningen nås kan minskade utsläpp utöver målen i andra sektorer (handlande eller icke handlande sektorn) användas för att kompensera. Ett annat alternativt är att köpa utsläppsrätter från andra länder som överskrider sina utsläppsmål. Ett tredje och sista alternativ är att betala böter motsvarande den utsläppsmängd av växthusgaser som överskrider det nationella klimatmålet.

Förslag har också framförts inom EU:s Taxonomi för hållbara investeringar samt Förnybartdirektiv (RED) om att uttag av primära biprodukter från skogsbruk som grot inte ska betraktas som miljömässigt hållbart. Dessa förslag har dock inte gått igenom i lagstiftningen men förslagen kan komma att återkomma i kommande revideringar. Om primära biprodukter inte kommer att betraktas som miljömässigt hållbara i framtida lagstiftningar kommer potentialen för ökad tillförsel av skogsbaserade biprodukter att mer än halveras eftersom grot utgör en sådan stor del. Dessutom kommer dagens grot-uttag motsvarande knappt 10% av dagens tillförsel av skogsbaserade biobränslen sannolikt att upphöra på sikt.

Styrmedel inom framför allt EU:s Fit for 55-paket kan alltså påverka både nuvarande och framtida användning av skogsbaserade biobränslen i Sverige. I paketet ingår EU:s nya skogsstrategi (EU forest strategy for 2030) som bygger på strategin för biodiversitet. En implementering av kaskadprincipen via skarpa styrmedel kan leda till en omfördelning av rest- och biprodukter som idag används för energiändamål till att alltmer utgöra råvara i långlivade produkter. I ett kortare perspektiv gäller detta framför allt sågspån men i ett längre perspektiv kan det påverka även andra råvaror som bark, lignin och grot. Med ett ökat fokus på cirkularitet kommer också mer kortlivade skogsbaserade produkter att allt bättre uppfylla målen i kaskadprincipen genom ökad återvinningsgrad och minskat behov

av jungfrulig skogsråvara. En kontinuerligt ökad återvinningsgrad där skogsråvara cirkulerar allt fler gånger i produktsystem innebär minskade restavfallsströmmar för energjändamål.

I EU:s skogsstrategi ingår att ekonomiska incitament för skogsägare att skydda mer skog, framför allt gammal skog och urskog och för att bruka skogen på ett sätt som gynnar flera värden samtidigt, inklusive turism (EU forest strategy). I tillhörande icke-bindande riktlinjer och råd betonas hyggesfritt skogsbruk och behovet av mer död ved. Implementeras denna strategi fullt ut i Sverige och kraven från EU ökar efter 2030, med bland annat förslag som EU Nature Restoration Law innebär det förmodligen ett mer ingående skydd av skog än SKA-22:s scenario "Fokus mångfald" som beskrevs i 4.2. Detta lagförslag pekar också på att fler naturtyper och områden i EU måste restaureras och att restaurering av alla sådana bör påbörjas innan 2050.

Vetenskapligt vet vi att mer skog, framför allt i södra och mellersta Sverige (egentligen all skog utanför fjällområdena) måste skyddas och att skyddet måste se ut på ett sätt så att tillräckligt med grön infrastruktur möjliggör för sårbara arter att flytta sig mellan områden (Svensson m fl, 2021). Det är ovisst hur det politiska läget kommer att se ut framöver och hur olika intressen ska samsas här och flera olika framtider är möjliga. Bland skogsägare är inställningen till statligt påvisat skydd av skog ofta negativ men Löfmarck et al. (2017) visar att även om äganderätten vill värnas kan skogsägare ändå argumentera för striktare reglering ifall denna är i linje med vad de uppfattar som ansvarsfullt skogsbruk. De åtgärder som vidtas för att långsiktigt skydda skog och värna biologisk mångfald förknippas samtidigt med dåligt skogsbruk av många skogsägare. Att skogsägarnas val av skogsskötselstrategier i stor utsträckning baserar sig på mångårigt (ofta outtalat) kunnande (Lidskog och Sjödin, 2014) förstärker detta. Samtidigt pekar det ökade intresset för hyggesfritt skogsbruk på att en förändring kan vara på gång och ifall EU-förordningarna omsätts till ökad ersättning för skydd av skog kan denna förändring stärkas.

En aspekt som lyfts alltmer i nationella utredningar och strategiarbeten är bioenergins roll för en stärkt försörjningsförmåga och energisäkerhet p g a krig i vårt närområde (SOU 2023:84; Energimyndigheten, 2023). Om minskad sårbarhet och ökad motståndskraft mot allvarliga kriser och krig prioriteras alltmer politiskt i framtiden kan eventuellt även detta komma att påverka synen på inhemsk skogsbaserad bioenergi och därmed också dess potential (se vidare kapitel 7 och 9).

4.4 Källor

- Berndes G, Goldmann M, Johnsson F, Lindroth A, Wijkman A, Abt B, Bergh J, Cowie A, Kalliokoski T, Kurz W, Luyssaert S, Nabuurs G-J. (2018). Forests and the climate: Mange for maximum wood production or leave the forest as a carbon sink? KSLA-T nr 6, Årgång 157.
- Blennow K., J. Persson E. Persson och M. Hanewinkel, 2016. Forest Owners' Response to Climate Change: University Education Trumps Value Profile. PloS ONE 11(5): e0155137. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0155137>
- Börjesson P. (2021a). Länsvis tillgång på skogsbiomassa för svensk biodrivmedels- och bioflygbränsleproduktion. Report No 122, Environmental and Energy Systems Studies, Lund University.
- Börjesson, P., 2021b. Potential för ökad tillförsel av inhemsk biomassa i en växande svensk bioekonomi – en uppdatering. Lunds universitet. Avdelningen för miljö- och energisystem. <https://portal.research.lu.se/sv/publications/29600a2a-724e-4e06-b407-2f5681040fec>
- Camia A, Giuntoli J, Jonsson R, Robert N, Cazzaniga NE, Jasinevicius G, Avitabile V, Grassi G, Barredo JI, Mubareka S. (2021) The use of woody biomass for energy purposes in the EU. EUR 30548 EN, Publications Office of the European Union, Luxembourg, ISBN 978-92-76-27867-2, doi:10.2760/831621, JRC122719.
- Carlqvist K., Arshadi M., Mossing T., Östman U-B., Brännström H., Halmemies E., Nurmi J., Lidén G., Börjesson P. (2020). Life cycle assessment of the production of cationized tannins from Norway spruce

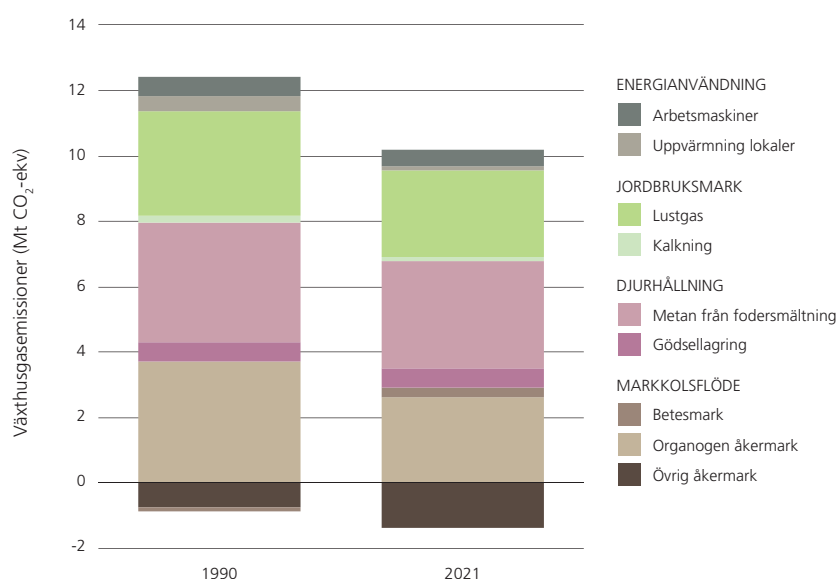
- bark as flocculants in wastewater treatment. *Biofuels, Bioproducts and Biorefining*, 14, 1270-1285.
- Carvalho, L., Lundgren, J., Wetterlund, E., Wolf, J., Furusjö, E. (2018). Methanol production via black liquor co-gasification with expanded raw material base – Techno-economic assessment. *Applied Energy* 225, 570-584.
- De Jong, J., Akselsson, C., Egnell, G., Löfgren, S., Olsson, B. (2017). Realizing the energy potential of forest biomass in Sweden – How much is environmentally sustainable? *Forest Ecology and Management*, 282, 3-16.
- EC (2023). https://knowledge4policy.ec.europa.eu/glossary-item/cascading-use_en
- Energimyndigheten (2022). *Energiläget i siffror 2022*. Statens energimyndighet, Eskilstuna.
- Energimyndigheten, 2023. *Förslag till fjärrvärme- och kraftvärmestrategi – Slutleverans*. Rapport 2023:27, Eskilstuna.
- Ericsson, K. (2021). Potential for the integrated production of biojet fuel in Swedish plant infrastructure. *Energies*, 14, 6531.
- EU (2023). <https://www.consilium.europa.eu/sv/press/press-releases/2022/11/11/fit-for-55-provisional-agreement-sets-ambitious-carbon-removal-targets-in-the-land-use-land-use-change-and-forestry-sector/>
- EU forest strategy. https://environment.ec.europa.eu/strategy/forest-strategy_en
- Felton, A., L. Gustafsson, J-M. Roberge, T. Ranius, J. Hjältén, J. Rudolphi, M. Lindblad, J. Weslien, L. Rist, J. Brunet, A.M. Felton, 2016. How climate change adaptation and mitigation strategies can threaten or enhance the reduction of production forests: Insights from Sweden. *Biological Conservation*, 194: 11-20.
- Löfmarck, E., Y. Ugglå, R. Lidskog, 2017. Freedom with what? Interpretations of “responsibility” in Swedish forestry practice. *Forest Policy and Economics*, 75: 34-40. <https://doi.org/10.1016/j.forpol.2016.12.004>
- Haus S., Björnsson L., Börjesson P. (2020). Lignocellulosic ethanol in a greenhouse gas emission reduction obligation system – A case study of Swedish sawdust-based ethanol production. *Energies*, 13, 5.
- Jönsson, A. M. och Gerger Swartling, Å. (2014) Reflections on Science-Stakeholder Interactions in Climate Change Adaptation Research within Swedish Forestry. *Society & Natural Resources*, 27:11, 1130-1144, DOI: 10.1080/08941920.2014.906013
- Jönsson, A M. (red), 2021. *Dragkampen om skogen – en syntes om skogsbruk i perspektivet av klimat, miljö och biologisk mångfald*. CEC syntes 07. Centrum för miljö- och klimatvetenskap, Lunds universitet.
- Lidskog, R. Och D Sjödin, 2014. Why do forest owners fail to heed warnings? Conflicting risk evaluations made by the Swedish forest agency and forest owners. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 29:3, 275-282, DOI: 10.1080/02827581.2014.910268
- Nordén, A., J. Coria, A. M. Jönsson, F. Lagergren, V. Lehsten (2017) Divergence in stakeholders’ preferences: Evidence from a choice experiment on forest landscapes preferences in Sweden. *Ecological Economics*, 132: 179-195. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2016.09.032>
- Riksskogstaxeringen, 2023. *Skogsdata 2023*. Institutionen för skoglig resurshushållning, SLU Umeå
- Setra Group (2023). <https://www.setragroup.com/sv/pyrocell/om-pyrolysanläggningen/>
- Skogsstyrelsen, 2022a. *Hyggesfritt allt hetare – ny satsning ska guida skogsägarna*. <https://www.skogsstyrelsen.se/nyhetslista/hyggesfritt-allt-hetare—ny-satsning-ska-guida-skogsagarna/> [Senast besökt 2023-09-29]
- Skogsstyrelsen, 2022b. *Skogliga konsekvensanalyser 2022 – syntesrapport*. Rapport 2022/11. Jönköping.
- Skogsstyrelsen, 2023. *Effektanalys av några skogliga åtgärders påverkan på kolsänkan*. Kunskapsunderlag, Rapport 2023/10. Jönköping.
- SOU 2023:84 (2023). *En hållbar bioekonomistrategi – för ett välmående fossilfritt samhälle*. Slutbetänkande av Bioekonomiutredningen.
- Svensson, J., P. Angelstam, G. Mikusinski, J.W. Bubnicki och B.G. Jonsson, 2021. Det fjällnära skogslandskapets stora och många värden. I Håkan Tunón & Klas Sandell (red.) 2021. *Biologisk mångfald, naturnytor, ekosystemtjänster. Svenska perspektiv på livsviktiga framtidsfrågor*. CBM:s skriftserie 121, SLU Centrum för biologisk mångfald, Uppsala & Naturvårdsverket, Stockholm
- Svensson, S., Furusjö, E., Cintas Sanchez, O., Zetterholm, J., Pettersson, K., Larsson, S., Funk, P., Johansson, J. (2022). *Kartläggning av biogena kolflöden i de skogsbaserade värdekedjorna i Sverige*. RISE Rapport: P116313. Research Institutes of Sweden AB.
- SVT, 2022. *Stort intresse för hyggesfritt bland länets skogsägare*. <https://www.svt.se/nyheter/lokalt/jamtland/stort-intresse-for-hyggesfritt-bland-lanets-skogsagare> [Senast besökt 2023-09-29]

5. Jordbruk och bioenergi

Lovisa Björnsson

5.1 Minskad klimatpåverkan i fokus

Den svenska jordbrukssektorn stod 2021 för ett nettoutsläpp av växthusgaser på 8,2 miljoner ton CO₂-ekvivalenter (Mt CO₂-ekv) vilket motsvarade 17 % av Sveriges territoriella utsläpp (SCB, 2022; Naturvårdsverket, 2022a-c) (Figur 8). Rollen bioenergi skulle kunna spela för att minska växthusgasutsläppen i sektorn genom ersättning av fossila bränslen är relativt liten. Användningen av fossila bränslen, främst i arbetsmaskiner, motsvarade 2021 ett utsläpp på 0,6 Mt CO₂-ekv.



Figur 8 Växthusgasemissioner från jordbrukssektorn 1990 och 2021. Baserad på data från SCB, 2022; Naturvårdsverket 2022a-c.

Jordbrukets dominerande utsläpp av växthusgaser är istället så kallat biogena, de orsakas av biologisk aktivitet. De tre största utsläppskällorna 2021 var djurens metanbildning vid smältning av foder (3,3 Mt, 87 % från nötkreatur), lustgas som bildas vid omvandling av kväve i åkermark (2,7 Mt), samt nedbrytning av organiskt material i organogen åkermark vilket ger ett nettotillskott av CO₂ till atmosfären (2,6 Mt) (Figur 8) (Naturvårdsverket, 2022c; SCB, 2022). Förändringar i jordbrukets biomassahantering skulle kunna påverka dessa biogena utsläpp, både positivt och negativt, och sådana möjliga framtida förändringar beskrivs i kapitel 5.4.

De utsläppsminskningar som skett om vi tittar 30 år bakåt (Figur 8) har dock huvudsakligen skett

på bekostnad av minskad livsmedelsproduktion. Sedan 1990 har vi minskat arealen odlad åkermark med 10 %, minskat antalet nötkreatur med 17 % och minskat vår odling på organogen åkermark (Naturvårdsverket, 2022c).

5.2 Fossilfri energi och gödselmedel

Energianvändningen i jordbrukssektorn utgörs främst av diesel miljöklass 1 som drivmedel i arbetsmaskiner, ca 2,5 TWh/år. Rena biodrivmedel i form av HVO och RME utgör idag endast 2 % av drivmedelsanvändningen i jordbrukssektorn. Dessutom sker en energianvändning utanför Sveriges gränser på ca 2 TWh/år vid produktion av kväve-mineralgödsel (Regeringen, 2021).

En framtida fossilfri drivmedelsförsörjning för arbetsmaskiner som bygger på ett skifte till 2,5 TWh till biodiesel kan jämföras med den stadigt sjunkande mängden HVO och RME som används i ren form i vägtransportsektorn, som 2022 uppgick till 2,3 respektive 0,7 TWh (Energimyndigheten, 2023a).

Av kvävetillförseln i jordbruket kommer i dag cirka 180 000 ton från mineralgödsel och cirka 30 000 ton växttillgängligt kväve (N) från stallgödsel (Regeringen, 2021). Dessutom återförs 5 000 ton växttillgängligt N från cirkulering av samhällets restprodukter och avfall i form av biogödsel från biogasproduktion (Jordbruksverket, 2023a). Eftersom ingen mineralgödselproduktion sker inhemskt redovisas inte emissionerna bland våra territoriella utsläpp, men har uppskattats till ca 0,6 Mt CO₂-eq per år där kväve-mineralgödselproduktionen dominerar (Regeringen, 2021). Sverige är ett av få länder i EU som helt saknar inhemsk produktion av mineralgödsel, och importberoendet är en svag punkt i Sveriges försörjningstrygghet (Jordbruksverket, 2023a). En starkare styrning som skapar efterfrågan på fossilfri och inhemskt producerad mineralgödsel har därför föreslagits (Jordbruksverket, 2023a; Regeringen, 2021). Det första steget i produktion av kväve-mineralgödsel är framställning av vätgas och kvävgas, som sedan omvandlas till ammoniak. Vätgasen produceras idag huvudsakligen genom ångreformerings av fossil naturgas. I en fossilfri produktion skulle vätgasen istället kunna produceras genom elektrolys med förnybar el eller genom reformering av biogas (Ahlgren et al., 2015). I det senare, bioenergibaserade, fallet skulle en biogastillförsel motsvarande ca 2 TWh/år krävas för en inhemsk produktion motsvarande dagens användning.

En viktig åtgärd som ger minskad efterfrågan är ett ökat kretslopp för samhällets restprodukter. En ökad biogasproduktion från samhällets avfallsflöden följt av biogödselspridning på åkermark skulle kunna öka cirkulariteten för både N och fosfor (P). Tillförseln av mineralfosforgödselmedel i svensk åkermark ligger på ca 15 000 ton P årligen, medan kretsloppet från restprodukter och avfall som möjliggörs genom och biogasproduktion bidrog med ca 6 %, 900 ton (Jordbruksverket, 2023a; Regeringen, 2021). I EU är fosfor-mineral klassad som en kritisk råvara för samhället och välfärden där det stora europeiska importberoendet utgör en risk (EU, 2020a). Ett riktvärde för att diversifiera tillgången till 2030 är 15 % av behovet av kritiska råvaror ska tillgodoses genom ökat kretslopp (EU, 2023a).

5.3 Jordbruksbiomassa för energi idag

5.3.1 Livsmedelsgrödor för bioenergi

Biodrivmedel från grödor har varit ett viktigt steg historiskt i övergången från fossila drivmedel, och spelar en viktig roll även idag. EU:s reviderade förnybartdirektiv begränsar användningen av livsme-

dels- och fodergrödor som råvara för biodrivmedel (EU, 2023a). I Sverige utgjorde biodrivmedel från grödor ca 5 % av drivmedelsanvändningen för inhemska transporter år 2022 (Energimyndigheten, 2023a). Andelen grödebaserade biodrivmedel får maximalt öka till 7% av den totala energianvändningen i väg- och spårtransport till 2030 (EU, 2023a).

5.3.2 Biogas från gödsel

Biogasproduktionen i Sverige uppgick till 2,3 TWh 2022. Utav detta stod gödsel för knappt 0,3 TWh. Mängden gödsel som rötas till biogas och biogödsel har kraftigt ökat sedan 2009 och uppgick 2022 till 1,3 miljoner ton (Energigas Sverige, 2023). En anledning är det gödselgasstöd som infördes 2015 och som för närvarande är beslutat till och med 2026 (Regeringen, 2023a). Gödselgasstödet infördes på grund av den stora klimatnytta biogasproduktion ger i jämförelse med konventionell gödselhantering, eftersom utsläpp av metan och lustgas minskar. Denna emission uppgick 2021 till 0,6 Mt CO₂-eq, dvs är högre än utsläppen från användningen av fossila drivmedel i jordbruket (Figur 8). Fortfarande används dock bara ca 10 % av gödselmängderna i Sverige för biogasproduktion, och den totala biogaspotentialen i gödsel har uppskattats till 3–4 TWh per år (Lindfors & Feiz, 2023). Så länge mer långsiktiga styrmedel saknas kommer dock ingen stor utbyggnad av produktionen att ske (Energigas Sverige, 2023).

Ökad biogasproduktion förbättrar möjligheten för kretslopp för näringsämnen till åkermark, och biogaspotentialen i restprodukter och avfall har uppskattats till 8,3 TWh (Börjesson et al., 2023). Att öka biogasproduktionen från dagens nivå till 7 TWh har bedömts samtidigt öka mängden tillgänglig biogödsel som kan användas på åkermark 6–8 gånger (Gustafsson & Anderberg, 2023). För ekologiska växtodlingsgårdar som inte har tillgång till stallgödsel är bristen på gödselmedel ett hot mot försörjningstryggheten där ökad tillgång på biogödsel från biogasproduktion kan vara en möjlig lösning (Salomon et al., 2022).

5.3.3 Snabbväxande lövträd

Energiskog på åkermark odlades på 8 000 ha 2021, där *Salix* dominerade med ca 60 % av arealen (Jordbruksverket, 2023b). Framtida tillkommande odlingar av snabbväxande lövträd kan vara en möjlighet för att utnyttja nedlagd åkermark eller marginalmark. Att nyttja outnyttjad mark genom att introducera snabbväxande lövträd framstår som en effektiv metod att öka kolinbindningen i mark, och skulle kunna bidra med biomassa till energi (Rytter & Rytter, 2022). Här är dock markägarens intresse för en sådan omställning en viktig aspekt att ta hänsyn till, och en pågående enkätstudie baserad på markägare i Skåne indikerar att intresset är svalt (Anander et al., 2023).

5.4 Åkermark för bioenergi i framtiden

Frågor som påverkar jordbruket som framtida leverantör av biomassa för energi innehåller många möjliga vägval eftersom vi dels har pågående klimatförändringar som kan påverka valet av odlingssystem, dels skulle kunna få beteendeförändringar som ger ändrade kostvanor och nya mönster för efterfrågan. Det framtida beroendet av och tillgången på konstgödsel och bekämpningsmedel kan också komma att förändra odlingen. Nedläggningen av åkermark skulle både kunna fortsätta som idag eller brytas genom att vi styr om produktionen till nya grödor. Här beskrivs några aspekter som kan få betydelse ur både 2030 och 2050-perspektiv.

5.4.1 Ekologisk och konventionell produktion

Inom ramarna för den svenska livsmedelsstrategin sattes målet att 30 % av jordbruksmarken (åker- och betesmark) skulle drivas ekologiskt 2030 (Regeringen, 2018). Den ekologiskt brukade arealen har tredubblats sedan 2005 och uppgick 2022 till 0,6 miljoner ha (Mha), varav 77 % var åkermark. Detta motsvarar knappt 20 % av jordbruksmarken, och trenden de senaste tre åren är minskande (Jordbruksverket, 2023c; d). Ekologisk produktion utmärks av varierade växtföljder, vilket förebygger skadedjur och ogräs. Vall och kvävefixerande grödor ingår i växtföljden, vilket förbättrar mullbildning, jordhälsa och biologisk mångfald (Jordbruksverket, 2023e; Land & Scharin, 2021). Ekologiskt lantbruk är inte lika beroende av importerade insatsmedel som konstgödsel eller bekämpningsmedel, men en utmaning är att skördarna i genomsnitt är lägre (Jordbruksverket, 2023e).

Konventionell, icke-ekologisk, produktion är mer utbredd i vissa regioner och för vissa typer av grödor som t ex spannmål, där 88 % av odlingen sker icke-ekologiskt (Jordbruksverket, 2023e). Ensidiga spannmålsdominerade växtföljder i konventionell växtodling har skapat ett starkt beroende av bekämpningsmedlet glyfosat (Hajdu et al., 2020). Glyfosat är världens mest använda bekämpningsmedel mot ogräs, och det vanligaste ämnet i växtskyddsmedel i Sverige (Kemikalieinspektionen, 2023). Glyfosatberoendet ökar även för att nya odlingsmetoder som plöjningsfri odling har lett till att behovet av kemisk ogräsbekämpning ökat (Hajdu et al., 2020). Plöjningsfri odling är en miljöåtgärd som minskar näringsläckaget från åkermark, och sparar arbetstid och energi, så olika miljömål står här i konflikt. Sverige kan dock, liksom andra EU-länder, behöva arbeta mer målmedvetet mot metoder som istället minskar beroendet av bekämpningsmedel. I EU:s Farm to Fork- och biodiversitetsstrategier anges att risken med kemiska bekämpningsmedel ska minskas med 50 % till 2030 (EU, 2020b). Detta skulle kunna ge betydande förändringar i hur framtidens odlingssystem utformas. Ett förslag från kommissionen (EU, 2022) om detta skulle införas som ett tvingande direktiv röstades dock ned under 2023.

5.4.2 Minskade åkermarksarealer

Arealen åkermark i Sverige har stadigt minskat under de senaste 100 åren, från 3,7 Mha 1918 till 2,6 Mha 2020 (Jordbruksverket, 2021). En fortsatt minskning i samma takt till 2050 skulle betyda en minskning med ytterligare ca 0,3 Mha åkermark. Åkermarken domineras idag stort av vallodling (1,1 Mha) och spannmålsodling (1,0 Mha) (Jordbruksverket, 2023b). I Jordbruksverkets scenarier kring produktionsutveckling i jordbruket till 2050 som ligger till grund för Energimyndighetens 2050-scenarier (Figur 5) bedöms antalet nötkreatur i alla kategorier utom mjölkkor ha minskat till 2050 och den odlade vallarealen bedöms minska med 0,46 Mha medan arealen spannmål och övriga grödor är nära oförändrad (Energimyndigheten, 2023b).

5.4.3 Vall för energi

I EU:s förnybartdirektiv (Annex IX) ingår vallgrödor på listan över råvaror som gynnas för produktion av biogas och andra så kallade avancerade biodrivmedel. Idag föreligger alltså inga policymässiga hinder för att använda den typen av energiråvara från åkermark för bioenergi, till skillnad från för livsmedelsgrödor (EU, 2023a). Vallodling sker idag oftare ekologiskt (25 % av den odlade arealen) (Jordbruksverket, 2023e). Vallodlingen sker även ofta extensivt, när foderbehovet är tillfredsställt eller när vallen tappat näringsvärde och smältbarhet får den stå kvar oskördad. Intensifierad odling med ytterligare en till tre vallskördar per år, beroende på region, skulle därför kunna vara möjlig (Gunnars-

son et al., 2017). En sådan intensifiering av dagens vallareal (1,1 Mha) har uppskattats kunna ge en biomassaskörd motsvarande ytterligare 7,7 TWh/år (Prade et al., 2017).

Den jordbruksmark där vi idag har högst och ökande kolhalt är i områden med mycket vallodling och hög tillförsel av stallgödsel (Figur 8). En utveckling där vallbehovet till foder minskar och vallarealer tags ur produktion 2050 skulle kunna skapa en situation där vi tappar kol från åkermark, istället för som idag då vi har en nettoinbindning på åkermark (organogen åkermark undantagen) motsvarande 1,4 Mt CO₂-ekv (Figur 7). För att upprätthålla vallodlingar på dagens nivå och bibehålla kolet i marken skulle en möjlighet vara att använda vallen som bioenergiråvara. Baserat på dagens skördenivåer i extensiv eller intensiv produktion skulle 0,46 Mha kunna ge 10–14 TWh vallbiomassa.

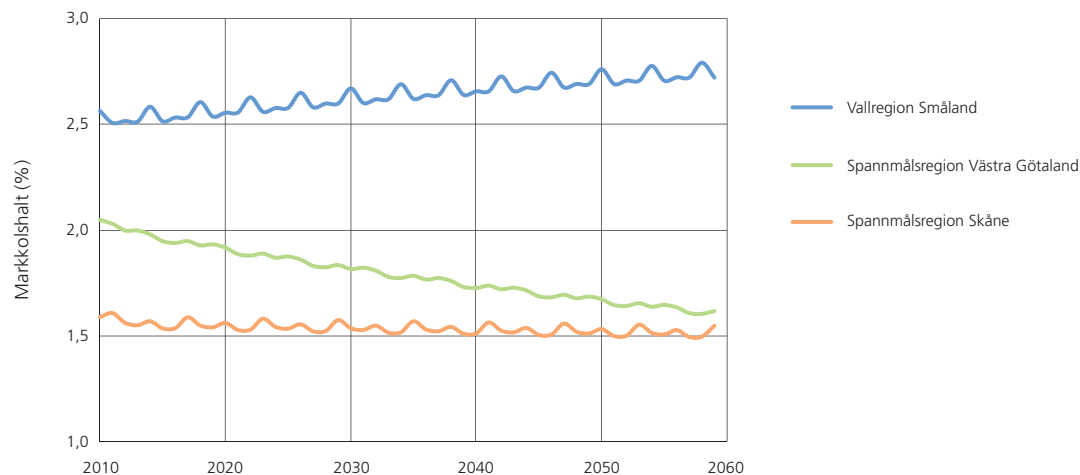
Vallbaserade bioraffinaderier där proteinutvinning kombineras med energiutvinning från biprodukterna är en lovande framtidsmöjlighet (Balaman et al., 2022; Khoshnevisan et al., 2023). Genom vallbaserad protein- och biogasproduktion i bioraffinaderier fås även indirekta positiva effekter, t ex genom ökad kolinlagring i åkermark och via ett minskat behov av importerat sojaprotein och därmed ökad självförsörjningsgrad och minskad klimatpåverkan (Njakou Djomo et al., 2020; Regeringen, 2023b).

Uttryckt i energitermer motsvarar dagens skörd av livsmedelsgrödor och foder årligen ca 53 TWh (Prade et al., 2017). Vallen står för 24 TWh av detta, varav 6,5 TWh nyttjas som grovfoder för hästar, resten som foder för huvudsakligen nötkreatur (Prade et al., 2017). Sverige är idag ett av världens häst-tätaste länder med 0,36 miljoner hästar 2016, där samma år ca 12 % av den svenska åkermarken användes för att producera hästfoder (Ahlgren et al., 2017; Jordbruksverket, 2017). Klimatpåverkan per häst har uppskattats till mellan 1,5 och 5 ton CO₂-ekv/år (Berglund & Falkhaven, 2011). Om möjligheten att fortsätta med hästhållning som hobby begränsades i framtiden på grund av skärpta miljö- och klimatkrav skulle detta kunna frigöra vall och åkermark för annan användning.

5.4.4 Kolflöden i åkermark

Att bibehålla eller öka halten markkol i åkermark blir allt viktigare i ett förändrat klimat. 45 % av jordarna i EU har låg eller mycket låg halt av organiskt material (0–2 % markkol). Detta ses som ett hot mot långsiktig bördighet och ger t ex sämre motståndskraft mot effekter av klimatförändringar som torka eller kraftiga regn (Kätterer & Bolinder, 2022). Nedbrytning av organiskt material i mark ger dessutom ett betydande utsläpp av CO₂ och bidrar även till att växthusgasen lustgas bildas då kväve frisätts vid nedbrytningen. Inom ramarna för LULUCF-förordningen har Sverige ålagts ett ökat nettoupptag med 4 Mt CO₂-ekv utöver den inbindning på 43 Mt som vi hade i snitt under perioden 2016–2018, vilket delvis skulle kunna åstadkommas genom förändringar i jordbrukssektorn, och verka som en drivkraft för framtida ökningar i markkolshalter i åkermark (EU, 2023c).

I Sverige är det huvudsakligen i de sk organogena jordarna (torv och gyttja) som organiskt material bryts ned och vi förlorar markkol som CO₂ till atmosfären (2,6 Mt 2021, Figur 8). Organogena jordar utgör dock en liten del, mindre än 0,3 Mha, av den svenska jordbruksmarken. Vår åkermark utgörs huvudsakligen av mineraljordar, där vi 2021 hade en nettoinbindning av kol motsvarande 1,4 Mt CO₂-ekv (Figur 8). Här finns dock en underliggande dynamik där vi har områden och växtföljder som både binder in och som förlorar kol. Generellt ger hög andel odling av fleråriga grödor (som gräsvall) och tillgång på stallgödsel (eller annan biogödsel) högre inbindningen av kol i mark (Land & Scharin, 2021; Kätterer & Bolinder, 2022). I spannmålstäta regioner där gödslingen huvudsakligen sker med mineralgödsel är istället risken att kol förloras från marken hög. Figur 9 visar modellberäkningar av markkolshalten fram till 2060 för tre olika svenska regioner med samma odlingsmönster och dominerande grödor som idag (Björnsson et al., 2016).



Figur 9 Modellberäkningar av kolhalt i åkermark med nuvarande odlingsmetoder och växtföljd för olika svenska typområden (modifierad från Björnsson et al., 2016).

För att bryta denna utveckling har metoder för att öka kolhalten i åkermark, så kallad carbon farming, tillkommit som en åtgärd i EUs gemensamma jordbrukspolitik (CAP). I Sverige har Jordbruksverket infört en ny ersättning för carbon farming där mellangrödor odlas med det dubbla syftet att lagra in kol i marken och att öka markbördigheten. Mellangrödor sås mellan huvudgrödor. Till kolbindande metoder inom jordbruket räknar kommissionen förutom mellangrödor även t ex beskogning, övergång från ettåriga grödor till gräsmark och skötsel av vallar. Jordbruksverkets målbild för 2023 var att ersättning för mellangrödor skulle sökas för ca 70 000 ha, men utfallet blev över förväntan och stöd söktes för ca 150 000 ha. I nuläget finns beslut om stöd fram till 2027, och målbilden är att mellangrödor då ska odlas på ca 250 000 ha¹.

5.4.5 Odlingsrester

Utav de lustgasutsläpp som sker på grund av närvaron av kväve i åkermark (2,7 Mt CO₂-ekv 2022, Figur 8) orsakas drygt 10 % av kväveinnehållet i de odlingsrester som lämnas kvar efter skörd. Att bortföra odlingsrester skulle alltså direkt minska dessa utsläpp. Den bärningsbara andelen av odlingsrester (exklusive vall) har uppskattats till 2,1 Mt (varav 86 % utgörs av halm), vilket i energitermer motsvarar ca 8,4 TWh (Barrios Latorre et al., 2023). Att plöja ned odlingsrester kan dock, särskilt i konventionell mineralgödslad spannmålsodling, vara det enda bidraget till markkol. I EU dominerar spannmålsodling stort, 79 % av åkermarken 2019, och det är vanligt med restriktioner på bortförsel av halm från åkermark (Vailin et al., 2015). Att plöja ned halm har dock visats vara en ineffektiv åtgärd för att höja mullhalten i åkermark (Björnsson & Prade, 2021). Långliggande odlingsförsök har visat att bidraget till långsiktigt stabilt markkol från nedplöjning ovanjordiska odlingsrester är mycket lågt, och vid låga lerhalter till och med försumbart (Popleau et al., 2015). En ny studie visar att nedplöjning av ovanjordiska odlingsrester helt skulle sakna effekt på kolhalten för 27 % av den svenska åkermarken (Barrios Latorre et al., 2023). Det är alltså högprioriterat att införa andra åtgärder, och här har tillförsel av stallgödsel eller biogödsel samt att öka mängden rotbiomassa visat sig vara effektiva. Det senare kan t ex uppnås genom att odla perenna grödor eller skog på åkermark, men det kan också åstadkommas i nuvarande växtföljder genom introduktion av mellangrödor, utan att åkermark

¹ Hjelm, E. Jordbruksverket. Personlig kommunikation 2023-10-23

tags ur produktion. Att bortföra odlingsrester och använda för bioenergi kan alltså vara möjligt utan negativa effekter på markkolshalter, och genom att även kväve bortförs ger det även en minskning av lustgasproduktionen.

5.4.6 Nya odlingssystem

Nya odlingssystem med målet att bidra till ökad biodiversitet, ökad kolinlagring i åkermark och minskat kväveläckage skulle kunna bidra med biomassa för energi utan att det primära syftet om livsmedelsförsörjning äventyras. För att minska jordbrukets miljöpåverkan och gynna biologisk mångfald infördes inom EU det s k förgröningsstödet 2014 (EU, 2023d). Ekologisk odling anses redan bidra med denna typ av miljövinster, men gårdar större än 15 ha som inte bedriver ekologisk produktion måste avsätta 5 % av åkermarken till områden som gynnar biologisk mångfald, så kallade ekologiska fokusarealer (EFA). EFA-arealerna finns redan idag på plats, ofta som mark i träda som såtts med pollen- och nektarrika växter, och stödet finns just nu budgeterat för i EUs jordbrukspolitik fram till 2027. Biomassan skördas dock inte idag, vilket skulle vara tillåtet om det sker efter 31 oktober. Energiinnehållet i denna biomassa har uppskattats motsvara 2,2 TWh (Prade et al., 2017).

Med det nya stödet för fång- och mellangrödor följer villkor om att grödorna får brytas tidigast 10-20 oktober. Efter detta datum är det vanligt att grödorna lämnas i fält, men det är tillåtet att skörda och bortföra denna biomassa för användning för t ex foder eller bioenergi. Att lämna kvar mellangrödor i fält efter att de dör av frostsador (s k frost kill) har visats kunna ge risk för ökade lustgasemissioner (Olofsson & Ernfors, 2022). Att skörda och bortföra den ovanjordiska biomassan skulle alltså kunna ge minskad klimatpåverkan. En studie över hur stora arealer mellangrödor som skulle kunna odlas, baserat på dagens växtföljder och odlingssäsong, visar att arealen skulle kunna uppgå till 540 000 ha (Barrios Latorre et al., 2023). Mängden bärningsbar biomassa från dessa arealer har uppskattats till 1,7–2,2 TWh/år (Barrios Latorre et al., 2023; Prade et al., 2017).

5.5 Källor

- Ahlgren, S., Bauer, F., & Hulteberg, C. (2015). Produktion av kvävegödsel baserad på förnybar energi - En översikt av teknik, miljöeffekter och ekonomi för några alternativ. Rapport 082. Institutionen för energi och teknik, Sveriges Lantbruksuniversitet, Uppsala.
- Ahlgren, S., Björnsson, L., Prade, T. & Lantz, M. (2017) Biodrivmedel och markanvändning i Sverige. Rapport nr 105, Miljö- och energisystem, Institutionen för teknik och samhälle, Lunds Universitet, Lund.
- Anander, E., Börjesson, P., Björnsson, L. & Blennow, K. (2023) Aligning biomass potential assessments with farmers' willingness to supply – a case study in southern Sweden exploring *Populus* spp. on agricultural land. Konferensbidrag accepterat till European Biomass Conference, 24-27 juni 2024, Marseille.
- Balman, S., Berndes, G., Cederberg, C., Rosenqvist, H. (2022) Towards multifunctional landscapes coupling low carbon feed and bioenergy production with restorative agriculture: Economic deployment potential of grass-based biorefineries. *Biofuels, Bioproducts and Biorefining*, 17: 523-536.
- Barrios Latorre, S. A., Aronsson, H., Björnsson, L., Viketoft, M. & Prade, T. (2023) Exploring the benefits of intermediate crops: Is it possible to offset soil organic carbon losses caused by crop residue removal? Manuscript accepted for publication, *Agricultural Systems*
- Berglund, M. & Falkhaven, E. (2011) Hästsektorns klimatpåverkan. Hushållningssällskapet Halland.
- Björnsson, L., Prade, T., Lantz, M (2016) Åkermark som kolsänka. Rapport nr 98, Miljö- och energisystem, Institutionen för teknik och samhälle, Lunds Universitet, Lund.
- Björnsson, L. & Prade, T. (2021) Sustainable Cereal Straw Management: Use as Feedstock for Emerging Biobased Industries or Cropland Soil Incorporation?. *Waste Biomass Valor*, 12: 5649–5663. <https://doi.org/10.1007/s12640-021-00900-0>

org/10.1007/s12649-021-01419-9

- Börjesson, P., Björnsson, L., Ericsson, K., & Lantz, M. (2023). Systems perspectives on combined production of advanced biojet fuel and biofuels in existing industrial infrastructure in Sweden. *Energy Conversion and Management*: X, 19 : 100404. <https://doi.org/10.1016/j.ecmx.2023.100404>
- Energigas Sverige (2023) https://www.energigas.se/media/cgtkvm3p/biogasstatistikrapport_2021_webb.pdf Produktion av biogas och rötresten och dess användning år 2022. Energigas Sverige, Stockholm.
- Energimyndigheten (2023a) Drivmedel 2022. Rapport 2023:19. Statens Energimyndighet, Eskilstuna.
- Energimyndigheten (2023b) Scenarier över Sveriges energisystem 2023. Med fokus på elektrifieringen 2050. Rapport ER 2023:07. Statens Energimyndighet, Eskilstuna.
- EU (2020a) COM (2020) 474 Resiliens för råvaror av avgörande betydelse: Att staka ut vägen mot ökad trygghet och hållbarhet. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/SV/TXT/PDF/?uri=CELEX-52020DC0474>
- EU (2020b) REPORT FROM THE COMMISSION TO THE EUROPEAN PARLIAMENT AND THE COUNCIL On the experience gained by Member States on the implementation of national targets established in their National Action Plans and on progress in the implementation of Directive 2009/128/EC on the sustainable use of pesticides. COM/2020/204 final
- EU (2022) REGULATION OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL on the sustainable use of plant protection products and amending Regulation (EU) 2012/1831. COM(2022) 305 final. European Commission.
- EU (2023a) DIRECTIVE (EU) 2023/2413 OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 18 October 2023 amending Directive (EU) 2018/2001, Regulation (EU) 2018/1999 and Directive 98/70/EC as regards the promotion of energy from renewable sources, and repealing Council Directive (EU) 2015/652
- EU (2023b) Critical raw materials act. https://single-market-economy.ec.europa.eu/sectors/raw-materials/areas-specific-interest/critical-raw-materials_en [2023-08-30]
- EU (2023c) Europaparlamentets och rådets förordning (EU) 2023/839 av den 19 april 2023 om ändring av förordning (EU) 2018/841 vad gäller tillämpningsområdet, förenkling av reglerna för rapportering och efterlevnadskontroll och fastställande av medlemsstaternas mål för 2030 och av förordning (EU) 2018/1999 vad gäller förbättrad övervakning, rapportering, uppföljning av framsteg och översyn (Text av betydelse för EES)
- EU (2023d) Hållbar markanvändning (förgröning) https://agriculture.ec.europa.eu/common-agricultural-policy/income-support/greening_sv [2023-08-31]
- Gunnarsson, C., Ahlström, A., Ljungberg, D., Prade, T., Rosenqvist, H., & Svensson, S.-E. (2017). Fresh and ensiled crops - a new way to organize year-round substrate supply for a biogas plant. Report 2017:07. f3 The Swedish Knowledge Centre for Renewable Transportation Fuels, Göteborg.
- Gustafsson, M. & Anderberg, S. (2023) Great expectations—future scenarios for production and use of biogas and digestate in Sweden, *Biofuels*, 14:1, 93-107, DOI: 10.1080/17597269.2022.2121543
- Hajdu, F., Eriksson, C., Waldenström, C. & Westholm, E. (2020) Sveriges förändrade lantbruk – Lantbrukarnas egna röster om förändringar sedan 1990-talet och strategier inför framtiden. SLU Future Food Reports 11, Sveriges lantbruksuniversitet.
- Jordbruksverket (2017) Jordbruket i siffror: 355 000 hästar i Sverige 2016. <https://jordbruketisiffror.wordpress.com/2017/02/02/355-000-hastar-i-sverige-2016/>
- Jordbruksverket (2021) Långa tidsserier – basstatistik om jordbruket år 1866-2020. <https://jordbruksverket.se/om-jordbruksverket/jordbruksverkets-officiella-statistik/jordbruksverkets-statistikrapporter/statistik/2021-08-16-langa-tidsserier---basstatistik-om-jordbruket-aren-1866-2020> [2023-09-28] Jordbruksverket.
- Jordbruksverket (2023a) Gödselmedelsproduktion i Sverige-aktuella initiativ, tekniker och förutsättningar. Rapport 2023:09. Jordbruksverket, Jönköping.
- Jordbruksverket (2023b) <https://jordbruksverket.se/om-jordbruksverket/jordbruksverkets-officiella-statistik/jordbruksverkets-statistikrapporter/statistik/2021-10-19-jordbruksmarkens-anvandning-2021.-slutlig-statistik> [2023-10-05]
- Jordbruksverket (2023c) Ekologisk areal, andel ekologisk areal och antal företag med ekologiskt brukad jordbruksmark efter län och ägoslag. År 2005-2022. https://statistik.sjv.se/PXWeb/pxweb/sv/Jordbruksverkets%20statistikdatabas/Jordbruksverkets%20statistikdatabas__Ekologisk%20produktion__1%20Ekolo

- giskrt%20odlad%20jordbruksmark/JO0104C06.px/ [2023-09-27]
- Jordbruksverket (2023d) Ekologisk växtodling 2022. <https://jordbruksverket.se/om-jordbruksverket/jordbruksverkets-officiella-statistik/jordbruksverkets-statistikrapporter/statistik/2023-05-16-ekologisk-vaxtodling-2022>
- Jordbruksverket (2023e). Om ekologisk produktion. <https://jordbruksverket.se/jordbruket-miljon-och-klimat/ekologisk-produktion> [2023-10-05]
- Kemikalieinspektionen (2023) Växtskyddsmedel som innehåller glyfosat. <https://www.kemi.se/lagar-och-regler/lagstiftningar-inom-kemikalieområdet/regler-for-bekampningsmedel/vaxtskyddsmedel/aktuellt-om-vaxtskyddsmedel/verksamma-amnen-i-fokus/glyfosat> [2023-09-28]
- Khoshnevisan, B., Fog, E., Baladi, S., Chan, S.W., Birkved, M. (2023) Using the product environmental footprint to strengthen the green market for sustainable feed ingredients; Lessons from green biomass biorefinery in Denmark. *Science of The Total Environment*, 877: 162858.
- Kätterer, T. & Bolinder, M. (2022) Agriculture practices to improve soil carbon storage in upland soil. In: *Understanding and fostering soil carbon sequestration*, Burleigh Dodds Science Publishing.
- Land, M. & Scharin, H. (2021) Växtföljers påverkan på inlagring av organiskt kol i jordbruksmark - En systematisk översikt och samhällsekonomisk analys. Forskningsrådet för miljö, areella näringar och samhällsbyggnad, Formas Stockholm.
- Lindfors, A. & Feiz, R. (2023) The current Nordic biogas and biofertilizer potential: An inventory of established feedstock and current technology. Biogas Solutions Research Center, Linköpings Universitet, Linköping.
- Naturvårdsverket (2022a) Växthusgaser, utsläpp från egen uppvärmning <https://www.naturvardsverket.se/data-och-statistik/klimat/vaxthusgaser-utslapp-fran-egen-uppvarmning-av-bostader-och-lokaler/> [2023-08-22]
- Naturvårdsverket (2022b) Växthusgaser, utsläpp från arbetsmaskiner <https://www.naturvardsverket.se/data-och-statistik/klimat/vaxthusgaser-utslapp-fran-arbetsmaskiner/> [2023-08-22]
- Naturvårdsverket (2022c) Växthusgaser, utsläpp från jordbruk. <https://www.naturvardsverket.se/data-och-statistik/klimat/vaxthusgaser-utslapp-fran-jordbruk/> [2023-04-14]
- Njakou Djomo, S., Knudsen, M.T., Martinsen, L., Andersen, M.S., Ambye-Jensen, M., Møller, H.B. (2020). Green proteins: an energy efficient solution for increased self-sufficiency in protein in Europe. *Biofuels, Bioproducts and Biorefinery*, 14: 605-619.
- Olofsson, F. & Ernfors, M. (2022) Frost killed cover crops induced high emissions of nitrous oxide. *Science of the Total Environment*. 837: 155634. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.155634>
- Poeplau, C., Kätterer, T., Bolinder, M., Börjesson, G., Berti, A., Lugato, E. (2015) Low stabilization of aboveground crop residue carbon in sandy soils of Swedish long-term experiments. *Geoderma* 237–238, 246–255
- Prade, T., Björnsson, L., Lantz, M. & Ahlgren, S. (2017) Can domestic production of iLUC-free feedstock from arable land supply Sweden's future demand for biofuels?, *Journal of Land Use Science*, 12:6, 407-441, DOI: 10.1080/1747423X.2017.1398280
- Regeringen (2018) Uppdrag att, inom ramen för livsmedelsstrategin, vidta åtgärder för främjande av produktion, konsumtion och export av ekologiska livsmedel <https://www.regeringen.se/regeringsuppdrag/2018/05/uppdrag-att-inom-ramen-for-livsmedelsstrategin-vidta-atgarder-for-framjande-av-produktion-konsumtion-och-export-av-ekologiska-livsmedel/>
- Regeringen (2021) Vägen mot fossiloberoende jordbruk. Betänkande av Utredningen om fossiloberoende jordbruk. SOU 2021:67. Statens offentliga utredningar, Stockholm.
- Regeringen (2023a) Regeringen satsar på gödselbaserad biogas. Pressmeddelande <https://www.regeringen.se/pressmeddelanden/2023/10/regeringen-satsar-pa-godselsbaserad-biogas/> [2023-10-28]
- Regeringen (2023b) En hållbar bioekonomistrategi – för ett välmående fossilfritt samhälle. Slutbetänkande av Bioekonomiutredningen. SOU 2023:84. Statens offentliga utredningar, Stockholm.
- Rytter & Rytter (2022) Carbon sequestration at land use conversion – Early changes in total carbon stocks for six tree species grown on former agricultural land. *Forest Ecology and Management*, 466: 118129. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2020.118129>
- Salomon, E., Tidåker, P. & Bergström Nilsson, S. (2022) Flows and budgets of nutrients and potentially toxic elements on four Swedish organic farms using digestate from agricultural residues. *Organic Agriculture*. <https://doi.org/10.1007/s13165-022-00393-3>

- SCB (2022) Utsläpp och upptag av växthusgaser från markanvändning, förändrad markanvändning och skogsbruk efter typ av växthusgas och delsektor. År 1990 – 2021. https://www.statistikdatabasen.scb.se/pxweb/sv/ssd/START__MI__MI0107/MI0107MarkanvNN/ [2023-04-14]
- Valin, H., Peters, D., van den Berg, M., Frank, S., Havlik, P., Forsell, N., Hamelinck, C. (2015) The Land Use Change Impact of Biofuels Consumed in the EU. Ecofys Netherlands B V, Utrecht.

6. Avfall och biprodukter som energikällor

Johanna Olofsson

Olika typer av avfall och biprodukter utnyttjas som energikällor och energibärare i den svenska energimixen. Det syns inte minst historiskt inom fjärrvärmesektorn där utnyttjandet av grenar och toppar varit avgörande för att fasa ut fossil olja i bränslemixen och de senaste åren inom transportsektorn där animaliska fetter utgör den största enskilda råvaran till den HVO som främst blandas in i fossil diesel. Genom EU:s förnybartdirektiv (RED) har man särskilt uppmuntrat till användning av biprodukter som råvaror för avancerade biodrivmedel, dels genom att låta dessa räknas dubbelt mot målen om förnybar energi i medlemsländerna, och dels genom att utesluta de växthusgasutsläpp som uppstår fram till dess att avfallet eller biprodukten samlas in för vidare bearbetning i beräkningar av klimatpåverkan från biodrivmedel. På listan över avfall och biprodukter som dessa regler gäller (Annex IX till direktivet) inkluderas bl.a. halm från jordbruk, grenar och toppar (grot) från skogsbruk, sågspån, råttololja, svartlut, gödsel, avloppsslam, restprodukter från palmoljeproduktion (ej PFAD), råglycerol, jordbruksrester som majscolvar och nötskal, och olika typer av biologiska restprodukter från livsmedelsindustrin som inte lämpar sig som livsmedel.

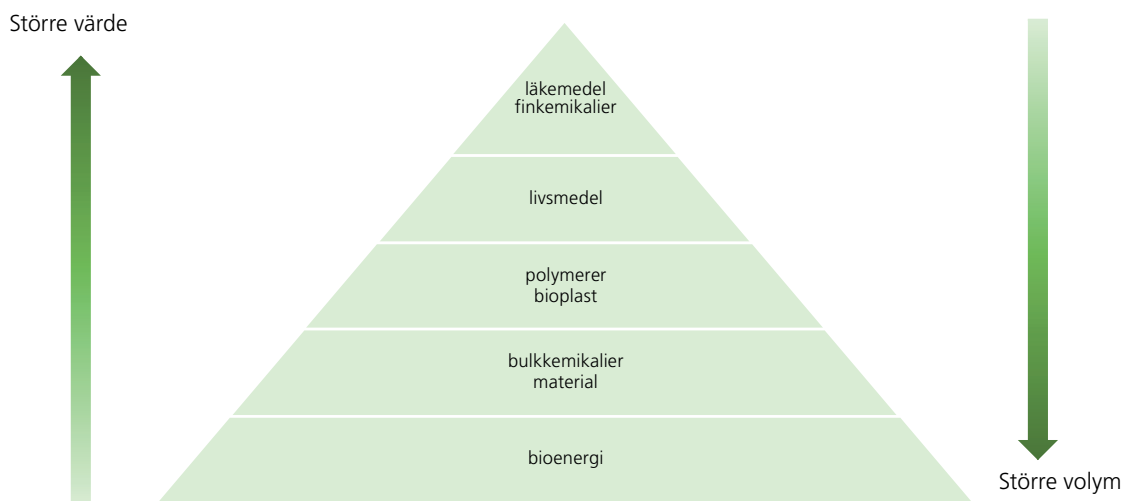
Detta kapitel berör både sådana biologiska avfall och biprodukter från skogs- och jordbruk som nämnts i kapitel 3 och 4, och andra typer av biologiska avfall från t.ex. livsmedelsindustri, och gör en utblick i generella trender som rör användning av biologiska avfall och biprodukter. Att utnyttja avfall och biprodukter och att cirkulera material är inte minst viktiga byggstenar för en cirkulär ekonomi, vilket både Sverige (Regeringen 2020) och EU (EC 2020) strävar efter. För att förstå hur biologiska avfall och biprodukter bäst kan utnyttjas mot ett övergripande mål om minskat resursuttag och minskad klimatpåverkan krävs dock flera avvägningar. Utöver dessa berör detta kapitel även förändrade förutsättningar för avfallsförbränning med energiutvinning i samband med mål om netto-nollutsläpp av växthusgaser och en förändrad användning av biomassa.

6.1 Konkurrerande användningsområden för biomassarester i en cirkulär ekonomi

I EU:s mål om att bli en kolneutral cirkulär ekonomi till 2050 (EC 2020) kan biomassa och biomassarester (avfall och biprodukter) spela en viktig roll. Att utnyttja biomassarester anges ofta som en viktig del i att uppnå en cirkulär bioekonomi men precis som för skoglig biomassa finns det även för biomassarester och biprodukter i allmänhet en potentiell konflikt mellan olika typer av användning av biomassan för energiändamål eller olika typer av material (se avsnitt 4.1 Den skogliga råvaran och möjliga framtida användning, IEA 2022). Generellt anses materiella applikationer viktigare för att

uppnå cirkulära resursflöden och värdeskapande vilket bland annat syns i EUs avfallshierarki, i EUs princip om kaskadanvändning av biomassa (kapitel 3), och i olika definitioner och conceptualiseringar av cirkulär (bio)ekonomi (Stegmann et al. 2020).

Ett annat sätt att illustrera en sådan prioritering av hur biomassa bör användas är med en värdepyramid (Figur 10) där biobaserade produkter av högt ekonomiskt värde och låg produktionsvolym prioriteras före produkter med lågt ekonomiskt värde och större produktionsvolym. Bioenergi hamnar typiskt i botten av en sådan värdepyramid och prioriteringsordning. Att skifta användning av restbiomassa uppåt i pyramiden kan i vissa fall, som diskuterades för sågspån i kapitel 4.1, ske snabbt med nya beslut och få konsekvenser för mängden inhemsk biomassa som finns tillgänglig för bioenergiändamål. Att extrahera vissa värdefulla beståndsdelar av biomassan innan resterna blir tillgängliga för bioenergiändamål kan i andra fall ha mindre betydelse för energiunderlaget men ändå innebära vissa förändringar och restriktioner för de värdekedjor för bioenergi som finns idag.



Figur 10 Värdepyramid för biomassa och biobaserade produkter utifrån Stegmann et al. (2020).

När det gäller biomassa och biomassarester ligger ytterligare en viktig avvägning i olika typer av flöden som kan anses bidra till cirkularitet. Å ena sidan kan biomassarester användas som råvara för de produkter som anges i värdepyramiden (Figur 10). Å andra sidan kan vissa biomassarester också utnyttjas för att återföra organiskt material och näringsämnen till skogs- och åkermark för att bidra till framtida biomassaproduktion men potentiellt även till biologisk mångfald och till klimatvinster genom ökad kolinbindning. Det kan både handla om obehandlade biomassarester som halm eller gödsel, eller avfall och biprodukter från industriella processer som aska från förbränning eller rötrest från biogasproduktion. Som diskuterats i föregående kapitel kan återförande av obehandlade biprodukter som t.ex. halm ge ett begränsat bidrag till kolinbindning i mark. Här kan det därför finnas möjligheter att kombinera bioenergi med andra typer av biomassautnyttjande för att maximera både ekonomiskt värdeskapande och nytta i form av bl.a. kolinbindning. På så sätt används ibland begreppet kaskadanvändning inte bara som en kaskad över tid där biomassa används som material i olika produkters påföljande livscyklar, utan även över funktion eller värde där olika beståndsdelar av biomassa utnyttjas till lämpliga produktkategorier (Stegmann et al. 2020).

Det går alltså att se två övergripande mål för användning av biomassarester i en cirkulär ekonomi som

i vissa fall kan kombineras och i andra fall kan stå i konflikt till varandra; dels att upprätthålla och restaurera primärproduktionssystem, dels genom att i olika användningsområden ersätta fossila råvaror (IEA 2022, Olofsson 2023). I vissa fall kan det finnas synergieffekter i att kombinera bioenergi med återförande av organiskt material och näringsämnen, som användning av rötrest från biogasproduktion, och i andra kan det finnas hinder. För att biomassarester ska kunna återföras till mark och bidra till denna typ av cirkulära flöden krävs att det biobaserade materialet inte kontamineras med oönskade ämnen (Bos & Broeze 2020). Till exempel kan samförbränning av grot och returträ medföra att askan inte är lämplig att sprida på skogsmark (Pettersson et al. 2020). Det kan också handla om att olika typer av additiv och behandlingar av biomassa för att tillverka produkter kan göra det svårt eller olämpligt att återföra det biobaserade materialet till mark. Att istället låta obehandlade och därmed okontaminerade biomassarester återgå till skogs- och jordbruksmark kan vara ett mer eller mindre effektivt sätt att cirkulera näringsämnen och kol. Regleringar av denna typ finns idag, t.ex. i form av begränsningar för skörd och användning av halm inom jordbruket som en del av åtgärder för att motverka utarmning av jordar (kapitel 5). Här finns utmaningar för sektorsövergripande styrmedel som väger olika användningsområden av restbiomassa och olika mål om cirkulära flöden på olika tidshorisonter mot varandra.

Sammantaget syns trender och tendenser som i många fall kan styra användning av restbiomassa bort från användning som bioenergi i ett första steg, både på kort och lång sikt. Samtidigt finns det anledning att tro att energiutvinning från både biomassa i stort och just biomassarester fortsatt kan vara viktigt, t.ex. då en del av biomassan återstår efter att värdefulla komponenter och material utvunnits, då det finns synergieffekter mellan material- och energiändamål, eller då material från uttjänta biobaserade produkter och biomassarester inte kan anses lämpligt att helt eller delvis återföra till mark. Vilka effekter nedprioriteringen av användning av biomassarester för energiändamål får på bioenergitillgången, och när, kan bero på ett flertal faktorer så som möjligheter att utnyttja biomassa till andra typer av produkter, framtida styrmedel, och avvägningar mellan mål om utfasning av fossila bränslen och andra mål om regenerering och restaurering av jordar och naturmiljöer.

6.2 Biprodukter som råvaror och energikällor i ljuset av netto-noll-utsläpp

Att i större utsträckning cirkulera produkter och material och utnyttja restströmmar är viktigt för att uppnå en effektiv användning av befintliga resurser och på så sätt minimera resursuttag. Samtidigt går det på längre sikt inte att bortse från de primärproduktionssystem som ger upphov till de biomassa-avfall och -biprodukter som vi utnyttjar idag. I ett helhetsgrepp om Sveriges klimatomål och klimatmålen i Parisavtalet måste de klimatvinster och -förluster som förknippas med användning av avfall och biprodukter kopplas samman med den påverkan på både klimat och biologisk mångfald som primärproduktion och råvaruuttag ger upphov till. Ett exempel är utnyttjandet av animaliska restfetter för produktion av HVO, där vi samtidigt vet att dagens animaliekonsumtion bidrar med en problematiskt hög påverkan på klimat och biologisk mångfald (Moberg et al. 2020). En liknelse kan dras till beslutet att inte utnyttja värme från svenska kärnkraftverk då kärnkraften inte ansågs ha en plats i landets energimix på längre sikt. Eftersom EU-målet om cirkulär ekonomi bygger på att ett minskat resursuttag skulle kunna leda till drastiskt minskad påverkan på klimatet och den biologiska mångfalden (EC 2020) bör lösningar som syftar till att bidra till den cirkulära ekonomin ses i ljuset av dessa överordnade mål. Att använda biomassarester för material- eller energiändamål kan därför ses som en begränsad del i att på olika sätt utforma och anpassa både produkter och primärproduktions-

system som skogs- och jordbruk till framtidsbilder i linje med klimatmålen.

På liknande sätt har PFAD (palm fatty acid distillate) från palmoljeproduktion kritiserats som råvara till biodrivmedel då den förknippas med palmoljeproduktionen och dess potentiella negativa hållbarhetsaspekter som avskogning. Det har lett till att olika länder beslutat att inte längre klassa PFAD som en biprodukt. Sverige tillämpar en allmän definition av samprodukter utifrån att dessa har ett ekonomiskt värde per kg som överstiger 40% av huvudproduktens värde per kg (Förordning (2011:1088) om hållbarhetskriterier för biodrivmedel och biobränslen). När en tidigare biprodukt istället klassas som samprodukt, som i fallet med PFAD, tillämpas inte längre regeln för biprodukter och avfall som säger att beräkningen av växthusgasutsläpp inte ska inkludera de processer som föregår insamlingen av materialet. Det leder till krav på spårbarhet hos råvaran och den beräknade klimatpåverkan från drivmedlet blir högre. I fallet med PFAD har denna typ av beslut medfört en snabb förändring av de biomassaråvaror som kan utnyttjas för bioenergiändamål, och det är inte otänkbart att liknande beslut kan påverka användningen av andra biprodukter för bioenergiändamål. När det gäller en bredare omläggning av livsmedelsproduktion, jordbruk och skogsbruk i linje med mål om nettonollutsläpp av växthusgaser och med klimatanpassning, lär förändringar ske över längre tid.

6.3 Förutsättningar för energi från avfallsförbränning

Målen för cirkulära resursflöden gäller även andra material som i dagsläget används som energibärare i den svenska energimixen. Till exempel står plast för en stor del av växthusgasutsläppen från Sveriges avfallsförbränning och den el- och värmeproduktion den ger upphov till, och knappt 6% av Sveriges totala växthusgasutsläpp (Naturvårdsverket 2023a). Uppskattningsvis behandlades mer än 1,1 miljoner ton plast genom förbränning med energiåtervinning år 2020 (Naturvårdsverket 2022) vilket motsvarar ca 6,6 TWh (antaget värmevärde 6 MWh/ton enligt Energimyndigheten, 2022). Utöver det användes ca 76 000 ton plast- och gummiavfall som bränsle i cementindustrin (Naturvårdsverket 2022), dvs knappt 0,5 TWh. Som lösning på växthusgasutsläppen från avfallsförbränningen finns i princip två tänkbara lösningar: att få bort koldioxidutsläppen från förbränningen med CCS eller att få bort plasten ur avfallet (Avfall Sverige 2021). I linje med EU:s gröna giv och uppdateringar i EU:s avfallsdirektiv och förpackningsdirektiv ska målen för materialåtervinning för plast öka, och år 2030 ska alla plastförpackningar inom EU vara återanvändbara eller återvinningsbara (EC 2022). Även för plast kan alltså cirkulära resursflöden tänkas bli viktiga och styra material från energiåtervinning mot återanvändning och återvinning, men i skrivande stund går utvecklingen mot ökad plastkonsumtion och ökade mängder plastavfall (Naturvårdsverket 2023b). Därför kan även användning av icke-fossila råvaror för plastproduktion bli viktiga för att undvika fossila växthusgasutsläpp, särskilt i en övergångsperiod.

Mer cirkulära resursflöden kan förändra underlaget för förbränning med energiutvinning från avfallsflöden i Sverige. Utöver de 6,6 TWh plastavfall som beskrivs ovan kan nämnas ca 6,7 TWh returträ (Energiföretagen 2022) och uppskattningsvis 0,75 TWh biologiskt avfall i hushållens restavfall årligen. Det senare baseras på att det restavfall som behandlades med förbränning innehöll 426 335 ton matavfall och 50 000 ton park- och trädgårdsavfall år 2021 (Naturvårdsverket 2023c), och uppskattade värmevärden 5,1 MJ/kg respektive 10,8 MJ/kg (Bisaillon et al. 2013). Förutsättningarna för energiproduktion genom avfallsförbränning i Sverige kan i vissa fall tänkas förändras relativt snabbt om skarpa styrmedel införs, t.ex. i de fall då en förflyttning till materialåtervinning kan vara tekniskt möjlig, som för vissa plastströmmar. I sammanhanget är det också viktigt att påpeka att satsningar på den cirkulära ekonomin har mycket att bevisa och det går ännu inte att se någon minskning av

de avfallsmängder som produceras i EU (IEA 2023) samtidigt som en relativt stor andel fortfarande deponeras (Energimyndigheten, 2023). En omställning av samhället i stort som skulle krävas för att förebygga många avfallsströmmar, t.ex. genom en hårdare reglering av produktion eller förändrade beteenden så som minskad konsumtion, kan snarare förväntas ske över längre tid.

6.4 Källor

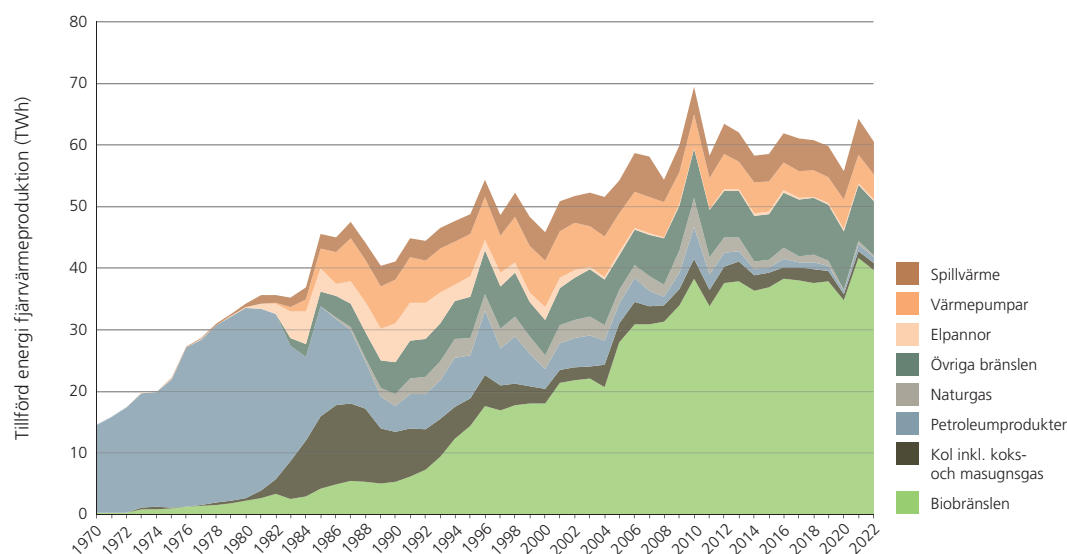
- Avfall Sverige 2021. Hur når Sverige en fossilfri energiåtervinning från avfallsförbränning? Sammanfattning av åtgärdsstudie vintern 2020-2021. Avfall Sverige, Malmö.
- Bisaillon, M., Johansson, I., Jones, F. & Sahlin, J. 2013. Bränslekvalitet – Sammansättning och egenskaper för avfallsbränsle till energiåtervinning. Borås: SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut.
- Bos, H. & Broeze, J. 2020. Circular bio-based production systems in the context of current biomass and fossil demand. *Biofuels, Bioproducts and Biorefining* 14(2):187-197.
- Energiföretagen, 2022. Tillförd energi till kraftvärme och fjärrvärmeproduktion och fjärrvärmeleveranser 2022. <https://www.energiforetagen.se/statistik/fjarrvarmestatistik/tillford-energi/> [2023-09-26]
- Energimyndigheten, 2022. Värmevärden och densiteter. <https://www.energimyndigheten.se/statistik/den-officiella-statistiken/statistikprodukter/varmevarden-och-densiteter/> [2023-09-26]
- Energimyndigheten, 2023. Förslag till fjärrvärme- och kraftvärmestrategi – Slutleverans. Rapport 2023:27, Eskilstuna.
- EC, European Commission 2020. Circular Economy Action Plan. For a cleaner and more competitive Europe. COM/2020/98 final. Europeiska kommissionen, Bryssel.
- EC, European Commission 2022. European Green Deal: Putting an end to wasteful packaging, boosting reuse and recycling. https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ip_22_7155 [2023-06-16]
- IEA 2022. Material and Energy Valorisation of Waste in a Circular Economy. IEA Bioenergy: Task 36. <https://www.ieabioenergy.com/blog/publications/material-and-energy-valorisation-of-waste-in-a-circular-economy/> [2024-01-31]
- IEA 2023. Material and Energy Valorization of Waste as Part of a Circular Model. Special Feature Article for the IEA Bioenergy Annual Report 2022. . <https://www.ieabioenergy.com/blog/publications/material-and-energy-valorization-of-waste-as-part-of-a-circular-model/> [2024-01-31]
- Moberg, E., Karlsson Potter, H., Wood, A., Hansson, P-A. & Rööf, E. 2020. Benchmarking the Swedish Diet Relative to Global and National Environmental Targets—Identification of Indicator Limitations and Data Gaps. *Sustainability* 12(4): 1407.
- Naturvårdsverket 2023a. El och fjärrvärme, utsläpp av växthusgaser. <https://www.naturvardsverket.se/data-och-statistik/klimat/vaxthusgaser-utslapp-fran-el-och-fjarrvarme/> [2023-06-16]
- Naturvårdsverket 2023b. Plastflöden i Sverige – från produktion till återvinning. <https://www.naturvardsverket.se/amnesomraden/plast/om-plast/plastfloden-i-sverige/> [2023-06-28]
- Naturvårdsverket 2023c. Åtgärder för att öka materialåtervinningen av kommunalt avfall – delredovisning. Stockholm: Naturvårdsverket.
- Naturvårdsverket 2022. Kartläggning av plastflöden i Sverige 2020. Rapport 7038. Naturvårdsverket, Stockholm.
- Olofsson, J. 2023. Biomass residues as resources – an expanded life-cycle perspective. Doktorsavhandling, Lunds universitet.
- Pettersson, M., Björnsson, L. & Börjesson, P. 2020. Recycling of ash from co-incineration of waste wood and forest fuels: An overlooked challenge in a circular bioenergy system. *Biomass and Bioenergy* 142:105713
- Regeringen, 2020. Cirkulär ekonomi – strategi för omställningen i Sverige. Regeringskansliet, Stockholm.
- Stegmann, P., Londo, M. & Junginger, M. 2020. The circular bioeconomy: Its elements and role in European bioeconomy clusters. *Resources, Conservation & Recycling*: X 100029.

7. Fjärr- och kraftvärmesektorns framtida utveckling

Karin Ericsson

7.1 Kort historik och nuläge

Fjärrvärme finns i dag i 285 av Sveriges 290 kommuner och svarar för cirka hälften av uppvärmningen inom bostäder och service (Energimyndigheten, 2023a). Fjärrvärmeproduktionen har legat kring 60 TWh/år under de senaste tio åren, med mindre variationer beroende på temperaturskillnader mellan åren. Omkring hälften av fjärrvärmeproduktionen sker i kraftvärmeverk (SCB, 2023a). Elproduktionen från dessa har legat kring 7–10 TWh under de senaste tio åren, vilket motsvarar ca 5 % av elproduktionen i Sverige år 2021 (Energimyndigheten, 2023b). Även här beror de årliga variationerna på skillnader i temperatur (och därigenom värmeunderlag), men också på variationer i elpriset. Som visas i Figur 11 har fjärrvärmens energitillförsel förändrats radikalt under de senaste 50 åren, från att enbart ha utgjorts av olja på 1970-talet till att bli mer diversifierad och idag domineras av biobränslen och avfall. År 2021 svarade biobränslen, inklusive den biogena delen av avfall, för 65% av energitillförseln och fossila bränslen för endast 4%. Övriga energikällor utgjordes av den fossila delen av avfall (sk övriga bränslen 14%), spillvärme (9%) och värmepumpar (7%) (Energimyndigheten, 2023b).



Figur 11 Energitillförseln i svensk fjärrvärmeproduktion 1970–2022 (Energimyndigheten, 2023b).

Bränsleomställningen har i hög grad drivits på av införandet av olika styrmedel såsom energi- och koldioxidskatten (där koldioxidskatten senare ersatts av EU ETS) som gjort fossila bränslen dyra-

re och deponeringsförbud av brännbart och organiskt avfall. För utbyggnaden av biobränslebaserad kraftvärmeproduktion har investeringsstöd och elcertifikatsystemet, som inte längre är aktuella, varit avgörande. Omställningen har dessutom varit praktiskt möjlig genom skogsindustrins parallella utveckling som bränsleleverantör med utgångspunkt i tillgång till restprodukter och utbyggda logistik (Ericsson och Werner, 2016).

Detta kapitel belyser olika omvärldsförändringar och trender inom fjärr- och kraftvärmesektorn med fokus på deras inverkan på de biobränsleeldade kraftvärmeverken och deras utvecklingsmöjligheter.

7.2 Minskat uppvärmningsbehov och ökad konkurrens med värmepumpar

Marknaden för fjärrvärme anses i hög grad vara mättad samtidigt som flera trender talar för att fjärrvärmebehovet kan minska på längre sikt. En sådan trend är de pågående klimatförändringarna som minskar antalet uppvärmningsdagar, särskilt i norra Sverige. Energimyndigheten bedömer därför att värmebehovet för bostäder och service kommer att minska med ungefär tio procent fram till 2050 (Energimyndigheten, 2023a).

Uppvärmningsbehovet förväntas också minska fram till 2050 som följd av förbättrad energiprestanda hos byggnader. De nuvarande byggnadsreglerna kräver att alla nya byggnader från och med 2021 är sk nära-nollenergi-hus. Byggnadsreglerna grundar sig på ett EU-direktiv (EPBD) från 2018. Detta direktiv håller nu på att omförhandlas och kommer förmodligen utvidgas till att omfatta det befintliga byggnadsbeståndet. En preliminär överenskommelse innebär att den genomsnittliga energianvändningen i bostadsbeståndet ska minska med 20–22 % till 2035 och att medlemsländerna själva får välja åtgärder och styrmedel för att uppnå detta (Regeringen, 2023). Vilken inverkan byggnadsregler och styrmedel får på fjärrvärmemarknaden beror också på hur de utformas med avseende på primärenergifaktorer eller annan viktning eftersom det påverkar fjärrvärmens konkurrenskraft gentemot individuella värmepumpar.

Konkurrenstrycket från individuella värmepumpar ökar på uppvärmningsmarknaden, något som skulle kunna leda till att fjärrvärmens marknadsandel långsamt minskar fram till 2050. Huruvida det blir så, och till vilken grad, beror på i vilken mån fjärrvärmen lyckas möta den ökade konkurrensen. För det första krävs att fjärrvärmepriset kan möta uppvärmningskostnaden med värmepump, vilket främst beror på utvecklingen av elpriset (inklusive elskatt) och värmepumpens effektivitet och investeringskostnad. För det andra krävs att kunderna har fortsatt förtroende för fjärrvärmebolagen då fjärrvärmen har status som naturligt monopol, dvs kunden kan bara välja en fjärrvärmeleverantör. För aktörer med bristande förtroende för fjärrvärmebranschen eller en önskan om stor autonomi framstår ofta värmepumpen som en attraktivare uppvärmningslösning (Lygnerud, 2018).

7.3 Ökad konkurrens om biomassa

Konkurrensen om biomassa förväntas växa i framtiden som följd av ökat omställningstryck i andra sektorer, inte minst kemiindustrin och transportsektorn (inklusive flyg och sjöfart). Betalningsviljan för biomassa för dessa ändamål kan förmodas bli hög då det finns få andra fossilfria alternativ. Alternativen i perspektivet 2050 utgörs framför allt av sk elektrobränslen vilka förväntas bli förhållandevis

dyra p.g.a. stora energiförluster i produktionen (se mer i kap 10). Betalningsviljan för biobränslen inom fjärr- och kraftvärmesektorn, å andra sidan, begränsas av elpriset och påverkas av den lokala tillgången till alternativa fjärrvärmekällor. Kopplingen till elpriset beror dels på att fjärrvärmens konkurrerar med individuella eldrivna värmepumpar, dels på att de biobränsleeldade kraftvärmeverkens intäkt från försäljningen av el (och fjärrvärme) måste täcka kostnaden för biobränsle. Hur elpriset utvecklas på längre sikt är givetvis osäkert. Mycket talar emellertid för en fortsatt kraftig utbyggnad av variabel förnybar elproduktion, vilket förväntas leda till mer volatila, och eventuellt lägre elpriser. Detta, i kombination med ökad konkurrens om biomassa, pekar mot att priset på biobränslen ökar i relation till det på el.

Konkurrensen om biomassa påverkas också av hur tillförseln utvecklas (se kap 3), inte minst med avseende på restprodukter från skogsbruket såsom grot, som det finns en outnyttjad uttagspotential för. Grot klassas än så länge som ett hållbart biobränsle enligt Förnybartdirektivet (RED II och III) och Taxonomin. Framtida revideringar av dessa direktiv kan emellertid leda till ett annat utfall då oenigheten är stor i frågan. Möjligheten att använda grot och sågspån som bränsle kan också komma att påverkas av framtida reglering kopplat till EU:s princip om kaskadanvändning av biomassa, vilken prioriterar materialanvändning före energianvändning (se kap 4). Fjärr- och kraftvärmesektorns användning av oförädlad trädbränsle såsom grot, sågspån och bark har på senare år uppgått till 15–17 TWh (Energiföretagen, 2023). Framtida lagändringar som gör att dessa biobränslen faller bort skulle således få stor inverkan på fjärr- och kraftvärmesektorns bränsletillförsel.

Samtidigt är fjärrvärmens en viktig komponent i Sveriges totalförsvar och energisäkerhet givet fjärrvärmens dominerande roll som uppvärmningsform. För att säkerställa en hög värmeberedskap och ökad motståndskraft i samhället vid en allvarlig kris eller krig föreslår Energimyndigheten i sin Fjärrvärme- och kraftvärmestrategi en utvecklad bränsleberedskap med bl a ökad lagringskapacitet för biobränslen, kompletterande infrastruktur, logistik och transportkapacitet samt ökad produktionsförmåga av inhemska bränslen (Energimyndigheten, 2023c). Ökade krav på energisäkerhet och bränsleberedskap inom fjärrvärmens där inhemska skogsbränslen är centrala kan därför eventuellt delvis komma i konflikt med och motverka striktare lagförslag kring skogsbränslets miljömässiga hållbarhet enligt diskussionen ovan. Utifrån ett beredskapsperspektiv kan t ex även individuell vedeldning öka i intresse, d v s nuvarande trend med en allt mindre andel uppvärmning baserat på oförädlade trädbränslen i form av ved kan komma att brytas (Figur 3).

7.4 Ökad betydelse av alternativa fjärrvärmekällor

En ökad konkurrens om biomassa, men också andra utvecklingar, talar för att spillvärme och geoenergi (tex bergvärme), i kombination med stora värmepumpar, skulle kunna få en ökande betydelse i fjärrvärmeproduktionen under de kommande årtiondena. Tillväxtmöjligheten för dessa värmekällor ligger dels i en förväntad etablering av nya verksamheter med mycket spillvärme, dels i en utveckling mot så kallad lågtemperaturfjärrvärme.

Inom akademien och fjärrvärmebranschen märks ett ökat intresse för lågtemperaturfjärrvärme, vilket avser fjärrvärmesystem med en framledningstemperatur på 70 °C eller lägre. Parallellt används också begreppet fjärde generationens fjärrvärme där visionen är en framledningstemperatur på 50 °C och 20 °C i retur (Lund mfl, 2014). Som jämförelse är de genomsnittliga temperaturnivåerna i de svenska fjärrvärmenäten idag 86 respektive 47 °C (Averfalk och Werner, 2017). Den främsta fördelen med lågtemperaturfjärrvärme är att det ökar lönsamheten att använda geoenergi och spillvärme av låg

temperatur utan stort behov av värmepump eller spetsvärme. Möjliga spillvärmekällor är avloppsvatten och värme från verksamheten med kylbehov såsom köpcentrum, kollektivtrafik (tunnelbana m.m) och datacenter. Införandet av lågtempererade fjärrvärmeområden sker enklast i samband med bygget av nya stadsdelar. I Sverige har det hittills byggts mindre lågtempererade fjärrvärmeområden i Linköping, Västerås och Lund. Hos de befintliga fjärrvärmesystemen kan en viss temperatursänkning åstadkommas genom optimering av teknisk utrustning, men för att omvandla dessa till lågtemperaturnät krävs att värmebehovet i byggnaderna minskar (Averfalk och Werner, 2017). En omställning av de befintliga fjärrvärmenäten kommer således att ta många år och kan ha fått stort genomslag i fjärrsystemen som helhet först framåt 2050.

Datacenter utgör en växande verksamhet och som på senare år börjat leverera spillvärme till fjärrvärmesystemen (Koronen mfl, 2020). Då spillvärmen inte har tillräckligt hög temperatur måste den emellertid höjas med hjälp av värmepump. Värmepumpen möjliggör således utnyttjande av värmekällor av otillräckligt hög temperatur, men kräver el (dock med en värmefaktor på minst 3:1). En ökad installation av stora värmepumpar i fjärrvärmesystemen kan därför försämra elkapacitetsbristen som råder i flera storstadsregioner. Samtidigt kan värmepumpar, liksom elpannor, genom sin elanvändning bidra med flexibilitet till elsystemet; hos värmepumpar kan produktionen nedregleras vid "underskottssituationer" medan elpannor, som karaktäriseras av låga investeringskostnader, kan tas i drift vid "överskottssituationer" (Schweiger mfl, 2017). Att utnyttja elpannor för fjärrvärmeproduktion är inte ekonomiskt attraktivt i dagsläget, inte ens under perioder med nollpriser på el, eftersom elanvändning i fjärrvärmesektorn belastats med elskatt.

Helt nya verksamheter som på sikt skulle kunna leverera stora mängder spillvärme av förhållandevis hög temperatur inkluderar bioraffinaderier (se kap 6.6) och elektrolysörer för produktion av vätgas från vatten och el (se kap 7). Spillvärme från vätgasproduktion kan uppgå till 50-70 °C, beroende på elektrolysrsteknik (Dyab mfl, 2021). Hur mycket av spillvärme som kan utnyttjas som fjärrvärme beror på den geografiska placeringen av anläggningen i förhållande till fjärrvärmesystemen.

7.5 Kraftvärmeverken i ett förändrat elsystem

Elsystemet är under snabb förändring genom den kraftiga utbyggnaden av variabel förnybar elproduktion, vilken förväntas fortsätta under kommande årtionden. Effekterna som detta medför på elmarknaden i form av mer volatila och eventuellt nedpressade elpriser innebär utan tvekan en stor utmaning för kraftvärmeverkens drift och lönsamhet. Kraftvärmeverken karaktäriseras av förhållandevis höga kapitalkostnader och körs som regel utifrån fjärrvärmeunderlaget. Längre perioder av låga elpriser under uppvärmningssäsongen blir därigenom problematiska för kraftvärmeverkens lönsamhet. En del kraftvärmeverksoperatörer hanterar dessa perioder genom att antingen minska driften, förutsatt att det finns tillgång till någon billigare produktionsenhet för fjärrvärme, eller genom att driva anläggningen som ett värmeverk (leda ångan förbi turbinen). Å andra sidan ökar intäkterna under perioder med höga elpriser, men begränsas samtidigt av fjärrvärmeunderlaget.

Kraftvärmeverken med sin styrbara elproduktion kan samtidigt bidra till att avhjälpa de utmaningar som utvecklingen mot mer variabel elproduktion och ökad elektrifiering skapar i elsystemet. Utmaningarna består dels av ett ökande behov av flexibilitetsresurser, dels av regional effektbrist i vissa storstadsregioner med nätbegränsningar. Kraftvärmeverken körs i dag utifrån värmebehovet, men skulle med anpassningar kunna erbjuda reglerkraft med en till några timmars svarstid. För detta krävs framför allt anpassning av kraftvärmeverkets styrning och mjukvara och att anläggningen körs på

dellast, dvs att det finns marginaler för uppreglering och nedreglering. Möjligheten att erbjuda reglerkraft, liksom att utnyttja perioder med höga elpriser, förbättras också med tillgång till värmelager, kondenssvans (extra turbin) och extern kylning såsom kyltorn eller kylning mot vattendrag. Dessa tekniker gör produktionen mer oberoende av fjärrvärmeunderlaget. Alla kraftvärmeverk har dock inte förutsättningar att installera extern kylning på grund av geografisk placering eller begränsningar i miljötillståndet. Nyttan med reglerkraft som produceras via kondensdrift måste dessutom vägas mot dåligt resursutnyttjande eftersom värmen inte tas tillvara. Idag säljer endast ett fåtal kraftvärmeverk reglerkraft då ersättningen anses vara för låg för att motivera kostnaderna för IT-lösningar, eventuella investeringar i värmelager och extern kylning och ökat slitage på pannor och annan utrustning som följer av snabba lastförändringar (Energimyndigheten, 2023a).

De befintliga kraftvärmeverken avhjälpas i dag den regionala kapacitetsbristen i storstadsområden såsom Stockholm och Malmö (Sköldberg mfl, 2020). Kraftvärmeverkens nytta i detta sammanhang hänger ihop med deras höga tillgänglighet vintertid då elbehovet är som störst och deras geografiska placering; 87 % av den installerade kraftvärmekapaciteten finns i de södra elområdena, SE3 och SE4, där regionerna med effektbrist finns (Energimyndigheten, 2023a). Kraftvärmeverken kan också bidra till möjligheten att försörja ett område med el utan behov av hjälp av det nationella elsystemet (detta benämns ofta ö-drift). Detta är värdefullt i samband med stora elavbrott utifrån ett elberedskapsperspektiv. Den ekonomiska kompensationen för dessa ”nyttor” är för närvarande mycket begränsad och utgörs främst av nätnyttoersättningen från de lokala elnätbolagen, vilken är låg.

Tekniskt sett finns en potential att öka kraftvärmeproduktionen utifrån det befintliga fjärrvärmeunderlaget. Detta kan ske dels genom konvertering av befintliga värmeverk till kraftvärmeverk, dels genom investeringar i förgasnings- och kombicykelteknik (gasturbin och ångturbin kombinerat) i befintliga kraftvärmeverk för att öka deras elutbyten. Sådana investeringar verkar emellertid mindre troliga i nuläget mot bakgrund av kraftvärmeverkens pressade lönsamhet. Som tidigare nämnt pressas lönsamheten av utvecklingen mot mer volatila och eventuellt lägre elpriser, ökad konkurrens om biomassa och potentiellt sjunkande fjärrvärmeunderlag. Dessa trender kan snarare leda till att åter- och nyinvesteringar i kraftvärmeanläggningar uteblir och att kraftvärmeproduktionen därigenom successivt minskar fram till 2050. En sådan utveckling är emellertid inte given. På senare tid har försörjningstryggheten för el blivit en högaktuell politisk fråga som föranlett myndighetsutredningar kring möjliga åtgärder för att stärka försörjningstryggheten (Regeringen, 2022). I framtiden kan det således komma att ske förändringar i elmarknadens utformning/reglering som påverkar förutsättningarna för kraftvärmeverken. En möjlig åtgärd som diskuteras är införandet av en kapacitetsmarknad, vid sidan av handeln med el, något som skulle kunna öka lönsamheten för kraftvärmeverk.

7.6 Bioraffinaderier - integrerad produktion av biodrivmedel

De biobränsleeldade kraftvärmeverken har möjlighet att utvecklas mot bioraffinaderier genom att integrera produktion av biodrivmedel och kemikalier. Att förlägga sådan produktion vid befintliga kraftvärmeverk eller skogsindustrier har flera fördelar jämfört med att uppföra separata sk stand-alone-anläggningar. Det innebär exempelvis synergier kopplat till bränslelogistik, tillstånd och personella resurser samt möjliggör utbyte av värme- och restflöden, vilket ökar energi- och resurseffektiviteten (de Jong m fl, 2017). För kraftvärmeverket innebär integration av drivmedels- och kemikalieproduktion breddad affärsverksamhet, utökad värmesänka (beroende på teknik) och ökat kapacitetsutnyttjande.

Generellt sett är stora kraftvärmeverk mest lämpliga för lokalisering av produktionsanläggningar för biodrivmedel och kemikalier eftersom dessa av skalekonomiska skäl kräver viss produktionsvolym. Det finns flera möjliga omvandlingstekniker för produktion av biodrivmedel och kemikalier från lignocellulosarik biomassa (se kap. 9). För vissa av dessa, såsom snabb pyrolys genereras en biololja som antingen kan utnyttjas som bränsle i spetslastpannor hos fjärrvärmebolaget eller förädlas vidare till biodrivmedel vid något raffinaderi (Björnsson mfl, 2021).

Majoriteten av de svenska biobränsleeldade kraftvärmeverken har pannor baserade på fluidiserad bäddteknik (Gustafsson, 2016). Dessa pannor erbjuder möjlighet att koppla på en separat fluidiserad bäddreaktor (FB) för termisk förgasning eller snabb pyrolys. Konceptet utgörs av sk kommunicerande bäddteknik där värme överförs från pannan till den nya reaktorn som samtidigt levererar restprodukter (restgaser och koks) till pannan. Om alla befintliga FB-pannor i Sverige (även medräknat dem i skogsindustrin) utnyttjas fullt ut för integration av snabb pyrolys skulle det möjliggöra en årlig produktion av 20 TWh biololja (Gustafsson, 2016). Denna produktionspotential utgår från maximalt utnyttjande av FB-pannorna, dels under normal driftssäsong, dels genom förlängd driftssäsong under sommaren då energieffektiviteten blir lägre. I en annan studie uppskattas produktionspotentialen för biodrivmedel vid de större kraftvärmeverken i fjärrvärmesystemen till 4-12 TWh beroende på teknikval (Ericsson, 2021).

Produktionen av biodrivmedel och kemikalier från lignocellulosarik biomassa är hittills mycket begränsad i Sverige och internationellt trots att den tekniska mognaden är hög för flera av teknikerna. Produktionskostnaderna för dessa tekniker kan i dagsläget, och i en nära framtid, inte möta marknadspriserna på biodrivmedel såsom HVO. Givet ett fortsatt omställningstryck på transportsektorn och kemiindustrin i såväl Sverige som internationellt så kommer de ekonomiska förutsättningarna för dessa tekniker att successivt förbättras. För att få till investeringar i de första storskaliga anläggningarna lär det emellertid inledningsvis krävas någon form av riktat marknadsstöd (Hellsmark och Söderholm, 2016).

Förutom möjligheterna med integrerad produktion av biodrivmedel och biokemikalier i kraftvärmeverk pågår även forskning och utveckling av produktion av biokol i kraft- och fjärrvärmepannor (Energimyndigheten, 2023c; 2022). Ett möjligt användningsområde för biokol är produktion av biokoks som kan ersätta en mindre andel fossilt koks som reduktionsmedel i befintliga masugnar i järn- och stålindustrin, dock sker inte detta i praktiken idag (se kapitel 8). Biokol kan också utnyttjas som en kolsänka genom att biokol lagras i mark. Det sker även en utveckling av biokolsproduktion i mindre fjärrvärmepannor och större värmepannor inom t ex lantbrukssektorn och avfallsbranschen där biokol produceras av bl a växtrester och trädgårdsavfall för användning som jordförbättringsmedel och för kolinlagring i mark.

7.7 Koldioxidinfångning för negativa utsläpp eller drivmedelsproduktion

Det finns en ökad insikt om att det kommer att krävas användning av tekniker som tar bort koldioxid från atmosfären för att Sveriges och många andra länder ska nå klimatmålen om nettonollutsläpp 2045/2050 och därefter negativa växthusgasutsläpp. Den teknik som främst förs fram är koldioxidavskiljning och lagring av biogen koldioxid (sk bio-CCS). Tekniken möjliggör negativa utsläpp av koldioxid genom att den fångar in och lagrar koldioxid som tidigare har bundits in i biomassan som förbränns. Koldioxidinfångning kan installeras vid biobränsle- eller avfallseldade kraftvärmeverk och

skogsindustrins sodapannor. Vid de avfallseldade kraftvärmeverken innebär tekniken att också fossil koldioxid samlas in. Mot bakgrund av dessa möjligheter har den svenska uppvärmningsbranschen formulerat en vision om att vara fossilbränslefria 2030 och att bidra till negativa koldioxidutsläpp 2045 (Fossilfritt Sverige, 2018).

Som alternativ till lagring, kan den infångade koldioxiden utnyttjas som råvara för produktion av drivmedel och kemikalier (sk CCU) (se vidare kap 10). Konceptet innebär att den infångade koldioxiden omvandlas till sk elektrobränslen med hjälp av vätgas (Ericsson, 2017). Produktionen av elektrobränslen kan antingen ske på plats vid kraftvärmeverket eller så kan den infångade koldioxiden transporterats till en centraliserad produktionsanläggning.

De biogena koldioxidutsläppen vid biobränsle- och avfallseldade anläggningar inom fjärrvärmesektorn uppgick 2022 till 11,7 Mton (Naturvårdsverket, 2023). Därutöver skedde utsläpp av 4,9 Mton fossil koldioxid vid de avfallseldade anläggningarna. Som jämförelse uppgick de totala utsläppen av fossil koldioxid i Sverige (exklusive internationell sjöfart) år 2021 till 38 Mton (SCB, 2023b). Koldioxidinfångning är en relativt dyr teknik som lämpar sig bäst vid stora punktkällor. De ekonomiska förutsättningarna påverkas också av lokalisering, där kustläge och platser som möjliggör samverkan med andra anläggningar i kluster (särskilt för CCS) ökar kostnadseffektiviteten för transport och mellanlagring. Den realiserbara potentialen för bio-CCS inom den svenska fjärrvärmesektorn och skogsindustrin har bedömts till minst 10 Mton biogen koldioxid per år i 2045-perspektiv (SOU 2020:4).

Koldioxidavskiljning är beprövad teknik inom kemiindustrin, men hittills inte tillämpad kommersiellt på biogen koldioxid vid förbränningsanläggningar. Avskiljning och förvätskning av koldioxid är generellt sett energikrävande processer som påverkar kraftvärmeverkens energibalans med avseende på egenanvändning av el, produktionen av el och fjärrvärme och/eller mängden insatt biobränsle. En stor utrullning av bio-CCS inom fjärrvärmesektorn skulle således kunna få en betydande påverkan på energisystemet (Energimyndigheten, 2023c). Hur stor påverkan blir beror främst på valet av avskiljningsteknik, grad av värmeåtervinning och kraftvärmeverkets driftsprofil (Beiron mfl, 2022). Vid installation på befintliga anläggningar diskuteras i huvudsak två avskiljningstekniker, den traditionella MEA-processen som utnyttjar amin-baserad absorption och HPC-processen (Hot Potassium Carbonate). MEA-processen minskar både el- och fjärrvärmeproduktionen. Vid tidpunkter då kraftvärmeverket normalt går på dellast kan detta emellertid motverkas genom ökad bränsletillförsel. HPC-processen, å andra sidan, förbrukar betydligt mer el jämfört med MEA-processen, men ökar produktionen av fjärrvärme förutsatt värmeåtervinning från processen. En fallstudie över ett befintligt kraftvärmeverk i Sydsverige visar att installation av MEA-processen skulle kunna göra kraftvärmeverket till en nettokonsumēt av el, medan installation av HPC-processen leder till att elleveransen minskar med 24–87 %; i de båda fallen förutsätts oförändrad fjärrvärmeleverans (Pettersson och Björnsson, 2023).

Installation av koldioxidinfångning påverkar således hur kraftvärmeverket körs och därigenom hur mycket reglerkraft och lokal elkapacitet anläggningen kan bidra med. En möjlig driftsstrategi under perioder när elpriset är högt (ansträngd effektbalans) är att avstå från att utnyttja el eller ånga till koldioxidinfångning och i stället prioritera elproduktion. Om kraftvärmeverket även integrerar produktion av elektrobränslen (CCU) blir effekten på elbalansen mycket stor då omvandlingen av koldioxid kräver stora mängder vätgas som förväntas produceras via elektrolys (se kap 10).

Incitamenten för investeringar i bio-CCS har hittills varit svaga då biogen koldioxid inte berörs av EU ETS och koldioxidskatt. För att främja bio-CCS beslutades 2022 om ett statligt stöd för detta. Dessa medel ska fördelas via sk omvända auktioner där den aktör som kan leverera bio-CCS till lägst kostnad vinner auktionen. Ambitionen är att genomföra den första auktionen under 2024 (En-

ergimyndigheten, 2023d). Utöver dessa stöd, påverkas investeringsviljan för bio-CCS givetvis av hur kraftvärmeverkens lönsamhet i stort bedöms utvecklas framöver. I dagsläget märks ett intresse för CCS/U i fjärrvärme- och avfallsbranschen och några aktörer ligger långt framme i sina förberedelser för att tillämpa detta. Ett exempel är Stockholm Exergi som nyligen har ansökt om att uppföra en storskalig bio-CCS-anläggning vid ett av sina kraftvärmeverk och fått investeringsstöd från EU för detta. Målet är att fånga in 0,8 Mton koldioxid per år från och med 2026 (Stockholm Exergi, 2023). Än så länge sker ingen utbyggnad av koldioxidlagring inom Sveriges gränser. Den pågående utbyggnaden av lagringskapacitet i Nordsjön av bland annat Norge är därför en förutsättning för att detta och andra svenska CCS-projekt ska kunna realiseras i närtid. Ett annat aktuellt exempel är det nyligen påbörjade bygget av en CCU-anläggning vid det biobränsleeldade kraftvärmeverket i Örnsköldsvik. Planen är att producera 50 000 ton elektrometanol/år från biogen koldioxid med start 2025 (Liquid Wind, 2023).

7.8 Källor

- Averfalk, H., Werner, S., 2017. Framtida fjärrvärmeteknik : Möjligheter med en fjärde teknikgeneration. Energiforsk, Stockholm, 978-91-7673-419-3 (ISBN)
- Beiron, J., Svanberg Frisinger, M.-S., Holm, J., Johnsson, F., Unger, T., Wolf, J., 2022 Teknik, systemintegration och kostnader för bio-CCS. Energiforsk, Rapport 2022:837
- Björnsson, L., Pettersson, M., Börjesson, P., Ottosson, P., Gustavsson, C., 2021. Integrating bio-oil production from wood fuels to an existing heat and power plant - evaluation of energy and greenhouse gas performance in a Swedish case study. Sustainable Energy Technologies and Assessments 48, 101648, <https://doi.org/10.1016/j.seta.2021.101648>.
- de Jong, S., Hoefnagels, R., Wetterlund, E., Pettersson, K., Faaij, A., Junginger, M., 2017. Cost optimization of biofuel production – The impact of scale, integration, transport and supply chain configurations. Applied Energy 195, 1055-1070, <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2017.03.109>.
- Dyab, L., Bondesson, P.-M., Sköldbberg, H., Holm, J., Brolin, M., Nyström, S., Samuelsson, R., 2021. Sektorkoppling för ett mer effektivt energisystem. Energiforsk, Rapport 2021: 764
- Energiföretagen, 2023. Tillförd energi till kraftvärme och fjärrvärmeproduktion och fjärrvärmeleveranser 2022 (exclfil).
- Energimyndigheten, 2022. <https://www.energimyndigheten.se/nyhetsarkiv/2022/energimyndigheten-stottar-forskning-om-biokolproduktion-integrerat-i-befintliga-kraft--och-fjarrvarmepannor/>
- Energimyndigheten, 2023a. Förslag till en fjärrvärme- och kraftvärmestrategi. Rapport ER 2023:14. Eskilstuna.
- Energimyndigheten, 2023b. Energiläget i siffror 2022 (exclfil). Eskilstuna.
- Energimyndigheten, 2023c. Förslag till fjärrvärme- och kraftvärmestrategi – Slutleverans. Rapport ER 2023:27. Eskilstuna.
- Energimyndigheten, 2023d. Remissen om stöd för bio-CCS har skickats ut. <https://www.energimyndigheten.se/nyhetsarkiv/2023/remissen-om-statligt-stod-for-bio-ccs-har-skickats-ut/>
- Ericsson, K., 2017. Biogenic carbon dioxide as feedstock for production of chemicals and fuels: A techno-economic assessment with a European perspective. Environmental and Energy Systems Studies, Lund University, IMES/EESS report no 103
- Ericsson, K., 2021. Potential for the Integrated Production of Biojet Fuel in Swedish Plant Infrastructures. Energies 14, 6531, <https://doi.org/10.3390/en14206531>.
- Ericsson, K., Werner, S., 2016. The introduction and expansion of biomass use in Swedish district heating systems. Biomass and Bioenergy 94, 57-65, <http://dx.doi.org/10.1016/j.biombioe.2016.08.011>.
- Fossilfritt Sverige, 2018. Färdplan för fossilfri konkurrenskraft - uppvärmningsbranschen.
- Gustavsson, C., 2016. Added value from biomass by broader utilization of fuels and CHP plants, Karlstad University Studies. Karlstads universitet, Karlstad.

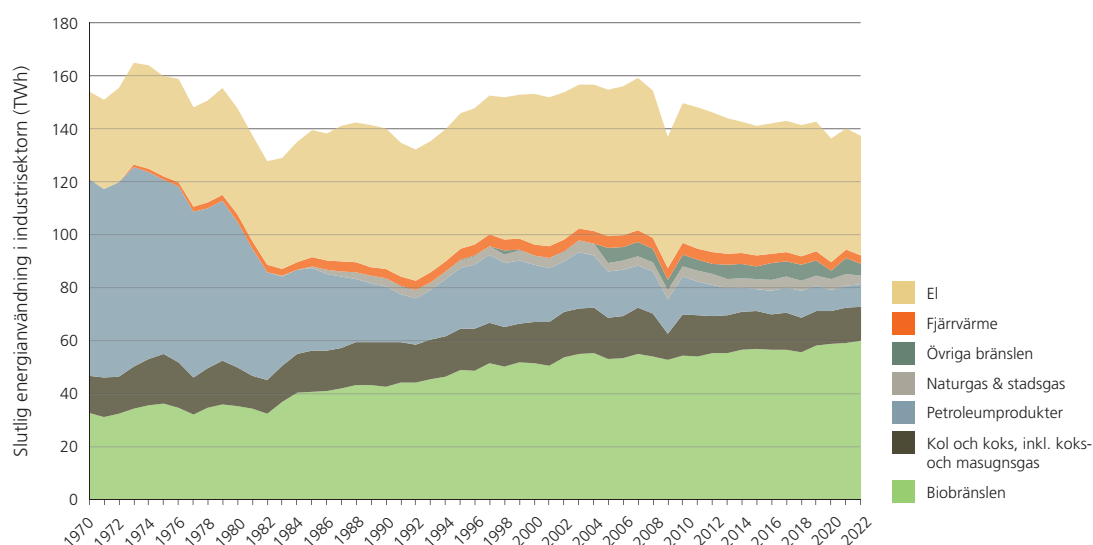
- Hellmark, H., Söderholm, P., 2016. Innovation policies for advanced biorefinery development: key considerations and lessons from Sweden: Innovation Policies for Advanced Biorefinery Development. *Biofuels, Bioproducts and Biorefining* 11, 10.1002/bbb.1732.
- Koronen, C., Åhman, M., Nilsson, L.J., 2020. Data centres in future European energy systems—energy efficiency, integration and policy. *Energy Efficiency* 13, 129-144, 10.1007/s12053-019-09833-8.
- Liquid Wind, 2023 Ørsted tar första spadtaget för FlagshipONE – Liquid Winds första och Europas största elektrobränsleprojekt. Pressmeddelande 24 maj 2023, Liquid Wind.
- Lund, H., Werner, S., Wiltshire, R., Svendsen, S., Thorsen, J.E., Hvelplund, F., Mathiesen, B.V., 2014. 4th Generation District Heating (4GDH): Integrating smart thermal grids into future sustainable energy systems. *Energy* 68, 1-11, <http://dx.doi.org/10.1016/j.energy.2014.02.089>.
- Lygnerud, K., 2018. Challenges for business change in district heating. *Energy, Sustainability and Society* 8, 20, 10.1186/s13705-018-0161-4.
- Naturvårdsverket, 2023. Nationella emissionsdatabasen för luftutsläpp. <https://utslappisiffror.naturvardsverket.se/sv/Sok/>, hämtad 2023-10-30.
- Pettersson, M., Björnsson, L., 2023. Greenhouse gas emission mitigation through add-on technologies for biobased heat and power – a comparison of BECCS and liquid biofuel production in a 2030 perspective. Manuscript. Published in Pettersson, M. (2023) Biobased combined heat and power production in Sweden - opportunities for and challenges to sustainability from the plant operator perspective. Doktoravhandling, Institutionen för Teknik och Samhälle, Lunds universitet.
- Regeringen, 2022. Uppdrag att stärka försörjningstryggheten i energisektorn. Infrastrukturdepartementet, Regeringsbeslut 2022-12-15
- Regeringen, 2023. Preliminär överenskommelse om byggnaders energianvändning i EU, Pressmeddelande 2023-12-13. <https://www.regeringen.se/pressmeddelanden/2023/12/preliminar-overenskom-melse-om-byggnaders-energianvandning-i-eu/>
- SCB, 2023a. Statistikdatabasen/Energi/Årlig energistatistik (el, gas och fjärrvärme)/Fjärrvärme (GWh). <https://www.scb.se/hitta-statistik/statistik-efter-amne/energi/tillforsel-och-anvandning-av-energi/arl原因-en-ergistatistik-el-gas-och-fjarrvarme/pong/tabell-och-diagram/fjarrvarme-gwh/>
- SCB, 2023b Statistikdatabasen/Miljö/Utsläpp och upptag av växthusgaser/Totala utsläpp och upptag av växthusgaser efter växthusgas och sektor. År 1990 - 2021. https://www.statistikdatabasen.scb.se/pxweb/sv/ssd/START__MI__MI0107/TotaltUtslappN/table/tableViewLayout1/
- SOU 2020:4, Vägen till en klimatpositiv framtid. Stockholm, Statens offentliga utredningar.
- Sköldberg, H., Unger, T., Lindén, M., Dyab, L., Söder, L., Bergman, L., 2020. Eleffektfrågan - utmaningar och lösningar. NEPP.
- Stockholm Exergi, 2023. Stockholm - här suger vi bort koldioxid ur atmosfären. <https://www.stockholmexergi.se/stockholmsuger/>.

8. Industrin – högvärme via el eller bioenergi?

Max Åhman

8.1 Svensk industri och dess energianvändning

Svensk industri använder idag ca 140 TWh energi fördelade på energislag enligt Figur 12. Industrin kan delas upp i basindustri som innefattar cement, järn och stål, aluminium, mineralgödsel, pappersmassa, petrokemi och raffinaderier, och tillverkningsindustri som består av framförallt av mekanisk tillverkning och livsmedelsindustri. Den energiintensiva basindustrin står för merparten av energianvändningen.



Figur 12 Slutlig energianvändning i industrisektorn per energibärare 1970 till 2022 (Energimyndigheten, 2023a)

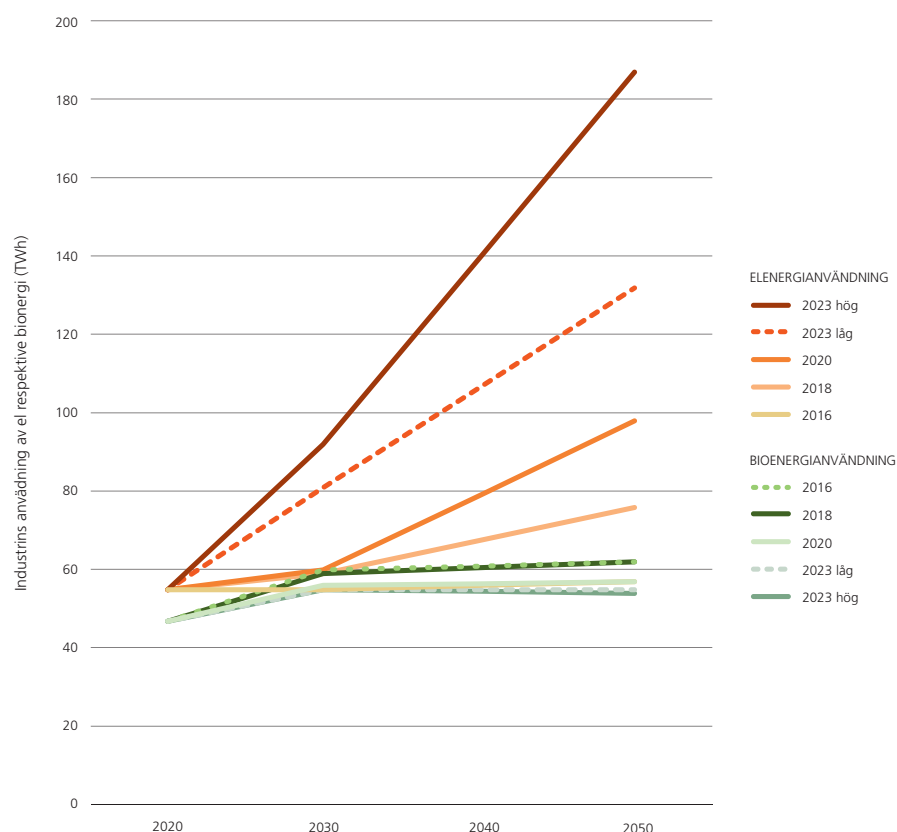
Användningen av petroleumprodukter har minskat kraftigt sedan 1970-talet tack vare energieffektiviseringar och ersättning av olja med biomassa eller el. Svensk industri är redan, tack vare pappersmassaindustrins stora användning av returlutar, en stor bioenergianvändare men använder även relativt mycket el jämfört med industrin inom EU. Den ökade användningen av biomassa i Figur 12 i pappersmassaindustrin är mycket tack vare en ökad produktion av kemisk massa, och därmed ökad användning av returlutar, en övergång från mekanisk till kemisk massa under 2000-talet och en ökad användning av bark i stället för olja i massabruk och sågverk (Wiberg, 2001; Ericsson et al., 2015).

Sverige har aldrig heller byggt in sig i en infrastruktur för naturgas vilket gjort att naturgasanvändningen är låg i svensk industri jämfört med EU.

8.2 Framtida förändring av energimixen

Klimatpolitikens krav på nettonoll-utsläpp senast 2045 och den dramatiska kostnadsreduktionen av förnybar el de senaste 20 år är idag de två dominerande drivkrafterna för förändring av vilken energi som ska användas inom industrin.

Klimatkravet gör att den kvarvarande fossila energianvändning måste ersättas eller hanteras via CCS. De låga kostnaderna för förnybar el har skapat stora visioner om en elektrifierad industri som ett kostnadseffektivt sätt att ersätta fossil energi. Utvecklingen har varit snabb och synen på elens betydelse inom industrisektorn har skiftat radikalt. I Figur 13 visas som exempel Energimyndighetens egna långsiktiga scenarier gjorda från år 2016 till 2023. Scenarierna gjorda år 2016 till 2018 prognosticerades i princip ”nolltillväxt” av elanvändning inom industrin till 2050. I deras senaste scenario (Energimyndigheten, 2023b) ändrades detta radikalt och nu spås en extrem tillväxt av el där industrisektorn (exkluderande datahallar) ökar sitt elbehov från dagens 53 TWh till 187 TWh el 2050.



Figur 13 Energimyndighetens olika framtidsscenarier mellan 2016 och 2023 för industrins bio- respektive elenergianvändning till 2030 och 2050. Baserat på Energimyndigheten 2016; 2018; 2020; 2023b.

Scenarierna för bioenergianvändning inom industrin har däremot ändrats endast marginellt och förutspås i det senaste scenariot öka från dagens 47 TWh till 56–58 TWh 2050 och består nästan uteslutande av trädbränslen och avlutar (Energimyndigheten, 2023b). Denna ökning är dock låg i jämförelse med Fossilfritt Sverige som gjorde en sammanställning av industrins tillkommande bioenergibehov baserat på sina färdplaner (se Figur 6) och landade i att det till 2045 behövdes 14 till 33 TWh mer bioenergi (i använd form) vilket betyder enligt samma rapport 17 till 48 TWh mer primär-råvara (FFS, 2021). Bioenergin i färdplanerna används främst till stål- och cementindustrin med kemiindustrins eventuella behov av råvara som en joker med uppskattat behov på 9 TWh (FFS, 2021).

Industrins totala energianvändning har legat relativt konstant sedan 1970 tack vare ett kontinuerligt effektiviseringsarbete och en volymmässigt låg tillväxt av industriproduktionen. Antagande i Energimyndighetens scenarier gjorda år 2016 och 2018 utgick ifrån att denna trend skulle hålla i sig och att svensk industriproduktion inte skulle ändra sig volymmässigt till 2045. I deras senaste scenario från 2023 har man utgått ifrån att svensk industriproduktion expanderar kraftigt till 2050. Detta gäller befintliga industrisektorer med dagens svenska stålproduktion som ökar med H2 Green Steels etablering och LK-ABs ambitioner att exportera järnsvamp istället för järnmalm. Även nya industrisektorer antas etablera sig i Sverige som t.ex. producerar batterier (t.ex. Northvolt), metanol för sjöfart (Liquid Wind/Örstedt) eller ammoniak (Fertiberia i Luleå). En annan helt ny industrigren, som inte har någon framtida möjlighet att använda biomassa men som däremot kan konkurrera som låg- och mellan-temperatursförsörjare till fjärrvärmenäten, är datahallar. Den snabba framväxten av datahallar kommer att kräva stora mängder el i framtiden och därmed också producera stora mängder lågtempererad spillvärme (Koronen et al, 2021) vilket de redan börjat leverera till fjärrvärmenätet, se kapitel 7.

8.3 El och/eller biomassa för att nå netto-noll inom industrin

Mängden fossil energi inom industrin som behöver skiftas ut är ca 24 TWh varav kol står för 12 TWh (för reduktion av koks i järn- och stålindustrin), petroleumprodukter för 8 TWh (för processenergi inom raffinaderier och petrokemi) och naturgas (för värmning inom stål- och tillverknings- och livsmedelsindustrin) för 4 TWh (Energimyndigheten, 2023a). Till detta kommer också ca 20 till 25 TWh fossila energibärare (t ex etan/eten) som används som råvara för plast och andra petrokemikalier². Totalt alltså 45 till 50 TWh fossil råvara. I flertalet av dessa industrisektorer går det tekniskt sett att ersätta fossilt med både el och biomassa.

Användning av naturgas kan oftast ersättas rakt av med biometan medan fast biomassa behöver förädlas för att få tillräckligt högt värmevärde i t ex en cementugn. Diverse biooljor kan också ersätta fossila flytande bränslen i flertalet industriprocesser där värme i olika temperaturer behövs.

För stålsektorn, som i dagsläget satsar mest på indirekt elektrifiering via vätgas för att producera järnsvamp (DRI, Direct Reduced Iron) är det även möjligt att använda biometan istället för vätgas i en DRI-process (se t ex Ferrosilva). Stora mängder biometan eller direktverkande el (ca 3 till 3,5 TWh) kommer behövas för värmning av stål för valsning och pressning av stål. Höganäs som tillverkar järnpulver har en unik process (en s k band-ugn) som idag använder naturgas och koks som de vill ersätta med biometan och biokoks. Biokol kan även ersätta fossilt kol i skrotsmältningsprocesserna. En uppskattning är att minst cirka 1-1,5 TWh biokol kan ersätta fossilt kol vid nuvarande produktionsnivåer, d v s detta motsvarar endast en begränsad del av nuvarande användning av fossilt kol i järn- och stålindustrin (se ovan) (Jernkontoret, 2018). Det är framför allt i befintliga masugnar som en viss inblandning av biokoks bedöms vara möjlig, d v s biomassa skulle kunna vara intressant i ett kort och medellångt

perspektiv så länge dagens masugnar är i drift. Detta sker dock inte i praktiken idag och med en fortsatt teknikutveckling inom järn- och stålindustrin bedöms behovet av biokoks försvinna på sikt.

Cementsektorn studerar möjligheten att ersätta högvärdiga kolbaserade bränslen i sina ugnar med el för värmebehov. I dagsläget fokuserar man dock på att ersätta dessa fossila inslag med bearbetad biomassa och andra restprodukter.

Inom kemiindustrin, som står för den största utmaningen när även själva den fossila råvaran ska bytas ut, är lösningarna (i) biomassa, (ii) förnybar el med CO₂, och (iii) ökad återvinning. Från biomassa, t.ex. biometan, kan man tillverka de flesta plattformskemikalier som behövs. Detta var också en del av utvecklingen inom ”Hållbar kemi” i Stenugnsundsklustret där man räknade med att utvecklingen av GobiGas-tekniken (förgasning av trädbiomassa) skulle på sikt erbjuda en lösning som kan leverera stora mängder biometan som råvara. GoBigas lades dock i malpåse 2018 på grund av bristande ekonomiska förutsättningar för kommersiell drift. Med förnybar el och fångad koldioxid kan man tillverka skiltevätskor, elektrobränslen/plast (se kapitel 10). Den infångade koldioxiden kan vara antingen biogen (från t.ex. pappersmassabruk) eller fossil från t.ex. cementsektorn eller avfallsförbränning. Elektroplaster kräver väldigt stora mängder el. Till exempel skulle det grovt krävas 27 TWh el och 2,1 Mton CO₂ för att ersätta Sveriges nuvarande produktion av ca 700 000 ton propylen från fossilt material med propylen från el och koldioxid (Palm et al, 2016). Elektrobränslen är till grunden samma process men där slutprodukten istället är t.ex. flygbränsle via en Fischer-Tropsch process eller e-metanol som fartygsbränsle, se t.ex. Flagship One (Orsted/Liquid Wind). Det potentiellt stora el- eller bioråvarubehovet pekar på nödvändigheten att öka cirkulariteten i samhällets plastanvändning som en mycket viktig väg för att avfossilisera kemiindustrin (Schneider et al, 2023).

Pappersmassaindustrin använder redan idag stora mängder bioenergi för sitt interna energibehov och är därigenom närmast koldioxidfria men släpper ut ca 30 Mton biogen CO₂/år. Denna biogena koldioxid kan användas antingen som råvara för plast/elektrobränslen eller som negativa bränslen via BECCS. En utveckling som inte drivs speciellt i Sverige idag och som inte är med i Energimyndighetens scenarier, är elektrifiering av pappersmassaindustri, dvs att använda fossilfri el istället för returlovar som processenergi. Fördelen med detta är att man då kan frigöra en del av de ca 55 TWh returlovar som används idag till att istället tillverka t.ex. kemikalier eller stål (Schneider et al 2023; Sandberg 2023).

8.4 Vad avgör el gentemot biomassa-användning inom industrin?

Elektrifiering och ökad användning av biomassa kan anses vara både komplementära och konkurrerande utvecklingssår för industrin. Nedan resonerar vi kring de trender vi tror kommer avgöra i vilken andel svensk industri elektrifieras eller ”biofieras”; nämligen (i) relativpriset mellan el och bioenergi, samt (ii) omvärldsutveckling och teknisk mognadsgrad, timing och risk.

8.4.1 Prisrelationen mellan el och bioenergi

Prisrelation mellan el och biomassa kan styra mot vilken lösning som kommer att dominera i framtiden. Prisrelationen räknad per SEK/kWh är inte direkt jämförbar för lönsamheten då investeringskostnader och teknisk mognadsgrad skiljer sig åt för de elektrifierade eller biomassabaserade alternativen inom industrin och även mellan olika industrigrenar. Energikostnaden är trots detta en så

pass dominerade kostnadsdel för den energi-intensiva industrin att den förväntas vara avgörande för långsiktiga investeringsbeslut vid ett skifte av en process.

Teknik för att elektrifiera industrin (framför allt tillverkningsindustrin) utvecklades under 1970 och 1980-talet, se t ex (EPRI, 2009) som ett svar på stigande oljepriser. På 1970-talet användes mycket olja inom industrin, även i Sverige, för värmebehov. Intresset och utvecklingen avstannade på 1980-talet då oljepriset sjönk och el blev för dyrt jämfört med olja. Det som talar långsiktigt för billigare el än biomassa är att den fysiska tillgången på el inte är begränsad på samma sätt som biomassa, d v s det finns stora mängder el som kan byggas, t ex havsbaserad vind, till kostnader runt <55 öre/kWh. Även om el är fysiskt mindre begränsat än biomassa kan el begränsas politiskt och priset kan även påverkas av den generella energipolitiken med mål för överskott eller underskott av el, subventioner, skatteundantag m m samt möjlighet till långsiktiga elleveransavtal med förhandlat pris, s k Power Purchase Agreements (PPAs) (Åhman et al, 2020). Det finns också osäkerheter kring eventuella flaskhalsar vid utbyggnad av ny elproduktion och eldistribution, t ex på grund av det kommunala vetot, vilket kan leda till högre elpriser.

För biomassa som har tydligare begränsningar fysiskt och som samtidigt ska värna andra hållbarhetsmål inom de areella näringarna kan begränsningarna göra att det blir hårdare konkurrens om bioenergiesurser och att användning styrs dit det finns högst betalningsvilja, se kapitel 6. I ett sådant scenario kan t ex flygbränsle och kemikalier har hög förmåga att betala för bioenergin.

Teknikval och större investeringsbeslut styr av framtidstron och långsiktiga upplevda trender inom elmarknaden och bioenergiemarknaden. Här har de senaste åren, fram tills Rysslandsinvasion av Ukraina, synen på elen gått till att vara ett lågprisalternativ i framtiden samtidigt som synen på biomassa fortfarande är osäker med hållbarhetskrav m. m.

Tidsaspekten är också viktig att förstå vilket i dag talar för elektrifiering snarare än biomassa inom industrin. Även om det går att visa, givet vissa antaganden om teknikutveckling och prisutveckling, att t ex stålindustrin kunde använda biometan istället för vätgas i framtiden ifall pappermassaindustrin elektrifieras och därmed frigöra stora mängder bioråvara (se Sandberg, 2023), så är idag risken lägre med att satsa på grön vätgas givet vindkraftens utveckling i norra Sverige. Är väl dessa satsningar gjorda har man effektivt låst ute storskaliga satsningar på biometan för en lång tid.

8.4.2 Konkurrens utifrån och "Renewables pull" effekten

Expansionen av elektrifierade industrier i Sverige bygger mycket på tanken om att Skandinavien har god och billig tillgång på fossilfri el. Detta stämmer så länge utbyggnaden av el sker i samklang med behovet (helst lite före för att undvika flaskhalsar) som säkerställer elpris som motsvarar den långsiktiga produktionskostnaden (<55 öre/kWh långsiktigt för off-shore vind). Om elpriserna förväntas stiga för mycket kommer flera av dessa satsningar troligtvis ske i andra länder. I Energimyndighetens senaste scenarier pekar man på ett högre elpris runt 57 öre/kWh (Energimyndigheten, 2023b). Det är dock tveksamt hur väl modellen kan förutse ett elpris men även om alla de stora elektrifierings-satsningarna blir konkurrenskraftiga med dessa elpriser. Det finns en stark utveckling av energiintensiv industri i länder med stora fysiska tillgångar till förnybar el till potentiellt låga kostnader, så kallad "renewables pull" (Samadi et al, 2023), som gäller för framförallt stål- och petrokemiindustrin. Framförallt tillverkning av elektrobränslen är extra känsliga för att få el till låga priser. Även den svenska utvecklingen av fossilfri järnsvamp (LKAB) som förväntas fullt utbyggs 2045 kräva >50 TWh fossilfri el kan påverkas, även om här är tillgången till järnmalm en fördel. För bioenergin finnas en global efterfrågan och marknad vilket kan konkurrera ut svensk användning beroende på framtida betalningsförmåga i omvärlden.

8.5 Källor

- EPRI, 2009. Program on technology innovation: Industrial electrotechnology development. European Power Research Institute.
- Ericsson, K., Johansson, B., Nilsson, L. J., & Åhman, M. (2015). Industrins långsiktiga utveckling i samspel med energisystemet. (Energimyndighetens rapportserie; Vol. ER 2015:18). Energimyndigheten.
- Energimyndigheten, 2023a. Energiläget 2023, Eskilstuna.
- Energimyndigheten, 2016, Scenarier över Sveriges energisystem 2016, Energimyndigheten Eskilstuna. ER 2017:06
- Energimyndigheten, 2018, Scenarier över Sveriges energisystem 2018 Energimyndigheten Eskilstuna. ER 2019:07
- Energimyndigheten 2020, Scenarier över Sveriges energisystem 2020 Energimyndigheten Eskilstuna. ER 2021:6
- Energimyndigheten 2023b, Scenarier över Sveriges energisystem 2023 –med fokus på elektrifieringen, Energimyndigheten Eskilstuna. ER 2023:07
- FFS (2021). Strategi för fossilfri konkurenskraft – bioenergi och bioråvara i industrins omställning. Fossil Fritt Sverige, https://fossilfritt Sverige.se/wp-content/uploads/2023/02/FFS_Strategi_Energi_Tryck_V2-1-1.pdf
- Jernkontoret (2018). Klimatfärdplan för en fossilfri och konkurrenskraftig stålindustri i Sverige. Jernkontorets forskning, Rapport D 869. Stockholm.
- Koronen, C., Åhman, M., & Nilsson, L. J. (2020). Data centres in future European energy systems—energy efficiency, integration and policy. *Energy Efficiency*, 13(1), 129-144. <https://doi.org/10.1007/s12053-019-09833-8>
- Palm, E., Nilsson, L. J., & Åhman, M. (2016). Electricity-based plastics and their potential demand for electricity and carbon dioxide. *Journal of Cleaner Production*, 129, 548-555. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.03.158>
- Samadi S., Fischer A., Lechtenböhmer S., (2023) The renewables pull effect: How regional differences in renewable energy costs could influence where industrial production is located in the future, *Energy Research & Social Science*, Vol 104, 103257, <https://doi.org/10.1016/j.erss.2023.103257>
- Sandberg 2022. National Energy System Modelling of Industry- optimising the Transition Towards Carbon Neutrality, PhD thesis , Luleå University of Technology
- Schneider, C. (2022): Steel manufacturing clusters in a hydrogen economy – Simulation of changes in location and vertical integration of steel production in North-western Europe. *Journal of Cleaner Production* 341, 130913.
- Wiberg, R., 2001. Energiförbrukning i massa- och pappersindustrin 2000 [Energy use in the pulp and paper industry 2000], ÅFIPK/Skogsindustriernas Miljö- och Energikommitté, Stockholm.
- Åhman, M., Wiertzema, H., & Arens, M. (2020). Industrial electrification and access to electricity at competitive prices: Review of climate and energy policy influence on electricity prices for industry and future implications for industrial electrification. (115 uppl.) Miljö- och energisystem, LTH, Lunds universitet. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.11300.50565/1>

9. Transportsektorns utveckling

Jamil Khan & Mikael Lantz

I detta kapitel ges en bild av vilken roll biodrivmedel kan komma att spela i transportsektorn i Sverige framöver. Biodrivmedel utgör idag ca 26 % av den slutliga energianvändningen inom inrikes transporter och dess andel har successivt ökat de senaste tjugo åren. Biodrivmedel har också setts som viktig strategi för att klara transportsektorns klimatmål till 2030. Samtidigt finns idag en stor politisk osäkerhet kring biodrivmedel, både i Sverige och EU, vilket gör att dess framtida roll i transportsektorn är svår att sja om. På längre sikt pekar mycket på att biodrivmedel kommer att fasas ut inom vägtransporter då det finns en stark trend mot elektrifiering och kanske även vätgas. Men det kan fortsatt finnas en betydande användning inom t.ex. sjöfart och flyg.

9.1 Klimatmål och styrmedel i transportsektorn

Det övergripande målet för svensk transportpolitik är att ”säkerställa en samhällsekonomiskt effektiv och långsiktigt hållbar transportförsörjning för medborgarna och näringslivet i hela landet”. Detta är indelat i ett funktionsmål, som handlar om att säkerställa tillgänglighet och kvalitet i hela landet samt att transportsystemet ska vara jämställt, och ett hänsynsmål som handlar om att uppnå generationsmålet för miljön, och att utforma transportsystemet så att ingen ska dödas eller skadas allvarligt, samt att bidra till ökad hälsa. Det finns ett särskilt mål kopplat till klimat om att växthusgasutsläppen från inrikes transporter (utom inrikes luftfart som ingår i EU ETS) ska minska med 70 % till 2030 jämfört med 2010. År 2021 var utsläppsminskningen 27 % jämfört med 2010 (Naturvårdsverket 2023). I regeringens budgetförslag för 2024, som släpptes 20 september 2023, konstaterar man att klimatmålet för 2030 inte kommer att nås. Även om det fortfarande finns en majoritet i riksdagen bakom målet ifrågasätts det alltmer inom vissa politiska partier.

Utöver de nationella målen så har Sverige genom EUs Ansvarsfördelningsförordning (ESR) förbundit sig att minska utsläppen inom den icke-handlande sektorn med 50 % 2030 jämfört med 2005 (EU kommissionen 2023). Inhemska transporter stod för ungefär hälften av dessa utsläpp 2021.

För att minska utsläppen från transporterna kan åtgärder göras inom tre områden: (i) energieffektivisering av fordon, (ii) förnybara och fossilfria drivmedel och (iii) transporteffektivt samhälle. Elektrifiering av transporterna bidrar till båda de två första områdena då elfordon är mer effektiva och el kan produceras från fossilfria källor. I begreppet transporteffektivt samhälle inbegrips en övergång till mer energieffektiva färdslag såsom kollektivtrafik, gång och cykel, förbättrade logistikkedjor, och minskat behov av person- och godstransporter.

Klimatpolitiken för transportsektorn består av en policymix med generella styrmedel kombinerat med styrmedel som riktar sig mot något av de tre områdena. Det viktigaste generella styrmedlet är energi- och koldioxidskatterna som stimulerar åtgärder inom alla tre områden. Ett annat generell styrmedel är klimatklivet som ger stöd till olika typer av klimatåtgärder. Ett exempel på styrmedel

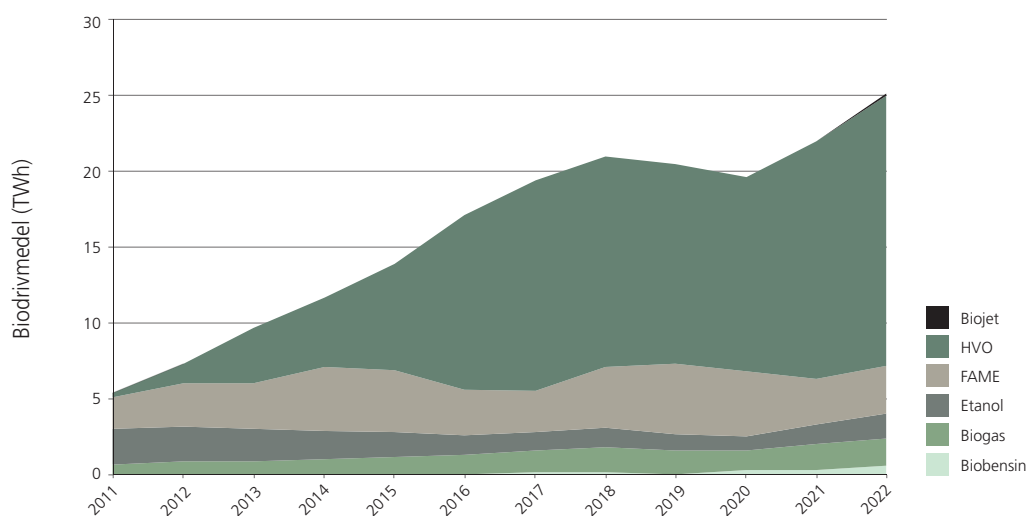
för energieffektiva fordon var Bonus Malus. Ett annat exempel är EUs utsläppsstandard för nya bilar vilket visar på EU-nivåns betydelse. För förnybara drivmedel har skattenedsättning på biodrivmedel och, sedan 2018, reduktionsplikten varit huvudsakliga styrmedel, vilket diskuteras vidare senare i kapitlet. Det finns även ett flertal styrmedel som syftar till en ökad elektrifiering såsom elbusspremien och stöd till utbyggnad av laddinfrastruktur. Generellt finns ett ökat fokus på elektrifiering inom transportpolitiken.

Vad gäller transporteffektivt samhälle har det viktigaste styrmedlet på nationell nivå varit stadsmiljöavtalen som gör det möjligt för kommuner att söka stöd för infrastruktur för kollektivtrafik och cykel. Regeringen aviserade i sitt budgetförslag för 2024 att stadsmiljöavtalet kommer att avvecklas gradvis och helt avslutas till 2027. Flera utredningar har istället pekat på att det behövs utökade styrmedel för transporteffektivitet för att påskynda en övergång till mer effektiva transportslag och undvika en ökning av transportvolymerna, vilket försvårar möjligheterna att nå klimatmålen (SOU 2022:21, WSP 2022, SOU 2021:48).

9.2 Biodrivmedel i transportsektorn idag

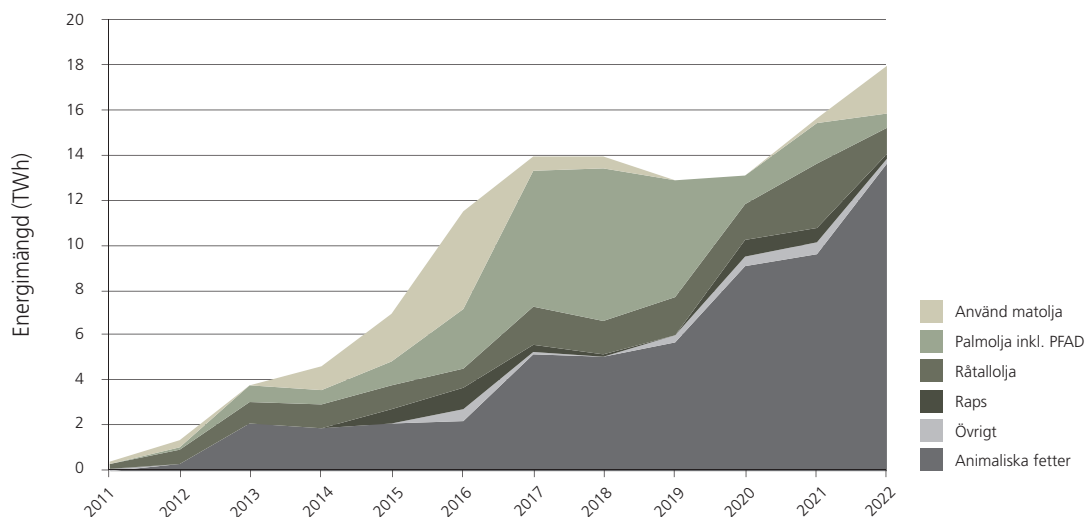
De senaste 20 åren har användningen av biodrivmedel ökat kraftigt i den svenska transportsektorn. Från en marginell användning år 2000 användes 25 TWh biodrivmedel 2022 (Figur 14), vilket motsvarar 27 % av den slutliga energianvändningen (Energimyndigheten 2023a). Denna utveckling är resultatet av en tydlig politik för att stödja biodrivmedel och en kombination av olika styrmedel.

Etanol var det första biodrivmedlet som introducerades i transportsektorn, i början av 2000-talet. En viktig aktör var företaget SEKAB som började bygga ut etanolmarknaden i Sverige i form av E85 (höginblandad etanol) samtidigt som biltillverkare började tillhandahålla etanolbilar (så kallade flexifuel-bilar) (Kastesson och Börjesson, 2017). Det var initialt framför allt tjänstebilar som drev på utvecklingen av etanol då miljöbilar fick nedsatt förmånsvärde 2002. År 2003 introducerades skattenedsättning på biodrivmedel vilket innebär att de fick en väsentligt lägre energiskatt än fossila drivmedel. År 2005 infördes den så kallade pumplagen som innebar att alla större tankställen skulle tillhandahålla biodrivmedel och det dominerande biodrivmedlet blev då höginblandad etanol i form av E85. I Figur 13 framgår att etanolmarknaden expanderade fram till 2008 för att sedan ligga relativt oförändrad till 2012 och därefter succesivt minska till 2020. Nyregistreringen av etanolbilar sjönk kraftigt mellan 2008 och 2013 till följd av ett antal samverkande faktorer (Kastesson och Börjesson, 2017). Dels uppstod en mediedebatt där etanolens miljö- och klimatnytta ifrågasattes eftersom ökad användning av livsmedelsgrödor för etanolproduktion antogs kunna leda till indirekta markanvändningseffekter (iLUC) genom att livsmedelsproduktion trängdes undan. Andra negativa händelser var motorproblem p g a import av etanol med för höga sulfathalter, slopad miljöbilspremie, samt slopat förmånsvärde för tjänstebilar. Efterfrågan på E85 har således sjunkit kraftigt och den etanol som säljs idag utgörs framförallt av låginblandad etanol i bensin (så kallad E10).



Figur 14 Användning av biodrivmedel i transportsektorn per bränsle, från 2011 till 2022 (baserad på Energimyndigheten, 2023a).

Samtidigt som användningen av etanol avtog så ökade användningen av biodiesel i den svenska transportsektorn (Figur 14). I början utgjordes biodiesel av framför allt rapsmetylester, RME, som låg i blandning i fossil diesel men efter 2011 har HVO (hydrerade vegetabiliska oljor) kraftigt ökat (Figur 15). HVO är ett så kallat drop in-bränsle som kan blandas in i höga halter i fossil diesel, och ren HVO (HVO100) kan också användas i befintliga dieselfordon. En viktig drivkraft för utvecklingen av biodiesel men också biogas som drivmedel var den skattebefrielse som biodrivmedel erhållit genom åren. År 2018 introducerades ett nytt styrmedel, den så kallade reduktionsplikten, vilken innebar att leverantörer av drivmedel måste tillhandahålla drivmedel med allt lägre livscykelutsläpp av växthusgaser. För att nå reduktionspliktens mål har framför allt inblandningen av HVO i fossil diesel ökat, och det har huvudsakligen varit HVO med låga livscykelutsläpp av växthusgaser som baseras på olika slags restprodukter.



Figur 15 Rapporterade mängder HVO som framställts av olika råvaror från 2011 till 2022 (baserad på Energimyndigheten, 2023a).

Kring 2017 och 2018 utgjorde biprodukten PFAD från palmolja en viktig råvara för HVO i Sverige. Denna råvara började dock ifrågasättas då expansionen av oljepalmsplantager i bl a Sydostasien sågs leda till negativa direkta och indirekta förändrade markanvändningseffekter vilket fick konsekvenser i politiska styrmedel. Inom EU togs beslut om att palmolja, inklusive PFAD, ska fasas ut som råvara för biodrivmedel till 2030 och i Sverige klassades PFAD om från biprodukt till samprodukt vilket innebar att PFAD belastades med högre livscykelutsläpp av växthusgaser. Idag utgör palmolja och PFAD en liten del i den HVO som används i Sverige medan användningen av animaliska fetter från slakteriavfall ökat och utgör den största andelen (Figur 15).

Biogas började introduceras i transportsektorn kring 2005 och användningen låg 2022 på 1,8 TWh. Råvaran för biogas utgörs huvudsakligen av avloppsslam, matavfall, avfall från livsmedels- och foderindustri och gödsel (Energimyndigheten 2023a). Biogas både till fordonsdrift och industriell användning kan efter uppgradering distribueras både genom vägtransport och i befintliga gasnät. Huvuddelen, 70–80 %, av den gas som används i Sverige (ca 10 TWh) distribueras genom det sydvästsvenska gasnätet. 2022 var 37% av gasen i detta nät förnybar, dvs fossil naturgas har ersatts med förnybar biogas (Swedegas, 2023). Biogaspotentialen totalt i Sverige har uppskattats till 8,3 TWh, och potentialen i regionerna kring sydvästsvenska gasnätet uppgår till 4,5 TWh (Börjesson et al., 2023).

Av den mängd biodrivmedel vi använde i Sverige 2022 importerades 90 %, d v s bara en mindre del är baserad på inhemska bioråvaror (Energimyndigheten 2023a). När det gäller HVO kom enbart 4 % från Sverige och då framför allt i form av råtallolja från pappersmassabruk. När det gäller biodiesel i form av FAME, fettsyrametylestrar, och som RME ingår i kommer bara cirka 4% av råvarorna från Sverige och motsvarande andel för etanol är 23 %. Det biodrivmedel som har högst andel inhemska råvara är biogas där 64 % producerades i Sverige 2022 (Energimyndigheten, 2023a).

Biodrivmedel från grödor utgjorde år 2021 5,6 TWh och motsvarade 6 % av den totala drivmedelsanvändningen. Oljeväxter dominerade i form av 3 TWh FAME från raps och 1,3 TWh HVO från raps och oljepalm. Dessutom användes 1,3 TWh etanol från främst majs, vete och sockerrör (Energimyndigheten, 2022).

9.3 Framtida utveckling av biodrivmedel

9.3.1 Scenarier för transportsektorn

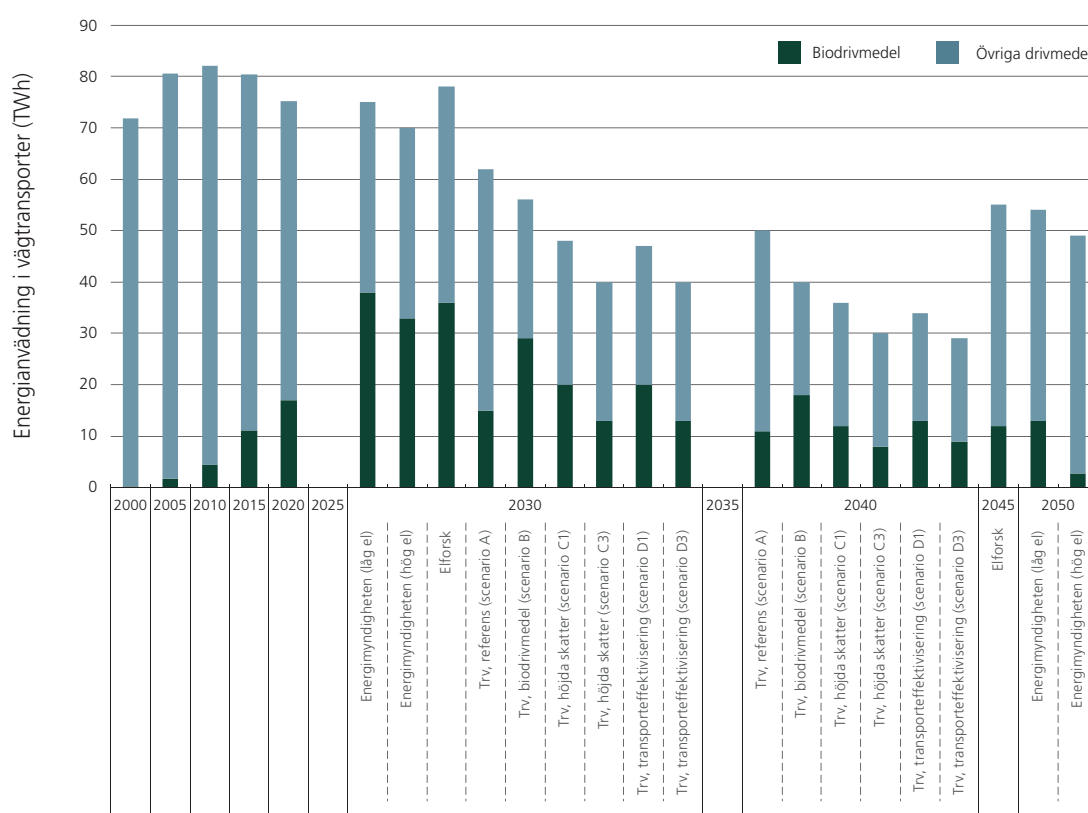
Scenarier gjorda av bland annat Energimyndigheten, Energiforsk och Trafikverket visar på den möjliga utvecklingen av biodrivmedel inom transportsektorn. Energimyndighetens senaste långtidsscenarier publicerades i april 2023 och innehåller två huvudscenarier med lägre respektive högre elektrifieringstakt fram till 2050. I båda scenarierna sker, i transportsektorn (här räknar man med inrikes transporter), en minskning av de fossila drivmedlen och en ökning av biodrivmedel och eldrift. Biodrivmedel antas öka fram till 2030 för att sedan minska till 2050 i takt med den ökade elektrifieringen. Användningen av biodrivmedel är högre i scenariot med lägre elektrifiering. I scenarierna ingår de beslutade nivåerna för reduktionsplikt som gällde i april 2023, dvs man har inte räknat med en kraftig minskning av reduktionsplikten (Energimyndigheten 2023b).

Energiforsk publicerade 2021 en rapport med framtidsbilder över användningen av skogsråvara inom energi- och transportsektorn till 2030 och 2045. Man räknar med inrikes transporter och internationellt flyg. Användningen av biodrivmedel antas öka kraftigt fram till 2030, till totalt 36 TWh, för att

sedan succesivt minska till under 12 TWh år 2045 (Energiforsk 2021).

Trafikverket publicerade 2020 en rapport med olika scenarier för att nå klimatmålet för inrikes transporter till 2030 (70 procent minskning jämfört med 2010), där man även blickade till 2040 (Trafikverket 2020). Ett scenario utgick från den då beslutade politiken vilket man bedömde endast skulle minska utsläppen med 40 procent och alltså inte nå målet. I ett annat scenario, kallat biodrivmedel, räknade man med en höjd reduktionsplikt vilket skulle leda till 29 TWh biodrivmedel i vägtrafiken 2030. I de två sista scenarierna räknade man med åtgärder för att minska trafikarbetet antingen genom höjda bränsleskatter och kilometerskatt, eller genom riktade åtgärder för transporteffektivitet. Detta skulle då göra att målet nås med en lägre användning av biodrivmedel, 13 eller 20 TWh, beroende på hur långtgående åtgärder som sätts in.

Utfallet i samtliga scenarier summeras i Figur 16. Bakomliggande data redovisas i Tabell 1.



Figur 16 Energianvändning i transportsektorn, statistik 2000-2020 (Energimyndigheten, 2023c) samt tre scenariostudier indelade efter år. För källor och detaljer se Tabell 1.

Gemensamt för scenarierna är att biodrivmedel förväntas öka sin andel av inrikes transporter fram till 2030. Efter 2030 visar scenarierna att andelen biodrivmedel kommer att sjunka som ett resultat av den ökade elektrifieringen av transportsektorn. Gemensamt är även att man räknar med en minskad total energianvändning vilket beror på att den ökade elektrifieringen även innebär en kraftig energieffektivisering av fordonen.

Majoriteten av scenarierna räknar med att trafikarbetet ökar då man utgår från standardprognoser

för trafikutveckling som är nära kopplade med tillväxtutvecklingen. Det finns således en tydlig dominans av tillförselorienterade lösningar i scenarierna där man utgår från trafikutvecklingen som något givet och där utsläppsminskningar sker genom nya bränslen och ny teknik. Det är bara Trafikverkets rapport som har med scenarier där trafikarbetet minskar, till följd av dedikerade styrmedel. Inom forskning kring hållbara transporter finns det många som menar att det behövs mer fokus på åtgärder och styrmedel för att minska behovet av transporter och stödja beteendeförändring i riktning mot trafikslag som gång, cykel, kollektivtrafik och järnväg. En tydlig effekt av denna utveckling skall vara att det minskar behovet av biodrivmedel och elektrifiering för att klara klimatmålen.

Tabell 1 Biodrivmedel i transportektorn enligt tre scenariostudier. Notera att Energimyndigheten och Trafikverket räknar med inrikes transporter medan Elforsk räknar med inrikes transporter och internationellt flyg. Slutåren skiljer sig åt i scenarierna: 2040 (Trafikverket), 2045 (Elforsk) och 2050 (Energimyndigheten). (Energimyndigheten 2023b, Elforsk 2021, Trafikverket 2020).

	2030		2040/2045/2050	
	Biodrivmedel (TWh)	Total energi (TWh)	Biodrivmedel (TWh)	Total energi (TWh)
Energimyndigheten (låg el)	38	75	13 (2050)	54 (2050)
Energimyndigheten (hög el)	33	70	2,8 (2050)	49 (2050)
Elforsk	36	78	12 (2045)	55 (2045)
Trv, referens (scenario A)	15	62	11 (2040)	50 (2040)
Trv, biodrivmedel (scenario B)	29	56	18 (2040)	40 (2040)
Trv, höjda skatter (scenario C1 & C3)	20 resp 13	48 resp 40	12 resp 8 (2040)	36 resp 30 (2040)
Trv, transporteffektivisering (scenario D1 & D3)	20 resp 13	47 resp 40	14 resp 9 (2040)	34 resp 29 (2040)

9.3.2 Branschens perspektiv på biodrivmedel

I diskussionen av branschens planer utgår vi från tre branscher: fordonsindustrin, transportföretag (åkerier, flyg, sjöfart), och petroleum- och biodrivmedelsbranschen. En utgångspunkt är de färdplaner för klimatneutralitet som de olika branscherna har tagit fram mellan 2018 och 2020, men även senare uttalanden och ställningstaganden finns med (Fossilfritt Sverige 2022).

Fordonstillverkare av lätta fordon har som mål att minst 80 % av nya bilar ska vara laddbara år 2030 (Fossilfritt Sverige 2020a). Målet för fordonstillverkare av tunga fordon är att 50 % av nya lastbilar ska vara elektriska 2030 samt att tunga fordon med förbränningsmotor ska kunna köra på 100 % biodrivmedel (Fossilfritt Sverige 2020b). För att minska utsläppen av växthusgaser till 2030 räknar fordonsindustrin med en betydande andel biodrivmedel, vilken senare fasas ut till förmån för eldrift och eventuellt vätgas. Denna omställning går snabbare för lätta fordon medan tunga fordon laggar efter något.

Åkerinäringen som är användare av lastbilar är till stor del beroende av den utveckling som sker på fordons- och bränslesidan men kan även bidra genom sina upphandlingar. Deras mål är i linje med Sveriges transportmål, dvs 70 % minskning av utsläppen till 2030 och fossilfri lastbilstrafik till 2045 (Fossilfritt Sverige 2018a).

Sjöfarten och flygbranschen är idag helt beroende av fossila bränslen och teknikutvecklingen ligger efter vägtransporterna. Dessa två branscher har inte heller lika tydliga mål för hur omställningen ska göras. Flygbranschen anger att man ska ha fossilfritt inrikesflyg till 2030 men inte hur detta ska uppnås (Fossilfritt Sverige 2018b). Sjöfarten sätter inte upp något mål om utsläppsminskningar utan diskuterar olika vägar och gör en hindersanalys (Fossilfritt Sverige 2019). Det är troligt att biodrivmedel kommer att vara en viktig del i flygets och sjöfartens omställning även till 2045 och framåt.

Petroleum- och biodrivmedelsbranschen är de som mest direkt påverkar och påverkas av utvecklingen av biodrivmedel i Sverige. I färdplanen anger man att branschens mål är att bidra till att uppnå målen om 70 % minskning av utsläppen till 2030 och klimatneutralitet till 2045 (Fossilfritt Sverige 2020c). Man anser att biodrivmedel har en viktig roll att fylla och att det är viktigt att bygga ut inhemsk produktion av biodrivmedel baserat på råvaror från skog och jordbruk. Branschen ser med oro på att nivåerna för reduktionsplikten ska sänkas och menar att det äventyrar investeringar i inhemsk produktion av biodrivmedel (Dagens Industri 2023).

De olika branschernas framtidsplaner ligger i linje med det som scenariostudierna visar. En gemensam trend i samtliga branscher är ett tydligt långsiktigt fokus på en elektrifiering av transportsektorn. Detta antas ske snabbast inom vägtrafiken men även inom sjöfart och flygtrafik är elektrifiering en viktig strategi. Samtidigt pekar branschernas planer på en ökning av biodrivmedel till 2030 för att klara klimatmålet på kort sikt. Sedan räknar man med att biodrivmedel successivt fasas ut, i alla fall inom vägtransporterna.

9.4 Politik och styrmedel

9.4.1 Sverige

Sverige har under lång tid haft som ambition att öka andelen biodrivmedel i transportsektorn vilket hör ihop med den goda tillgången på biomassa, den bredare politiska ambitionen kring att utveckla en bioekonomi, och behovet att ersätta fossila drivmedel. Som beskrivits ovan har de styrmedel som använts varit en kombination av allmänna stöd till biodrivmedel och olika former av riktade stöd till både produktion och konsumtion. Skattenedsättningen på biodrivmedel som funnits sedan början av 2000-talet har krävt återkommande dispenser från EU-kommissionen då sådana statsstöd egentligen inte är tillåtna.

2018 infördes reduktionsplikten för inblandning av biodrivmedel i fossil bensin och diesel och det ersatte då skattenedsättningen för låginblandade biodrivmedel. Syftet med reduktionsplikten var att införa ett styrmedel för införande av biodrivmedel som var transparent, förutsägbart och långsiktigt hållbart. Sju av åtta riksdagspartier stödde införandet och det var endast Sverigedemokraterna som var emot. Reduktionsplikten stipulerar att alla drivmedelsleverantörer måste minska växthusgasutsläppen från bensin och diesel med en viss procentsats varje år vilket i praktiken innebär inblandning av biodrivmedel. Reduktionsnivåerna sätts flera år framåt och återkommande kontrollstationer genomförs för att utvärdera hur systemet fungerar. Slutmålet för reduktionsplikten till 2030 har satts till 66 % för diesel och 28 % för bensin.

Reduktionsplikten blev under valrörelsen 2022 kraftigt ifrågasatt av flera partier då den anses ha bidragit till en ökning av drivmedelspriserna. Den dåvarande socialdemokratiska regeringen införde i juni 2022, med stöd av riksdagen, ett tillfälligt stopp för ökningen av reduktionsnivåerna under 2023.

De reduktionsnivåer som gällde för 2023 var således 30,5 % för diesel och 7,8 % för bensin. Den nya regeringen som tillträdde i september 2022 hade aviserat att de skulle minska reduktionsplikten och från januari 2024 än nivån sänkt till 6 % för både bensin och diesel.

Politiken har förlitat sig kraftigt på reduktionsplikten för att klara transportsektorns klimatmål. Naturvårdsverket (2023) visar i sitt underlag till regeringens klimatpolitiska handlingsplan att reduktionsplikten är central för att nå målet om 70 % reduktion av växthusgaser från transportsektorn till 2030, samt för att uppnå Sveriges åtagande gentemot EU vad gäller utsläppsminskningar inom icke-handlade sektorn. Utan en reduktionsplikt på de nivåer som ursprungligen beslutats skulle andra åtgärder vara nödvändiga såsom kraftigt minskat transportarbete eller snabbare elektrifiering av transporterna. Samtidigt har reduktionsplikten fått kritik, t.ex. av Riksrevisionsverket i en rapport från juni 2023. Riksrevisionsverket (2023) menar att reduktionsnivåerna som beslutades vid införandet baserades på bristfälliga konsekvensanalyser från Energimyndigheten och att de var anpassade för att nå klimatmålen för 2030 med reduktionsplikten som huvudsakligt styrmedel. De pekar på risker med att förlita sig alltför mycket på biodrivmedel, såsom ökade kostnader, negativa fördelningseffekter, ökat beroende av import, och möjliga negativa miljöeffekter av biodrivmedel. Slutsatsen i rapporten är att reduktionsplikten kan vara ett kostnadseffektivt styrmedel men att utformningen behöver förändras och att det inte ska vara det enda eller huvudsakliga styrmedlet för att nå 2030-målet.

Vid införandet av reduktionsplikten bibehölls skattenedsättningen för höginblandade biodrivmedel såsom HVO 100, E85 och biogas. Enligt det senaste beslutet från EU-kommissionen gäller undantaget till 2026, och för biogas beviljades undantag till 2030. Dock har undantaget för biogas hävts på grund av ett överklagande och sedan mars 2023 gäller inte skattebefrielse för biogas (Regeringen 2023). Regeringen önskar dock fortfarande att även biogasen skattebefrias och arbetar för detta inför kommissions granskning av ärendet.

Styrmedel för att främja biodrivmedel har främst fokuserat på användarsidan och som vi beskrev tidigare i kapitlet kommer nästan 90 % av biodrivmedlen från importerade råvaror. Det finns idag en del styrmedel som stödjer investering och produktion. Investeringsstöd för biodrivmedelsproduktion kan sökas från Klimatklivet, och sedan 2021 har Industriklivet breddats så att även nya tekniker för biodrivmedelsproduktion kan söka stöd. Det finns också ett produktionsstöd för gödselbaserad biogas (se vidare kapitel 4).

En omställning till inhemskt producerad biodiesel, som t ex FT-diesel, skulle kräva långsiktiga satsningar på teknikutveckling och demonstrationsanläggningar. Både Energimyndigheten och den statliga Bioekonomiutredningen anser att det finns behov av ytterligare styrmedel för att stödja nya tekniker för biodrivmedelsproduktion som använder inhemska råvaror från jord- och skogsbruk såsom grenar och toppar (grot), bark, sågspån, lignin och halm, så kallade avancerade biodrivmedel som inte baseras på livsmedelsgrödor (Energimyndigheten 2021, SOU 2023:15). Dessa råvaror bygger på lignocellulosa och det finns behov av ytterligare teknikutveckling för att de ska bli kommersiellt etablerade. Energimyndigheten föreslår en riktad kvot inom reduktionsplikten för biodrivmedel från nya tekniker. Bioekonomiutredningen diskuterar olika styrmedelsalternativ såsom utökade investeringsstöd, olika former av produktionsstöd och villkorade lån, men föreslår istället intäktsgarantier för ny inhemsk produktion av flytande förnybara drivmedel (SOU 2023:15). Sverige är, trots begränsade produktionsstöd, det land som globalt sett har flest produktionsanläggningar för avancerade biodrivmedel idag (Hurtig et al, 2022).

De största volymerna flyg- och sjöfartbränsle i Sverige används för utrikes trafik (för sjöfart handlar det om 95%) och dessa sektorer behöver styras främst på EU- och internationell nivå. För flyget infördes år 2021 en svensk reduktionsplikt för flygfoto-gen och en liknande reduktionsplikt planeras

nu för hela EU-området. För sjöfarten har det aldrig varit aktuellt med något svenskt styrmedel utan styrmedel på EU-nivå krävs.

I Bioekonomiutredningens slutbetänkande (SOU, 2023:84) lyfts bioenergins roll för en stärkt försörjningsförmåga och energisäkerhet. Som beskrivs i kapitel 3 har bioenergins historiska utveckling medfört att Sveriges energisäkerhet succesivt ökat där utbyggnaden av fjärr- och kraftvärme spelat stor roll (se också kapitel 7). Dock är transportsektorn till övervägande del fortfarande beroende av importerade drivmedel, d v s vi skulle påverkas kraftigt vid en eventuell längre energiblockad p g a en allvarlig kris eller ett krig. En ökad inhemsk produktion av biodrivmedel baserat på inhemska råvaror kan således få betydelse även för vår försörjningsförmåga och energisäkerhet. Bioekonomiutredningens slutbetänkande föreslår t ex en målnivå att inhemsk produktion av förnybara drivmedel som andel av drivmedelsbehovet in transportsektorn, exklusive el, uppgår till 90% år 2040 (SOU, 2023:84).

9.4.2 EU

Politiska beslut och styrmedel på EU-nivå har stor betydelse för transportsektorns utveckling och förutsättningarna för biodrivmedel. EUs uppdaterade Förnybarhetsdirektiv (REDIII), som ska implementeras i nationell lagstiftning 2025, stipulerar att medlemsländerna kan välja mellan två bindande mål inom transportsektorn, antingen 14,5% lägre växthusgasutsläpp genom förnybar energi, eller 29% förnybar energi av den totala energianvändningen inom transportsektorn (inklusive förnybar el) senast 2030 (EU, 2023). Ett bindande krav är dessutom att 5,5 % ska komma från avancerade biodrivmedel (ej från livsmedelsgrödor) varav 1% ska vara av icke-biologiskt ursprung (så kallade elektrobränslen).

Andelen grödebaserade biodrivmedel får maximalt öka till 7% av den totala energianvändningen i väg- och spårtransport till 2030 (EU, 2023). Dessutom har en definition av "high iLUC risk biofuels" införts för biodrivmedel som baseras på grödor där den odlade arealen har ökat med i snitt mer än 1 % per år sedan 2008, och där mer än 10 % av denna ökning har skett på mark med höga kolförråd (EU, 2019). Endast oljepalm faller hittills under dessa kriterier, och ska därför minskas till noll 2030 (EU, 2023).

EU har även beslutat om ett förbud mot nyförsäljning av bensin- och dieslbilar från 2035. Här finns dock ett undantag, pådrivet av Tyskland, att bilar med förbränningsmotorer som använder syntetiska e-bränslen fortfarande ska tillåtas.

Som en del i EU's lagstiftningspaket Fit for 55 införs ett nytt utsläppshandelssystem för koldioxid, kallat ETS 2, där bl a vägtransporter kommer att ingå. Handel med utsläppsrätter startar först 2027 men redan från 2025 ska utsläppen övervakas och rapporteras. Den svenska lagstiftningen som ska reglera ETS 2 är inte antagen än men ska träda i kraft den 30 juni 2024. Hur denna nya lagstiftning kommer att påverka t ex utvecklingen av biodrivmedel är därför fortfarande oklart.

Sammanfattningsvis kan man säga att EU tydligt driver på för en utfasning av fossila bränslen inom transportsektorn, främst mot elektrifiering men även i viss mån för en ökad användning av biodrivmedel. Samtidigt finns det mycket regler kring hur biodrivmedel kan produceras och det är osäkert om det kommer att gå i en striktare riktning eller inte.

9.5 Källor

- Börjesson, P., Björnsson, L., Ericsson, K., & Lantz, M. (2023). Systems perspectives on combined production of advanced biojet fuel and biofuels in existing industrial infrastructure in Sweden. *Energy Conversion and Management*; X, 19: 100404. <https://doi.org/10.1016/j.ecmx.2023.100404>
- Dagens Industri (2023) Drivmedelsbolagen: "Slår undan benen", Artikel publicerad 7 maj 2023. <https://www.di.se/nyheter/drivmedelsbolagen-slar-undan-benen/>
- Energiforsk (2021) Framtidsbilder energi- och transportsektorn, Rapport 2021:824.
- Energimyndigheten (2021) Styrmedel för nya biodrivmedel. Behov och utformning av nya styrmedel för att främja produktion av biodrivmedel med nya tekniker, ER 2021:22.
- Energimyndigheten (2022) Energiläget 2022, ET 2022:09.
- Energimyndigheten (2023a) Drivmedel 2022, ER 2023:19.
- Energimyndigheten (2023b) Scenarier över Sveriges energisystem 2023. Med fokus på elektrifieringen 2050, ER 2023:07.
- Energimyndigheten (2023c). Energiläget i siffror 2023. Statistik. <https://www.energimyndigheten.se/nyhet-sarkiv/2023/energilaget-i-siffror-2023/> Statens Energimyndighet, Eskilstuna.
- EU kommissionen (2023) Effort sharing 2021-2030: target and flexibilities, Hemsida besökt 7 oktober 2023, https://climate.ec.europa.eu/eu-action/effort-sharing-member-states-emission-targets/effort-sharing-2021-2030-targets-and-flexibilities_en
- Fossilfritt Sverige (2018a) Färdplan för klimatneutral konkurrenskraft. Åkerinäringen.
- Fossilfritt Sverige (2018b) Färdplan för klimatneutral konkurrenskraft. Flygbranschen.
- Fossilfritt Sverige (2019) Färdplan för klimatneutral konkurrenskraft. Sjöfartsnäringen.
- Fossilfritt Sverige (2020a) Färdplan för klimatneutral konkurrenskraft. Fordonsindustri – lätta fordon.
- Fossilfritt Sverige (2020b) Färdplan för klimatneutral konkurrenskraft. Fordonsindustrin – tunga fordon.
- Fossilfritt Sverige (2020c) Färdplan för klimatneutral konkurrenskraft. Petroleum- och drivmedelsbranschen.
- Fossilfritt Sverige (2022) Färdplaner för fossilfri konkurrenskraft. Uppföljning 2022.
- Hurtig O., Buffi M., Scarlant N., Geogakaki A., Letout S., Mountraki A., Joanny G. (2022). Clean Energy Technology Observatory: Advanced biofuels in the European Union – 2022 Status Report on Technology Development, Trends, Value Chains and Markets. Publications Office of the European Union, Luxembourg, doi:10.2760/938743, JRC130727.
- Kastesson Å., Börjesson P. (2017) Hinder för ökad användning av höginblandade biodrivmedel i den svenska fordonsflottan. Rapport nr 2017:02. F3, Svenskt kunskapscentrum för förnybara transportbränslen.
- Naturvårdsverket (2023) Utsläpp inom utsläppshandeln och icke-handlande sektorn, Hemsida besökt 7 oktober 2023, <https://www.naturvardsverket.se/data-och-statistik/klimat/vaxthusgaser-utslapp-i-den-handlande-och-icke-handlande-sektorn/>
- Regeringen (2023) Regeringen kontaktar EU-kommissionen för att rädda skattebefrielsen för biogas, Publicerad på hemsida 6 mars 2023, www.regeringen.se/pressmeddelanden/2023/03/regeringen-kontak-tar-eu-kommissionen-for-att-radda-skattebefrielsen-for-biogas
- Riksrevisionsverket (2023) Reduktionsplikten – risker för genomförande och effektivitet, RiR 2023:13.
- SOU 2021:48 (2021) I en värld som ställer om. Sverige utan fossila drivmedel 2040. Slutrapport från Utfasningsutredningen.
- SOU 2022: 21 (2022) Rätt för klimatet. Slutrapport från Klimaträttsutredningen.
- SOU 2023:15 (2023) Förnybart i tanken. Ett styrmedelsförslag för en stärkt bioekonomi. Delbetänkande av Bioekonomiutredningen.
- SOU 2023:84 (2023). En hållbar bioekonomistrategi – för ett välmående fossilfritt samhälle. Slutbetänkande av Bioekonomiutredningen.
- Svensk kollektivtrafik (2023) FRIDA miljö- och fordonsdatabas. Hemsida besökt 7 oktober 2023, <https://www.svenskkollektivtrafik.se/verktyg-och-system/frida-miljo-och-fordonsdatabas/>
- Swedegas (2023) Förnybart i gasnätet <https://www.swedegas.se/gas/biogas> [2023-01-26]
- Trafikverket (2020) Scenarier för att nå klimatmålet för inrikes transporter – ett regeringsuppdrag, TRV 2020/43.
- WSP (2022) Styrmedel för ett transporteffektivt samhälle. Rapport till Trafikanalys som underlag till regeringens klimathandlingsplan.

10. Biogent kol i nya produkter

Lars J. Nilsson & Karin Ericsson

10.1 Introduktion

I en fossilfri ekonomi behövs inte bara bioenergi utan också en viss andel bioråvara för att försörja kemiindustrin med det kol som ingår i organiska kemikalier och material (t ex färger, lacker, lösningssmedel, gummi, syntetiska textilfiber, och olika plaster). Kolet i en fossilfri kemiindustri kan komma från avfall (t ex plastavfall), biogena källor (t ex stärkelse, cellulosa, lignin eller koldioxid), eller från koldioxid som fångas in från luften. Kemiindustrin kan också nå nollutsläpp med fortsatt användning av en viss andel fossilt kol genom att utnyttja CCS (Gabrielli m.fl., 2020). I detta kapitel antar vi att ingen fossil råvara skall användas och diskuterar med stöd av enkla överslagsberäkningar hur stor efterfrågan på kolatomer kan bli, vilka källor till dessa som finns och hur de kan omvandlas till plattformskemikalier, samt implikationer för policy och styrmedel.

Parisavtalet 2015 ändrade synen på klimatomställningen. Innan dess var fokus i EU på att minska utsläppen med 20–40 % till 2020–2030. Efter Parisavtalet blev nödvändigheten av nollutsläpp till 2045–2050 mycket tydligare. Det Europeiska klimatvetenskapliga rådet föreslog i juni 2023 att målet för 2040 bör vara utsläppsminskningar om 90–95 % jämfört med 1990 (ESABCC, 2023). Denna förändring i synsätt innebär att sektorer som tidigare ansetts som ”svåra att åtgärda” också måste nå nollutsläpp. Eftersom världen är på väg att överskrida 1,5 °C och troligen även 2 °C så är det viktigt att ha med sig idén inte bara om nollutsläpp men även negativa utsläpp för att kunna komma tillbaka till 1,5–2 °C i framtiden. Behovet av negativa utsläpp kommer att öka trycket på ökad kolinbindning i skogen liksom bio-CCS.

Sektorer med få åtgärdsalternativ omfattar flyg, sjöfart, stål, cement och inte minst kemiindustrin där stora mängder kol ingår i petrokemiska produkter, exempelvis plast. Trycket på dessa sektorer att minska sina utsläpp ökade väsentligt med Parisavtalet. Enligt IEA användes 14 % och 8 % av all olja respektive gas som råvara och för energiändamål i kemiindustrin 2017 (IEA, 2018). Användningen av förnybar råvara inom kemiindustrin är i dagsläget mycket begränsad och svarar för endast omkring 1 % av plastråvaran globalt sett (European Bioplastics, 2022). Även flyget och sjöfarten använder ansevärliga mängder fossila bränslen och det är osäkert hur stora mängder kolväten och därmed kol som dessa sektorer kommer att behöva i framtiden.

En stor förändring de senaste 10–15 åren är de snabba kostnadsminskningarna som skett för sol- och vindkraft. Med utsikterna för att generera stora mängder billig förnybar el så har intresset ökat för ”carbon capture and utilization” (CCU) dvs att använda koldioxid som råvara för att tillsammans med vätgas generera metanol och olika kolväten som kan användas som bränslen (så kallade elektrobränslen) eller utgöra råvara i kemiindustrin (exempelvis metanol till olefiner). Historiskt har vi använt bränslen för att producera el (med energiförluster som följd). I en framtid där fossilfri el är

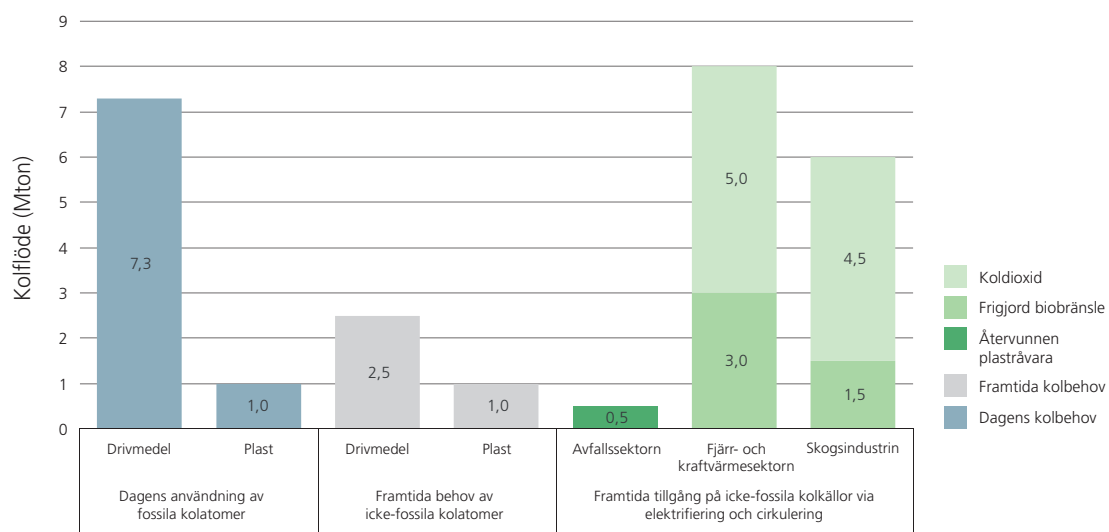
den primära energibäraren så kommer vi att använda el för att producera bränslen eller råvara till kemiindustrin (med energiförluster som följd) för användningsområden som inte går att elektrifiera. En fossilfri kemiindustri som fortsatt behöver kolatomer till plast och för andra ändamål måste hitta dessa på annat håll och i konkurrens med andra sektorer.

10.2 Efterfrågan på kolatomer

Hur mycket biogent kol och kol från luftinfångning som kommer att behövas i framtiden är mycket osäkert. Det beror delvis på hur mycket användningen av kolväten som drivmedel kan minskas för inrikes och utrikes transporter och för arbetsmaskiner. De fossila utsläppen från dessa tre sektorer är idag för Sverige totalt 26–27 Mton CO₂ (cirka 14–15 Mton, 9 Mton respektive 3 Mton) (Naturvårdsverket, 2023a). Som jämförelse är utsläppen från raffinaderier ca 2 Mton CO₂, organisk kemi ca 1 Mton CO₂ (Borealis, Perstorp och Nouryon tillsammans), och oorganisk kemi ca 200 kton CO₂ (varav 100 kton är från produktion av kimrök) om man ser till de största utsläpparna (Material Economics, 2021). I en fossilfri ekonomi bör utsläppen från raffinaderier försvinna men vi kommer fortsatt att vilja producera exempelvis plast. Plastflöden är svåra att kartlägga och det förekommer en stor export och import men enligt uppskattningar sattes 1,28 Mton plastråvara på den svenska marknaden 2019, motsvarande 120 kg per person (Fråne m.fl., 2022). I en mycket enkel jämförelse och antaget att plastens vikt i huvudsak utgörs av kol motsvarar detta cirka 1 Mton kol eller 3,7 Mton CO₂, dvs cirka 14 % av dagens kolflöde i fossila drivmedel för transporter och arbetsmaskiner.

Räknat som rent kol så motsvarar alltså dagens användning av drivmedel och därmed utsläppen från transporter och arbetsmaskiner drygt 7,3 Mton C i jämförelse med kolinnehållet i plast på cirka 1 Mton C. Frågan är då vad som kan tänkas utgöra framtida behov av kol? För transporter finns det möjligheter att dämpa den totala efterfrågan, flytta över mellan olika färdmedel och transportslag, samt elektrifiera dessa (se kapitel 9 för en diskussion om förväntad efterfrågan på biodrivmedel). Med ambitiösa insatser för transportsektorn, inklusive elektrifiering av vägfordon och ammoniak som bränsle för sjöfarten, kan det vara möjligt att minska efterfrågan på kol till kanske 2–3 Mton kol per år för transporter och arbetsmaskiner. Likaså kan man fundera på möjligheterna att dämpa plastanvändningen och därmed behovet av kolatomer. Figur 17 visar en sammanställning av det nuvarande behovet av kolatomer för fossila drivmedel och plast samt våra grova uppskattningar över det framtida behovet, liksom tillgången på icke-fossil råvara (se vidare i kap 10.3).

Hur jämför sig då dessa siffror på 2–4 Mton kol med vilka icke-fossila kolflöden som finns att tillgå? Med ett enkelt antagande om att kolinnehållet är 0,5 kg C/kg bioråvara och energiinnehållet 4 kWh/kg bioråvara så motsvarar detta 16–32 TWh. Detta kan jämföras dagens användning av bioenergi på cirka 150 TWh, varav cirka 52 TWh i fjärr- och kraftvärmesektorn (42 TWh för värme och ca 10 TWh för el) (Energimyndigheten, 2023).



Figur 17 Dagens användning av fossila drivmedel och plast samt våra grova uppskattningar av dels det framtida behovet av drivmedel och plast, dels den framtida tillgången på icke-fossila kolkällor givet 50 % återvinning av plast, ökad elektrifiering i skogsindustrin och fjärr- och kraftvärmesektorn (vilket frigör biobränslen), samt i form av biogen koldioxid (uppskattad med hänsyn till mindre förbränning av biobränslen). Flödena är uttryckta som kolmängd. Drivmedel inkluderar drivmedel som används i väg-, sjö- och flygtransport och arbetsmaskiner.

10.3 Tillgång och källor

Det totala uttaget av biomassa i svenskt skogsbruk uppgår till strax över 19 Mton C (för timmer 9 Mton, massaved 8 Mton, bioenergi och restprodukter 2,4 Mton) (Svensson m.fl., 2023). Det vore sålunda orimligt att ersätta kolet i fossila drivmedel och plast med kol från skogen med dagens nivå på användningen (8,3 Mton C, se även kapitel 7 och 8 för framtida efterfrågan i fjärr- och kraftvärmesektorn samt industrin). Andra möjliga källor till kol är avfall och koldioxidinfångning kombinerat med vätegas (CCU). Biogen koldioxid kan fångas in vid exempelvis massabruk eller bioeldade kraftvärmeverk, eller fångas in från luften (Direct Air Capture, DAC). Såväl CCU som DAC har stora potentialer men är mycket energikrävande så det är därför intressant att fundera på andra möjliga kolföden att utnyttja i framtiden.

Plastavfall utgör en viktig potentiell råvara för plast. I dag återvinns endast ca 8 % plastavfallet i Sverige till ny plastråvara (Naturvårdsverket, 2023b). Återvinningen sker mekaniskt och begränsas dels av mängden plast som källsorteras, dels av plastavfallets heterogena karaktär som gör det svårt att producera plastråvara av hög kvalitet från plastavfall. För att komplettera mekanisk återvinning pågår utveckling och utbyggnad av kemisk återvinning av plast med förgasning och pyrolys. Teknikerna används idag i begränsad omfattning utomlands, men utnyttjas då ofta för att producera drivmedel snarare än ny plastråvara eftersom det är svårt att konkurrera med jungfrulig plast från billig och obeskattad fossil råvara. I dagsläget finns ingen anläggning i Sverige, men en sådan planeras vid Boreal i Stenungsund (Svensk plaståtervinning, 2022). Fördelen med kemisk återvinning är att det möjliggör produktion av plastråvara av hög kvalitet. Processerna kräver dock förhållandevis mycket energi. Ökad återvinning av plast är en viktig prioritet och det finns ett antal scenarier som visar att återvunnen plastråvara (via mekanisk och kemisk återvinning) skulle kunna svara för 50 % av det

framtida råvarubehovet. Råvarubehovet därutöver skulle kunna utgöras av biogent kol från olika biomassaråvaror eller biogen koldioxid för att kompensera för förluster och väldigt långlivade produkter i ett mer cirkulärt plastsystem (se t ex vom Berg och Carus, 2023; Meys m fl, 2021).

En möjlig väg för att frigöra kol för produktion av drivmedel, plastråvara eller annan användning i industrin är att elektrifiera processer som idag använder bioenergi. En möjlig utveckling är att ett elsystem som domineras av variabel elproduktion, och därför tidvis låga eller negativa elpriser, skapar incitament för elektrifiering av fjärrvärmeproduktionen. Detta kan ske med olika kombinationer av geotermi, värmepumpar, elpannor och värmelager (se kap. 7). Fjärr- och kraftvärmesektorn använder idag ca 52 TWh bioenergi motsvarande cirka 6,5 Mton C i olika biobränslen. Om hälften av detta kan frigöras (se kapitel 7) skulle det kunna täcka det beräknade behovet ovan på 2–4 Mton.

De största kolflödena finns i skogsindustrin. Dess utsläpp av biogen koldioxid motsvarar cirka 6 Mton C men som noterats är koldioxid en mycket energikrävande råvara för att producera kol eller kolväten. Som ett energieffektivare alternativ till CCU skulle en elektrifiering av massa- och pappersbruk kunna göra att lignin och andra flöden av biomassa kan ledas om till att vara råvara för drivmedel och plast (se kapitel 8). Vilka volymer det kan handla om beror på teknisk utveckling bl a av industriella värmepumpar för höga temperaturer eller teknik såsom plasmageneratorer för att ersätta bränslen i massabrukens mesaugnar. Kanske är det rimligt att anta att 1–2 Mton C i bark, flis och lignin kan frigöras för produktion av drivmedel och plast?

Våra enkla uppskattningar visar att ett eventuellt framtida behov på 2–4 Mton C skulle kunna tillgodoses utan att behöva ta till CCU (se Figur 16). Detta skulle kunna ske genom ökad återvinning av plast (mekanisk och kemisk) och ökad elektrifiering i fjärrvärmesektorn och skogsindustrin, vilket därmed frigör och leder om olika flöden av biomassa. De kvarvarande utsläppen av biogen koldioxid från skogsindustrin (4–5 Mton C) och fjärr/kraftvärme (3–4 Mton C) motsvarar ett flöde på 26–33 Mton CO₂ varav en stor andel säkert kan lämpa sig för CCS genom att utsläppen är stora punktkällor.

10.4 Processer

Den finns en mängd processer varmed biogent kol, kolmonoxid eller koldioxid kan omvandlas till alkoholer och kolväten för vidare användning som bränslen eller som råvara för kemiindustrin. Med CCU avses att använda koldioxid, och ibland även kolmonoxid, som råvara. Carbon Recycling International har producerat e-metanol i industriell skala sedan 2012 (förvisso inte med biogen koldioxid) (CRI, 2023). I Örnsköldsvik påbörjades 2023 byggandet av FlagshipONE där Örstedt, baserat på ett koncept utvecklat av LiquidWind, planerar att producera 50 000 ton e-metanol från biogen koldioxid per år med start 2025 (LiquidWind, 2023). Allt billigare men variabel förnybar el gör att intresset för energilagring ökar och detta i kombination med ökande klimatambitioner gör att intresset för CCU ökar. En förutsättning för att elektrobränslen ska bli konkurrenskraftiga är framtida tillgång på billig el.

Ur systemsynpunkt kan det dock vara effektivare att försöka utnyttja andra kolflöden än koldioxid och på andra sätt än att använda energiintensiva processer som hydrogenisering, metanisering, Sabatier-processen eller elektrolysning av koldioxid (Ericsson, 2017). En intressant möjlighet på kort sikt, men med begränsad potential, är att höja utbytet i produktionen av anaerob biogas genom att med vätgas metanisera kol i substratet som annars hade avgått som koldioxid. Förgasning av bioråvara, som eventuellt kan frigöras i stora mängder från nuvarande användningar i fjärrvärmesektorn och skogsindustrin, har en mycket större potential. I en syntesgas innehållande koldioxid, kolmonoxid och vätgas

kan man addera mer vätgas för att balansera förhållandet mellan kol och vätgas beroende på vilken slutprodukt som önskas, exempelvis metan (CH_4), metanol (CH_3OH) eller Fischer-Tropsch-bränslen. Att boosta biobaserade processer med vätgas kan vara ett effektivt sätt att höja utbytet av dessa slutprodukter istället för att släppa ut koldioxid från processen.

10.5 Politik och styrmedel

Bioråvarans framtida roll i en föränderlig omvärld kommer att vara delvis beroende av politiska beslut, men den politiska styrningen innebär också en stor utmaning av flera skäl. Bioråvara kan ha många olika ursprung (jordbruk, produktionsskog, eller tidigare regnskog) och kommer i en mängd olika former och kvaliteter (från stärkelse till svartlut eller lågvärdiga biprodukter). Detta tillsammans med många befintliga såväl som potentiella användningsområden (virke, papper, värme, el, drivmedel, plast, bio-CCS, etc.), samt skogens roll som kolsänka och för biologisk mångfald med mera, innebär en utmaning för den politiska styrningen.

Sverige införde tidigt koldioxidskatter (1991) som tillsammans med det senare elcertifikatsystem (2003) skapade en stark efterfrågan på biobränslen inom fjärrvärme- och kraftvärmeproduktion (se kapitel 7). Med pumplagen 2005 och reduktionsplikten 2018 skapades på olika sätt efterfrågan på biodrivmedel i vägtransporter (se kapitel 9). För flyget och sjöfarten har det hittills i huvudsak saknats incitament för omställning till förnybara bränslen, bl a på grund av internationella överenskommelser. Det pågår emellertid arbete med att ta fram EU-lagstiftning för att tvinga in en ökande andel förnybara energibärare i dessa sektorer, där det liggande lagförslaget för flyget innehåller en separat kvot för elektrobränslen (se kap. 9).

Kemiindustrin, å andra sidan, har inte haft några incitament att använda biomassa som råvara och endast svaga incitament för energiändamål. EUs utsläppshandelssystem har inte gett tillräckligt starka incitament för detta och har heller inte inneburit något koldioxidpris på det kol med fossilt ursprung som kemiindustrin sätter på marknaden i sina produkter. Även om förbränning av plastavfall i Sverige omfattas av utsläppshandeln så ger det inga incitament för kemiindustrin p.g.a. alltför många steg i värdekedjan från primärproduktion, av exempelvis plast, till avfallsförbränning (se kapitel 6). Styrmedel i EU och Sverige har således skapat stark efterfrågan på biomassa för vissa ändamål och ingen alls för andra. I viss mån kan emellertid produktionen av biodrivmedel även gagna kemiindustrins omställning. Exempelvis ger produktionen av biobaserad diesel och flygbränsle upphov till bio-nafta som biprodukt, vilket kan utnyttjas som råvara för plast (Börjesson m.fl., 2023). Detta görs vid några krackeranläggningar i Europa där bio-nafta blandas in i den fossila naftan allokteras via massbalansering till vissa produkter som kan säljas till premiumpris (Carus m.fl., 2021). Likaså kan utbyggnaden av förnybar metanolproduktion för exempelvis sjöfarten gynna kemiindustrins framtida omställning förutsatt att styrmedel som främjar användningen av förnybar råvara i kemiindustrin kommer på plats.

En ytterligare utmaning för styrning i framtiden handlar om hur man skall hantera gränsdragningar mellan biodrivmedel och elektrobränslen (eller för den delen e-metanol som kemiråvara) som kan innehålla biogent kol. EU:s förnybardirektiv (2018/2001) definierar förnybara flytande och gasformiga drivmedel av icke-biologiskt ursprung som ”flytande eller gasformiga bränslen av annat slag än biodrivmedel eller biogas, vilkas energiinnehåll hämtas från andra förnybara energikällor än biomassa och som används inom transportsektorn.” Dessa förkortas på engelska med RFNBO. När man i integrerade processer använder både bioråvara och el/vätgas blir sådana gränsdragningar svåra och kanske inte ens meningsfulla.

10.6 Källor

- vom Berg, C. and Carus, M. 2023: Making a Case for Carbon Capture and Utilisation (CCU) – It Is much more than just a Carbon Removal Technology. Renewable Carbon Initiative (ed.), Hürth 2023.
- Börjesson, P., Björnsson, L., Ericsson, K., Lantz, M., 2023. Systems perspectives on combined production of advanced biojet fuel and biofuels in existing industrial infrastructure in Sweden. *Energy Conversion and Management*: X 19, 100404, <https://doi.org/10.1016/j.ecmx.2023.100404>.
- Carus, M., de Guzman, D., Käß, H., 2021. Bio-based Naphtha and Mass Balance Approach. nova-Institut. www.renewable-carbon.eu/publications.
- CRI, 2023 Carbon dioxide to methanol since 2012 Carbon Recycling International. <https://www.carbonrecycling.is/>
- ESABCC, 2023. Scientific advice for the determination of an EU-wide 2040 climate target and a greenhouse gas budget for 2030–2050. DOI 10.2800/609405
- Energimyndigheten, 2023. Energiläget i siffror 2022 (exclfil). Eskilstuna,
- Ericsson, K., 2017. Biogenic carbon dioxide as feedstock for production of chemicals and fuels: A techno-economic assessment with a European perspective. Environmental and Energy Systems Studies, Lund University, IMES/EESS report no 103.
- European Bioplastics, 2022. Bioplastics market development update 2021. European bioplastic, Berlin.
- Fråne, A., Anderson, S., Andersson, C., Boberg, N., Dahlbom, M., Miliute-Plepiene, J., Unsbo, H., Villner, M., George, M., 2022. Kartläggning av plastflöden i Sverige 2020. Naturvårdsverket, Rapport 7038.
- Gabrielli, P., M. Gazzani, and M. Mazzotti. 2020. The Role of Carbon Capture and Utilization, Carbon Capture and Storage, and Biomass to Enable a Net-Zero-CO₂ Emissions Chemical Industry. *Industrial & Engineering Chemistry Research* 59(15):7033-7045. <https://doi.org/10.1021/acs.iecr.9b06579>.
- IEA, 2018. The Future of Petrochemicals - Towards a more sustainable chemical industry. https://iea.blob.core.windows.net/assets/bee4ef3a-8876-4566-98cf-7a130c013805/The_Future_of_Petrochemicals.pdf
- Liquid Wind, 2023 Ørsted tar första spadtaget för FlagshipONE – Liquid Winds första och Europas största elektrobränsleprojekt. Pressmeddelande 24 maj 2023, Liquid Wind.
- Material Economics, 2021. Vägar till klimatneutral produktion för kemi- och innovationsindustrierna - En genomlysning av IKEMs medlemmars förutsättningar och behov för koldioxidneutralitet. Material Economics på uppdrag av IKEM.
- Meys, R., Kätelhön, A., Bachmann, M., Winter, B., Zibunas, C., Suh, S., Bardow, A., 2021. Achieving net-zero greenhouse gas emission plastics by a circular carbon economy. *Science* 374, 71-76, 10.1126/science.abg9853.
- Naturvårdsverket, 2023a. Data och statistik/Klimat, <https://www.naturvardsverket.se/data-och-statistik/klimat/>
- Naturvårdsverket 2023b. Plastflöden i Sverige – från produktion till återvinning. <https://www.naturvardsverket.se/amnesomraden/plast/om-plast/plastfloden-i-sverige/>
- Svensson, S., et al., 2023 Kartläggning av biogena kolflöden i de skogsbaserade värdekedjorna i Sverige. RISE, RISE Rapport P116313.
- Svensk plaståtervinning, 2022. Cirkulär kemisk återvinning genom nytt samarbete med Borealis, Nyhet 2022-05-05; <https://www.svenskplastatervinning.se/cirkular-kemisk-atervinning-genom-nytt-samarbete-med-borealis/>

