LUND UNIVERSITY

Industrins långsiktiga utveckling i samspel med energisystemet

Ericsson, Karin; Johansson, Bengt; Nilsson, Lars J; Åhman, Max

2015

Document Version:
Förlagets slutgiltiga version

Link to publication

Citation for published version (APA):
Ericsson, K., Johansson, B., Nilsson, L. J., & Åhman, M. (2015). *Industrins långsiktiga utveckling i samspel med energisystemet*. (Energimyndighetens rapportserie; Vol. ER 2015:18). Energimyndigheten.

Total number of authors:
4

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

Download date: 31. Jan. 2026

Industrins långsiktiga utveckling i samspel med energisystemet

ER 2015:18

Böcker och rapporter utgivna av Statens
energimyndighet kan beställas via
www.energimyndigheten.se
Orderfax: 08-505 933 99
e-post: energimyndigheten@cm.se

© Statens energimyndighet

ER 2015:18

ISSN 1403-1892

Förord

I denna rapport försöker forskare på Lunds Tekniska Högskola ge svar på frågorna: Hur kan framtida svensk industri, och näringslivet i stort, utvecklas för att passa in i ett framtida hållbart samhälle och ett hållbart energisystem? Vilka utmaningar och möjligheter finns det och hur påverkar de energisystemet?

Energimyndigheten bad forskarna att måla upp olika utvecklingsvägar för svensk industri i ett antal explorativa långsiktiga framtidsscenarier, som ett underlag till Energimyndighetens egen utredning om Energisystemet efter 2020. Utredningens mål är att skapa en konstruktiv dialog om energisystemets framtid som är baserad på saklig analys. Utredningen ska också ge underlag till beslutsfattare inför beslut om energisystemets framtid.

Utredningens första fas, som utmynnade i delrapporten ”Vägval och utmaningar för Energisystemet efter 2020”, identifierar och diskuterar olika knäckfrågor för energisystemets långsiktiga utveckling. Olika perspektiv på utmaningar som förekommer i energidebatten tas upp. Genom att belysa industrisektorns roll i och utmaningar mot ett hållbart energisystem och nära-noll-utsläpp utgör denna rapport ett bra komplement till de områden som tas upp i utredningens delrapport.

Industrin står för omkring en tredjedel av den slutliga energianvändningen och omkring en tredjedel av växthusgasutsläppen i Sverige. För att nå visionen om inga nettoutsläpp av växthusgaser i Sverige till år 2050, finns både stora utmaningar och möjligheter för svensk industri att ställa om till låga utsläpp och mot en mer cirkulär ekonomi.

Denna rapport diskuterar olika åtgärdsstrategier för en svensk industri med nära-noll-utsläpp av koldioxid och hur det kan påverka energisystemet. Rapporten diskuterar också vilka utmaningar en sådan omställning skulle innebära. Energi- och materialeffektivisering i hela värdekedjan kan ge betydande bidrag, men för att nå nära-noll-utsläpp för den energiintensiva basmaterialindustrin krävs mer omfattande förändringar. Elektrifiering av processer, byte från fossila bränslen och råvaror till biobränsle och bioråvara samt CCS (avskiljning och lagring av koldioxid) är tänkbara åtgärder för att uppnå nära-noll-utsläpp till 2050 i svensk basmaterialindustri. Fem explorativa scenarier illustrerar hur detta kan gå till.

Rapporten är författad av Karin Ericsson, Bengt Johansson, Lars J Nilsson och Max Åhman, verksamma vid Miljö- och energisystem, LTH. Författarna vill tacka Ellen Palm, Fredrik NG Andersson och Lars Coenen samt Camilla Hållén, Jonas Lindmark, Linus Klackenberg och Peter Bennich på Energimyndigheten för deras kommentarer på tidigare utkast av rapporten.

Erik Brandsma
Generaldirektör, Energimyndigheten

Innehåll

Sammanfattning **5**

1 Inledning **7**

2 Industriell utveckling och strukturomvandling **9**

2.1 Industriella revolutioner och utvecklingsblock 10

2.2 Den industriella värdekedjan 11

3 Industrins energianvändning och utsläpp **13**

3.1 Industrins energianvändning 13

3.2 Industrins utsläpp av växthusgaser 15

4 Industrins framtida energianvändning **17**

4.1 Industriproduktionens framtida utveckling samt nya verksamheter ... 17

4.2 Val och skiften av energibärare och råvaror 18

4.3 Scenarier för industrins framtida energianvändning 19

5 Hållbar produktion av basmaterial **25**

5.1 Vad kännetecknar basmaterialindustrin? 25

5.2 Tekniska åtgärder för effektivare resursanvändning och minskade utsläpp 25

6 Hållbar produktion och klimatsmarta produkter i övrig industri **31**

7 Industrins roll på den framtida energimarknaden **35**

8 Ekonomiska och politiska frågor kring den cirkulära ekonomin **39**

8.1 Blir dyrare produktion av basmaterial ett ekonomiskt problem i sig? . 40

8.2 På väg mot en cirkulär ekonomi och behovet av politik 41

9 Slutsatser **45**

10 Referenser **47**

Appendix **51**

Sammanfattning

Industrin i Sverige svarade år 2013 för drygt en tredjedel av den slutliga energianvändningen i landet. Även industrins andel av utsläppen av växthusgaser var cirka en tredjedel. Industrins framtida utveckling är därigenom av central betydelse för förutsättningarna att uppnå långsiktiga klimatmål, men även för den totala energiefterfrågan i samhället. Syftet med denna studie är att måla upp ett antal möjliga utvecklingsvägar för svensk industri som är förenliga med en hållbar utveckling och hur dessa olika utvecklingsvägar kan påverka energisystemet som helhet, samt diskutera utmaningar som kan uppstå.

Industrins framtida påverkan på energisystemet är i hög grad beroende av hur produktionsvolymerna inom basmaterialindustrin utvecklas. Ekonomin genomgår ständiga förändringar där nya sektorer växer fram och nya produkter utvecklas medan andra går tillbaka. Faktorer av betydelse för denna process är bl.a. arbetskraftens kostnader och kunskapsnivå, företagens innovationsförmåga, produktivitet, tillgång på kapital, tillgång på naturresurser inklusive energi liksom institutionella förhållanden och politiska drivkrafter. I framtiden kan även framväxten av nya energiintensiva verksamheter som datacenter medföra stor påverkan på energisystemet.

Utöver produktionsvolymer är valet av framtida energibärare och andra teknikval av stor betydelse för industrins påverkan på energisystemet och dess bidrag till en hållbar utveckling. Möjliga åtgärder för att uppnå en industri med små utsläpp av växthusgaser innefattar material- och energieffektivisering, bränslebyte till biobränslen, infångning och lagring av koldioxid (CCS), samt elektrifiering med utsläppsfri el.

I rapporten tar vi fram fem scenarier med tidsperspektivet 2050 där produktionsvolymerna och energilösningarna varieras. I vissa scenarier ökar användningen av bioenergi kraftigt medan det i andra framför allt är elanvändningen som ökar i omfattning. Samtliga scenarier bedöms vara förenliga med utsläpp av växthusgaser som är nära noll.

Vi bedömer att industrin och energisystemet i Sverige även i framtiden kommer att utvecklas i samspel med varandra. Exempelvis är det möjligt att industrin utvecklas mer mot att aktivt delta i el och balansmarknaden med mer flexibel efterfrågan, något som kan få ökad betydelse som en följd av mer variabel elproduktion. Kopplingen mellan skogsindustri, kemisk industri och bioenergimarknaderna kan också komma att vidareutvecklas med potentiellt stor betydelse för industrins roll på energimarknaderna.

Det finns en rad utmaningar och problem på vägen mot en cirkulär ekonomi och nollutsläpp i industrin. Utvecklingen av industrin och utrymmet för att styra densamma är beroende av en utveckling i omvärlden och handlar bland annat om EU:s utveckling ekonomiskt och politiskt, den internationella klimat- och

handelspolitiken, och hur efterfrågan på olika produkter och tjänster utvecklas i den globala ekonomin. De strategier som tas fram inom olika politikområden behöver var anpassade för att kunna hantera en utveckling som karakteriseras av stora osäkerheter och hög komplexitet. Samtidigt konstaterar vi att Sverige har god tillgång på naturresurser som skog och malm, liksom goda förutsättningar till produktion av utsläppsfri el. Detta ger bra möjligheter att fortsatt vara en producent och exportör av viktiga basmaterial och förädlade produkter som producerats på ett hållbart sätt.

1 Inledning

Samhället och de ekonomiska strukturerna förändras ständigt som en följd av bl.a. teknisk utveckling, globalisering och andra utvecklingar. Det är en stark politisk ambition att produktionen och konsumtionen av varor och tjänster ska utvecklas i riktning mot ökad hållbarhet i framtiden. Industrins och produktionens utveckling har stor betydelse för energisystemets utveckling. Industrin svarar för cirka en tredjedel av den svenska energianvändningen men den är även en stor producent av el, spillvärme och biobränslen. Större förändringar av den svenska industriproduktionen kommer därmed att ge tydliga avtryck i den svenska energibalansen.

Industrins bidrag till utsläppen av växthusgaser är betydande och varje ambitiös strategi för att begränsa klimatpåverkan påverkar industrins val av produktionsprocesser och energislag, liksom konsumenternas efterfrågan på produkter. För ökad hållbarhet krävs hushållning med förnybara och icke-förnybara naturresurser genom strategier för energi- och materialeffektivitet. Resurseffektivitet och cirkulär ekonomi är begrepp som ofta används för att karaktärisera sådana system och samhällen.

Den globala ekonomin inklusive industrin kan utvecklas i många olika riktningar som är mer eller mindre förenliga med ett långsiktigt ekologiskt hållbart samhälle. Vi kan idag inte veta om teknik, preferenser och politisk vilja och förmåga skapar de förutsättningar som krävs för att uppnå långsiktig hållbarhet. I denna studie väljer vi dock att avgränsa oss till att diskutera möjliga framtidsvägar som vi bedömer kan vara förenliga med långsiktig hållbarhet.

Den globala ambitionen att begränsa höjningen i medeltemperatur till två grader kräver att utsläppen av växthusgaser närmar sig noll under andra halvan av 2000-talet[1]. Inom ramen för de klimatpolitiska regelverk som Kyotoprotokollet och EU:s mål för 2020 har ambitionerna varit så pass låga att man har kunnat undvika mer långtgående krav på utsläppsminskningar inom industrin. På längre sikt måste även industrins utsläpp närma sig noll och det kommer då att krävas mer radikala förändringar av existerande produktionsprocesser. Det är en utmaning att påbörja denna omställning i en sektor som är utsatt för internationell konkurrens med länder som har lägre nationella (men i internationella avtal accepterade) ambitioner.

Det är inte enbart utvecklingen inom klimatpolitiken som är av betydelse för utvecklingen inom de olika industrisektorerna i Sverige. Utvecklingen på de globala, europeiska och nationella energimarknaderna är också av viktig för industrins konkurrenskraft. Subventioner på energi i konkurrentländer, utvecklingen på de nordamerikanska gasmarknaderna och hur integrationen av EU:s energi-

[1] Även om man accepterar större temperaturförändringar måste man ändå ganska snart nå nollutsläpp för att begränsa uppvärmningen, om än med möjlighet att låta utsläppsminskningarna ske under en längre tidsrymd.

marknader påverkar de svenska energipriserna är bara några av de faktorer som kan påverka förutsättningarna för svensk industriproduktion.

För att förstå utvecklingen inom industrin är det viktigt att se de skilda förutsättningar som finns för olika branscher att hantera en omställning av energisystemet. Medan vissa branscher (framför allt inom den energiintensiva industrin) kan sättas under hård press av ökande energipriser och restriktioner på växthusgasutsläpp kan delar av den övriga industrin vara relativt opåverkade eller till och med gynnas (t.ex. producenter av värmepumpar eller anläggningar för uppgradering av biogas). Den energiintensiva och råvarubaserade industrin är lokaliserad i Sverige delvis på grund av god tillgång på råvaror och energi (historiskt sett vattenkraft och bioenergi). Detta är faktorer som kommer att vara fortsatt betydelsefulla i en värld med ökad efterfrågan på förnybara resurser.

Syftet med denna studie är att diskutera olika möjliga utvecklingar för den svenska industrin (och i mindre grad övriga näringslivet) som kan vara förenliga med en hållbar utveckling och hur detta kan påverka energisystemet. Vi utgår från randvillkoret att de globala utsläppen ska närma sig noll mellan 2050 och 2100, men även att förnybara och icke förnybara resurser utnyttjas på ett sätt som inte hotar människors hälsa och de ekologiska systemen. Även med detta randvillkor kan vi se flera olika möjliga riktningar för industrins utveckling.

För att illustrera möjliga utvecklingar presenteras fem scenarier baserade på olika antaganden. Scenarierna skiljer sig från varandra både vad gäller produktionsvolymer och tekniska lösningar för att uppnå nollutsläpp. Syftet med scenarierna är att genom relativt enkla antaganden och kalkyler illustrera olika möjliga framtider. De skillnader som uppkommer avseende industrins påverkan på energisystemet presenteras. Fokus i scenarierna ligger på den energiintensiva industrin eftersom just dess betydelse för energisystemet är särskilt stor. Andra delar av näringslivet som exempelvis datacenter och deras framtida elbehov diskuteras också.

En utgångspunkt i rapporten är att vi i en framtid med låga utsläpp av växthusgaser har en elproduktion utan nettoutsläpp av växthusgaser. Detta grundar sig i att växthusgasutsläpp från elsektorn tekniskt sett är jämförelsevis lätta att undvika även om det är osäkert till vilka kostnader. Som en följd av detta ses elektrifiering av industriella processer liksom vätgas producerad från el via elektrolys som intressanta möjligheter att minska industrins utsläpp av växthusgaser.

Vi har valt att lägga upp rapporten enligt följande. Vi inleder med en kort historik om det svenska näringslivets utveckling fram till idag (avsnitt 2) och en sammanfattning av industrins energianvändning och utsläpp (avsnitt 3). I avsnitt 4 presenteras de olika framtidsscenarierna relativt kortfattat följt av en diskussion om de tekniska åtgärdsalternativen i basmaterialindustrin (avsnitt 5). I avsnitt 6 diskuteras den övriga industrin. I efterföljande avsnitt förs fördjupade resonemang kring industrins roll i energisystemet (avsnitt 7) och de ekonomiska och politiska förutsättningarna för en utveckling mot ökad hållbarhet (avsnitt 8), följt av slutsatser (avsnitt 9).

2 Industriell utveckling och strukturomvandling

Ekonomin befinner sig i ständig utveckling och förändring. Nya branscher växer fram, gamla försvinner eller får en mindre roll i ekonomin. Företag verksamma inom sektorer med komparativa fördelar växer medan företag i sektorer med lägre tillväxt eller som inte är konkurrenskraftiga läggs ner eller omstruktureras. Faktorer av betydelse för dessa processer är bl.a. arbetskraftens kostnader och kunskapsnivå, företagens innovationsförmåga, produktivitet, tillgång på kapital, tillgång på naturresurser inklusive energi liksom institutionella förhållanden och politiska drivkrafter. Dessa faktorer har historiskt sett haft betydelse för den svenska utvecklingen och kan fortsatt förväntas ha det i framtiden. Dessa förändringsprocesser är en naturlig del av den ekonomiska utvecklingen men kan skapa negativa effekter på kort sikt för individer, regioner och branscher. Detta kan i sin tur skapa drivkrafter för att motverka förändringen och bevara strukturerna, eller för att hitta nya möjligheter till industriell och ekonomisk utveckling.

Box 1: Går vi mot ett tjänstesamhälle?

I beskrivningar av strukturomvandlingen lyfts ofta en ökad betydelse av tjänster i ekonomin fram. Schön (2000) problematiserar dock denna slutsats och lyfter fram att slutsatsens giltighet beror på vad man lägger in i begreppet. Han skiljer på om i) det syftar på att man övergår från att huvudsakligen producera varor till att i stället producera tjänster, ii) om man syftar på andelen människor som i huvudsak jobbar med produktion av varor eller tjänster samt slutligen iii) var den dynamiska kraften i ekonomin ligger. Med den första innebörden anser Schön inte att det finns fog för att vi gått till ett tjänstesamhälle. Eftersom industriproduktionen, som en följd av kraftiga rationaliseringar, har sett kraftigt fallande priser på sina produkter så minskar andelen i ekonomin även om inte produktmängden minskar i motsvarande grad. Enligt Schön har man inte sett någon ökad tjänsteproduktion jämfört med industriproduktionen men däremot en kraftig förskjutning av antalet anställda i varje sektor. Detta motsvarar den andra innebörden ovan där det finns en tydlig trend sedan 1960 talet med en ökad andel av de sysselsatta i tjänstesektorn.

Utifrån den tredje tolkningen av tjänstesamhällets genombrott kan man se att den elektroniska revolutionen och kunskapsutvecklingen flyttat den dynamiska kraften och de centrala innovationerna till tjänster snarare än den industriella produktionen. Samtidigt får många tjänster sin avsättning i industrin och den traditionella avgränsningen mellan industriproduktion och tjänster blir allt mindre i relevant (Schön, 2000; Hermansson m.fl., 2015)

Sverige har sedan industrialiseringens början, i mitten av 1800-talet, gått från att vara ett fattigt land med låga arbetskraftskostnader men med god tillgång på naturresurser till att vara en avancerad industrination. Sverige har haft en relativt hög

och stabil tillväxt under många decennier, en internationellt sett hög innovationsförmåga och relativt höga arbetskraftskostnader (åtminstone för lågutbildad arbetskraft). Industristrukturen har hela tiden förändrats och utvecklats i takt med de ökade lönekostnaderna, ökad internationell konkurrens och globalisering och ändrade behov och krav från marknaden. Sektorer som varvs- och tekoindustrin som utgjorde en viktig del av industriproduktionen runt 1970 försvann i stort sett helt, medan andra branscher som skogs-, järn- och stål, och fordons- och maskinindustrin behållit en viktig roll i ekonomin. Avancerade tjänster som utbildning, vård, IT m.m. har vuxit i betydelse (se Box 1). Inom många branscher har utvecklingen gått mot mer förädlade produkter. Detta gäller även delar av den energiintensiva industrin. Ett exempel på detta är stålindustrin som idag producerar olika former av specialstål (se statistik från Jernkontoret). Specialiseringen innebär att samtidigt som Sverige är en stor nettoexportör av stål importeras stor kvantiteter av enklare sortiment (Jernkontoret 2015).

2.1 Industriella revolutioner och utvecklingsblock

Ekonomiskt har den historiska utvecklingen karaktäriserats av ett antal industriella revolutioner kopplade till flera större utvecklingsblock som i sin tur varit knutna till ett antal innovationer (Schön 2000). I flera av dessa har el spelat en central roll för utvecklingen. Andra viktiga aspekter har varit utvecklingen av billiga transporter som har möjliggjort handel och skapat en ekonomi kraftigt beroende av utrikeshandel. Kaijser och Kander (2013) refererar till tre industriella revolutioner kopplade till fyra utvecklingsblock. Samtliga tre cykler har starka band med energisystemets utveckling.

Den första industriella revolutionen var nära kopplad till ett utvecklingsblock runt ångmaskinen för att bättre utvinna och utnyttja energin till industriell produktion. Ångmaskiner möjliggjorde bl.a. en utveckling av järnproduktion och järnvägar som i sin tur ledde till minskade transportkostnader och möjligheter till strukturrationaliseringar.

Den andra industriella revolutionen var kopplad till två utvecklingsblock kring elmotorn respektive förbränningsmotorn vilka möjliggjorde mer sofistikerade produktionsmetoder (Schön, 2000). Från 1930-talet präglades utvecklingen av en allmän elektrifiering, bilismens spridning och flygets expansion vilket påverkade såväl produktions- som konsumtionsmönster. Det var under denna tillväxtfas som stora delar av Sveriges moderna transportsystem med bränsledepåer, infrastruktur m.m. byggdes upp, liksom det stora sammankopplade och centraliserade kraftnätet.

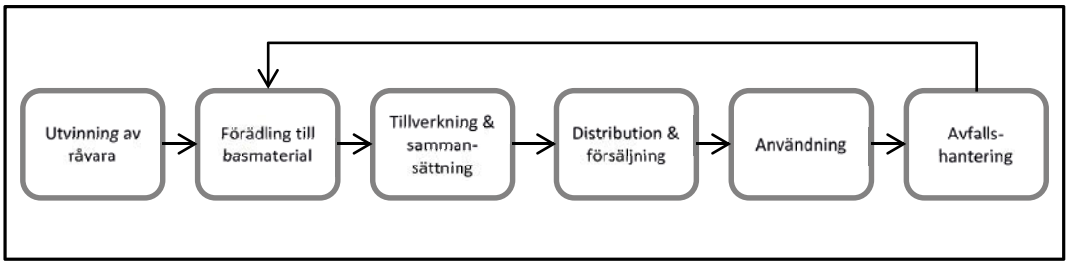
Den tredje industriella revolutionen är kopplad till utvecklingsblocket kring informations- och kommunikationsteknik (IKT). Det senare är en fas där vi fortsatt befinner oss och där det fortfarande är oklart i exakt vilken riktning utvecklingen rör sig. Industrin har sedan länge påverkats av utvecklingen inom IKT och automation som möjliggjort nya produktionsmetoder och nya produkter och tjänster, inklusive hård- och mjukvara för IKT-systemen. IKT har varit viktigt också för

utvecklingen av elsystemet och elmarknaden och är centralt för den framtida utvecklingen av exempelvis smarta elnät. Utvecklingen kan också driva på en ökad elanvändning genom utbyggnad av serverhallar.

2.2 Den industriella värdekedjan

Ett enkelt sätt att åskådliggöra industrin är att utgå från en industriell värdekedja där industriell produktion börjar med råvaror och slutar med konsumentprodukter, se Figur 1 för en schematisk illustration.

En industriell värdekedja inleds i många fall med utvinning av jungfruliga råvaror t.ex. bauxit, järnmalm, skogsråvara, kalksten eller fossila råvaror. Dessa råvaror raffineras eller förädlas sedan till basmaterial som stål, aluminium, pappersmassa, cement, eller baskemikalier som eten och propen. I många fall inkluderar värdekedjan insamling och bearbetning av återvunna material. Nästa steg in den industriella värdekedjan är tillverkning av komponenter och sammansättning av dessa till konsumentprodukter som sedan distribueras och säljs. När varan är uttjänt kan komponenter återanvändas eller material- och energiåtervinnas, och vissa rester slutligen deponeras. Återvinning av koldioxid kommer sannolikt att bli viktig för att ytterligare sluta kretsloppen. Slutna kretslopp med hög grad av återvinning är viktigt för utvecklingen mot en cirkulär ekonomi. Förutsättningarna för att återanvända eller materialåtervinna skiljer sig mellan olika material och branscher vilket diskuteras i kapitel 5.2 och 8.



Figur 1 Schematisk industriell värdekedja.

De två första stegen i värdekedjan, utvinning av råvara och förädling av råvara till basmaterial, har störst påverkan på energisystemet. De strukturomvandlingar som syns i den ekonomiska statistiken idag handlar till stor del om ändrade tillverkningsmetoder och sammansättning av nya produkter där oftast en stor del av förädlingsvärdet ligger. Omvandlingen av råvara till basmaterial ger ofta ett relativt lågt förädlingsvärde men kräver stora energiinsatser och leder ofta till stora utsläpp av koldioxid. Ur ett energi- och klimatperspektiv är det således inte det ekonomiska förädlingsvärdet som är viktigast utan energiintensiteten som är mer kopplat till materiella flöden än till ekonomiska flöden. Även om den energiintensiva industrins bidrag med avseende på förädlingsvärde till BNP minskar så har dess betydelse för energisystemet inte minskat.

Industriell produktion har alltid varit geografiskt spridd där olika länder/regioner/ företag har specialiserat sig utifrån komparativa fördelar och handel har uppstått däremellan. De senaste 20 åren har globaliseringen ökat kraftigt genom bättre kommunikationer, ekonomisk utveckling i olika delar av världen och friare handel. Cirka 50 procent av världshandeln idag består av intermediära produkter, dvs. handel mellan olika steg i värdekedjan vilket gör att man idag talar om globala värdekedjor (Backer och Miroudot 2013).

Den ökade handeln och den geografiska spridningen av industrins värdekedjor kan få flera effekter. Inom klimatpolitiken är risken för framtida koldioxidläckage en viktig fråga. Risken är att energiintensiv industri, på grund av höga kostnader för klimatpolitiken, investerar i eller flyttar produktion till länder med lägre klimatambitioner och därmed ökar (eller åtminstone inte minskar) utsläppen globalt sett.

En annan farhåga är att den svenska ekonomin påverkas negativt om tillverkning och arbetstillfällen flyttar utomlands. De ekonomiska effekterna är dock inte självklara vilket bl.a. visats av Ali-Yrkkö m. fl. (2011) som studerade effekterna av globala värdekedjor och utlokalisering med exemplet från en Nokia N95 Smartphone. Trots att telefonen tillverkades i Kina och såldes i USA, så hamnade 51 procent av förädlingsvärdet (och därmed bidraget till BNP) inom EU[2]. Däremot skulle en utflyttning av industriell produktion på kort sikt påverka företag inom sektorer som förser tillverkningsindustrin med kringtjänster som IT- och konsulttjänster.

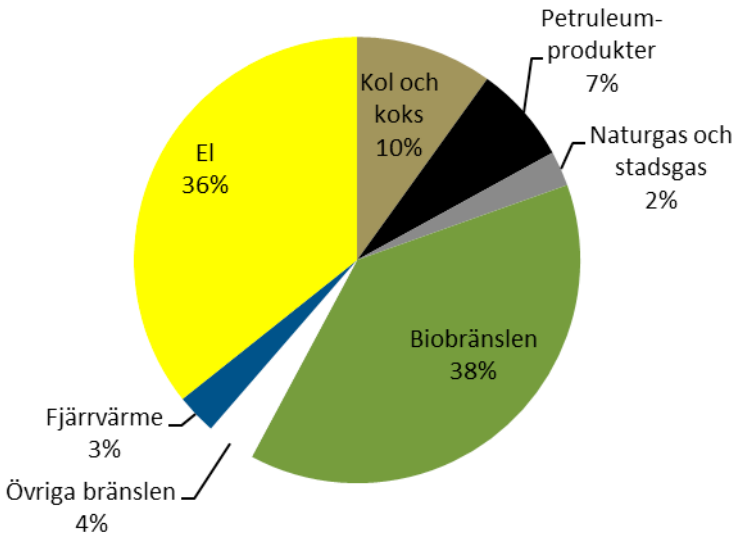
Det kan också finnas skäl att behålla produktion av försörjningsstrategiska skäl och för att behålla geografisk intakta värdekedjor. Det finns vissa belägg för att geografisk närhet kan främja innovation genom samarbete och integration i värdekedjan (Boschma, 2005; Hansen och Winter, 2011). Ökad återvinning och mer slutna kretslopp talar också för att geografisk närhet blir viktigt om kostnader och miljöpåverkan från transporter ska undvikas.

[2] Såldes telefonen inom EU (men tillverkades fortfarande i Kina) så steg EUs andel av förädlingsvärdet till 68 %.

3 Industrins energianvändning och utsläpp

3.1 Industrins energianvändning

Industrins energianvändning i Sverige uppgick 2013 till omkring 143 TWh, vilket motsvarar drygt 38 procent av den slutliga energianvändningen i landet (Energimyndigheten, 2015a). Energibärarna i industrin utgörs framför allt av biobränslen och el, vilka svarar för 38 procent respektive 36 procent av industrins energianvändning. De fossila energibärarna svarar tillsammans för 23 procent av energianvändningen och resten utgörs av fjärrvärme (3 procent) (Figur 2).



Figur 2 Industrins energianvändning (143 TWh 2013) fördelad mellan olika energibärare (Energimyndigheten, 2015a).

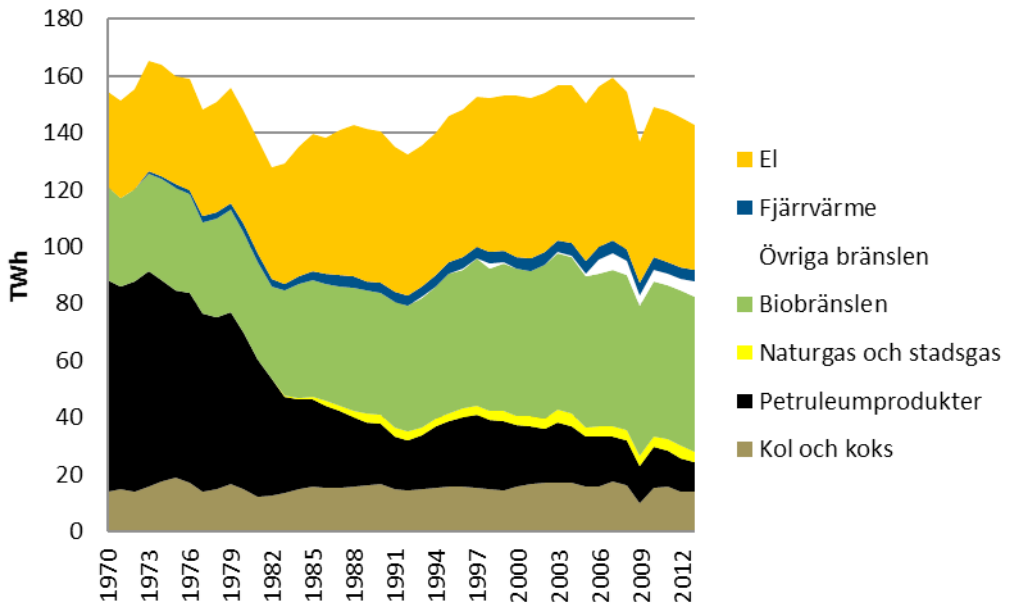
I Sverige svarar ett fåtal branscher för merparten av industrins energianvändning. Vilka som utgör de främsta energibärarna skiljer sig kraftigt mellan dessa branscher (Energimyndigheten, 2015a). Massa- och pappersindustrin svarar för drygt hälften av industrins energianvändning. Andra betydande energianvändare är järn- och stålindustrin, kemisk industri och trävaruindustrin som tillsammans svarar för omkring 30 procent av industrins energianvändning. Energibärarna i massa- och pappersindustrin, liksom trävaruindustrin, utgörs nästan uteslutande av el och biobränslen. Huvuddelen av industrins biobränsleanvändning och omkring 70 procent av Sveriges totala biobränsleanvändning sker inom massa- och pappersindustrin och trävaruindustrin, som använder egna biprodukter för produktion av el och värme. Inom järn- och stålindustrin används framför allt kol, koks och el som energibärare. Järn- och stålindustrin svarar för merparten av industrins användning av kol och koks där de utnyttjas som reduktionsmedel vid produktion av stål från

järnmalm. Vid framställning av stål från järnskrot används huvudsakligen elenergi. Inom kemiindustrin och livsmedelsindustrin utgörs energibärarna framför allt av el, naturgas och oljeprodukter. Tillsammans svarar dessa branscher för drygt 50 procent av industrins användning av naturgas. Gruvindustrin och cement- och kalkindustrin svarar för knapp 6 procent av industrins energianvändning och energibärarna utgörs framför allt av el, kol och olja. Verkstadsindustrin räknas inte som en energiintensiv bransch, men på grund av dess betydande andel av industriproduktionen svarar branschen ändå för 6 procent av industrins energianvändning. El utgör den huvudsakliga energibäraren inom verkstadsindustrin.

Energianvändningen inom industrin har legat ganska stabilt kring 140-150 TWh sedan 1970, med undantag för en minskad energianvändning i samband med lågkonjunkturerna under början av 1980- respektive 1990-talen samt 2008/2009 (Figur 3). Under samma period ökade produktionsvolymerna inom den energiintensiva industrin (se t.ex. massa- och pappersindustrin som beskrivs längre ner). Förädlingsvärdet inom gruv- och tillverkningsindustrin har fördubblats sedan början på 1990-talet, men följer en svagt fallande trend sedan 2010 (SCB, 2015). Den minskade energiintensiteten beror framför allt på att mindre energiintensiv industri har vuxit i snabbare takt än energiintensiv industri, men också på energieffektiviseringsåtgärder inom industrin och en ökad användning av el på bekostnad av bränslen.

Det har skett en betydande förändring av energimixen i industrin under de senaste 40 åren (Figur 3). Användningen av olja har minskat radikalt sedan början på 70-talet då olja svarade för nästan hälften av industrins energianvändning. I samband med oljekriserna på 70-talet inleddes ett omfattande arbete med att minska oljeanvändningen i industrin, men även i andra sektorer. I exempelvis massa- och pappersindustrin har oljeanvändningen minskat med drygt 20 TWh sedan 1973 och uppgår i dag till drygt 2 TWh (Wiberg, 2001; Energimyndigheten, 2015a). Samtidigt har industrins användning av biobränslen och el ökat. Denna trend är särskilt tydlig i massa- och pappersindustrin där biobränslen ersatt mycket av oljeanvändningen. Den ökande elanvändningen i denna bransch beror emellertid främst på att den elintensiva[3] produktionen av mekanisk massa och av papper och pappersprodukter ökade 2,5 gånger mellan 1970 och 2013 (Skogsstyrelsen, 2014). I båda fallen skedde produktionsökningarna framför allt under perioden 1970-2000, medan produktionen faller svagt sedan 2007.

[3] Produktion av mekanisk massa är mycket elintensiv men erbjuder ett högt vedutbyte jämfört med den av kemisk massa.



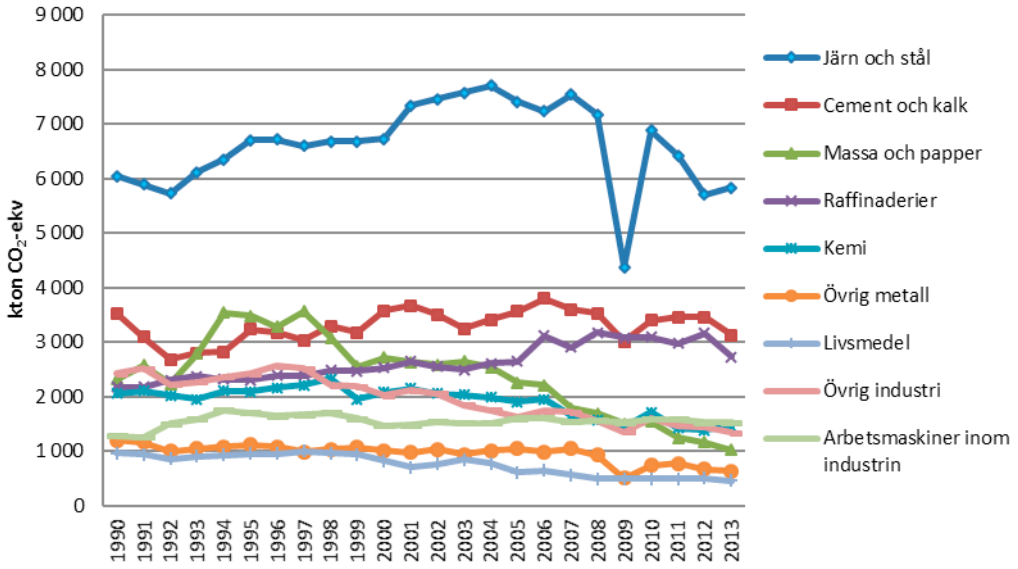
Figur 3 Energianvändningen i svensk industri 1970-2013 (Energimyndigheten, 2015a).

Utöver industrins användning av fossila bränslen för energiändamål som diskuterats hittills använder industrin stora mängder fossila råvaror, framför allt olja. Den svenska industrins användning av fossila råvaror uppgick 2013 till motsvarande närmare 24 TWh, varav 19 TWh användes inom kemisk och petrokemisk industri (Eurostat, 2015). De fossila råvarorna utgjordes framför allt av olja, men bestod även av mindre mängder gasol, nafta och etan. Som jämförelse uppgick industrins användning av olja och oljeprodukter för energiändamål till drygt 10 TWh (Energimyndigheten, 2015a).

3.2 Industrins utsläpp av växthusgaser

Industrins utsläpp av växthusgaser uppgick 2013 till 18,1 miljoner ton koldioxidekvivalenter, vilket motsvarar omkring en tredjedel av de svenska växthusgasutsläppen (Naturvårdsverket, 2015a). Utsläppssiffran för industrin inkluderar även utsläppen från raffinaderier, vilka normalt hänförs till energisektorn i Naturvårdsverkets statistik och Energimyndighetens energistatistik. Indirekta utsläpp relaterade till industrins elanvändning ingår som brukligt emellertid inte. Av utsläppen orsakades 11,6 miljoner ton av förbränning för energiändamål och 1,5 miljoner ton av produktanvändning och 5,0 miljoner ton utgjordes av processrelaterade utsläpp (Naturvårdsverket, 2015a och b). De förbränningsrelaterade utsläppen utgörs nästan uteslutande av koldioxid medan utsläppen relaterade till produktanvändning består av fluorerade växthusgaser och flyktiga kolväten. Statistiken över industrins utsläpp av växthusgaser inkluderar inte utsläppen från fjärrvärmesektorns förbränning av hyttgaser, vilka 2012 uppgick till 2,0 Mton koldioxidekvivalenter (Naturvårdsverket, 2014). Hyttgaserna utgör en restprodukt inom stålverken och förbränningen av dessa inom fjärrvärmesektorn skulle upphöra om de inte uppstod inom industrin.

Ett fåtal branscher svarar för merparten av industrins växthusgasutsläpp. Figur 4 visar hur utsläppen för dessa branscher har utvecklats under perioden 1990-2013. Järn- och stålindustrin är den bransch med störst växthusgasutsläpp och svarar idag för drygt en fjärdedel (5,2 miljoner ton koldioxidekvivalenter) av industrins utsläpp. Andra industribranscher med betydande växthusgasutsläpp är raffinaderier (2,7 miljoner ton) och cement- och kalkindustrin (3,1 miljoner ton). Inom cement- och kalkindustrin uppstår drygt hälften av växthusgasutsläppen vid omvandlingen från kalksten till klinker; resten härrör från förbränning av fossila bränslen. Utsläppen av växthusgaser är förhållandevis små inom massa- och pappersindustrin, omkring 1,0 miljoner ton per år. Inom massa- och pappersindustrin sker emellertid stora utsläpp av biogen koldioxid, omkring 6 miljoner ton per år[4], som resultat av den stora biobränsleanvändningen (Naturvårdsverket, 2013).



Figur 4 Industrins utsläpp av växthusgaser per bransch under perioden 1990-2013 (Naturvårdsverket, 2015a).

[4] Sveriges totala utsläpp av biogen koldioxid uppgick 2011 till 25 Mton (Naturvårdsverket, 2013).

4 Industrins framtida energianvändning

Industrins framtida energianvändning är beroende av hur produktionsvolymerna utvecklas inom olika branscher, energieffektivitet samt valet av energibärare. Ofta används ekonomiska modeller för att prognostisera den framtida energianvändningen i olika sektorer. Då ekonomiska modeller i sin struktur är baserade på historiska relationer mellan olika produktionsfaktorer har dessa svårt att fånga strukturell förändring. Om man vill belysa de omfattande strukturella förändringar som är möjliga i det tidsperspektiv som vi talar om i den här rapporten (40-50 år) är det näst intill omöjligt att på ett relevant sätt använda sådana modeller. För den typen av analyser bedömer vi att ett mer explorativt scenarioangreppssätt är mer fruktbart.

I avsnitten nedan diskuterar vi först de viktigaste faktorerna för industrins framtida energianvändning (4.1-2). Därefter presenterar vi fem scenarier som är utformade med hänsyn till dessa faktorer (4.3-4).

4.1 Industriproduktionens framtida utveckling samt nya verksamheter

Ett fåtal branscher svarar i dag för huvuddelen av industrins energianvändning. Hur dessa energiintensiva industrier utvecklas framöver är därmed centralt för industrins framtida energibehov. Utvecklingen inom enskilda branscher påverkar också sammansättningen av energibärare då tillgången till och förutsättningarna för att använda olika energibärare skiljer sig åt mellan olika branscher. Ett exempel på detta är de goda förutsättningarna för massa- och pappersindustrin att använda biobränslen (egna biprodukter).

Den energiintensiva industrin utgörs idag främst av basmaterialindustrin som är kopplad till utnyttjandet av naturresurser. Den svenska basmaterialindustrin är starkt exportorienterad och påverkas därmed av hur efterfrågan på dessa produkter utvecklas i Europa och globalt. Den globala efterfrågan på basmaterial ökar stadigt och förväntas fortsätta öka flera decennier framåt (se vidare kap 8). Denna utveckling beror framför allt på den ekonomiska utvecklingen i snabbt växande länder i Asien, medan efterfrågan i Europa är ganska stabil. Hur efterfrågan utvecklas på längre sikt för enskilda basmaterial är svårare att veta då vissa av dessa kan substitueras sinsemellan. Produktionen av basmaterial förväntas emellertid överlag att öka globalt, men om så också sker i Sverige är osäkert.

Hur den svenska produktionen av olika basmaterial utvecklas framöver beror på hur produktionsanläggningarna i Sverige står sig i den internationella konkurrensen, något som till viss del kan påverkas genom industripolitik. Det främsta skälet att lokalisera energiintensiv industri i Sverige är tillgången på naturresurser, men även tillgången till utbildad arbetskraft och infrastruktur av olika slag i landet är av betydelse. Vad som väger tyngst vid framtida investeringar i basmaterialindustrin - tillgång till näraliggande resurser, närhet till snabbt växande marknader eller andra faktorer - är

svårt att veta. En framtida utveckling där den svenska basmaterialindustrin, eller delar av denna, uppvisar svag ekonomisk lönsamhet och därmed inte blir föremål för nyinvesteringar leder till en successiv nedläggning av produktionsanläggningar i Sverige. En sådan utveckling skulle kunna innebära att Sverige istället för att förädla sina råvaror blir en exportör av inhemska råvaror, då den internationella efterfrågan på basmaterial förmodas vara hög i framtiden. Nedläggningar inom basmaterialindustrin får ofta betydande negativa konsekvenser regionalt, åtminstone på kort sikt. De mer långsiktiga effekterna kan emellertid variera mellan olika regioner beroende på deras förutsättningar att utveckla andra verksamheter. Hur Sveriges ekonomi utvecklas som helhet om betydande delar av basmaterialindustrin läggs ner i framtiden beror på hur andra delar av näringslivet utvecklas. Svensk industri som helhet skulle kunna uppvisa positiv tillväxt trots nedläggningar inom basmaterialindustrin förutsatt att dessa vägs upp av tillväxt inom andra industrigrenar.

I framtiden är det även möjligt att det växer fram nya industrigrenar eller verksamheter med stora energibehov. Ett aktuellt exempel är det växande antalet stora centrala serverhallar i Sverige och andra länder. Vi har valt att inkludera resonemang kring utbyggnaden av datacenter i rapporten även om denna verksamhet inte tillhör tillverkningsindustrin. Hur denna verksamhet utvecklas i Sverige är dessutom i hög grad oberoende av hur tillverkningsindustrin utvecklas. Oscarsson (2014) visar på att behovet av serverhallar verkar kunna öka explosionsartat med ökad uppkoppling, internet-of-things m.m.

4.2 Val och skiften av energibärare och råvaror

Det har tidigare skett betydande skiften av energibärare i industrin och kommer förmodligen att ske så även i framtiden. Framtida val och byten av energibärare påverkas av flera faktorer, framför allt den faktiska och förväntade framtida utvecklingen av relativpriser för olika energibärare, tillgången till och utvecklingen av infrastruktur för olika energibärare, teknikutvecklingen kopplad till användningen av olika energibärare i industriella processer och politiska ambitioner med avseende på klimatmål och energisäkerhet. Dessa faktorer är i hög grad ömsesidigt beroende. Exempelvis kan höga energi- och klimatpolitiska ambitioner driva på den tekniska utvecklingen av utsläppsnåla tekniker och energi- och klimatpolitiska styrmedel påverkar relativpriserna på energibärare.

Klimatpolitiken kommer förmodligen att utgöra en viktig drivkraft bakom framtida skiften av teknik, energibärare och råvaror. Om industrin på längre sikt ska reducera sina utsläpp av växthusgaser till närmare noll krävs antingen en utfasning av fossila bränslen eller installation av koldioxidavskiljning och lagring (CCS). CCS är det omställningsalternativ som innebär minst förändringar av energisystemet genom att det möjliggör låga utsläpp av växthusgaser trots fortsatt användning av fossila bränslen. Om CCS tillämpas i tillräckligt stor omfattning, och inkluderar infångning av biogena koldioxidutsläpp, är det även möjligt att

uppnå negativa utsläpp av växthusgaser i industrin. En av de främsta utmaningarna med denna teknik är att användningen förutsätter att det byggs ut en infrastruktur för transport och lagring av koldioxid (se vidare 5.2.2).

Klimatomställningen kan även utgöra en drivkraft för att ersätta fossila bränslen med biobränslen, el eller vätgas. Sverige har goda förutsättningar att producera biomassa, framför allt inom skogsbruket, och lång erfarenhet av att använda biobränslen. För att en omställning till biobränslen och bioråvara ska vara en hållbar strategi i vidare bemärkelse krävs att uttaget av biomassa sker på en hållbar nivå och med hållbara metoder. En konvertering till biobränslen inom industrin kräver ofta högt förädlade biobränslen med låg fukthalt då många industriprocesser fordrar höga temperaturer. Det pågår utvecklingsarbete för att möjliggöra användning av biobränslen inom industriprocesser som reducering av järnmalm, men biobränslen har än så länge svårt att konkurrera i dessa tillämpningar. Det pågår även utvecklingsarbete för att omvandla cellulosarik bioråvara till drivmedel och kemikalier. Nyckelteknikerna för sådan omvandling är välutvecklade, men inte kommersialiserade (se vidare 5.2.1). Att ersätta fossila bränslen med el är det omställningsalternativ som innebär störst förändringar i industrin. Det pågår en utveckling av elektrotermiska och elektrolytiska processer för olika värme- och processändamål, men många av dessa tekniker befinner sig för närvarande långt från en kommersialisering (se vidare 5.2.3). Elektrifieringen av industrin kan även ske indirekt genom användning av vätgas producerad via elektrolys av vatten. För att en ökad elanvändning inom industrin ska vara hållbar krävs att elen produceras med låga växthusgasutsläpp.

Framtida klimatpolitik kommer förmodligen även få betydande konsekvenser på råvaruanvändningen för produktion av kemikalier. I dag används stora mängder fossila råvaror som samproduceras med drivmedel i raffinaderier. Med en framgångsrik omställning av transportsektorn kommer petrokemin att omstruktureras och den tillverkning som bygger på biprodukter från produktionen av fossila drivmedel måste hitta nya och icke-fossila råvaror (Palm, 2015). De fossila råvarorna kan antingen ersättas av bioråvara eller syntetiska kolväten producerade via elektrolys av vatten med efterföljande syntes tillsammans med koldioxid, även kallade elbaserade kolväten (se vidare 5.2.4). En drivkraft utöver transportsektorns omställning som kan få betydelse för kemiindustrins råvaruanvändning är en ökad efterfrågan på kemikalier och plaster av förnybart ursprung.

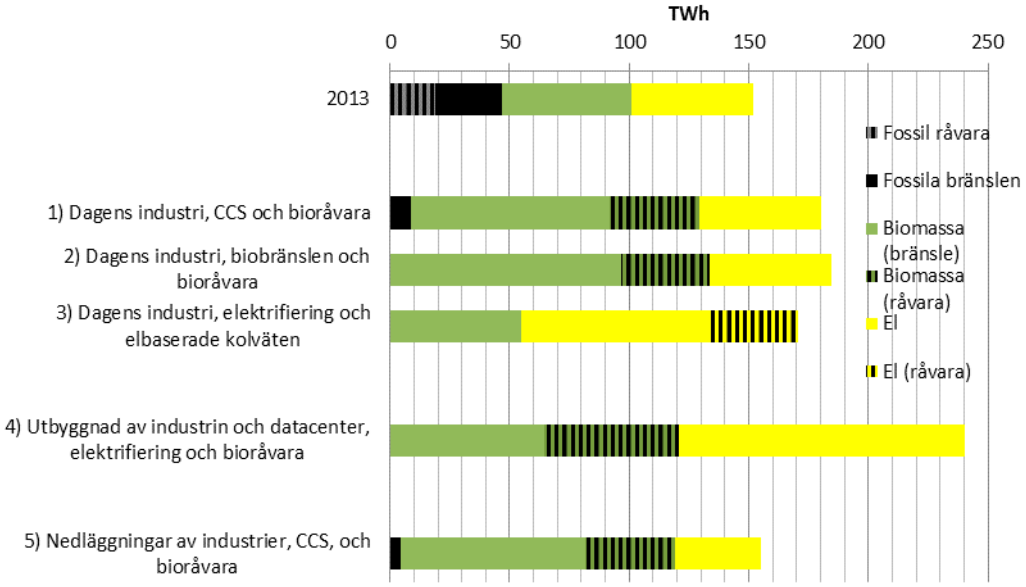
4.3 Scenarier för industrins framtida energianvändning

För att belysa hur industrins energianvändning skulle kunna se ut kring 2050 har vi utformat fem scenarier som involverar förändringar med avseende på två variabler:

1. Val av energibärare och råvaror och
2. Basmaterialindustrins produktionsvolymer och energibehov i nya energiintensiva verksamheter.

Scenarierna omfattar hela industrin och alla fem scenarier innebär att industrin har reducerat sina utsläpp av växthusgaser till nära noll[5]. Scenario 1-3 utgår från dagens industriproduktion, eller snarare industrins nuvarande energibehov, men involverar byte av energibärare och råvaror. Scenario 4-5 utgår från både förändrad industriproduktion (utbyggnad respektive nedläggningar) och byten av energibärare och råvaror. Vi har begränsat oss till fem scenarier. Det hade givetvis varit möjligt att göra betydligt fler scenarier där olika varianter av utbyggnad respektive nedläggning kombineras med olika byten av energibärare och råvaror.

Hur industriproduktionen utvecklas på längre sikt är mycket svårt att veta. Antagandena om industribranschers utbyggnad och nedläggning i scenarierna 4 och 5 är i hög grad spekulativa. Utbyggnadsscenariot inkluderar antaganden kring etablering av datacenter, en utveckling som lika gärna kan kombineras med nedläggningar inom basmaterialindustrin. Scenarierna beskriver ytterligheter i det avseendet att användningen av olika tekniker för industrins klimatomställning har renodlats för att tydliggöra potentiella konsekvenser av olika teknikval. Scenarierna är således inte nödvändigtvis troliga utan syftar snarare till att spänna upp möjligheterna.



Figur 5 Industrins användning av olika energibärare (exklusive fjärrvärme) och av fossila råvaror för produktion av kemikalier år 2013 (Energimyndigheten, 2015b; Eurostat, 2015) samt fem scenarier som visar hur industrins användning av energibärare och råvaror kan se ut kring 2050. Figurens siffror presenteras i appendix.

[5] Med till nära noll avses att industrin har reducerat sina växthusgasutsläpp med minst 80 %. I scenarierna 2-4 som utgår från en utfasning av fossila bränslen återstår processutsläppen från cement- och kalkindustrin (ca 1,9 Mton CO_2-ekv 2013). Nollutsläpp kan således endast nås genom minskad eller utfasad av användning av fossila bränslen i kombination med CCS.

Avsnitten nedan beskriver var och ett av de fem scenarierna med avseende på antaganden, dess konsekvenser på energisystemet och avgörande frågeställningar för huruvida scenarierna kan realiseras eller inte. Det är viktigt att ha i åtanke att det långa tidsperspektivet i scenarierna (2050) innebär att större delen av dagens energisystem kommer att vara utbytt genom successiv ersättning av anläggningar m.m. Scenarierna baseras på ett antal grova antaganden. Scenariernas konsekvenser på energisystemet är sammanställda i Figur 5.

4.3.1 Scenario 1: Dagens industri, CCS, biobränslen och bioråvara

Detta scenario (1) karaktäriseras av att CCS tillämpas vid ett antal industrianläggningar och att kol och koks fortsatt används inom järn- och stålindustrin. Användningen av kol inom övriga branscher, liksom användningen av olja och naturgas, har däremot ersatts av biobränslen. Vidare har användningen av fossil råvara ersatts av bioråvara. Industrins energianvändning och struktur motsvarar i övrigt dagens situation. Scenarioberäkningarna utgår från det enkla antagandet att det krävs 1,5 MWh biomassa för att ersätta 1 MWh fossila bränslen, då bränslebytena i hög grad fordrar förädlade biobränslen, och att det krävs 2 MWh biomassa för att ersätta 1 MWh fossil råvara för produktion av kemikalier (se 5.2.1).

Scenariot innebär att industrins användning av biomassa har ökat med 65 TWh jämfört med idag varav 28 TWh används som bränsle och 37 TWh används som bioråvara. Industrins användning av biobränslen och bioråvara för produktion av kemikalier uppgår således till 120 TWh. Användningen av fossila bränslen utgörs av järn- och stålindustrins användning av kol och koks motsvarande 9 TWh.

Den avgörande frågan kopplat till detta scenario är huruvida det kommer ske investeringar i CCS-teknik och i infrastruktur för transport och lagring av koldioxid.

4.3.2 Scenario 2: Dagens industri, biobränslen och bioråvara

Detta scenario (2) karaktäriseras av att industrins användning av fossila bränslen och råvaror har ersatts av biobränslen och bioråvara. Industrins energianvändning och struktur motsvarar i övrigt dagens situation. Scenarioberäkningarna utgår från att det krävs 1,5 MWh biomassa för att ersätta 1 MWh fossila bränslen, då bränslebytena i hög grad fordrar förädlade biobränslen, och att det krävs 2 MWh biomassa för att ersätta 1 MWh fossil råvara för produktion av kemikalier.

Scenariot innebär att industrins användning av biomassa har ökat med 79 TWh jämfört med idag varav 42 TWh används som bränsle och 37 TWh används som bioråvara. Industrins användning av biobränslen och bioråvara för produktion av kemikalier uppgår således till 134 TWh.

En avgörande fråga kopplat till detta scenario är huruvida biobränslen kan bli en konkurrenskraftig energibärare i industrin, inte minst i järn- och stålindustrin som fordrar biokoks, framför allt om konkurrensen om biomassa ökar. En annan avgörande fråga är huruvida industrins stora anspråk på biomassa kan tillgodoses på ett hållbart sätt.

4.3.3 Scenario 3: Dagens industri, elektrifiering och elbaserade kolväten

Detta scenario (3) karaktäriseras av att industrins användning av fossila bränslen har ersatts av el och att användningen av fossila råvaror för produktion av kemikalier har ersatts av elbaserade kolväten som produceras från el, vatten och koldioxid. Industrins energianvändning och struktur motsvarar i övrigt dagens situation. Scenarioberäkningarna utgår från att användning av fossila bränslen har ersatts av en lika stor mängd elenergi och att användningen av fossila råvaror för produktion av kemikalier har ersatts av dubbelt så stor mängd el.

Scenariot innebär att industrins elanvändning har ökat med 65 TWh jämfört med idag, varav 28 TWh utnyttjas som energibärare och 37 TWh används för produktion av kemikalier. Industrins elanvändning uppgår således till 116 TWh. Om elektrifieringen av industrin i stället sker indirekt genom användning av vätgas producerad från el med en verkningsgrad på 60 procent innebär det att industrins elanvändning ökar med 84 TWh jämfört med idag, varav 47 TWh används som energibärare.

Den avgörande frågan kopplat till detta scenario är huruvida olika tekniker för elektrifiering av industriprocesser kommersialiseras och hinner nå bred spridning fram till 2050. Detsamma gäller teknikerna för koldioxidinfångning vilka krävs för att producera elbaserade kolväten med koldioxid som råvara. Scenariot innebär vidare en kraftigt ökad elanvändning jämfört med idag och förutsätter således utbyggnad av utsläppsfri elproduktion.

4.3.4 Scenario 4: Utbyggnad av industrin och datacenter samt elektrifiering och bioråvara

Scenario 4 karaktäriseras av att den svenska produktionen av basmaterial är betydligt högre jämfört med idag och det finns ett stort antal serverhallar i landet. Samtidigt har industrin fasat ut sin användning av fossila bränslen och råvaror genom elektrifiering av industriprocesser och användning av bioråvara för produktion av kemikalier. Scenariot utgår från att produktionsökningarna inom basmaterialindustrin har resulterat i att energianvändningen har fördubblats inom gruvindustrin och att energianvändningen har ökat med 50 procent inom järn- och stålindustrin och cement- och kalkindustrin samt med 20 procent inom massa- och pappersindustrin. Energi- och råvaruanvändningen inom kemiindustrin har ökat med 50 procent. Därutöver antas ett 30-tal datacenter ha etablerats i Sverige; tillsammans förbrukar de 15 TWh per år. Scenarioberäkningarna utgår vidare från att användning av fossila bränslen har ersatts av en lika stor mängd elenergi och att användningen av fossila råvaror för produktion av råvara har ersatts av dubbelt så stor mängd biomassa.

Scenariot innebär att elanvändningen har ökat med 69 TWh jämfört med idag och uppgår till 120 TWh, dvs en ökning med 135 procent. Användningen av biomassa har ökat med 66 TWh, varav 10 TWh används som biobränslen och 56 TWh används som bioråvara för produktion av kemikalier.

Två avgörande frågor kopplat till detta scenario är huruvida framtida investeringar inom basmaterialindustrin hamnar i Sverige eller utomlands och huruvida olika tekniker för elektrifiering av industriprocesser kommersialiseras och hinner nå bred spridning fram till 2050. En annan viktig knäckfråga är huruvida industrins stora anspråk på biomassa kan tillgodoses på ett hållbart sätt. Scenariot innebär vidare en kraftigt ökad elanvändning jämfört med idag och förutsätter således utbyggnad av långsiktigt hållbar och utsläppsfri elproduktion.

4.3.5 Scenario 5: Betydande nedläggning av industrier samt CCS och bioråvara

Scenario 5 karaktäriseras av att den svenska produktionen av basmaterial är betydligt lägre jämfört med i dag och av att ett antal produktionsanläggningar har installerat CCS. Industrin använder fortfarande kol och koks medan användningen av olja och naturgas har ersatts av biobränslen. Användningen av fossila råvaror för produktion av kemikalier har ersatts av bioråvara. Scenariot utgår från att massa- och pappersindustrins elanvändning har halverats på grund av betydande nedläggning av mekanisk massa- och pappersproduktion. Vidare baseras scenariot på att energianvändningen har halverats inom järn- och stålindustrin och cement- och kalkindustrin. Energianvändningen i övriga industribranscher antas vara oförändrad. Bortsett från massa- och pappersindustrin antas sammansättningen av energibärare vara oförändrad jämfört med idag.

Scenariot innebär att elanvändningen har minskat med 15 TWh och att användningen av biomassa har ökat med 59 TWh, varav 22 TWh utgörs av biobränsle och 37 TWh utgörs av bioråvara. Nedläggningen av massa- och pappersindustrin innebär vidare att stora mängder rundved och massaved har frigjorts. Den resterande användningen av fossila bränslen utgörs av järn- och stålindustrins användning av kol och koks motsvarande 4,5 TWh.

En avgörande fråga kopplad till detta scenario är huruvida nedläggningar inom basmaterialindustrin bör och kan förhindras genom aktiv industripolitik. En annan avgörande fråga är huruvida det kommer ske investeringar i CCS-teknik och i infrastruktur för transport och lagring av koldioxid, i synnerhet om det samtidigt sker omfattande nedläggningar inom basmaterialindustrin.

5 Hållbar produktion av basmaterial

5.1 Vad kännetecknar basmaterialindustrin?

Produktion och förädling av råvaror som järnmalm, mineraler och organiskt material (både fossilt och biogent) till basmaterial utgör den mest energi- och koldioxidintensiva delen av industrins värdekedjor. Här förädlas råvaror som kalksten till cement, kisel till glas och glasull, järnmalm till stål, bauxit till aluminium samt organiska material till plast, papper, och kemikalier[6]. Råvarorna kan utgöras av jungfruliga råvaror från gruvorna eller skogen eller återvunna material som stålskrot, återvunnet glas och returpapper. Råvarorna har sitt ursprung i Sverige och EU eller importeras.

Basmaterialen är essentiella i en modern ekonomi i den meningen att de kan substitueras endast i begränsad omfattning. Basmaterial är nödvändiga insatsvaror till andra sektorer, inte minst för en klimatomställning. Energisnåla byggnader, kollektivtrafiklösningar, batteribilar, och effektiva elmotorer behöver isoleringsmaterial, plast, cement, koppar och andra metaller. Även en framtida cirkulär och hållbar ekonomi omsätter stora mängder basmaterial, dock med skillnaden att utvinningen av jungfruliga råvaror minskar och ersätts av återvunna material inklusive koldioxid för produktion av organiska material.

Basmaterialindustrin karakteriseras av stora kapitalintensiva anläggningar som körs i kontinuerliga processer. Tiden mellan större återinvesteringar i grundprocesserna kan vara 20 till 40 år eller mer. Basmaterialindustrin har också processutsläpp som inte kommer från förbränning för energiändamål utan från kemiska processer. Det kan vara kalcinering av kalksten (kalciumkarbonat) till klinker, reduktion av järnoxid till järn, och förbrukning av kolanoder vid elektrolys av aluminiumoxid. För att minska dessa processutsläpp krävs industrispecifika lösningar som CCS, nya grundprocesser eller byte av råvara samt minskad efterfrågan genom substitution och materialeffektivisering. Vart och ett av dessa industrispecifika teknikskiften kan påverka energisystemen mycket och i olika riktning.

5.2 Tekniska åtgärder för effektivare resursanvändning och minskade utsläpp

Ökad konkurrens om råvaror och framväxande klimat- och hållbarhetskrav förväntas driva samhället mot mer återvinning och högre materialeffektivisering längs med hela produktionskedjan. Möjligheten att materialeffektivisera genom

[6] Inom EU tillverkas även ammoniak från naturgas, el och kväve för användning som gödsel. Ammoniak kan räknas som ett ”basmaterial” (eller i varje fall en mycket energiintensiv industri). I Sverige tillverkas inte ammoniak längre. Dock importeras ammoniak för vidare förädling hos Yara i Köping

minskat spill i industrin är betydande. Allwood och Cullen (2012) ger ett antal exempel på hur man skulle kunna minska materialanvändning längs hela värdekedjan från råvara till slutprodukt med minst 30 procent i genomsnitt.

Ökad materialåtervinning och produktion av basmaterial från järnskrot, aluminiumskrot, returpapper och returplast är också en viktig strategi för att minska energianvändningen som är lägre än vid utvinning och omvandling av jungfrulig råvara till basmaterial. Produktionen av basmaterial från återvunna material är dock fortsatt en relativt energiintensiv verksamhet men innebär ofta ett skifte av energibärare. För stål innebär exempelvis en övergång från järnmalm till skrot att energibäraren ändras från koks till el. Olika material går att återvinna olika bra. Aluminium återvinns redan till 65 till 90 procent och kan i princip återanvändas oändligt många gånger (International Aluminium Institute, 2015). I dag baseras mer än 50 procent av EU:s stålproduktion på skrot och även stål kan teoretiskt återvinnas oändligt många gånger. Kvalitén i stålskrotet sjunker dock på grund av inblandningen av diverse föroreningar vilka idag ekonomiskt och praktiskt begränsar användningsområdena för skrotbaserat stål.

Papper återvinns till mer än 70 procent inom EU idag (CEPI, 2015) medan plast återvinns till 26 procent (PlasticsEurope, 2015). Biomaterialens fiber blir ofta kortare och kortare för varje återvinning och tappar därmed i kvalitet. Likaså kan kvalitén på återvunnen plast snabbt sjunka. Till slut återstår endast förbränning och energiåtervinning som alternativ. Det finns också möjlighet att återvinna kolet genom ’carbon capture and utilization ’ (CCU) kopplat till avfallsförbränningen eller förgasning av avfallet för att producera syntesgas som sedan kan användas i processer för att bygga nya kolväten. Betong återanvänds idag mest som utfyllnadsmaterial. När betong krossas till fyllnadsmassa återgår dock en del av klinkern till kalksten genom att materialet binder koldioxid, så kallad karbonatisering.

Energieffektivisering i befintliga processer är en del av det dagliga arbetet i industrin som pågår av företagsekonomiska skäl och som ibland stimuleras av styrmedel (t.ex. PFE programmet eller liknande). Potentialen för energieffektivisering bedöms i industrin som helhet ligga på 10 till 25 procent jämfört med dagens nivå baserat på upptag av bästa tillgängliga teknik (IPCC, 2014). Introduktion av ny teknik i kombination med stigande energipriser kan öka den ekonomiskt genomförbara effektiviseringspotentialen ytterligare men vissa processer börjar komma nära den teoretiska gränsen. Industriell symbios, dvs. samlokalisering av flera industrier eller verksamheter kan öka utnyttjandet av spillvärme och biprodukter och därmed öka den totala effektiviteten. Samlokalisering finns i Stenungsunds petrokemikluster och i Helsingborg kring Kemiras svavelsyrafabrik (Industry Park of Sweden).

Även med materialeffektivisering och ökad återvinning så utgår vi ifrån att basmaterial från jungfruliga råvaror fortsätter att användas och förädlas i stor omfattning fram till 2050. Energieffektivisering kommer inte att räcka till för att klara klimatutmaningarna utan nya grundprocesser måste utvecklas. Detta kräver dock forskning, utveckling, demonstration och införande av processer baserade på ny teknik. I vissa fall går det att nå stora utsläppsreduktioner (dock ej nollutsläpp)

med större anpassningar av grundprocessen medan andra fall kräver helt nya grundprocesser. De tekniska lösningarna kan delas upp i följande kategorier:

1 Användning av biobaserade bränslen och råvaror som ersättning för fossila bränslen och råvaror.
2 Installation av CCS för att minska processutsläpp samt för utsläpp från förbränning (inklusive biogena utsläpp).
3 Elektrifiering av hela processen, direkt eller via vätgas.
4 Användning av syntetiska kolväten producerade från el, vatten och koldioxid som ersättning för fossila bränslen och råvaror.

5.2.1 Biobaserade bränslen och råvaror

Biomassa kan användas inom industrin för att ersätta både fossila bränslen och fossila råvaror. Biobränslen är redan idag ett betydande energislag inom industrin. Industrins användning av biobränslen uppgick 2013 till 55 TWh, varav 49 TWh användes inom massa- och pappersindustrin (Energimyndigheten, 2015a). I framtiden skulle biobränslen i ökande grad kunna ersätta kol, gas och olja för värmebehov. I flera fall måste dock biomassan processas för att nå tillräcklig kvalitet (framför allt med avseende på värmevärde och renhet) för att fungera i processen. Utveckling sker idag för att använda processad bioenergi i cement- och mesaugnar. Principiellt skulle man även kunna ersätta koks med träkol i ståltillverkning (träkol används vid en del anläggningar i Brasilien) men utmaningarna är stora avseende både processteknik, kvalitetskrav och framförallt framtida ekonomi. Vid planerade bränsleskiften bort från olja och kol inom industrin är biobränslen och naturgas de viktigaste alternativen idag. I scenario 2 ökar användningen av biobränslen med 42 TWh för att ersätta fossila bränslen. Biomassa kan även användas för att ersätta fossila råvaror för produktion av kemikalier. En sådan utveckling är starkt sammankopplad med utvecklingen av bioraffinaderier där biomassa förädlas till drivmedel, kemikalier, el, värme m.m. Tekniska plattformar för detta är termisk förgasning och industriell bioteknik för att bryta ner cellulosa via enzymatisk hydrolys. Kemiindustrins användning av fossila råvaror domineras idag av den petrokemiska industrin i Stenungsund. Att ersätta fossil råvara med biomassa kräver investeringar i nya anläggningar för förädling av biomassa till bioråvara och för omvandling av bioråvara till kemikalier och andra energibärare. Fördelen med att förlägga bioraffinaderier vid befintliga raffinaderier och petrokemiska industrier är möjligheten att utnyttja existerande infrastruktur och kringsystem. Förluster från petroleum till nafta är ca 5-10 procent medan förluster från biomassa (ved) till syntesgas i framtida processer bedöms bli högre än så. Vårt enkla antagande i Scenario 4 är att 19 TWh fossil råvara i petrokemin ersätts med 37 TWh biomassa (ved). Denna industri kan då komma att konkurrera med dagens användning av massaved.

Sverige har stora skogsresurser och en ambition att utvecklas mot en bioekonomi. Det årliga uttaget av skogsråvara för energi- och materialändamål motsvarar idag cirka 200 TWh (Börjesson m.fl., 2013). Biomassa är inte desto mindre en

begränsad resurs om vilken konkurrensen förväntas öka i framtiden. Detta kan leda till ökade priser på biomassa liksom försvåra möjligheterna att nå t.ex. målen om levande skogar och ett rikt växt- och djurliv. Framtida biodrivmedelsfabriker kan bli stora om vi ska uppfylla visionerna i utredningen om fossilfri fordonsflotta på ca 16 till 19 TWh svenskproducerade biodrivmedel till 2030 (SOU 2013:84). Denna bränslemängd skulle kräva cirka 32 till 41 TWh biomassa. Ambitionerna i FFF-utredningen byggde på studier som uppskattade den totala potentialen för bioenergi inom Sverige till mellan 80 till 96 TWh *utöver* de cirka 100 TWh som redan produceras (Börjesson m.fl. 2013)[7].

5.2.2 CCS

Industriell CCS är en teknik som skulle kunna eliminera stora delar av utsläppen och möjliggöra fortsatt användning av fossil energi. Framförallt erbjuder CCS en möjlighet att fånga in processutsläppen från cement-, aluminium- och stålproduktionen. CCS skulle även kunna tillämpas vid massa- och pappersbruken och på framtida bioraffinaderier för att fånga in biogena utsläpp och på så vis ge negativa utsläpp, så kallad Bio-CCS eller BECCS.

Utvecklingen av CCS drivs nästan uteslutande av klimatpolitik och har inga andra egentliga fördelar utöver klimatnyttan. Tekniken används idag bl.a. för att öka oljeutvinningen genom injektion av koldioxid i oljekällor. Infångad koldioxid kan också användas som råvara, bland annat i en framtida tillverkning av syntetiska kolväten (se kapitel 5.2.4).

Att använda CCS i industriella tillämpningar är betydligt mer komplicerat än att använda CCS för elkraftproduktion där man har en väldefinierad och homogen utsläppskälla. Vid en större processindustri finns det flera olika källor med varierande koncentration av koldioxid i avgasströmmarna och det är ofta brist på plats för ny utrustning. Introduktion av CCS i processindustrier kräver stora investeringar och ombyggnader av grundprocesser för att få plats med och integrera infångningsteknik i processen (UNIDO 2011).

CCS utvecklas idag för cementindustrin, bl.a i ett demonstrationsprojekt i Norge. För stål är den idag mest mogna CCS-lösningen Top Gas Recycling Basic Furnace (TGR-BF). Den innebär att masugnen är kvar men att man bygger om den och designar om omkringliggande system. TGR-BF har demonstrerats framgångsrikt i Luleå. Nya industrier för tillverkning av biodrivmedel kan möjliggöra CCS till en relativt låg kostnad då ett överskott av koldioxid frigörs i processen. De infångade utsläppen blir biogena och räknas som negativa utsläpp.

Vi antar att CCS tillämpas i Scenario 1 och 5 men detta påverkar inte energibalanserna utan ser endast till att scenarierna uppfyller kravet på mycket låga utsläpp. CCS påverkar energisystemet ganska lite eftersom det möjliggör att nuvarande

[7] Det finns ännu större potential om man räknar med skogens ökning i tillväxt (m.h.a. traditionell växtförädling m.m.) Om man räknar med detta ökar potentialen till 177 till 195 TWh extra jämfört med idag. Denna potential är dock mycket ifrågasatt

energistrukturer bevaras. Dock ökar CCS behovet av värme och elektricitet i processen. Värmen behövs för att regenerera aminvätskan och elektricitet behövs för att trycksätta ren koldioxid för transport. Som exempel kan nämnas att det skulle kräva 6 till 7 TWh värme och 0,25 till 0,3 TWh el för att fånga 2,4 Mton koldioxid från dagens cementindustri (baserat på MottMcDonald, 2011). Mycket av värmen för industriell CCS kan dock tas från överskottsvärme i processen och behöver därför inte nödvändigtvis öka energianvändningen. Förutsättningarna för installation av CCS är mycket platsspecifika och kunskapen kring detta outvecklad. Vi har i scenarierna inte räknat med ett ökat värmebehov och inte heller den lilla ökningen i elbehov har räknats med.

5.2.3 Elektrifiering

El är en flexibel och mångsidig energibärare som kan produceras utan utsläpp. El kan användas för industriell tillverkning direkt men även indirekt genom att elen omvandlas till vätgas och andra elektrobränslen genom elektrolys vilket ger bättre lagringsmöjligheter. Tekniskt är det möjligt att i framtiden ersätta dagens användning av kol, koks, och olja med el för både stål och cementsektorn, liksom att ersätta naturgasen för en stor del av den övriga tillverkningsindustrin. Detta genom att utveckla och använda elektrotermiska eller elektrolytiska processer för industriell värme och processer. Det innebär teoretiskt att man tar bort allt kol från processen och således inte behöver vare sig biomassa eller CCS för att nå låga utsläpp.

Klimatnyttan med elektrifiering kräver att elproduktionen samtidigt utvecklas mot mycket låga utsläpp av växthusgaser. Detta är en möjlig utveckling enligt både EU-kommissionens och i Naturvårdsverkets färdplaner. Gruvindustrin satsar idag på elektrifiering av arbetsmiljöskäl där det är ekonomiskt möjligt. Elektrotermiska processer används idag i flera industrigrenar med höga krav på kontroll och kvalitet på värmningsprocessen (bl.a. inom livsmedel, för torkning, eller värmebehandling i verkstadsindustrin). El används redan för att värma glasvannor. Plasmateknik kan ge mycket höga temperaturer och electrowinning (en elektrolytisk process) är en möjlig framtida process för stålindustrin. Industriell värme vid lägre temperaturer kan tillföras med ökad användning av värmepumpar som effektivt tar hand om låg-värmeströmmar. Olika elektrotermiska processer har en stor mängd möjliga användningsområden (se t.ex. EPRI 2009).

I Scenario 3 och 4 har vi antagit att industrins energianvändning elektrifieras, dvs. att ståltillverkning övergår till elektrowinning, gruvor elektrifieras helt, och förbränning i cementugnar ersätts med plasmateknik. Dagens ca 9 TWh koks för reduktion av järnmalm kan ersättas med ungefär samma mängd el (Åhman m.fl, 2012). I Scenarierna 3 och 4 ökar elanvändningen inom industrin från 51 TWh till 79-120 TWh. Detta är sannolikt en överskattning då energieffektiviseringar inte räknats med. I flera fall kan man effektivisera värmebehovet om man använder elektrotermiska processer. Elektrifiering i denna skala bygger på att förnybar el blir den primära energikällan och att relativpriserna mellan kolväten och primärel ändras (dvs. att förnybar el blir billigare än kolväten, se mer i kapitel 7)

5.2.4 Elbaserade kolväten

Elektrifiering kan även bli aktuellt för att ersätta råvaran för den petrokemiska industrin i framtiden, exempelvis för produktion av eten och propen som används för tillverkning av plast. Att tillverka vad man kan kalla elektroplast är ett alternativ till att skifta från fossil till biobaserad råvara i scenarier där bioråvaran inte räcker till. Grunden för detta är konceptet power-to-gas där man tillverkar metan från el, vatten och koldioxid. Från el tillverkar man vätgas som sedan processas med koldioxid till metan i en s.k. Sabatierprocess. Därifrån finns flera möjliga processer under utveckling för att tillverka eten och propen (Palm, 2015)

Att tillverka 1 ton eten (motsvarande ca 13-14 MWh) skulle kräva cirka 25 MWh el i en framtida optimerad helt elbaserad process och cirka 3 ton infångad koldioxid (Palm m.fl., 2015). Dagens volym av eten och propenproduktion från el, koldioxid och vatten skulle kräva ca 20-25 TWh el och cirka 3 Mton koldioxid. Kravet på teknikutveckling är dock stort och med dagens teknik och prestanda på elektrolysörer skulle det gå åt ca 35 MWh el per ton eten.

Elektrifiering av kolväteproduktion kan också ske via integration av biobaserade processer med elektrolys och vätgas. Förgasning av biomassa, rötning för biogas och fermentering till etanol ger ett överskott av koldioxid. Dessa processer kan kompletteras med vätgas för att öka utbytet och utnyttja mer av kolet i biomassan. Detta är aktuella forskningsfrågor i framförallt Danmark där man går mot en situation med tidvis överskott på el från vindkraft som man gärna vill utnyttja bättre (GreenSynFuels, 2011). Integrationen mellan biobaserad och elbaserad produktion kommer sannolikt att bli viktig men i Scenario 3 har vi gjort det enkla antagandet att *all* petrokemisk råvara (ca 19 TWh) ersätts med 37 TWh el.

6 Hållbar produktion och klimatsmarta produkter i övrig industri

Uppströms utvinning av naturresurser och primär produktion av basmaterial är ofta energiintensiv med höga energirelaterade utsläpp men med lågt förädlingsvärde. Nedströms tillverkning har ofta högt förädlingsvärde men låga utsläpp och låg energianvändning. Vi gör i denna rapport ingen strikt definition eller uppdelning av energiintensiv industri och övrig industri. Med övrig industri menar vi de delar av industrin som ligger nedströms i värdekedjan och som oftast innehåller mindre energikrävande process- och tillverkningssteg. Här finns bland annat icke-energiintensiv verkstads- och elektronikindustri, men även livsmedelsindustri som kan klassas som energiintensiv.

I scenarierna analyserades konsekvenserna för energibalansen av förändringar i produktionen i den energiintensiva basmaterialindustrin och i val av energibärare. För den övriga industrin antogs förändringar i val av energibärare men inga förändringar i produktionen, med undantag för utbyggnad av datacenter. Den övriga industrin påverkar också energibalansen men i mycket mindre omfattning än vad förändringar i basmaterialindustrin kan påverka. Exempelvis förbrukade verkstads- och livsmedelsindustrin bara 1 TWh respektive 1,9 TWh fossila bränslen under 2013. Elanvändningen var 5,4 TWh respektive 2,4 TWh (Energimyndigheten, 2015a). Att ersätta dessa fossila bränslen med el eller biobränslen ger inga stora förändringar i Sveriges energibalans. Elektrotermiska processer för bland annat värmning, torkning eller UV-behandling kan leda till ökad elanvändning men i begränsad omfattning. Förändringar i produktionen ger inte heller några avgörande förändringar i energibalansen.

Informations och kommunikationsteknik (IKT) och särskilt utvecklingen av molntjänster kan få stor påverkan på elanvändningen, inte minst i Sverige och Norden. Vårt relativt starka elsystem, politisk stabilitet och ett fördelaktigt klimat gör det attraktivt att lokalisera stora serverhallar och datacenter hit. Exempelvis kommer enbart Facebooks tre serverhallar i Luleå i full drift förbruka ca 1 TWh per år.[8] Apples planerade datacenter i Viborg, Danmark är av liknande storlek. Enligt en beräkning kan molntjänster år 2040 globalt komma att förbruka 5 000 till 10 000 TWh per år (Oscarsson, 2014). Om en tusendel av detta placeras i Sverige som har en tusendel av världens befolkning motsvarar det 5-10 TWh/år. Med hänsyn tagen till att vi använder molntjänster mer än världsgenomsnittet och att Sverige ses om en bra plats för lokalisering kan elanvändningen bli tiotals TWh högre än de 15 TWh per år som vi antog i scenariot med utbyggnad av 30 stora datacenter.

[8] Svenska Dagbladet, 12 juni 2013, ”Så mycket el drar Facebook i Luleå”.

Utvecklingen av datacenter är alltså en stor osäkerhetsfaktor för den framtida elanvändningen. Men för resten av den övriga industrin innebär en utveckling i samklang med ett hållbart samhälle och ett hållbart energisystem inte några stora utmaningar när det gäller att minska företagens egna utsläpp av växthusgaser. Däremot handlar det om en anpassning till en mer resurseffektiv och cirkulär ekonomi, och att ta vara på de möjligheter som det innebär med en omställning till ökad hållbarhet i olika sektorer genom exempelvis material- och energi-effektivisering.

Ibland försöker man definiera företag som verksamma inom miljöteknik eller cleantech men i verkligheten är gränsdragningarna svåra och ökad hållbarhet skapar nya möjligheter inom alla branscher. Det finns framgångsrika och ren-odlade miljöteknikföretag som OPSIS med sin absorptionsspektroskopi för miljömätningar. Det finns företag som Purac och Malmberg Water (se Box 2) som utvecklat teknik för biogas och biogasuppgradering, d v s tydliga energi- och miljötekniska lösningar. Det finns också etablerade företag som SKF (kullager), Alfa Laval (värmväxlare), Volvo (bussar) och ABB (kraftelektronik) som normalt inte betraktas som miljöteknikföretag men som har tekniklösningar för vindkraft, processindustri, elhybridfordon och elnät. Högt tekniskt kunnande på ett område kan också hitta helt nya marknader och tillämpningar inom miljöteknik. Sandviks teknik för att ytbehandla stålband för tillverkning av plattor till bränsleceller är ett exempel med stor marknadspotential[9].

Box 2. Anläggningar för uppgradering av biogas

Malmberg Water svarade 1997 på en upphandling från Kristianstads kommun och utvecklade en anläggning för uppgradering av biogas. Under cirka 10 år levererades endast någon enstaka anläggning per år, främst i Sverige, och satsningen var knappast lönsam för företaget. Runt 2007 kommer dock marknaden igång för uppgraderingsanläggningar i Tyskland och man har under senare år levererat drygt 40 anläggningar dit. Dessutom har man byggt anläggningar i bland annat England, Österrike och Danmark och marknads-potentialen är stor. I slutet av 2013 fanns det enligt European Biogas Association cirka 14 500 biogasanläggningar i Europa. Bara 282 stycken, under 2 %, var utrustade med uppgradering. Exemplet visar hur en tidig innovationsupphandling, i detta fall genom en kommun, kan skapa möjligheter till industriell utveckling.

Alla delar av övrig industri är alltså viktiga för, eller berörs av, utvecklingen mot ett hållbart samhälle och energisystem. Det handlar dels om att förbättra de egna produktionsprocesserna och dels om att leverera lösningar genom nya produkter och tjänster. Det är till stor del industrin som genom ny teknik står för hållbara lösningar inom områden som energiförsörjning, vatten, transporter, bebyggelse, smarta städer och elnät, avfall, och återvinning. Genom att vara ledande inom

[9] DN, 2015-02-28, Plattan ska tända vätgasdrivna bilar

exempelvis bioteknik, material, produktion, automation, och processer i bred bemärkelse kan Sverige också vara ledande på tillämpningar inom energi- och miljöområdet. De tidiga satsningarna på IT i skolan och på utbyggnaden av infrastruktur för bredband har sannolikt varit viktigt för utvecklingen av olika svenska internetföretag.

Nya produktionsmetoder kan få betydelse för hur och var produktion sker i framtiden. På senare år har det förts fram förväntningar om att 3D-skrivare kommer att medföra stora förändringar inom produktionen. Det är dock svårt att se hur det skulle kunna leda till några stora eller grundläggande förändringar i material och energibehov.

I en komplex och dynamisk ekonomi med ständig utveckling av teknik och institutioner (exempelvis regelverk och styrmedel) är det svårt att förutsäga hur produkter, tjänster, affärslösningar, och branscher (inklusive branschglidning) kan komma att utvecklas. Likaså är det svårt att veta hur ekonomin i Sverige och omvärlden (och beroendet av omvärlden) som helhet kommer att utvecklas. Sveriges industriella utveckling och industrins framtida energianvändning är beroende av många osäkra faktorer men fortsatt utveckling av lösningar inom energi, miljö och resurseffektivitet framstår som klokt både ur miljömässig och ekonomisk synpunkt.

7 Industrins roll på den framtida energimarknaden

Industrin och energisystemet i Sverige har i hög grad utvecklats i samspel sedan slutet av 1800-talet (Kaijser och Kander, 2013) och utvecklingen framöver kommer med all säkerhet att fortsatt ske med tydlig interaktion mellan systemen. Under större delen av 1900-talet präglades energipolitiken av en ambition att förse industri (och samhälle) med tillförlitlig energi till ett rimligt pris. Inte minst utbyggnaden av elsystemet präglades av en sådan ambition (Högselius och Kaijser, 2007). Elsystemet byggdes upp som ett centralt, storskaligt system med karaktären av ett naturligt monopol och reglerades därefter med bl.a. stort statligt ägande och en reglerad prissättning efter kostnadstäckningsmodell.

När elmarknaden avreglerades 1996 innebar detta att förhållandet mellan industrikunder och elbolagen ändrades radikalt. I den nya ordningen skulle elbolagen vara vinstdrivande och ”samhällsansvaret” i form av tillförlitlig el till rimliga priser fördes i stället över på reglerande myndigheter. Vid sidan av staten och kommuner ägde industrin själva en del av den svenska kraftproduktionen under större delen av 1900-talet. Framför allt massa- och pappersindustrin hade stora tillgångar av vattenkraft som utvecklades samtidigt som bruken. Den elintensiva industrin är i dag en betydligt mindre ägare av kraftproduktion då mycket av deras kraftproduktion avyttrades på 1980- och 1990-talen. Industrins intresse för och investeringar i elproduktion har emellertid ökat på senare år (se längre ner).

I dagsläget står vi inför en förändrad el- och energimarknad som delvis är ett resultat av den teknikutveckling som påbörjades efter den första oljekrisen på 1970-talet. Även den centrala modellen för elförsörjning började förändras i samband med oljekriserna på 1970-talet då staten uppmuntrade mer decentraliserad elproduktion (t.ex. kraftvärmeproduktion i industrin och fjärrvärmesystemen), en utveckling som har accelererat under de senaste tio åren med introduktionen av vindkraft och ökad kraftvärmeproduktion. Utvecklingen mot mer variabel och decentraliserad elproduktion är ett resultat av både teknikutveckling och ekonomiska incitament i form av bl.a. investeringsstöd och elcertifikatsystemet.

En ökad andel variabel el kräver fler möjligheter att reglera både produktion och konsumtion av el för att hålla systemet i balans. Idag regleras detta genom att produktionen anpassas efter konsumtionen framför allt i de nordiska vattenkraftverken och i termiska kraftverk i övriga Europa. Klimatomställningen i Europa kommer förmodligen att leda till att den termiska kraftproduktionen successivt minskar. En sådan utveckling leder till ett ökat behov av flexibel elanvändning och säsongslager (veckor, månader) av el. Sverige har idag ett starkt elnät med god överföringsförmåga och en stark kraftbalans vilket gör att problemen med ökat behov av balanseffekt inte är akut som i andra EU länder (Tyskland och Storbritannien av olika skäl). Sverige lär dock svara för en större

del av balansansvaret i Europa i och med EU:s 3:e marknadspaket med fokus på ökad integration, dvs. den ”nordiska reserven” som finns i form av Nordens stora vattenmagasin kommer att till större del delas med övriga Europa i framtiden.

Förändringen på elmarknaden skulle kunna innebära att industrin utvecklas mot att mer aktivt delta i elmarknaden bl.a. som elproducenter och genom flexibel elanvändning, s.k. efterfrågerespons. Huruvida utvecklingen går i den riktningen beror på hur elmarknaden utvecklas med avseende på regleringar, ekonomiska styrmedel, elpriserna och dess variationer, kapacitetsmarknader, kostnader för elinfrastruktur m.m. Det står emellertid klart att industrins intresse för att själva producera el har ökat under de senaste tio åren (Ericsson m.fl., 2011). Förutsättningarna att utveckla förnybar elproduktion är särskilt goda inom massa- och pappersindustrin som har ökat produktionen av biobränslebaserad mottryckskraft och investerat i vindkraft på egen skogsmark. Ett exempel på det senare är SCA:s satsningar på vindkraftsparker tillsammans med Statkraft. För industrin, liksom energisektorn, har elcertifikatsystemet varit en viktig drivkraft för utvecklingen av förnybar elproduktion.

I framtiden skulle industrin kunna delta mer aktivt inom efterfrågerespons. Idag upphandlas ca 600 till 1000 MW effektreduktion från industrin av Svenska kraftnät till Sveriges strategiska reserv. Det finns en betydande potential att minska effektbehovet vid behov inom industrin idag men de flesta effektreduktioner kommer av en minskning av industriproduktionen som inte går att ”hämta igen” senare och därför är olönsam med dagens effekt och elpriser (Paulus och Borggrefe, 2011). Hur marknaden för efterfrågerespons kan komma att se ut på framtidens elmarknad diskuteras flitigt inom hela EU idag. Marknaden kan utvecklas i flera olika riktningar då många olika tekniska alternativ är under utveckling (batterier, efterfrågerespons i hushåll, lastföljning i kraftverk, ökad geografisk integration via ledningar, integration med fjärrvärme/gas m.m.) vars faktiska kostnader och fördelar är osäkra. Hur EU och dess medlemstater väljer att reglera el och balansansvar samt övriga energimarknader (t.ex. värme/gas) påverkar både lönsamhet och utveckling de närmaste 10 till 20 åren. Storbritannien har t.ex. introducerat en kapacitetsmarknad[10] som komplement till den vanliga elmarknaden medan Tyskland istället lutar åt att förbättra elmarknadens funktionsätt för att lösa balanseffektbehovet på elmarknaden (German Government, 2015). Oavsett vilken reglering/marknadslösning som långsiktigt väljs inom EU och dess medlemsländer så kan man förvänta sig att efterfrågerespons från industrin får en ökad roll.

Användningen av IKT kan leda till energibesparingar för samhället, men många och ständigt uppkopplade apparater som ständigt kommunicerar med varandra innebär också en ökad elanvändning och ett behov av centrala serverhallar för att hantera kommunikation och beräkningar. Serverhallar förbrukar stora mängder el, men ett flertal serverhallar levererar även spillvärme till lokala fjärrvärmenät. I framtiden skulle serverhallar även kunna delta aktivt på elmarknaden genom

[10] https://www.gov.uk/government/news/the-first-ever-capacity-market-auction-official-results-have-been-released-today

efterfrågerespons. Detta kan ske genom att styra belastningen (lagring av data och exekveringar) mellan olika serverhallar spridda geografiskt utifrån variationer i elpriset (Qureshi m.fl., 2014). Serverhallar har dessutom i allmänhet 100 procent back-up i form av egen reservkraft och ellagringsutrustning (UPS, batterier m.m) på grund av stora krav på stabilitet i leveranserna. Dessa back-up system skulle i framtiden kunna utvecklas för att kunna användas på en mer kundnära elmarknad där förmågan att utföra ”systemtjänster” i form av balansansvar skulle löna sig.

Utöver kraftsystemet, finns andra områden där industrin och energisystemet har utvecklats i samverkan. Ett exempel är utvecklingen av den svenska biobränslemarknaden som skogsindustrin hög grad varit delaktig i. Skogsindustrierna, eller dotterbolag till dessa, är betydande leverantörer av biobränslen till fjärrvärmesektorn och andra användare. Ytterligare ett exempel är spillvärmesamarbeten mellan industrier och lokala fjärrvärmebolag. Det första spillvärmesamarbetet i Sverige inleddes 1974 i Helsingborg och idag levererar 60-70 företag spillvärme till fjärrvärmesystemen (Cronholm m.fl., 2009). På några orter och mindre städer är spillvärmen den dominerande energikällan i fjärrvärmesystemet. Leveranserna av spillvärme till fjärrvärmesystemen uppgår till omkring 5 TWh per år, vilket motsvarar 7 procent av fjärrvärmeleveranserna. Utöver spillvärme finns stålverk som levererar hyttgaser (masugnsgas, LD-gas och koksugnsgas) till lokala energibolag för produktion av el och fjärrvärme. Framtida byten av energibärare och introduktion av ny teknik i basmaterialindustrin kommer att förändra dessa energileveranser. Exempelvis innebär en elektrifiering av stålproduktionen att hyttgaserna försvinner och en introduktion av CCS att mängden spillvärme troligen påverkas.

Som följd av teknikutveckling och ökad konkurrens om energiråvaror pågår en trend av ökad integration mellan el och övriga energibärare, mellan olika industrier (industriell symbios) och mellan industrier och övriga samhället. Om industrin till exempel går över till energibärare som vätgas och metan kan dessa i vissa fall agera som energilager och därmed tillåta stora industrier att mer aktivt delta på både el- och balansmarknaderna och på de övriga energimarknaderna. I långsiktiga scenarier i Danmark ser man bl.a. lagring av variabel el i gasinfrastrukturen som en lösning.

8 Ekonomiska och politiska frågor kring den cirkulära ekonomin

Det finns en rad begrepp som på olika sätt försöker fånga den ekonomiska dimensionen av en mer hållbar samhällsutveckling. På engelska används begrepp som green economy, circular economy, green growth, new climate economy och eco-efficient economy. Ett gemensamt drag hos dessa är att de vill spegla en miljömässigt hållbar utveckling som går hand i hand med en god ekonomisk utveckling. I många sammanhang understryks också den sociala dimensionen av hållbar utveckling (t ex i UNEP:s definition av grön ekonomi). Vi använder oss här av begreppet cirkulär ekonomi i betydelsen att såväl material som koldioxid så långt det är möjligt cirkulerar i mer eller mindre slutna kretslopp och att systemen drivs av förnybar energi.

Som diskuterades tidigare skapar ökade krav på miljö och resurseffektivitet nya affärsmöjligheter både bland företag som kan betraktas som rena miljöteknikföretag och i en rad andra teknikföretag som kan använda sin teknik och sitt kunnande inom sådana tillämpningar. Det gör det mycket svårt att mäta storleken på den ”gröna ekonomin” och särskilja den från den övriga ekonomin. Åtgärder för minskad miljöpåverkan och bättre resurseffektivitet kan göras i alla sektorer och i alla delar av olika produkters livscykel.

En viktig uppsättning åtgärder för att minska miljöpåverkan handlar om att utveckla lättare konstruktioner, förlänga produkters livslängd och göra dem lättare att reparera, återanvända eller materialåtervinna. En annan typ av åtgärder är att förbättra processerna för att minska materialspill och energiförluster i produktionen. Det finns också förväntningar om att en delande ekonomi (sharing economy) där man lånar, byter och delar ska leda till lägre resursanvändning. Vi har inte hittat några analyser av hur stora effekterna kan bli på efterfrågan på basmaterial och energi men gissar att de är begränsade. Genom att på olika sätt förbättra material- och resurseffektiviteten kan man minska behoven av jungfruliga material avsevärt. Detta är viktigt eftersom framställningen av dessa ofta är mycket energikrävande och med begränsade möjligheter till energieffektivisering. På lång sikt kan även tillgången på materialen i sig vara begränsad.

Förutsättningarna för och behoven av att helt sluta kretsloppen skiljer sig åt mellan olika materialintensiva sektorer. Metaller har ur återvinningshänseende en fördel genom att själva materialet inte försämras av användning utan i princip kan återvinnas ett oändligt antal gånger. Ett problem som dock kan uppkomma är att olika föroreningar som kommer in i materialflödena kan försvåra användningen för mer högkvalitativa produkter. Återvinningsbarheten innebär att man på mycket lång sikt kan tänka sig att behovet av malmbaserad produktion minskar. Detta kräver dock någon form av stagnerande efterfrågan så att flödet från teknosfären närmar sig efterfrågan i storlek. Dit är det fortfarande mycket långt.

Förutsättningarna att återvinna cement är sämre än för metaller och det sätt som betong från rivningar kan komma till användning är framför allt som fyllnadsmaterial eller ballast till ny betong. Polymera material i form av bl.a. cellulosafibrer och polyeten tappar i kvalitet under användning och exempelvis papper och plast kan endast återvinnas ett begränsat antal gånger innan det till slut används för energiändamål. Fördelen med denna typ av material är att de kan baseras helt på förnybara råvaror och behovet av slutna materialkretslopp är därmed inte lika starkt. Konkurrensen om dessa råvaror i en grön ekonomi kan förväntas vara stor så kostnadsskäl kan ändå förväntas motivera resurseffektiv hantering.

Oavsett hur framgångsrikt vi i Sverige och EU lyckas minska behovet av jungfruliga material så kvarstår att det globalt behövs en ökad materialanvändning för att möta växande behov av välfärd och materiell standard i utvecklingsländer flera decennier framåt. Även en ambitiös klimatpolitik driver upp efterfrågan på material som glas- och mineralull till isolering, stål och betong till transportinfrastruktur, eller koppar till eleffektiva elmotorer. Det finns alltså en massa skäl till att den cirkulära ekonomin aldrig blir helt cirkulär och att det även i framtiden kommer att behövas produktion av jungfrulig cellulosafiber, plast, metall, glas, cement och andra material.

8.1 Blir dyrare produktion av basmaterial ett ekonomiskt problem i sig?

Ökningen av den materiella välfärden under de senaste 100-200 åren bygger delvis på utvecklingen av teknik för att utvinna naturresurser, producera basmaterial, samt bearbeta och förädla dessa i komplexa värdekedjor för att ta fram produkter till allt lägre kostnader och därmed priser. Frågan är hur mycket högre kostnaderna blir för att producera jungfruliga material utan direkta och indirekta utsläpp och i vilken utsträckning det kan leda till samhällsekonomiska problem.

Storleken på kostnadsökningarna för utsläppsfri produktion av jungfruliga material kan bara uppskattas grovt. Ett sätt är att räkna om vad ett koldioxidpris, eller en kostnad för CCS, på 100 EUR/ton koldioxid skulle innebära för produktionskostnaden. För specialstål och aluminium rör det sig om en kostnadsökning på mindre än 10 procent, för råstål cirka 30-40 procent, och för cement nästan 100 procent, jämfört med försäljningsvärdet (Åhman m.fl., 2013). För eten/polyeten med ett pris på ca 1 500 EUR per ton skulle baserat på kolinnehållet ett pris på 100 EUR/ton koldioxid motsvara en kostnadsökning på cirka 300 EUR eller 20 procent. Elbaserad eten/polyeten från vatten och koldioxid kan komma att kosta 3 000 till 4 000 EUR/ton att producera (Palm m.fl, 2015). Genom bland annat materialeffektivisering, substitution och annan anpassning torde även så stora kostnadsökningar kunna absorberas i ekonomin.

En indikation om de samhällsekonomiska konsekvenserna kan vi också få från det faktum att den energiintensiva industrin bara står för enstaka procent av BNP (2,1 procent i EU). I det perspektivet är det svårt att se hur 50-100 procent dyrare basmaterial skulle kunna få några konsekvenser för ekonomin i stort. Det är svårt

att beräkna hur stor andel basmaterialen utgör av de totala produktionskostnaderna. En Holländsk studie (Witling och Hanemaaijer, 2014) uppskattar att kostnaden för basmaterial motsvarar cirka 4 procent av total konsumtion och investeringar i några EU-länder. Mer konkreta exempel är att basmaterialkostnaderna för en ny bil utgör cirka 5 procent av försäljningspriset eller att stål utgör cirka 4 procent av kostnaden för en kontorsbyggnad med stålstomme.[11] Det finns också fall där materialkostnaden är stor. Enligt Allwood och Cullen (2012) så utgörs 2/3 av kostanden för en aluminiumburk av inköpt aluminium, förvisso redan processat till en folie (UKIndemand, 2015). Men som andel av konsumentpriset för en fylld läskburk är det fortfarande litet.

Att använda CCS, bioenergi, el, vätgas eller elbaserade kolväten ger alltså högre kostnader än att använda fossila bränslen men det är osäkert hur mycket högre. Teknisk utveckling i nya produktionsprocesser, substitution av material, ökad materialeffektivitet och ekonomiska anpassningar kommer att dämpa effekterna i olika steg av värdekedjan.

Utvecklingen av elektrolys och prisrelationen mellan förnybar metan och förnybar el kan få stora konsekvenser. Med begränsad bioråvara och fortsatt utveckling av solceller så kan metan baserad på sol-el bli det som på lång sikt är prissättande. Med bränslebaserad elproduktion är vi vana vid att el är dyrare än bränsle. I framtiden kan vi se det omvända, vilket skulle möjliggöra elbaserad bränsleproduktion. Det är mycket svårt att sia och resonera kring kostnader och priser på längre sikt. I ett scenario där efterfrågan minskar på fossila bränslen globalt så kommer priserna att sjunka på dessa. Ska då kostnaden för fossilfri produktion jämföras med billig fossilbaserad produktion som i princip inte längre är tillåten? Dynamiken i en sådan utveckling är svår att förutspå men beror bland annat på hur tillgång, efterfrågan och CCS-infrastruktur utvecklas.

8.2 På väg mot en cirkulär ekonomi och behovet av politik

Vi drar av diskussionen ovan slutsatsen att det förefaller möjligt att inom ramen för en ekologiskt hållbar cirkulär ekonomi ha en livskraftig industri och välfungerande samhällsekonomi, och att ekonomin kan absorbera de ökade kostnader som en industri med nära nollutsläpp kan innebära. Det finns däremot en rad utmaningar och problem på vägen mot en cirkulär ekonomi och nollutsläpp i industrin.

[11] Allwood och Cullen (2012) ger denna siffra för ett kontorshus. Uppskattningen för bilen baseras på en Volkswagen Golf med vikt på cirka 1250 kg och där 65 % av vikten är stål och 18 % är polymerer enligt VW:s egen livscykelanalys. Stål antas här kosta cirka 500 EUR per ton och polymerer cirka 1500 EUR/ton. Med antagandet av att alla basmaterial utom stål kostar cirka 1.500 EUR ton blir råmaterialkostnaden cirka 1000 EUR.

Den klimatpolitiska ambitionsnivån varierar mellan länder, något som också har stöd i klimatkonventionens utgångspunkt om gemensamt men differentierat ansvar (CBDR). Om dessa ambitionsnivåer manifesteras i form av ökande koldioxidpriser i vissa länder så påverkas deras industriers konkurrenskraft. Det leder till ökade kostnader såväl direkt för de egna utsläppen som indirekt via ökade elpriser och ökade kostnader för biomassa som en följd av ökad efterfrågan. Koldioxidläckage är fråga som återkommande diskuteras i det sammanhanget. Hittills är det dock svårt att se någon effekt av detta på EU-nivå, (Bolsher m.fl, 2013), bland annat på grund av att både klimat- och energipolitiken inom EU och Sverige har kompenserat den energiintensiva industrin för kostnaderna (Åhman och Nilsson, 2015). Den kraftiga tillväxten av basmaterialindustrin i exempelvis Kina förklaras snarare, förutom av växande inhemsk efterfrågan, av en starkt förd industripolitik med subventioner till både energi och investeringar samt ökat tillträde till marknader (Haley och Haley, 2013).

Den framtida utvecklingen av den internationella klimatpolitiken är osäker men den påverkar förutsättningarna för att påbörja en omställning av industrin. Enklast att hantera vore ett globalt avtal med ett gemensamt koldioxidpris (något som ofta efterfrågas av ekonomer) men sannolikheten för att detta ska ske inom en någorlunda nära framtid bedömer vi vara nästan lika med noll. Ett alternativ vore att lyfta ut industrisektorer ur övergripande nationella åtaganden och i stället hantera dessa i globala sektorsavtal. Ett tredje alternativ är att skapa en drivkraft för omställning av industrin i enskilda länder med ekonomiska styrmedel kombinerat med till exempel gränsskattejusteringar eller kraftfulla teknikstöd. Det viktiga på kort sikt är att tekniken för nollutsläpp utvecklas och testas så att den är redo för snabb spridning om något decennium. Under tiden kan industrins utsläpp minskas med mindre genomgripande åtgärder som energieffektivisering och vissa bränslebyten.

För den tekniska utvecklingen krävs det stora investeringar och det är tveksamt om industrin kan stå för dessa själva. Olika former av stöd kommer med största säkerhet vara nödvändiga för att lyfta av exempelvis tekniska och politiska risker. Statsstödsreglerna måste då vara utformade så att de är i samklang med en omställning till nollutsläpp. Olika sätt att finansiera nödvändiga investeringarna behöver utredas. En strategi för teknikutveckling och demonstration kan spela en viktig roll för att skapa en gemensam bild av den framtida utvecklingen och bidra till ett stabilt investeringsklimat.

I många fall är det befintliga dominerande aktörer som måste ställa om sina system. Vi vet inte idag om dessa har tillräcklig kapacitet för innovation och strategisk omorientering eller om det kan komma nya aktörer som utmanar de befintliga. Kommer i så fall omställningen att motarbetas av dagens dominerande aktörer och hur hanterar samhället det?

Det finns ett antal frågor för framtiden som är av betydelse för utvecklingen av den svenska råvarubaserade energiintensiva industrin. Dessa frågor är delvis politiska. Vilken roll vill ett land som Sverige spela i utvecklingen av den framtida gröna cirkulära ekonomin? Har Sverige ett ansvar att bidra till teknikutvecklingen för låga

utsläpp även om huvuddelen av framtida produktionsanläggningar hamnar utanför Sveriges gränser? Bör den goda tillgången på råvaror och energi innebära att Sverige spelar en viktig roll som kugge i den råvarubaserade delen av en framtida grön ekonomi? Ska svenska företag försöka nischa sig i sektorer och segment med högt förädlingsvärde?

Industrins utveckling är beroende av politik på flera nivåer och inom flera områden. På den globala nivån handlar det om den allmänna ekonomiska utvecklingen och hur klimatpolitiken kan utvecklas i samspel med handelspolitik för att undvika orättvis konkurrens och koldioxidläckage. En omställning av industrin inom EU är beroende av klimatpolitiken men också av näringspolitiken i bred mening och hur EU kommer att hantera forskning, innovation, teknik- och demonstrationsstöd och statsstödsregler. På nationell nivå och i samspel med utvecklingen av EU:s inre marknad är energipolitiken en viktig faktor för den energiintensiva industrin. Industrins utveckling i Sverige är också beroende av utvecklingen av transport-infrastruktur, arbetsmarknader, skatteregler, avfallspolitik, minerallagstiftning, skogspolitik, och mycket annat.

9 Slutsatser

Med en explorativ ansats har vi illustrerat att det finns många möjliga utvecklingsvägar för svensk industri och dess energianvändning. De utvecklingsvägar vi har presenterat bedömer vi samtliga kan vara förenliga med en miljömässigt hållbar utveckling. Det finns en stor spännvidd i dessa utvecklingsvägar som normalt inte kommer fram i modellbaserade scenarier. Det är dock många faktorer som är osäkra och det är bara i viss mån möjligt att påverka vilka utvecklingsvägar som kan komma att bli verklighet.

Förutom material- och energieffektivisering så omfattar åtgärdsstrategier för att uppnå en industri med små utsläpp av växthusgaser bränslebyte till biobränslen, infångning och lagring av koldioxid (CCS), samt elektrifiering med utsläppsfri el. Elektrifiering är en mindre utforskad åtgärdsstrategi än de övriga men är fullt tänkbar givet elens mångsidighet och flexibilitet. En kraftig elektrifiering skulle kunna täckas av en stor utbyggnad av förnybar elproduktion, men det kan kräva infrastrukturinvesteringar och nya marknadslösningar. Serverhallar är en annan möjlig framtida storförbrukare av el. Inom näringslivet är det framför allt utbyggnad av serverhallar och förändringar i den energiintensiva industrin som kan påverka Sveriges energibalans i någon större omfattning.

Historiskt sett har industrin genomgått stora strukturomvandlingar med utflyttning, nedläggning, sammanslagningar, koncentration, specialisering och framväxt av nya branscher. Oavsett politik för hållbar utveckling och minskade utsläpp är det rimligt att anta att sådana dynamiska och strukturella förändringar kommer att fortsätta. Nya teknikkluster kring elektrotermiska och biobaserade processer, som i sin tur kan bidra till en omställning av petrokemin, är möjliga utvecklingar.

Sverige har god tillgång på naturresurser som skog och malm, liksom goda förutsättningar till produktion av utsläppsfri el. Detta ger bra möjligheter att fortsatt vara en producent och exportör av viktiga basmaterial och förädlade produkter som producerats på ett hållbart sätt. I vilken riktning utvecklingen går beror bland annat på hur marknader och efterfrågan utvecklas (d v s innehåll och volym på framtida produktion), liksom teknisk utveckling inom CCS, bioekonomin och elektrotermiska processer (d v s hur produktionen kommer att ske). Även infrastruktur, tillgång på arbetskraft, skatteregler, miljölagstiftning och annat spelar roll för utvecklingen.

Utvecklingen och utrymmet för att styra densamma är beroende av en utveckling i omvärlden som Sverige har begränsade möjligheter att påverka. Det handlar bland annat om EU:s utveckling ekonomiskt och politiskt, den internationella klimat- och handelspolitiken, och hur efterfrågan på olika produkter och tjänster utvecklas i den globala ekonomin. De strategier som tas fram inom olika politikområden behöver var anpassade för att kunna hantera en utveckling som karakteriseras av stora osäkerheter och hög komplexitet.

10 Referenser

Allwood J., och Cullen J., 2012. Sustainable Materials - With both Eyes Open

Backer K. D., och Miroudot S., 2013. Mapping Global Value Chains, OECD Trade Policy Papers No, OECD

Bolsher, H., Graichen, V., Graham, H., Healy, S., Lenstra, J., Meindert, L., Regerczi, D., v. Schickfus, M., Schuacher, K. & Timmons-Smakman, F., 2013. 'Carbon Leakage Evidence Project – Fact Sheet for Selected Sectors', (Rotterdam: ECORYS)

Boschma, R., 2005. Proximity and Innovation: A Critical Assessment, Regional Studies, 39:1, 61-74, DOI: 10.1080/0034340052000320887

Börjesson, P., Lundgren, J., Ahlgren, S., Nyström, I., 2013. Dagens och framtidens hållbara biodrivmedel, f3 2013:13, Underlagsrapport till utredningen om fossilfri fordonstrafik, The Swedish Knowledge Centre for Renewable Transportation Fuels (F3).

CEPI, 2015. Europe recycles 71.7% of paper and board used in 2012, nyhet 30 augusti 2013, Confederation of European Paper Industries, http://www.cepi.org/node/16410.

Cronholm, L.-Å., Grönkvist, S., Saxe, M., 2009. Spillvärme från industrier och värmeåtervinning från lokaler, 2009:12, Svensk fjärrvärme.

Energimyndigheten, 2015a. Energiläget i siffror 2015, Eskilstuna.

Energimyndigheten, 2015b. Energibalanser, http://www.energimyndigheten.se/Statistik/Energibalans/Energibalans/

Ericsson, K., Nilsson, L.J., Nilsson, M., 2011. New energy strategies in the Swedish pulp and paper industry - The role of national and EU climate and energy policies. Energy Policy 39, 1439-1449.

EPRI, 2009. Program on technology innovation: Industrial electrotechnology development. European Power Research Institute.

Eurostat, 2015. EU energy balance sheets for 2013.

German Government, 2014. An electricity Market for Germany´s Energy Transition. Discussion Paper for the Federal Ministry for Economic Affairs and Energy (Green paper). BMWi, Berlin

Haley, U. & Haley, G., 2013. Subsidies to Chinese Industry: State Capitalism, Business Strategy and Trade Policy, (Oxford: Oxford University Press).

Hansen, T. and Winther L, 2011. Innovation, regional development and relations between high- and low-tech industries European Urban and Regional Studies 2011 18: 321 IPCC (2014) Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

Hermansson C., Gozzo M., Vartiainen J. 2015. Global arbetsmarknad, lönebildning, tjänster och infrastruktur – Viktiga förutsättningar för industrins konkurrenskraft, En rapport av industrins ekonomiska råd, april 2015.

Högselius, P., Kaijser, A., 2007. När folkhemselen blev internationell - Elavregleringen i historiskt perspektiv. SNS Förlag, Stockholm.

Internationla Aluminium Institute, 2015. Recycling indicators, http://recycling.world-aluminium.org/home.html

Jernkontoret, 2015. Stålåret 2014 – en kort översikt, Stockholm.

Kaijser, A., Kander, A., 2013. Framtida energiomställningar i historiskt perspektiv, Rapport 6550, Naturvårdsverket, Stockholm.

Lempert et al., 2002. Capital cycles and the timing of climate change policy. PEW centre October 2002

MottMcDonald, 2010. Global Technology Roadmap for CCS in Industry Sectoral Assessment: Cement. MottMcDonald Augusti 2010.

Naturvårdsverket, 2013. Underlag till Sveriges klimatrapportering till UNFCCC 2013, Excelfil tillgänglig på http://data.naturvardsverket.se/DataSet/Details/4.

Naturvårdsverket, 2014. National Inventory Report Sweden 2014, Submitted under the UN framework convention on climate change and the Kyoto protocol, Stockholm.

Naturvårdsverket, 2015a. Utsläpp av växthusgaser från industrin per bransch och prognos. Data från Ulrika Svensson på Naturvårdsverket.

Naturvårdsverket, 2015b. Utsläpp av växthusgaser från industrin, http://www.naturvardsverket.se/Sa-mar-miljon/Statistik-A-O/Vaxthusgaser-utslapp-fran-industriprocesser/.

Oscarsson I., 2014. A forecast of the Cloud – An investigation of the energy use from one of the fastest growing phenomena of the IT sector – the Cloud. MSc thesis. Environmental and Energy Systems Studies, Lund University

Palm, E., 2015. Fossilfria kolväten - eten och propen från el, vatten och koldioxid, Examensarbete, Miljö- och energisystem, LTH, Lund.

Palm, E., Nilsson L.J, Åhman M., 2015. Electricity based plastics and their potential demand for electricity and carbon dioxide. Submitted manuscript.

Paulus M, Borggrefe F., 2011. The potential of demand-side management in energy-intensive industries for electricity markets in Germany. Applied Energy 88 432-441.

PlasticsEurope, 2015. Plastics – the Facts 2014/2015, http://www.plasticseurope.org/Document/plastics-the-facts-20142015.aspx?Page=DOCUMENT&FolID=2

Qureshi A., Weber R., Balakrishnan H., Guttag J., Maggs B., 2014. Cutting the Electricity bill for internet-scale Systems. Association for computing Machinery/ACM Special Internet Group on Data Communications. MIT Open Acess

SCB, 2015. BNP från produktionssidan (ENS2010) efter näringsgren SNI 2007. År 1980 - 2014, Statistikdatabasen.

Schön L. 2000. En modern svensk ekonomisk historia. Tillväxt och omvandling under två sekel. SNS förlag, Stockholm.

Skogsstyrelsen, 2014. Skogsstatistisk årsbok 2014, Jönköping.

SOU 2013:84, 2013. Fossilfrihet på väg, Näringsdepartementet, Stockholm.

UNIDO, 2011. Technology Roadmap. Carbon Capture and Storage in Industrial Applications, Technical report, 2011.UNIDO

UKIndemand, 2015. The Business Case for Using Less Metal, http://www.ukindemand.ac.uk/research/business-case-using-less-metal

Yli-Arköö J., Rouvinen P., Seppälä T:, Ylä-Anttila P., 2011. Who captures Value in GLobla Supply Chains ? Case Nolia N95 Smartphone. Journal of Industrial Competition and Trade 11, pp 263-278.

Wiberg, R., 2001. Energiförbrukning i massa- och pappersindustrin 2000 [Energy use in the pulp and paper industry 2000], ÅFIPK/Skogsindustriernas Miljö- och Energikomitté, Stockholm.

Wilting, H., Hanemaaijer, A., 2014. Share of raw material costs in total production costs, PBL Publication number: 1506, PBL Netherlands Environmental Assessment Agency.

Worrel and Biermans, 2005. Move over! Stock turn over, retrofit and industrial efficiency. Energy Policy 33, pp.949-962

Åhman, M., Nikoleris, A., Nilsson Lars, J., 2012. Decarbonising Industry in Sweden-An Assessment of Possibilities and Policy Needs, Report number 77, Environmental and Energy System Studies, Lund, Sweden.

Åhman, M., Nilsson, L.J., Andersson, F.N., 2013. Industrins utveckling mot nettonollutsläpp 2050: Policyslutsatser och första steg, IMESS/EESS rapport 88, Miljö- och energisystem, Lunds universitet.

Åhman M., och Nilsson L.J, 2015. Decarbonising industry in the EU - climate, trade and industrial policy strategies. Chapter 5 in: Dupont. C and S. Oberthur (eds) Decarbonisation in the EU: internal policies and external strategies, Basingstoke, Hampshire: Palgrave MacMillan

Appendix

Tabell 1 Industrins användning av olika energibärare (exklusive fjärrvärme) och av fossila råvaror för produktion av kemikalier år 2013 (Energimyndigheten, 2015b; Eurostat, 2015) samt fem scenarier som visar hur industrins användning av energibärare och råvaror kan se ut kring 2050. Siffrorna illustreras i Figur 5. Alla siffror ges i TWh.

	Fossil råvara	Fossila bränslen	Biomassa (bränsle)	Biomassa (råvara)	El	El (råvara)
2013	18,7	27,9	54,6	0	50,9	0
1) Dagens industri, CCS och bioråvara	0	9	83	37	51	0
2) Dagens industri, biobränslen och bioråvara	0	0	97	37	51	0
3) Dagens industri, elektrifiering och elbaserade kolväten	0	0	55	0	79	37
4) Utbyggnad av industrin och datacenter, elektrifiering och bioråvara	0	0	65	56	120	0
5) Nedläggningar av industrier, CCS, och bioråvara	0	4,5	77	37	36	0

Ett hållbart energisystem gynnar samhället

Energimyndigheten arbetar för ett hållbart energisystem, som förenar ekologisk hållbarhet, konkurrenskraft och försörjningstrygghet.

Vi utvecklar och förmedlar kunskap om effektivare energianvändning och andra energifrågor till hushåll, företag och myndigheter.

Förnybara energikällor får utvecklingsstöd, liksom smarta elnät och framtidens fordon och bränslen. Svenskt näringsliv får möjligheter till tillväxt genom att förverkliga sina innovationer och nya affärsidéer.

Vi deltar i internationella samarbeten för att nå klimatmålen, och hanterar olika styrmedel som elcertifikatsystemet och handeln med utsläppsrätter. Vi tar dessutom fram nationella analyser och prognoser, samt Sveriges officiella statistik på energiområdet.

Alla rapporter från Energimyndigheten finns tillgängliga på myndighetens webbplats www.energimyndigheten.se.

Energimyndigheten

Energimyndigheten, Box 310, 631 04 Eskilstuna
Telefon 016-544 20 00, Fax 016-544 20 99
E-post registrator@energimyndigheten.se
www.energimyndigheten.se