Processrelaterade och negativa utsläpp – nuläge och förutsättningar för omställning

En nulägesanalys inom Industriklivet

ER 2020:28

Energimyndighetens publikationer kan laddas ner eller
beställas via www.energimyndigheten.se

Statens energimyndighet, oktober 2020
ER 2020:28
ISSN 1403-1892
ISBN (pdf) 978-91-89184-79-4

Tryck: Arkitektkopia AB, Bromma

Förord

Industrin har varit en grundsten i Sveriges välfärdssamhälles framväxt. Industrin utgör fortfarande en betydande del av svensk ekonomi på flera sätt och är därmed en hörnsten i det pågående bygget av ett fossilfritt välfärdssamhälle.

Industrins möjlighet att ställa om till fossilfrihet och hållbarhet med bibehållen eller stärkt konkurrenskraft är därför helt centralt för att klimatomställningen av samhället i stort ska lyckas. Riksdagen har beslutat att år 2045 ska utsläppen av växthusgaser i Sverige ha nått nettonoll för att därefter nå negativa nettoutsläpp.

I takt med att processer har effektiviserats och bränslen bytts ut har utsläppen från svensk industri minskat över tid. Men för att nå klimatmålen krävs något annat. Nu räcker inte stegvis energieffektivisering eller utveckling av industrins processer och metoder inkrementellt. Nu krävs ordentliga teknikskiften – och språng. Nya sätt att framställa produkter som stål, cement och metall behöver utvecklas, testas, anpassas och framförallt skalas upp och kommersialiseras. Kompletterande metoder så som avskiljning och lagring av biogen koldioxid måste utvecklas och skalas upp parallellt med teknikutvecklingen, inte minst för att åstadkomma negativa utsläpp.

Denna rapport har tagits fram på uppdrag av regeringen inom ramen för Industriklivet, det program inom vilket staten stödjer åtgärder för att minska industrins processrelaterade utsläpp av växthusgaser och för att åstadkomma negativa utsläpp. Rapporten ger en översikt över och en bakgrund till industrins största utsläppskällor och de branscher där dessa finns. Den redogör för de centrala spåren avseende teknikutveckling och riktningen för de olika branschernas vägar till nettonollutsläpp år 2045 och därefter negativa utsläpp.

Eskilstuna i oktober 2020.

Robert Andrén
Generaldirektör

Innehåll

Sammanfattning 3

1 Inledning 5

1.1 Metodbeskrivning 6

1.2 Utsläppsdefinitioner 7

1.3 Avgränsning 9

1.4 Rapportens upplägg 10

2 Huvudspår för omställningen 11

2.1 Biomassa 11

2.2 Vätgas 12

2.3 Elektrifiering 13

2.4 Avskiljning, transport och lagring av koldioxid 14

3 Branscher inom industrin med stora processrelaterade utsläpp 20

3.1 Järn- och stålindustrin, inklusive järnmalmsgruvor 21

3.2 Raffinaderier och kemiindustrin 35

3.3 Mineralindustrin 47

3.4 Övrig metall inklusive övriga gruvor 55

4 Negativa utsläpp 62

4.1 Potential för negativa utsläpp 62

4.2 Skogsindustrin 64

4.3 El och värmesektorn 71

4.4 Projekt och forskning 76

Referenser 80

Bilaga 1. Lagstiftning och ekonomiska incitament för CCS 86

Bilaga 2. Bearbetning och tolkning av statistik 88

Bilaga 3. Bransch-, varu-, och produktindelning 90

Sammanfattning

Sverige har som mål att senast 2045 inte ha några nettoutsläpp av växthusgaser till atmosfären, för att därefter uppnå negativa utsläpp. Industrins fossila växthusgasutsläpp under 2018 var 16,7 miljoner ton koldioxidekvivalenter, vilket motsvarar en knapp tredjedel av Sveriges totala fossila växthusgasutsläpp. Industrins utsläppsminskningar har stannat av de senaste åren eftersom fortsatta utsläppsminskningar är svåra att åstadkomma med dagens teknik. Således finns behov av fortsatta statliga styrmedel, däribland stöd som Industriklivet. För att nå klimatmålet krävs också kompletterade åtgärder vid sidan av omfattande utsläppsminskningar. Därför finns inom ramen för Industriklivet också möjligheter att få stöd för åtgärder som bidrar till negativa utsläpp.

En stor andel av industrins fossila växthusgasutsläpp uppkommer i olika tillverkningsprocesser och kan härledas till de råvaror som används. Dessa utsläpp benämns *processrelaterade utsläpp* i denna rapport och står för 66 procent av industrins fossila växthusgasutsläpp. Resterande 34 procent benämns här övriga förbränningsutsläpp och uppstår när fossila bränslen används för energiändamål, såsom att generera ånga. Förbränningsutsläppen kan minskas genom att byta fossila bränslen mot biobränslen och el. Det är i de flesta fall relativt enkelt och kräver inte någon omfattande teknisk utveckling, med vissa undantag för tillämpningar som kräver mycket höga temperaturer.

De processrelaterade utsläppen är svårare att minska med dagens teknik eftersom utsläppen härrör från råvaror snarare än bränslen och för att byta ut råvarorna krävs betydande förändringar av produktionsprocesser eller att alternativa råvaror utvecklas. Fyra huvudsakliga teknikspår för att minska de processrelaterade utsläppen inom industrin kan särskiljas, nämligen *biomassa*, *vätgas*, *elektrifiering* samt *avskiljning, transport och lagring av koldioxid* (CCS). CCS är också, i form av bio-CCS, ett alternativ för att uppnå negativa utsläpp.

Järn- och stålindustrin står för 34 procent av industrins fossila växthusgasutsläpp och av dessa är knappt 80 procent processrelaterade. Masugnsbaserad ståltillverkning står för majoriteten av stålproduktionen i Sverige och det är också här som utsläppen är störst. Utsläppen kan främst härledas till den så kallade reduktionen, vilket är ett nödvändigt processteg för järnframställning som idag innebär att kol och koks används för att minska syrehalten i järnmalmen. Det finns andra tekniker för reduktion. I den så kallade Höganäsprocessen används en teknik som ger upphov till mindre utsläpp. För att minska/eliminera utsläppen undersöker man i projektet HYBRIT en ny process som ska ersätta masugnsprocessen, där reduktion sker med vätgas istället för med kol och koks. Om HYBRIT-projektet lyckas så beräknas Sveriges fossila koldioxidutsläpp minska med 10 procent.

Raffinaderier och kemiindustrin står för 26 procent av industrins fossila växthusgasutsläpp, varav 80 procent är processrelaterade. Tillverkningsprocesserna är komplexa och ser mycket olika ut. Till de mest energikrävande och utsläppsintensiva hör destillering och krackning. I dessa separeras råvaran i olika beståndsdelar genom uppvärmning respektive sönderdelas till mer användbara och värdefulla kolväten. Dessutom uppstår diffusa utsläpp av fossila gaser genom dunstning, läckage samt bildandet av restgaser från olika processer som resulterar i fackling. Omställningen av dagens kemi- och raffinaderiindustri kan generellt delas in i fyra delar: återvinning av material, byte av råvaror från fossilbaserade till biobaserade, användning av vätgas och koldioxidavskiljning.

Mineralindustrin står för knappt 20 procent av industrins fossila växthusgasutsläpp, och drygt 60 procent av dessa är processrelaterade. Störst utsläpp kommer från cementproduktionen och närmare bestämt kalcineringen där kalksten upphettas för att separeras i kalciumoxid och koldioxid. Utsläppen från kalcineringen är ofrånkomliga när kalksten används som råvara. För att minska utsläppen är huvudspåret CCS, vilket har testats framgångsrikt vid norska Norcems cementfabrik i Brevik.

Övrig metall står för knappt 5 procent av industrins fossila växthusgasutsläpp, och drygt 88 procent av dessa är processrelaterade. Framställning av koppar och bly samt aluminium står för majoriteten. Utsläppen kommer bl.a. från kol som används vid elektrolys och plastrester i insamlad skrot som går in i koppar- och blyframställningen. För att minska utsläppen utreds t.ex. alternativ till fossil kol, såsom biokol och inerta anoder, samt CCS.

Biobränsleanvändningen i Sverige är störst i massa- och pappersindustrin samt i värme- och kraftvärmeverk och här finns en stor potential för *negativa utsläpp*. De 33 största punktkällorna till biogena koldioxidutsläpp i Sverige är samtliga anläggningar inom dessa sektorer och skulle teoretiskt kunna fånga in ungefär 26 miljoner ton biogen koldioxid per år. Förutsättningarna för bio-CCS i sektorerna är också förhållandevis goda. Hela CCS-kedjan, dvs. avskiljning, transport och lagring, tillämpas redan i dag, men erfarenheterna är fortfarande begränsade. Forskning som bidrar till minskade kostnader för tekniken är viktigt. Systemfrågor, såsom fungerande affärsmodeller och hur ekonomiska incitament skapas, bedöms dock utgöra en större barriär för implementering av CCS än själva teknikfrågorna. Detta gäller för applicering av tekniken på såväl fossila som biogena utsläppskällor.

1 Inledning

I juni 2017 antog riksdagen ett klimatmål att Sverige senast 2045 inte ska ha några nettoutsläpp av växthusgaser till atmosfären, för att därefter uppnå negativa utsläpp. För att nå målet behöver utsläppen minska kraftigt inom svensk industri. Industrin[1] släppte ut 16,7 miljoner ton koldioxidekvivalenter till atmosfären under 2018, vilket motsvarar en knapp tredjedel av Sveriges totala fossila växthusgasutsläpp.[2,3]

Industrins utsläppsminskningar, som hittills huvudsakligen berott på övergången från fossila till förnybara bränslen, har stannat av de senaste åren då fortsatta utsläppsminskningar är svåra att åstadkomma med dagens teknik. För att minska de processrelaterade utsläppen krävs betydande förändringar av produktionsprocesser och långsiktiga satsningar på forskning och utveckling. För att stödja denna utveckling finns det inom ramen för Industriklivet möjligheter att få stöd till åtgärder som minskar de procesrelaterade utsläppen.

Klimatmålet innebär också att Sverige ska ha negativa nettoutsläpp efter 2045, och för att nå detta krävs kompletterade åtgärder vid sidan av omfattande utsläppsminskningar. Inom ramen för Industriklivet finns sedan 2019 också möjligheter att få stöd för åtgärder som bidrar till negativa utsläpp.

Enligt regeringsbeslutet om regleringsbrev för budgetåret 2020 avseende anslag 1:19 Industriklivet (M2019/02218/V) ska Energimyndigheten årligen göra en sammanställning och analys över nuläget och förutsättningar vad gäller olika sektorers utsläpp, deras respektive potential till utsläppsreduktion och teknisk utveckling på området. Nulägesanalysen ska ha sin utgångspunkt i det arbete[4] som redan påbörjats inom ramen för regeringsuppdraget ”att genomföra innovationsfrämjande insatser för att minska processindustrins utsläpp av växthusgaser”[5]. Sammanställningen ska redovisas till Regeringskansliet (Miljödepartementet) senast den 31 oktober 2020.

I och med ändringsbeslutet i juni 2019 (M2019/01320) har anslaget utökats från att omfatta en anslagspost för åtgärder som bidrar till att minska industrins processrelaterade utsläpp, till att även omfatta en anslagspost för utgifter kopplade till åtgärder som bidrar till negativa utsläpp av växthusgaser. Därför ingår i årets nulägesanalys även en analys av Sveriges potential och förutsättningar till negativa utsläpp och teknisk utveckling på området.

---

[1] ”Industri”, ”svensk industri”, ”industrisektorn” och ”totala industrin” används i den här rapporten synonymt med varandra och avser alla branscher med SNI-kod (svensk näringsgrensindelning) 05–33, om inget annat anges.

[2] SCB, 2020a. Utsläpp av växthusgaser från industrin efter växthusgas, bransch och år. *Statistikdatabasen.* https://www.statistikdatabasen.scb.se/pxweb/sv/ssd/START__MI__MI0107/MI0107IndustriN/ (hämtad 2020-03-02).

[3] I de totala utsläppen ingår inte LULUCF (markanvändning, förändrad markanvändning och skogsbruk) eller utrikes transporter.

[4] *Nulägesanalys – Underlag till regeringsuppdrag Uppdrag att genomföra innovationsfrämjande insatser för att minska processindustrins utsläpp av växthusgaser,* ER 2017:4.

[5] dnr. N2016/06369/IFK

Rapporten omfattar följande delar:

- En genomgång av identifierade huvudsakliga teknikspår för omställningen.
- För de branscher inom industrin där de fossila växthusgasutsläppen är störst (och även de processrelaterade utsläppen) beskrivs befintliga tillverkningsprocesser, energianvändning samt mer detaljerat om utsläppen och vad de kan härledas till. En beskrivning ges också av de teknikalternativ som kan minska de processrelaterade utsläppen samt branschernas marknadssituationen.
- Potentialen för negativa utsläpp beskrivs samt befintliga processer och förutsättningar för att implementera tekniken där potentialen är som störst. Pågående projekt och forskningsläget med fokus på CCS-tekniken redogörs för.

1.1 Metodbeskrivning

Rapporten bygger på tidigare års rapporter. Som underlag används bland annat forskningsrapporter, de färdplaner olika branscher tagit fram (bland annat i samarbete med Fossilfritt Sverige), myndighetsrapporter och årsredovisningar. Vissa underlagsrapporter använder inte samma branschavgränsningar som den här rapporten och i de fallen har bedömningar gjorts för att avgöra vilken eller vilka branscher som omfattas. Även statistik över energianvändning, fossila växthusgasutsläpp, biogena koldioxidutsläpp och ekonomisk statistik har uppdaterats med senaste data samt analyserats. Statistiken kommer från Naturvårdsverket, SCB, Eurostat och Energimyndigheten. Statistikkällorna beskrivs i Bilaga 2.

Att använda statistik från olika källor för att beskriva en och samma bransch är svårt och jämförelser bör därför göras med försiktighet. Eftersom statistiken baseras på olika undersökningar med varierande urval, avgränsningar och klassificeringssystem kan inte exakt samma branschavgränsningar användas. Statistik för växthusgas-utsläpp fördelas enligt CRF-koder och övrig branschstatistik fördelas enligt SNI-koder. De största skillnaderna är att järnlegeringar (ferrolegeringar) redovisas under järn- och stålindustrin för all statistik utom för utsläpp där de ingår i övrig metall samt att utsläpp från gruvindustrin inte ingår i branschkapitlen. Se Bilaga 2 och Bilaga 3 för mer information kring branschavgränsningar och statistik.

Förutom branschindelad statistik används även varuindelad statistik. I den statistiken används SPIN-koder och HS/Kn-nummer. SPIN-koderna stämmer överens med SNI-koderna och kallas därför för samma sak i den här rapporten. HS/Kn-nummer är ett sätt att klassificera produkter och en direkt koppling till branschindelning saknas. Därför har en bedömning gjorts av vilka produkter som är relevanta för respektive bransch. En beskrivning av vad som ingår i respektive bransch och produkt-/varukategori[6] finns i Bilaga 3.

[6] I rapporten används varukategori för att övergripande kategorisera varor, främst på 2-siffrig HS/Kn-nivå, medan produktkategorier är mer finfördelade kategorier på 4-siffrig HS/Kn.

1.2 Utsläppsdefinitioner

Nedan följer definitioner av begreppen förbränningsutsläpp, processrelaterade utsläpp och negativa utsläpp, vilka är centrala begrepp för denna rapport. Utgångspunkten har så långt som möjligt varit de definitioner som anges i IPCC:s riktlinjer[7] som används vid klimatrapporteringen.

Förbränningsutsläpp

Förbränningsutsläpp kan förenklat beskrivas som utsläpp från förbränning av bränslen. Mer specifikt är förbränningsutsläpp de utsläpp som uppstår när en energivara oxideras i en apparat med syftet att tillhandahålla värme eller mekaniskt arbete till en process, eller för användning bortom apparaten. Kemiska reaktioner i industriella processer kan också generera värme, men i de fallen räknas utsläppen som processutsläpp.

Förbränningsutsläppen kan delas upp *i processrelaterade förbränningsutsläpp* och *övriga förbränningsut*släpp beroende på vilket bränsle som används. Processrelaterade förbränningsutsläpp ingår, som namnet antyder, i processrelaterade utsläpp. Processrelaterade förbränningsutsläpp uppstår vid förbränning av restprodukter från fossila råvaror i tillverkningsprocesser, läs mer nedan. Övriga förbränningsutsläpp är de förbränningsutsläpp som inte är processrelaterade, vilket främst handlar om utsläpp från förbränning av fossila bränslen[8] och biobränslen.

Processrelaterade utsläpp

Begreppet processrelaterade utsläpp saknar en allmänt erkänd definition. I Bakgrundspromemorian om Industriklivet[9] beskrivs de processrelaterade utsläppen som utsläpp *”direkt från industrins processer för tillverkning och bearbetning i produktionen”*. För arbetet med Industriklivet och regeringsuppdraget Innovationsfrämjande insatser har därför processrelaterade utsläpp definierats med utgångspunkt i underlagsmaterialet för dessa uppdrag samt IPCC:s riktlinjer. Processrelaterade utsläpp är alltid fossila.

Processrelaterade utsläpp utgörs av de tre utsläppskategorierna nedan.

1. *Processutsläpp,* vilket avser de utsläpp som orsakas av industriella tillverkningsprocesser. Industriella processer genererar växthusgaser i många olika processteg, men framförallt vid kemisk eller fysisk materialomvandling. Ett exempel på processutsläpp är koldioxid som bildas när kalksten omvandlas under upphettning i produktionen av cement och kalk (kalcinering). Alla processutsläpp inom industrin ingår i processrelaterade utsläpp. Processutsläpp är alltid fossila.
2. *Diffusa utsläpp* som uppstår vid hantering och produktion av fossila bränslen, till exempel när de utvinns ur jordskorpan, vidareförädlas till slutprodukter eller transporteras. I Sverige kan de diffusa utsläppen framförallt härledas till produktion av koks, läckage från rörledningar och raffinaderiernas vätgasproduktion. Fackling, dvs. när man förbränner restgaser utan att tillvarata energin, är en sorts

[7] IPCC. *2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Volume 3: Industrial Processes and Product Use.* https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/pdf/3_Volume3/V3_1_Ch1_Introduction.pdf (hämtad 2019-07-16).

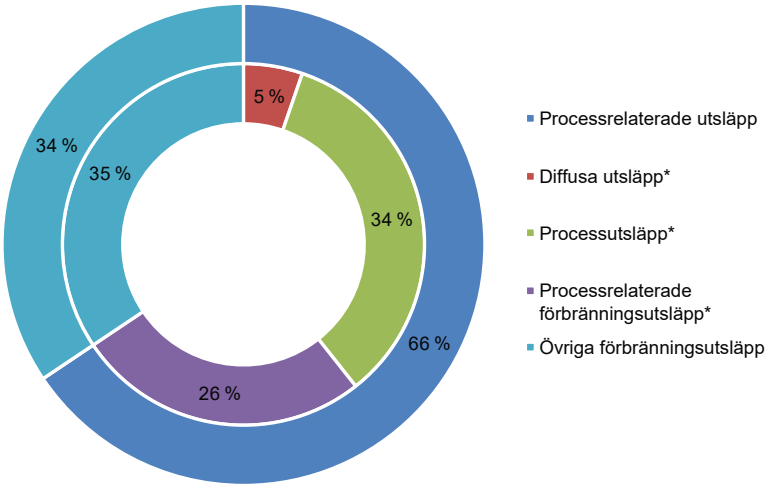
[8] Externa fossila bränslen, det vill säga inte restprodukter.

[9] Regeringskansliet, *Bakgrundspromemoria om Industriklivet*. 2017-08-22.

diffusa utsläpp. Vissa diffusa utsläpp ingår i processrelaterade utsläpp, framförallt fackling och utsläpp från vätgasproduktion.[10]

3. *Processrelaterade förbränningsutsläpp* vilka uppstår vid förbränning av restprodukter från fossila råvaror i tillverkningsprocesser. Med en restprodukt avses ett ämne som uppstår i processen när råvaran omvandlas, utöver den avsedda slutprodukten. Om en sådan restprodukt förbränns för energiändamål ger det upphov till processrelaterade förbränningsutsläpp. Råvaran ska vara fossil och får inte enbart användas för energiändamål i processen för att restprodukten ska kunna ge upphov till processrelaterade förbränningsutsläpp.

Figur 1 visar hur industrins utsläpp var fördelade mellan processrelaterade utsläpp (och dess underkategorier) samt övriga förbränningsutsläpp under 2018.



Figur 1. Fördelningen av industrins totala fossila växthusgasutsläpp på olika utsläppskategorier, 2018, procent (kategorier markerade med * ingår i processrelaterade utsläpp).
Källa: Naturvårdsverket och SCB[11], bearbetning av Energimyndigheten.

Negativa utsläpp

I utredningen *Vägen till en klimatpositiv framtid*[12] *definieras negativa utsläpp som följande; ”negativa utsläpp uppstår om mänsklig aktivitet leder till upptag av koldioxid utöver det upptag som annars skulle ha uppstått naturligt i koldioxidcykeln*”. Vidare analyserar utredningen olika vägar att nå negativa utsläpp, så kallade kompletterande åtgärder, som vid sidan av omfattande utsläppsminskningar behövs för att nå målet om

[10] Diffusa utsläpp som inte ingår i processrelaterade utsläpp är framförallt läckage från rörledningar.

[11] SCB, 2020a. Uppdelningen för totala industrin har erhållits från Naturvårdsverket på begäran.

[12] SOU 2020:4, *Vägen till en klimatpositiv framtid*, Betänkande av klimatpolitiska vägvalsutredningen, Stockholm 2020.

nettonollutsläpp till 2045 och negativa nettonollutsläpp därefter. Dessa delas in i kategorierna *(1) ökad kolsänka i skog och mark*[13] *såsom återvätning av dränerad torvmark, (2) avskiljning, transport och lagring*[14] *av biogen koldioxid*[15] (bio-CCS[16]) samt *(3) verifierade utsläppsminskningar i andra länder*.

I denna rapport behandlas sådana åtgärder för negativa utsläpp som kopplar till den andra kategorin ovan, närmare bestämt ”*åtgärder som bidrar till negativa utsläpp genom avskiljning, transport och geologisk lagring av växthusgaser av biogent ursprung eller som tagits ut ur atmosfären*” som är den definition som används inom Industriklivet[17]. Dessa åtgärder utgörs av t.ex. av bio-CCS men även direktinfångning, avskiljning och lagring av koldioxid som tagits ur atmosfären, även kallat DACCS (Direct Air Carbon Capture and Storage). Vidare kan förbränning av biomassa anses vara utsläppsneutral om den biomassa som förbränns produceras på ett sådant sätt att återväxten medför (minst) netto-noll upptag av koldioxid. Om koldioxiden vid förbränning istället för att återföras till sitt nollsumme-kretslopp fångas in och lagras kan på så sätt negativa utsläpp nås. De biogena utsläppen kan härröra både från industrins processer och från förbränning.

1.3 Avgränsning

Nulägesanalysen omfattar de branscher som står för majoriteten av de processrelaterade utsläppen i Sverige, det vill säga järn- och stålindustrin, mineralindustrin (cementproduktionen), raffinaderier och kemiindustrin samt övrig metall. Vad gäller negativa utsläpp är fokus på de branscher/sektorer med stora biogena utsläpp och stora punktkällor, dvs. massa- och pappersindustrin samt el- och värmesektorn.

I beskrivningarna av tillverkningsprocesser och möjliga teknikalternativ är fokus på de mest utsläppsintensiva processtegen och processer där utsläppen är svåra att minska. Även om relativt få tillverkningsprocesser orsakar den övervägande delen av utsläppen tas ett helhetsperspektiv från insatsvara till slutprodukt i beskrivningarna av branscherna. Detta för att visa på komplexiteten i industrisektorns sammansättning. Ofta är ett företags slutprodukt insatsvara i ett annat företags produktion och då går det inte att ändra tillverkningsprocessen utan att kunna garantera att produktens hållfasthet och andra materialegenskaper bibehålls. Beskrivningarna av tekniker som kan minska utsläppen begränsas till tekniker som direkt minskar utsläppen från processerna. Tekniker som kan minska efterfrågan på utsläppstunga processers slutprodukter behandlas inte.

[13] Även tillförsel av biokol för långsiktig inlagring av kol med samtidig jordförbättring skulle kunna ingå.

[14] Europaparlamentets och rådets direktiv 2009/31/EG av den 23 april 2009 om geologisk lagring av koldioxid.

[15] Biogen koldioxid uppstår från förnybart organiskt material, t.ex. delar av växter, slam från reningsverk eller slaktavfall. Biobränslen kan vara gasformiga som biogas, flytande som etanol eller fasta som t.ex. ved, spannmål och träpellets. Torv räknas inte som ett biobränsle.

[16] Tekniken kallas även BECCS (Bio Energy CCS). Då detta begrepp endast täcker förbränningsutsläpp och inte alla biogena utsläpp (t.ex. vid etanol- och biogasproduktion) används i denna rapport det något bredare begreppet bio-CCS.

[17] Förordning (2017:1319) om statligt stöd till åtgärder för att minska industrins processrelaterade utsläpp av växthusgaser och för negativa utsläpp.

Slutligen ingår endast direkta utsläpp som uppstår under tillverkningsprocesserna. Indirekta utsläpp som uppstår upp- och nedströms om tillverkningsprocessen ingår inte.[18] Detsamma gäller de biogena utsläppen vid beräkningar av potentialen för negativa utsläpp.

1.4 Rapportens upplägg

I kapitel 2 beskrivs fyra huvudsakliga utvecklingsspår för nettonollutsläpp inom industrin, nämligen biomassa, vätgas, elektrifiering och CCS/bio-CCS. I kapitel 3 beskrivs viktiga tillverkningsprocesser, energianvändning, växthusgasutsläpp, teknikalternativ för att minska utsläppen samt marknadssituation för de fyra utsläppsintensiva branscherna vad gäller fossila växthusgaser. Dessa är järn- och stålindustrin inklusive järnmalmsgruvor, mineralindustrin, raffinaderier och kemiindustrin (som beskrivs samlat eftersom de har flera gemensamma processer och utmaningar) samt övrig metallindustri inklusive övriga gruvor. I kapitel 4 beskrivs potentialen för negativa utsläpp och i vilka sektorer den är störst, dvs. i papper-och massaindustrin (här används skogsindustrin som är en något bredare branschdefinition), samt el- och värmesektorn. En genomgång av processer i denna bransch/sektor görs samt förutsättningarna att implementera tekniken för bio-CCS redogörs för. Kapitlet ger också en överblick av forskningsläget vad gäller CCS (inklusive bio-CCS), samt vilka projekt och vilken forskning som finns i Sverige (med fokus på Industriklivet). I Bilaga 1 redogörs kortfattat för lagstiftningen samt ekonomiska incitament kopplat till CCS. I Bilaga 2 beskrivs statistiken och Bilaga 3 redogör för hur branscherna delas upp.

[18] Indirekta utsläpp uppströms är till exempel utsläpp som uppstår vid råvaruframställning och utsläpp nedströms är till exempel utsläpp som uppstår under transport till kund eller när produkten används.

2 Huvudspår för omställningen

Det finns ett antal teknikutvecklingsspår som i högre eller lägre grad är gemensamma för de aktuella branscherna, nämligen biomassa, vätgas, elektrifiering samt avskiljning, transport och lagring av koldioxid (carbon capture and storage, CCS). CCS är dessutom – i form av bio-CCS – ett alternativ för att uppnå negativa utsläpp.

2.1 Biomassa

Biomassa kan användas både för att ersätta fossil råvara och fossila bränslen. Användning av biomassa för förbränning får i de flesta tillämpningar inom industrin betraktas som en mogen teknik där eventuella begränsningar snarare handlar om ekonomiska, logistiska eller liknande överväganden. Undantag är vissa tillämpningar som kräver mycket höga temperaturer.[19] När det gäller användning av biomassa för att minska processrelaterade utsläpp är dock behovet av teknisk utveckling större. I dessa fall används biomassan som råvara snarare än som bränsle i processen. Om råvaran är biobaserad innebär det att utsläpp som genereras i processen räknas som noll, precis som andra utsläpp av biogen koldioxid. Om den färdiga produkten (så som biodrivmedel och bioplast) förr eller senare förbränns räknas även dessa utsläpp som noll, men denna förbränning bokförs i den sektor där den sker (transport, el/värme osv.) och inte i industrisektorn.

2.1.1 Biomassa framför allt ett alternativ för kemi- och raffinaderiindustrins produkter

Användning av biobaserad råvara är framför allt aktuellt i kemi- och raffinaderiindustrin. Där är fossil råvara i dag själva byggstenarna för de kemikalier, plaster och drivmedel som tillverkas. På ett principiellt plan kan dessa byggstenar lika gärna vara biobaserade – en kolatom är en kolatom oavsett ursprung – men i praktiken krävs ett omfattande utvecklingsarbete om fossil råvara ska kunna ersättas med biobaserad. För raffinaderiindustrin är en avgörande fråga om de biodrivmedel som efterfrågas kommer att vara av drop-in-typ dvs. biobaserade varianter av samma sorts kolväten som i dag raffineras ur råolja, (bensin, diesel, fotogen osv.) eller om efterfrågan kommer att skifta till drivmedel som bara består av en typ av molekyler (metan, alkoholer, etrar osv.). Det senare möjliggör högre energiutbyte från råvaran, men kräver å andra sidan att t.ex. fordon och tankinfrastruktur anpassas för dessa drivmedel.

Om efterfrågan på dagens fossila drivmedel inte ersätts av efterfrågan på biodrivmedel med motsvarande eller liknande kolväten kan dagens raffinaderianläggningar i praktiken bli irrelevanta. Efterfrågan på de nya drivmedlen behöver i stället tillgodoses av andra aktörer än dagens raffinaderiindustri (t.ex. bioraffinaderianläggningar kopplade till skogsindustrin). Inom kemiindustrin används en del råvaror som har utvunnits ur råolja i ett raffinaderi, exempelvis aromater som används för produktion av plast och andra kemikalier. Generellt är dock kemiindustrin relativt frikopplad från raffinaderiinfrastrukturen och

[19] Såsom stålindustrins värmningsugnar där stålet inför bearbetning värms till temperaturer över 1 000 grader. Detta ställer höga krav på bränslets energitäthet och kvalitet, vilket i sig kan kräva teknisk utveckling.

skulle utan omfattande omvandling av kärnprocesserna i anläggningarna istället kunna utgå från exempelvis biogas eller biobaserad syntesgas i sina processer.

Fossil råvara är också en viktig insatsvara i järn- och ståltillverkning, i form av kol och koks. I motsats till kemi- och raffinaderiindustrin blir den fossila råvaran inte en del av den slutliga produkten utan kolet används för att reagera med syret i järnmalmen så att syret frigörs från själva järnet. Som framgår av 3.1.3 framstår visserligen reduktion med vätgas som det mest troliga utvecklingsspåret för att ersätta masugnsprocessen men det pågår också utvecklingsprojekt där fossilt kol ersätts med biokol[20].

2.2 Vätgas

Vätgas är sedan länge en viktig råvara inom delar av processindustrin, framför allt inom kemisk industri och raffinaderier. Inom kemisk industri ingår vätgas bl.a. som råvara vid produktion av ammoniak, metanol, väteperoxid, polymerer och lösningsmedel. Vid oljeraffinaderier används vätgas för behandling av såväl fossila som biobaserade bränslen (se 3.2.1). Vätgas kan emellertid också användas inom helt nya områden för att direkt eller indirekt ersätta fossil råvara. För att vätgas ska bli ett relevant omställningsalternativ förutsätts dock att den tillverkas fossilfritt. Vätgas som omställningsspår handlar alltså både om hur vätgasen används och hur den tillverkas.

2.2.1 Tillverkningsprocessen avgörande för vätgasens klimatnytta

Även om vätgas också uppkommer som biprodukt i vissa industriella processer är den helt dominerande tillverkningsmetoden i dag ångreformering av naturgas. Ångreformeringen är normalt uppdelat i två processteg, där den första är energiintensiv och sker vid en högre temperatur (700–1 000 grader). För att öka utbytet av metan till vätgas kan kolmonoxid som bildas i det första processteget skiftas till vätgas genom en efterföljande lågtemperaturprocess. Genom att koppla på CCS (se 2.4) kan utsläppen minska. För att vätgasen ska bli helt fossilfri krävs dock andra lösningar, i första hand att i stället tillverka vätgasen genom elektrolys, dvs. spjälkning av vatten med hjälp av el, där elen behöver vara fossilfri. I länder med mycket kol i elmixen kan elektrolysbaserad vätgas i dagsläget rentav ha sämre klimatprestanda än vätgas från naturgas *utan* CCS. Med den svenska elmixen med en mycket låg fossil andel ger elektrolys möjligheter att nå en renare vätgas än genom att endast koppla på CCS på befintlig produktion.

Vätgasproduktion genom elektrolys är fortfarande dyrare än att producera vätgas från naturgas. Inom EU uppskattas produktionskostnaderna för vätgas, exklusive kostnaden för att släppa ut koldioxid inom ETS, till 1,5 €/kg för konventionell fossilbaserad, 2 €/kg för fossilbaserad med CCS och 2,5–5,5 €/kg för förnybart producerad vätgas. Kostnaden för förnybart producerad vätgas minskar dock snabbt. Elektrolysörkostnaderna har redan sjunkit med 60 procent de senaste tio åren och bedöms tack vare skalfördelar kunna halveras till 2030 jämfört med i dag. I regioner med billig förnybar el bedöms vätgas från elektrolys till 2030 vara konkurrenskraftig mot fossilbaserad vätgas.[21]

[20] Biokol är kol med biogent ursprung. Biokol tillverkas genom att torrifiering (dvs. uppvärmning med hjälp av biobränsle till höga temperaturer) i olika grad, vilket ökar energitäthet och värmevärde.

[21] European Commission, 2020. *A hydrogen strategy for a climate-neutral Europe, COM (2020) 301 final*.

2.2.2 Fossilfri vätgas har flera nya användningsområden

Fossilfri vätgas kan spela en viktig roll i omställningen av industrin genom att ersätta fossila råvaror. Satsningen HYBRIT (se 3.1.3) är sannolikt det mest omtalade av sådana utvecklingsprojekt i Sverige, även om det finns liknande projekt på gång även i andra länder. HYBRIT har som mål att vätgas ska kunna ersätta kol i form av koks i reduktionen av järn, dvs. när syret ska frigöras från malmen.

De tekniker som krävs för att minska vätgasens utsläpp, i första hand storskalig elektrolys alternativt fortsatt fossilbaserad vätgasframställning kompletterad med CCS, kan bli en ny verksamhet för dagens tunga vätgasanvändare, dvs. den kemiska industrin samt raffinaderierna. Fossilfri vätgas kan också komma att få en ny roll i kemi- och raffinaderiindustrin genom att kombineras med koldioxid och/eller kväve för att tillverka bränslen och kemikalier som ammoniak (se 3.2.3). Om koldioxiden som används dessförinnan har fångats in från andra utsläppskällor eller direkt från luften är detta ett exempel på CCU (Carbon Capture and Utilisation), se 2.4.4 nedan i detta kapitel.

Lagring av vätgas gör det möjligt att använda vätgasen för att balansera elsystemet. Inom HYBRIT planeras vätgasen lagras i ett utsprängt bergrum som klätts in med ett dubbelt lager av metall och betong. Metoden tillämpas redan i dag med goda resultat för lagring av naturgas i gaslagret Skallen i Halland.

2.3 Elektrifiering

El är inte en råvara utan en energibärare, vilket innebär att elens främsta roll i industrins omställning är att ersätta fossila energibärare och de förbränningsutsläpp de ger upphov till. Sverige har goda förutsättningar i form av en hög andel fossilfri el. Här har också svensk industri, mycket tack vare de internationellt sett låga elpriserna, redan kommit långt och använder i många tillämpningar el framför bränslen för omvandling till mekaniskt arbete och/eller värme. Med teknisk utveckling skulle el kunna användas även i fler processer som kräver mycket höga temperaturer och som i dag förlitar sig på fossila bränslen som värmekälla.

Industrins processrelaterade utsläpp handlar däremot om utsläpp som kommer från omvandlingen av råvaror i kemiska processer och därför är det råvarorna och processerna snarare än energibärarna som är av intresse. Däremot kan fossilfri el som energibärare möjliggöra nya processer och råvaror som i sin tur minskar de processrelaterade utsläppen.

2.3.1 El öppnar nya möjligheter att ersätta fossilbaserade byggstenar

Med hjälp av el kan olika råvaror omformas till andra ämnen som ersätter fossilbaserade råvaror i vidare processer. Genom elektrolys kan vatten spjälkas till vätgas och syre och den producerade vätgasen kan ersätta vätgas producerad från naturgas (se föregående avsnitt om tillverkning av vätgas, 2.2.1).

Den största potentialen för att använda el i helt nya tillämpningar finns inom petrokemisk industri och raffinaderier. Petrokemisk industri och raffinaderier utgår från kolväten, företrädesvis fossilbaserade, som på olika sätt bryts sönder, slås samman och omformas till olika slutprodukter. El gör det möjligt att utgå från andra byggstenar än kolväten, antingen för att tillverka önskade kolväten – t.ex. bränslen – eller för att bygga ihop andra byggstenar som i dag normalt tillverkas från kolväten. Tillverkningen av kolväten, såsom

så kallade elektrobränslen, sker då genom att kombinera koldioxid och vätgas, där koldioxiden kan ha fångats in (CCU, se 2.4.4) och vätgasen spjälkats från vatten genom elektrolys. Vätgas och/eller koldioxid kan vidare kombineras med varandra och/eller andra ämnen som kväve för att tillverka enkla molekyler som eten, ammoniak och myrsyra, som i sin tur kan användas som byggstenar för en lång rad produkter såsom plaster, gödsel och bulkkemikalier. El kan också kombineras med olika biobaserade råvaror som t.ex. alkoholer för att tillverka olika typer av specialkemikalier. Ett intressant internationellt exempel på elektrifiering inom den kemiska industrin är det nederländska innovationsprogrammet Voltachem[22].

2.3.2 Industrin kan bidra med efterfrågeflexibilitet

Elektrifiering leder till en ökad elanvändning inom industrin. Förutsättningarna för att öka effektuttaget för att möjliggöra det ser olika ut i olika delar av landet då flaskhalsar i elnäten i dag begränsar överföringskapaciteten. Däremot skulle HYBRIT rentav kunna bidra till att minska dagens regionala obalanser mellan lokalisering av elproduktion och -användning genom att i högre grad matcha dagens stora elproduktion från vattenkraft och vindkraft i Norrland med efterfrågan i samma elområde. Redan nu kan vi se att elintensiva verksamheter som datacenter m.fl. väljer att etablera sig i områden med låga elpriser, vilket i förlängningen borde bidra till minskade regionala obalanser.

Internationellt ses industriell elektrifiering som ett intressant koncept både för att ställa om industrin och för att upprätthålla effektbalansen när elsystemet ställs om till förnybar och i högre grad variabel elproduktion. Detta gäller framför allt tillämningar där olika molekyler med hjälp av elektricitet sätts ihop till önskade byggstenar (jämför 2.2.2). Detta benämns ofta Power-to-X eller P2X, där X:et enligt vissa definitioner kan ges en mycket vid betydelse och även omfatta t.ex. värme. Med P2X blir visserligen verkningsgraden lägre när elen ska omvandlas till exempelvis vätgas i stället för att användas direkt, men å andra sidan möjliggörs en mer flexibel efterfrågan även för industrier som annars går kontinuerligt och inte kan bidra med flexibilitet i sin efterfrågan. Produktionen av vätgas och andra produkter kan då anpassas så att den går för fullt när elpriset är lågt och dras ned eller stängs av helt när effektsituationen är mer ansträngd och elpriset därmed är högre. Detta förutsätter dock lagringsmöjligheter och att det går att få ekonomi i att bygga en anläggning som bara är i full drift ibland. Vid riktigt höga elpriser kan processen också köras åt andra hållet och exempelvis vätgas omvandlas till el som matas tillbaka in på nätet.

2.4 Avskiljning, transport och lagring av koldioxid

CCS (carbon capture and storage) innebär att koldioxid fångas in från stora punktutsläpp för att sedan transporteras till permanent lagring i geologiska formationer på land eller ute till havs. Tekniken pekas ut av både IEA[23] och FN:s klimatpanel[24] som en förutsättning för att det ska finnas en rimlig chans att nå både 2-graders målet och 1,5-graders målet.[25]

[22] www.voltachem.com

[23] IEA , 2017. *Energy Technology Perspectives, 2017 edition.*

[24] IPCC, 2018. Special Report, *Global Warming of 1.5 °C, Intergovernmental Panel on Climate Change, Chapter 2, Mitigation Pathways Compatible with 1.5 °C in the Context of Sustainable Development.*

[25] För att nå 2-graders målet handlar det globalt sett om att CCS år 2060 har en kapacitet att fånga in 6,8 miljarder ton koldioxid, varav 2,7 miljarder ton med biogent ursprung, för att sedan öka. Detta alltså vid sidan om en halvering av fossilbränsleanvändningen mellan 2014 och 2060.

2.4.1 Negativa utsläpp eller minskade fossila utsläpp

CCS kan användas för att fånga in koldioxid från förbränning av biobränslen såväl som fossila bränslen. CCS-användning på stora punktutsläpp har potential att fånga 80–95 procent av koldioxiden men kräver att energi tillförs.[26] Då tekniken används på biogena utsläpp, bio-CCS, kan negativa utsläpp skapas. Detta gäller under förutsättning att biomassan som förbränns kan anses vara utsläppsneutral. Läs mer om definitionen av negativa utsläpp i avsnitt 1.2.

För att nå de svenska utsläppsmålen om netto-noll utsläpp till 2045 och därefter negativa utsläpp kommer tekniken med stor sannolikhet också vara nödvändig att användas på fossila utsläpp inom svensk process- och basindustri.[27,28] Vid applicering på fossila utsläpp kan inga negativa utsläpp nås. Teknikens potential består då i att uppnå utsläppsminskningar vid industrier där ingen annan teknik finns tillgänglig, eller förväntas finnas tillgänglig inom det tidsperspektiv då utsläppsminskningarna måste ske.

2.4.2 Olika sätt att avskilja och fånga in koldioxid

Det finns i huvudsak tre olika sätt att avskilja och fånga in koldioxid, (1) avskiljning efter förbränning av bränsle/processen, så kallad post-combustion, (2) avskiljning innan förbränning av bränsle/processen, så kallad pre-combustion och (3) förbränning i en atmosfär av återcirkulerad rökgas och syrgas, så kallad oxyfuel-avskiljning. Alla går ut på att få en så hög koncentration av koldioxid i rökgasen som möjligt, vilket dessutom är en förutsättning för lagring enligt EU:s lagringsdirektiv[29]. För en principskiss av teknikerna, se Figur 2 nedan.

Avskiljning efter förbränning går ut på att rökgasen passerar en enhetsprocess (skrubber eller membran) i vilken koldioxiden avskiljs från övriga rökgaskomponenter med hjälp av en absorptionslösning. Det finns flera sätt att separera koldioxiden från rökgasen och detta anpassas utifrån rökgasens kemiska sammansättning. Rökgasernas egenskaper beror bl.a. på vilket bränsle som används och hur processen ser ut. För att frisläppa koldioxiden från absorptionslösningen krävs energi i form av värme (omkring 120 grader) och det är därför en fördel om det finns spillånga från processen som kan tas tillvara här. Det är också gynnsamt om värmen från den tillförda ångan kan återvinnas som fjärrvärme. Denna teknik används i dag av ett kolkraftverk i Kanada där den infångade gasen används för ökad oljeutvinning (EHR, Enhanced Hydrocarbon Recovery, se grön faktaruta på sida 19). Varianter av denna teknik har testats vid två projekt i Norge, vid cementproduktion (se avsnitt 3.3.3) och vid ett avfallseldat kraftvärmeverk i Oslo (se avsnitt 4.4.1). Båda dessa utgör delar av ett norskt fullskaleprojekt (som beskrivs i sin helhet i avsnitt 4.4.1).

---

[26] Johnsson Filip, Normann Fredrik, Svensson Elin, 2020. *Marginal Abatement Cost Curve of Industrial CO_2 Capture and Storage – A Swedish Case Study,* Chalmers Tekniska Högskola.

[27] Johnsson F och Kjärstad J., 2019. *Avskiljning, transport och lagring av koldioxid i Sverige – Behov av forskning och demonstration.*

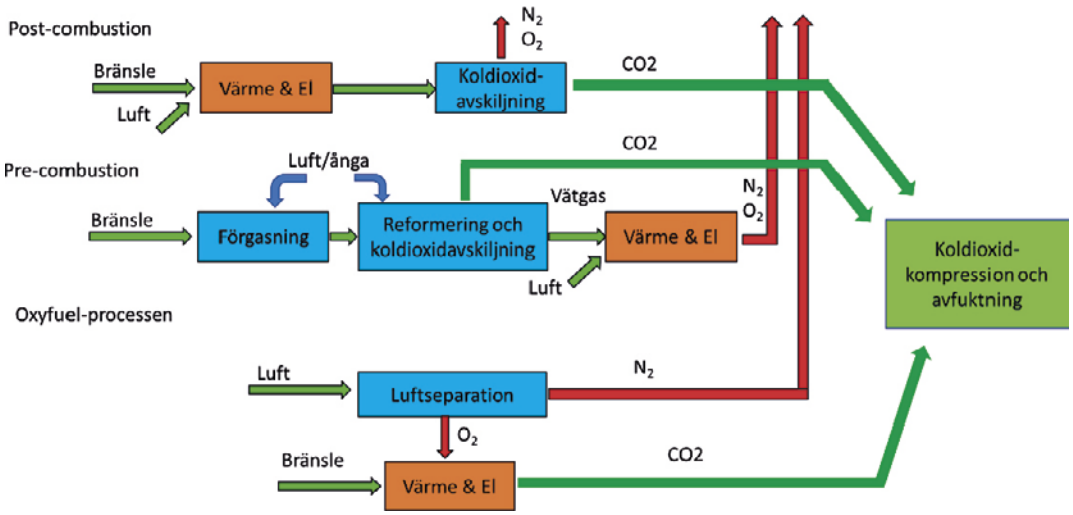
[28] SOU 2020:4

[29] Direktiv 2009/31/EG. ”En koldioxidström ska huvudsakligen bestå av koldioxid. Därför får inget avfall eller andra substanser tillsättas i syfte att bortskaffa detta avfall eller denna substans. En koldioxidström får dock innehålla spår av substanser som härrör från källan, avskiljningen eller injektionsprocessen samt spårsubstanser som tillsatts för att bistå vid övervakning och kontroll av koldioxidmigrationen.”

I Sverige testas tekniken just nu också vid det biomassaeldade Värtaverket i Stockholm, (lär mer i avsnitt 4.4.3), och det är också den teknik som ligger närmast kommersialisering för tillämpning i Sverige då den i princip kan anpassas till alla utsläppskällor.

Avskiljning innan förbränning innebär att man först avlägsnar kolet från bränslet genom en förbränningsprocess där vätgas och koldioxid skapas. Denna process är mindre energikrävande, men mer komplex och vid t.ex. elproduktion krävs vätgaseldade gasturbiner, vilket är en teknik som inte är fullt utvecklad ännu. Tekniken används i dag av ett stålverk i Abu-Dhabi, även här med EHR.

Det sista alternativet innebär att förbränning *sker tillsammans med syrgas och återcirkulerad rökgas* och kallas även *oxyfuel-teknik*. Efter att vattenånga avskilts får man då fram en nästan ren koldioxid. Denna teknik testades vid Vattenfalls anläggning Schwarze Pumpe i Tyskland, dock utan lagring. Nackdelen är dock att investeringen i en luftseparationsanläggning för att framställa syrgas är kostsam och processen kräver stora mängder el.[30] För att inte förta klimatnyttan är det viktigt att syrgasframställningen kan ske på ett koldioxidsnålt sätt.



Figur 2. Principskiss av designalternativ för koldioxidinfångning vid termisk förbränning.
Källa: EPRI Journal.[31]

2.4.3 Transport och lagring

När koldioxiden avskilts ska den, efter eventuell mellanlagring, transporteras till slutlagring. Detta kan i huvudsak ske med rörledningar eller fartyg, men även transport med lastbil är möjligt för mindre kvantiteter och sträckor. För svensk del är fartyg i dagsläget det realistiska alternativet då en infrastruktur för transport med rörledningar innebär en mycket stor investering. Redan i dagsläget sker transporter av koldioxid på fartyg inom Europa, men då i liten skala. Tekniskt sett finns dock ingen begränsning för att bygga fartyg med större kapacitet då det bygger på samma teknik som används för transport

[30] Johnsson F och Kjärstad J., 2019. *Avskiljning, transport och lagring av koldioxid i Sverige – Behov av forskning och demonstration.*

[31] http://mydocs.epri.com/docs/CorporateDocuments/EPRI_Journal/2007-Spring/1014795_CarbonCapture.pdf

av gasol. Storleken på transporten är snarare en avvägning mellan vilken kapacitet som finns för mellanlagring, årlig infångning, om transport från flera insamlingskällor kombineras och vilken kapacitet som finns för att ta emot koldioxiden vid slutförvaringspunkten. I det norska fullskaleprojektet kommer fartygen ha möjlighet att ta drygt 8 500 ton, med en årlig transportkapacitet på 400 000 ton.[32],[33] En ny studie visar att transportkostnaderna påverkas ringa av storleken på fartyget när man nått en storlek på fartyget om cirka 10 000–20 000 ton.[34]

Kunskapen om möjliga lagringsplatser i Sverige är i dag bristfällig och att utveckla lagring i Sverige skulle kosta både mycket tid och pengar.[35] Potentialen för lagring i Norden, inte minst i Norge, är dock sannolikt mycket god. Den teoretiska potentialen har uppskattats vara tillräcklig för att lagra de nordiska utsläppen hundratals år framåt.[36] Även globalt bedöms potentialen för denna typ av lagring vara mycket god. IPCC uppskattade potentialen till minst 1 000 miljarder ton koldioxid, men att den kan vara så mycket som tio gånger större än så. I jämförelse uppgår de årliga globala koldioxidutsläppen till 35–40 miljarder ton.[37]

I Norge har man kommit längre än resten av Norden med att kartlägga denna potential då avskiljning och lagring har skett sedan 1996. Läs mer om detta i kapitlet om projekt och forskning för negativa utsläpp, under avsnitt 4.4.1. För att kunna komma igång med koldioxidavskiljning i Sverige, i tid till att uppnå målen till 2045, skulle därför lagring i annat land vara nödvändigt. Olika uppskattningar visar att ett svenskt lager ligger 20–30 år bort och kräver stora insatser i form av inventeringar av möjliga lagringsplatser och uppbyggnad av kompetens. Norge, Storbritannien och Nederländerna har startat verksamhet och visat intresse för att lagra koldioxid från andra länder och Norge har hunnit längst. För att export av koldioxid ska vara möjligt krävs då först ett bilateralt avtal med Norge. Något sådant avtal finns inte i dagsläget. För att läsa mer om lagstiftningen kopplat till CCS, se Bilaga 1.

2.4.4 Använda den infångade koldioxiden som råvara – CCU

Ett alternativ till att lagra den infångade koldioxiden är att använda den som råvara i olika processer, vilket kallas CCU (Carbon Capture and Utilisation). Kol är byggsten i en rad olika produkter från kemi- och raffinaderiindustrin. Dessa är i dag huvudsakligen fossilbaserade, men i stället för att utgå från kolväten som raffineras ur olja kan infångad koldioxid slås ihop med vätgas till kolväten eller genom andra reaktioner byggas ihop till önskade ämnen (se 2.2.2).

[32] https://northernlightsccs.com/en/about

[33] F. Johnsson och J. Kjärstad, 2019. *Avskiljning, transport och lagring av koldioxid i Sverige – Behov av forskning och demonstration.*

[34] IEA Greenhouse Gas R&D Programme, 2020. *The status and Challenge of CO_2 Shipping Infrastructures.*

[35] Legala hinder kan uppkomma, såsom att Östersjön är ett skyddat innanhav och att lagring kan påverka andra länder. Sveriges implementering av CCS-direktivet (Direktiv 2009/31/EG) begränsar också möjligheterna till lagring på land, men tillåter lagring under havsbottnen.

[36] SGU, 2017. *Geologisk lagring av koldioxid i Sverige – Lägesbeskrivning avseende förutsättningar, lagstiftning och forskning samt olje- och gasverksamhet i Östersjöregionen.*

[37] SOU 2020:4

Jämfört med CCS, där koldioxiden lagras permanent, beror klimatnyttan av CCU på vad den infångade koldioxiden används till. Om koldioxiden används för att tillverka bränslen som sedan förbränns blir resultatet endast en kortare senareläggning av utsläppen och ingen långsiktig minskning, eller inga negativa utsläpp skapas i fallet med biobränslen. Om koldioxiden i stället används till material (t.ex. plaster eller byggnadsmaterial) så dröjer det längre tills koldioxiden återförs till atmosfären. För att koldioxiden permanent ska tas ut ur kretsloppet behöver de använda produkterna så långt som möjligt återanvändas, återvinnas och, om det inte längre är möjligt, deponeras i stället för att förbrännas.

2.4.5 Förutsättningarna beror på utsläppens storlek och bransch

CCS-tekniken är förhållandevis kostsam, vilket i praktiken innebär att det i första hand är stora punktutsläpp som kan komma ifråga. I takt med teknikutveckling och med det minskade kostnader kan även mindre anläggningar komma i fråga. Som en fingervisning kan i dagsläget anläggningar med koldioxidutsläpp på cirka 100 000 – 300 000 ton per år, i CCS-sammanhang, betraktas som små anläggningar.[38] Kostnaderna och förutsättningarna beror dock på flera anläggningsspecifika faktorer. Anläggningen behöver vara placerad så att transport till slutlagring inte blir för kostsam. Detta innebär i dagsläget att kustnära anläggningar har en fördel. Andra faktorer som avgör om och hur tekniken kan användas är koncentrationen av koldioxid i rökgasen, de årliga utsläppsflödena av koldioxid från punktkällan och om det finns möjlighet att använda restvärme från anläggningens processer vid avskiljningen. Förutom skillnader i koldioxidkoncentration skiljer sig utsläppen åt i sammansättning och det påverkar vilken avskiljningsteknik som kan användas. Avskiljningstekniken och vilka restämnen som finns i den infångade rökgasen styr i sin tur vilka egenskaper den infångade koldioxidströmmen får, som t ex. kompressabilitet, vilket i sin tur spelar roll för transport och slutlagringsmöjligheten. Det finns således inte en lösning som passar alla utsläpp eller en hel bransch. Designen måste utgå från de förutsättningar som finns på varje specifik anläggning vilket gör att behovet av fortsatt forskning är stort.

Med hänsyn till rådande ekonomiska förutsättningar bedöms en förutsättning för CCS vara utsläppens storlek. För vissa branscher, t.ex. raffinaderier, är utsläppen spridda på flera delprocesser där utsläppskällorna även har olika koldioxidkoncentration. Förutsättningarna för Sveriges biogena utsläpp, dvs. främst massa- och pappersindustrin samt kraftvärme- och värmeverk, är dock förhållandevis goda. Fördelarna består i att koldioxidkoncentrationen typiskt sett är medelhög (10–20 procent), utsläppskällorna är få och det finns tillgång till överskottsånga som ofta kan återvinnas som fjärrvärme. Detta medför att den extra energitillförseln inte blir så stor.

[38] SOU 2020:4

Andra tekniker kopplade till CCS

DAC (Direct air capture) och DACCS (Direct air carbon capture and storage)

Ett annat sätt att fånga in koldioxiden är att göra det direkt från atmosfären. Detta kallas DAC (Direct Air Capture), eller DACCS i det fall infångningstekniken används i kombination med geologisk lagring. Då koncentrationen av koldioxid är flera hundra gånger lägre är tekniken betydligt mer energikrävande och kostsam än CCS/CCU eller bio-CCS.[39] Fördelen är att DAC-anläggningar inte behöver placeras vid punktkällor utan kan förläggas där det är lämpligt utifrån var den infångade koldioxiden ska lagras eller användas och var det finns god tillgång till förnybar energi.

Det finns i dag 15 DAC-anläggningar i bruk i världen.[40] De flesta av dessa är dock små och säljer den infångade koldioxiden för användning i exempelvis kolsyrade drycker, vilket alltså inte bidrar till negativa utsläpp. Världens första storskaliga DAC-anläggning planeras nu i USA, men klimatnyttan av denna förtas av att syftet är att använda den infångade koldioxiden för EHR (se nedan).

EHR (Enhanced hydrocarbon recovery)

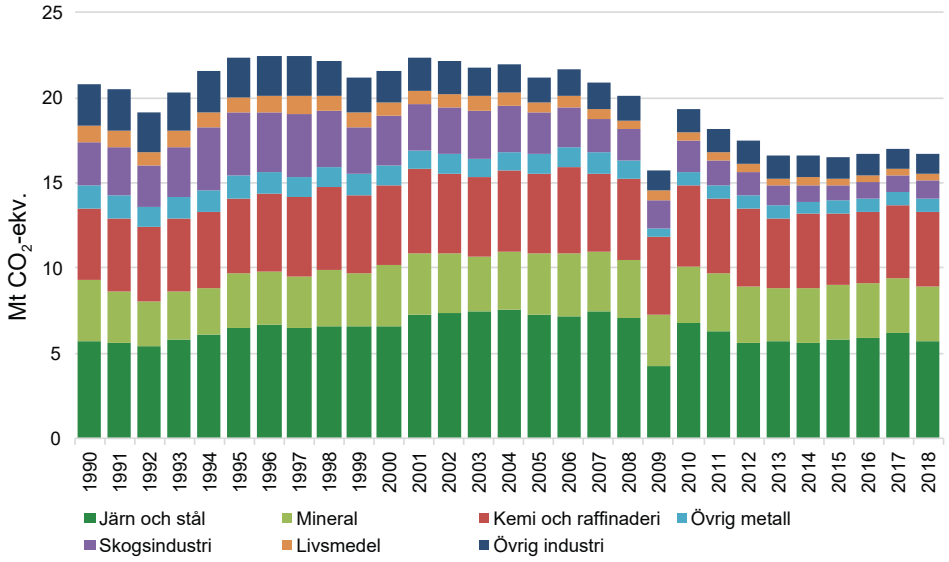
EHR (även kallat EOR, Enhanced oil recovery) är en form att utvinning av naturgas eller olja som innebär att koldioxid injiceras i marken och gör det möjligt att utvinna mer fossila bränslen från samma källa. De flesta CCS-anläggningar i världen som är i drift har någon form av EHR.

[39] T.ex. består rökgaserna från ett kraftverk typiskt sett av runt 10–15 % koldioxid jämfört med 410 ppm i atmosfären, dvs 0,041 %.

[40] https://www.iea.org/reports/direct-air-capture (hämtat 2020-09-15)

3 Branscher inom industrin med stora processrelaterade utsläpp

Industrins totala utsläpp av fossila växthusgaser har minskat med 19 procent mellan åren 1990 och 2018. Utsläppen har sedan 2012 legat på en nivå om cirka 17 miljoner ton koldioxidekvivalenter, och utgjorde under 2018 en knapp tredjedel av Sveriges totala fossila växthusgasutsläpp[41]. Energianvändningen inom industrin är relativt oförändrad under samma tidsperiod, men en successiv övergång har skett från fossila till förnybara bränslen vilket har bidragit till de minskade fossila växthusgasutsläppen.[42] Minskningen av fossila växthusgaser beror också på att tillverkningsprocesserna blivit mer effektiva. Figur 3 nedan visar industrins totala utsläpp av fossila växthusgaser fördelat på olika branscher.



Figur 3. Industrins totala utsläpp av fossila växthusgaser fördelat på olika branscher, 1990–2018, miljoner ton koldioxidekvivalenter.

Källa: Naturvårdsverket och SCB[43], bearbetning av Energimyndigheten.

Anm 1: Minskningen 2009 beror på att produktionen inom vissa branscher sjönk under lågkonjunkturen.

Anm 2: Utsläppen från förbränning av interna bränslen inom raffinaderier bygger på en beräkning som utgår från raffinaderiets energianvändning. På grund av osäkerheter i energistatistiken avseende år 2018 så har användningen av interna bränslen inom raffinaderier imputerats med föregående års data.

[41] Dessa uppgick till drygt 52 miljoner ton koldioxidekvivalenter, exklusive LULUCF och internationella transporter.

[42] Energianvändningen inte är proportionell mot utsläppen. Vissa branscher har tillverkningsprocesser som ger upphov till stora mängder utsläpp på grund av att själva råvaran är fossil. En annan förklaring är att bränslemixen varierar stort mellan olika branscher, och olika bränslen har olika emissionsfaktorer. För vissa tillverkningsprocesser är det inte heller möjligt att ersätta de fossila energibärarna utan större teknikskiften.

[43] SCB, 2020a

Massa- och pappersindustrin är den bransch som minskat sina fossila växthusgasutsläpp mest under tidsperioden i absoluta tal, följt av övrig industri[44] och livsmedelsindustrin. Massa- och pappersindustrin[45] står för hälften av industrins energianvändning under 2018, men endast 6 procent av industrins totala fossila växthusgasutsläpp. Detta beror på att massa- och pappersindustrin i huvudsak använder el och biomassa.

Av industrins totala fossila växthusgasutsläpp utgjorde de processrelaterade utsläppen 66 procent under 2018. De utsläppsintensiva branscherna järn- och stålindustrin, raffinaderi och kemiindustrin, mineralindustrin samt övrig metall stod tillsammans för 84 procent av industrins totala fossila växthusgasutsläpp under 2018. Dessa branscher stod samma år också för 98 procent av industrins processrelaterade utsläpp. Delbranscherna har heller inte minskat sina fossila växthusgasutsläpp i någon större omfattning sedan 1990, med undantag från övrig metall som minskat dem med cirka 40[46] procent. Därför är järn- och stålindustrin, raffinaderier och kemiindustrin, mineralindustrin samt övrig metall i fokus i detta kapitel och beskrivs närmare i separata branschavsnitt.

3.1 Järn- och stålindustrin, inklusive järnmalmsgruvor

Järn- och stålindustrin står för en dryg tredjedel av industrins fossila växthusgasutsläpp och av dessa är knappt 80 procent processrelaterade. Masugnsprocessen står för majoriteten av stålproduktionen i Sverige, och utsläppen kan främst härledas till den reduktion som görs där. Reduktion är ett nödvändigt processteg för järnframställning och innebär att kol och koks används för att minska syrehalten i järnmalmen. Det finns andra tekniker för reduktion. I den så kallade Höganäsprocessen används en annan teknik för reduktion som ger upphov till mindre utsläpp. För att minska/eliminera utsläppen utvecklar man i projektet HYBRIT en ny process som ska ersätta masugnsprocessen, där reduktion sker med vätgas istället för med kol och koks.

Järn- och stålindustrin omfattar en mängd olika verksamhetsområden och tillverkningsprocesser. De produkter som tillverkas längs värdekedjan har ofta flera användningsområden, både som insatsvaror i andra processer och som slutprodukter. Värdekedjan börjar med järnmalm som bryts i Sverige och både vidareförädlas här men också säljs internationellt. Järnmalmen vidareförädlas till olika järn- och stålprodukter med olika egenskaper som har många olika användningsområden. Några exempel är höghållfast stål som används i bilar, gjutjärn som används till grytor och stekpannor m.m., verktygsstål som kan används i filar, valsar och andra verktyg samt konstruktionsstål i form av t.ex. rör och stänger som används vid bl.a. husbyggnationer.

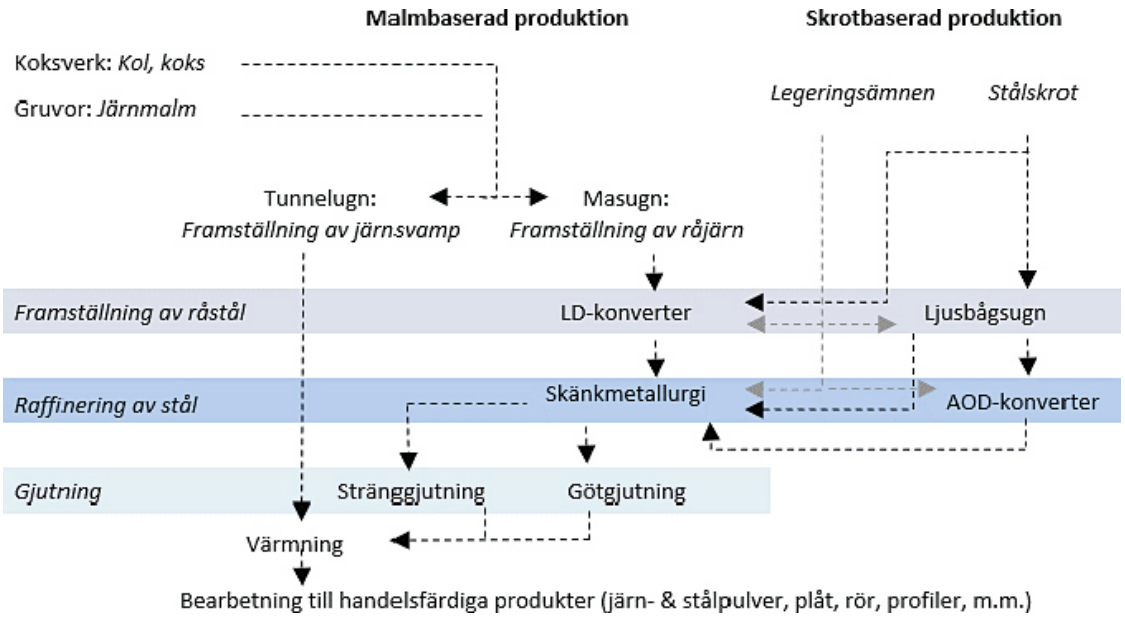
I Sverige finns tre huvudsakliga processpår, nämligen malmbaserad produktion med masugn (masugnsprocessen) och tunnelugn (även kallad Höganäsprocessen) samt skrotbaserad produktion med ljusbågsugn.[47] Varje teknik består av olika processteg som ger upphov till olika stora utsläpp. De viktigaste stegen visas i Figur 4.

[44] I övrig industri ingår här bl.a. verkstadsindustrin.

[45] Här ingår också grafisk produktion, men denna produktion står för en liten andel av branschens energianvändning och utsläpp.

[46] Detta kan främst härledas till framställningen av aluminium där investeringar i ny teknik ledde till en halvering av de processrelaterade utsläppen under den senare delen av 00-talet.

[47] Jernkontoret, 2018. *Klimatfärdplan – För en fossilfri och konkurrenskraftig stålindustri i Sverige*. Jernkontoret: Fossilfritt Sverige.



Figur 4. Processpår inom svensk järn- och stålindustri.
Källa: Jernkontoret[48], Energimyndighetens bearbetning.

Vid malmbaserad tillverkning omvandlas järnmalm till järn som sedan kan förädlas vidare till stål. Järnmalm innehåller syre och vid järnframställningen behöver syret minskas. Det sker genom reduktion där syreatomer separeras från järnet. Inom järn- och stålindustrin sker detta i dag med hjälp av kol och koks vars kolatomer slår sig samman med syreatomer i järnmalmen och bildar koldioxid. Syrehalten i järnmalmen minskar då och råjärn bildas, samtidigt som koldioxid avgår som utsläpp.

Av de tre huvudsakliga produktionsspåren står masugnsprocessen för majoriteten av branschens utsläpp. Höganäsprocessens utsläpp är lägre än masugnsprocessens både totalt sett och i förhållande till produktionsvolymen. Utsläpp från den skrotbaserade produktionen är förhållandevis små. Anledningen till att den skrotbaserade tekniken har betydligt mindre utsläpp är att stål tillverkat från skrot inte behöver genomgå en reduktionsprocess på samma sätt som de andra två processpåren.[49]

3.1.1 Tillverkning av stål

I Sverige finns tre malmbaserade järn- och stålverk varav två använder masugnsteknik och en använder Höganäsprocessen. Det finns också ett tiotal skrotbaserade stålverk och omkring femton anläggningar för olika typer av vidarebearbetning. Det finns två större järnmalmsgruvor och tre anläggningar för produktion av järnmalmspellets.[50] Som nämnts ovan står masugnsbaserad ståltillverkning för de största utsläppen i branschen och beskrivningen nedan fokuserar därför på masugnsprocessen. Men för att ge en helhetsbild och eftersom utsläpp också sker i andra processteg och produktionsspår så ges en översikt av dem nedan också.

[48] Jernkontoret, 2018. s.18.

[49] Jernkontoret, 2018.

[50] Jernkontoret, 2019 och Naturvårdsverket, 2019. *National inventory report 2019.*

Malmbrytning och förädling

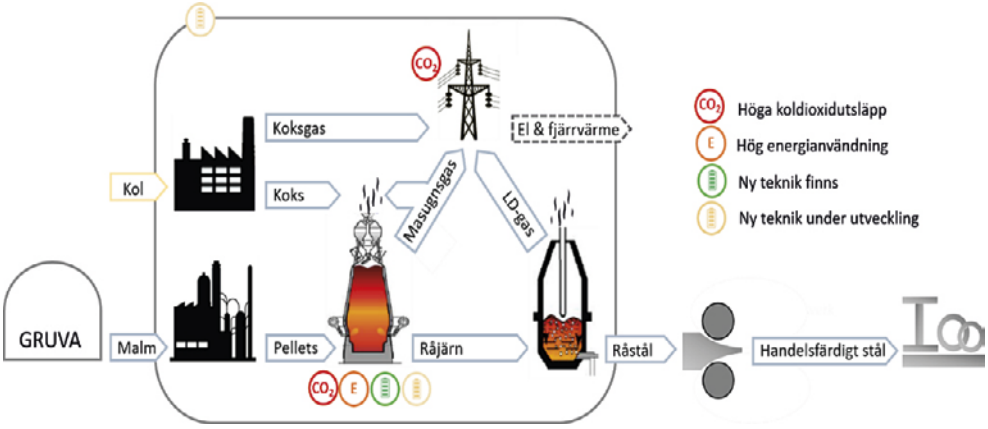
Det första steget i malmbaserad stålproduktion är själva malmbrytningen. Innan malmen kan användas i stålproduktionen behöver den förädlas. Förädlingsprocessen består av tre steg: sovring, anrikning och pelletisering. I sovringsverket krossas och sorteras malmen och sedan förs den till anrikningsverket. Anrikning innebär att orenheter avlägsnas och järnhalten höjs, vilket sker genom malning, separering och flotation[51]. I pelletsverken blandas sedan malmkoncentratet med olika tillsats- och bindemedel innan den rullas och bränns till pellets.[52]

Under järnmalmsbrytning och anrikning uppstår dels förbränningsutsläpp när fossila bränslen används för uppvärmning, dels mindre processutsläpp från t.ex. spränggaser och tillsatsämnen i pelletstillverkningen.

Masugnsbaserad tillverkning av råstål

De huvudsakliga råvarorna i malmbaserad ståltillverkning är järnmalmspellets och kol/koks. Processen kan mycket förenklat delas upp i två steg. I masugnen genomgår malmen först en reduktionsprocess för att separera syret från järnmalmen. Det smälta råjärnet förs därefter vidare till stålverket där kolhalten sänks i LD-konvertern så att råstål bildas.

I Figur 5 visas processtegen från gruva till handelsfärdiga stålprodukter när masugnsbaserad tillverkning används. Bilden visar även var utsläppen och energianvändningen är störst samt var det finns teknikalternativ för att minska utsläppen.



Figur 5. Malmbaserad tillverkning av råstål i masugn.

Källa: Energimyndigheten.

Anm: Pilarna symboliserar materialflödena mellan de olika processtegen. Gul pil innebär att råvaran importeras till Sverige och grå pil innebär att råvaran utvinns eller framställs i Sverige. Ikonerna visar var utsläppen och energianvändningen är störst och för vilka processteg ny teknik kan minska utsläppen inom snar respektive mer avlägsen framtid. Den gula tekniksymbolen i figurens övre vänstra hörn symboliserar utvecklingen av vätgasbaserad direktreduktion, ett teknikspår med potentialen att i stort sett eliminera utsläppen från den malmbaserade stålproduktionen. Läs mer i avsnitten 2.2.2 och 3.1.3.

[51] En separeringsprocess som fördelar ämnen efter deras kemiska egenskaper.

[52] LKAB, *Förädla*. https://www.lkab.com/sv/om-lkab/fran-gruva-till-hamn/foradla/ (2020-08-04)

Masugnen fylls på uppifrån med järnmalmspellets, koks och kalksten. Koksen fungerar som reduktionsmedel, bränsle och lastbärare för pellets. Kalken bidrar till reduktionsprocessen samt till att separera slagg från järnet. Järnmalmspelletsen smälter i ugnen och reduceras till råjärn. Reduktionen innebär att kolatomer reagerar med syreatomer i järnmalmen så att syrehalten minskar i järnmalmen och samtidigt bildas koldioxid.[53] Masugnen och den reduktionsprocess som sker där är en stor källa till fossila växthusgasutsläpp vid stålproduktion.

I LD-konvertern omvandlas råjärn till råstål. Processen sker genom att syrgas med högt tryck blåses på smältan, vilket leder till att kolhalten sänks. Denna reaktion avger stora mängder värme och för att kyla materialet tillsätts skrotstål.[54]

Då koks är en förutsättning för masugnsprocessen har produktionsanläggningar med masugnar egna koksverk i nära anslutning. Koks framställs genom torrdestillation av kol, vilket innebär att kolet hettas upp till över 1 000 grader. [55] Även här uppstår fossila koldioxidutsläpp som räknas som processutsläpp.

Det bildas energirika restgaser i processerna i koksverk, masugn och stålverk. Restgaserna används som bränsle i processerna och i värmningsugnar i efterföljande tillverkningssteg. De användas också som bränsle för el- och fjärrvärmeproduktion i kraftvärmeverk. Om restgaserna inte används måste de facklas bort.[56] Förbränning av dessa restgaser är också en stor källa till processrelaterade fossila utsläpp.

När råstålet är färdigt går det vidare till färdigställning och efterbehandling där stålet får sina slutliga egenskaper, se rubriken *Värmnings- och värmebehandlingsugnar* nedan.

Höganäsprocessen/tunnelugn

I Höganäsprocessen används järnmalmsslig, dvs. finkornig anrikad malm, tillsammans med bland annat koks för att framställa järnpulver. I Höganäsprocessen sker en direktreduktion av malmen, vilket innebär att den reduceras i fast fas[57] och bildar järnsvamp. Järnsvampen krossas sedan till ett råpulver som värmebehandlas och mals till ett finfördelat järnpulver. Järnpulvret förädlas antingen vidare eller säljs som det är. Processen kräver lägre temperaturer än masugnsprocessen, vilket bidrar till att energianvändningen och utsläppen är lägre. Utsläppen kan härledas till reduktionsprocessen, där koks används som reduktionsmedel, samt till naturgasen som används som bränsle.[58]

---

[53] Jernkontoret, https://www.jernkontoret.se/sv/stalindustrin/tillverkning-anvandning-atervinning/processer/ (hämtad 2020-09-09).

[54] Jernkontoret, https://www.jernkontoret.se/sv/stalindustrin/tillverkning-anvandning-atervinning/processer/ (hämtad 2020-09-09) och ENET-Steel, *Energieffektivisering inom SSAB Oxelösund under åren 1996–2007*. https://static1.squarespace.com/static/534fa8d4e4b0a1a3d8a42c81/t/54352b8de4b052cb7a7ff7f4/1412770725088/SSAB+1996-2007.pdf (hämtad 2019-07-15).

[55] Jernkontoret 2018 och ENET-Steel, *Energieffektivisering inom SSAB Oxelösund under åren 1996–2007*. https://static1.squarespace.com/static/534fa8d4e4b0a1a3d8a42c81/t/54352b8de4b052cb7a7ff7f4/1412770725088/SSAB+1996-2007.pdf (hämtad 2019-07-15).

[56] Fackling innebär att restgaserna eldas utan att energin tas tillvara. Facklingen är en del av fabrikernas säkerhetssystem och vid driftstörningar etc. så facklas gaserna istället för att släppas ut direkt till luften.

[57] Jämfört med när järnmalmen reduceras i masugnen där smältan är flytande.

[58] Jernkontoret, 2018.

Skrotbaserad ståltillverkning

I skrotbaserad ståltillverkning smälts stålskrot i en elektrisk ljusbågsugn. I ljusbågsugnen alstras elektriska ljusbågar genom grafitelektroder[59]. Ljusbågarna tillför energi som smälter skrotet. I vissa anläggningar används även gas- eller oljeeldade brännare i ljusbågsugnen för en jämnare värmefördelning och effektivare smältprocess. Utsläpp från skrotbaserad ståltillverkning är betydligt lägre än från malmbaserad tillverkning.[60] De processutsläpp som genereras kommer bland annat från elektroderna och från det tillsatta kolet.[61] Skrotbaserad ståltillverkning genererar även förbränningsutsläpp.

Värmnings- och värmebehandlingsugnar

När stålet har producerats genom en malm- eller skrotbaserad process behöver det färdigställas och efterbehandlas. Då renas stålet, olika legeringsämnen kan tillsättas och stålet bearbetas genom t.ex. varm- och kallvalsning, värmebehandling, smide och gjutning för att få sina slutliga egenskaper och form. Vilken behandling som görs beror på vilket stål man producerar, men gemensamt för de flesta är att de är energikrävande. Ofta används olja eller gas som har hög energitäthet, vilket behövs för att komma upp i temperatur snabbt.[62] Vid förbränning av fossila bränslen uppkommer här förbränningsutsläpp.[63]

3.1.2 Användning av energi och processkol samt utsläpp av fossila växthusgaser

Den slutliga energianvändningen i järn- och stålindustrin, inklusive järnmalmsgruvor och koksverk, uppgick till 23 TWh under 2018, vilket motsvarade 15 procent av industrins totala energianvändning samma år.[64] Energianvändningen i branschen är störst inom järn- och stålframställningen, framförallt i masugnsprocessen. Figur 6 visar hur energianvändningen var fördelad mellan olika energislag under 2018.

[59] Grafit är en form av kol. De elektroder som används i ljusbågsugnar är gjorda av kol eftersom inga andra typer av elektroder kan hantera den höga spänningen eller temperaturen i ugnen.

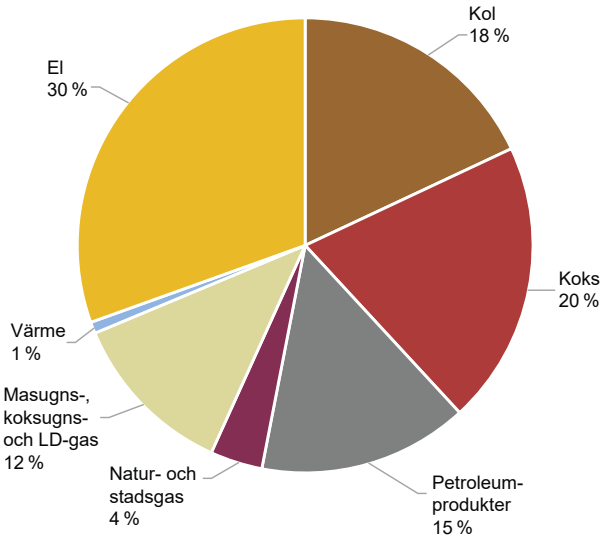
[60] Jernkontoret, 2018. och https://www.jernkontoret.se/sv/stalindustrin/tillverkning-anvandning-atervinning/processer/ (hämtad 2020-09-09).

[61] Naturvårdsverket, 2019. *National inventory report 2019.*

[62] Jernkontoret, 2018.

[63] Med undantag för när processgaserna som beskrivs under 3.1.2 används i dessa processer eftersom förbränning av processgaserna ger upphov till processrelaterade utsläpp.

[64] Notera att 23 TWh avser branschens slutliga energianvändning. Detta skiljer sig från branschens totala användning genom att varken de processgaser som säljs till energisektorn för att användas i el- och värmeproduktion eller de gaser som facklas upp ingår. Om figuren hade baserats på den totala energianvändningen hade fördelningen följaktligen sett något annorlunda ut.



Figur 6. Järn- och stålindustrins energianvändning, inklusive järnmalmsgruvor och koksverk, fördelat på olika energikällor, 2018, procent.

Källa: Energimyndigheten.[65]

Branschen använder nästan uteslutande fossila energivaror och el. Kol och koks används framförallt i samband med masugnsprocessen, men även vid tillverkning av järnmalmspellets och som legeringsämne i stål. El används framförallt i den skrotbaserade ståltillverkningen och i olika bearbetningsprocesser, men även i de malmbaserade processerna. Naturgas och petroleumprodukter används som bränsle i värmnings- och värmebehandlingsugnar, i arbetsmaskiner, vid pelletstillverkning och för interna transporter. Processer för att krossa och anrika järnmalm är nästan helt eldrivna i dag och ytterligare elektrifiering sker kontinuerligt vid reinvesteringar.[66,67]

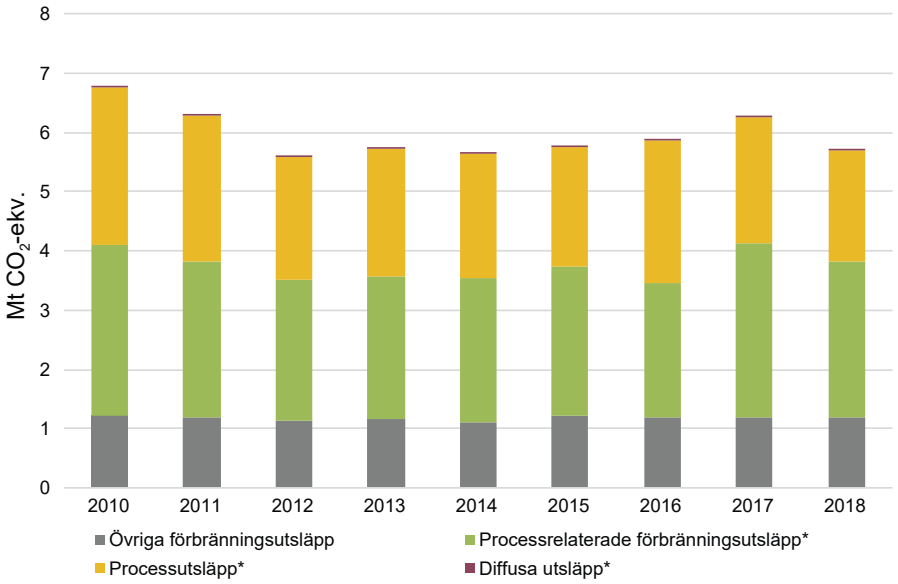
Järn- och stålindustrins utsläpp av fossila växthusgaser uppgick till 5,7 miljoner ton koldioxidekvivalenter[68] under 2018, vilket motsvarar 34 procent av industrins totala fossila växthusgasutsläpp. I Figur 7 visas fördelningen mellan processrelaterade utsläpp, (dvs. processutsläpp, diffusa utsläpp och processrelaterade förbränningsutsläpp), och övriga förbränningsutsläpp. De diffusa utsläppen utgör mindre än 1 procent av branschens totala fossila utsläpp och syns därför inte i grafen. Under 2018 var 79 procent av branschens totala fossila utsläpp processrelaterade och resterande 21 procent utgjordes således av övriga förbränningsutsläpp. Det finns inga biogena utsläpp i järn- och stålindustrin.

[65] Energimyndigheten, 2020. *Energibalans*. http://www.energimyndigheten.se/statistik/energibalans/ (hämtad 2020-07-01).

[66] Svemin, 2018. *Färdplan för en konkurrenskraftig och fossilfri gruv- och mineralnäring. Delrapport april 2018*. Svemin: Fossilfritt Sverige.

[67] Jernkontoret, 2018.

[68] Utsläpp från järnlegeringar (ferrolegeringar) och järnmalmsgruvor ingår inte här. Utsläpp från järnlegeringar redovisas i övrig metall.



Figur 7. Järn- och stålindustrins utsläpp fördelat på olika utsläppskategorier, 2010–2018, miljoner ton koldioxidekvivalenter (kategorier markerade med * ingår i processrelaterade utsläpp).

Källa: Naturvårdsverket och SCB[69], bearbetning av Energimyndigheten.

Anm 1: Järnmalmsbrytning (inklusive förädling och pelletstillverkning) samt framställning av ferrolegeringar ingår i Figur 6 men inte i Figur 7. Det beror på att utsläppen från dessa branscher samredovisas med andra branscher och inte kan särskiljas i utsläppsstatistiken.

Anm 2: Notera att branschfördelningen för utsläppsstatistiken skiljer sig från övrig statistik så utsläpp från järnlegeringar och järnmalmsgruvor ingår inte i figuren ovan.

Utsläppen från järn- och stålindustrin är starkt kopplade till konjunkturen och kan därför variera år till år beroende på produktionsvolym och fördelningen mellan stålkvaliteter. Drygt 80 procent av processutsläppen uppstår i den masugnsbaserade järnproduktionen, medan resten kan härledas till Höganäsprocessen[70], stålproduktionen och kalkproduktionen. Dessutom förbränns restgaser som ger processrelaterade förbränningsutsläpp. Koksverken står för alla diffusa utsläpp.[71]

Övriga förbränningsutsläpp sker i samband med att material hettas upp inför bearbetning och i olika värmebehandlingssteg. Även de tillsatsmaterial och råvaror som används i smältprocesserna, t.ex. kolinnehåll i skrot och legeringsämnen, ger upphov till en mindre mängd utsläpp.[72]

3.1.3 Lösningar för att minska utsläppen

I det här avsnittet beskrivs olika möjligheter att minska utsläppen från malmbaserad produktion, med utgångspunkt i den svenska järn- och stålindustrins förutsättningar. Den begränsade tillgången på stålskrot tillgängligt för återvinning i förhållande till efterfrågan på stål innebär att både järnmalm och skrot sannolikt kommer att behövas för att täcka

[69] SCB, 2020a.

[70] I statistiken anges detta som ”processutsläpp från produktion av direktreducerat järn”, men i praktiken är Höganäsprocessen den enda tillverkningen med direktreduktion idag.

[71] SCB, 2020a.

[72] Jernkontoret, 2018.

efterfrågan på järn och stål i framtiden. Huvudspåret som industrin satsar på vad gäller den svenska masugnsproduktionen är vätgasbaserad reduktion. Forskningsprojekt kring att ersätta fossil kol och koks med biobaserad pågår också, vilket kan vara ett komplement eller alternativ till vätgasreduktion. CCS är också ett alternativ om det visar sig att vätgasreduktion inte förverkligas. För Höganäsprocessen är den huvudsakliga inriktningen i dagsläget att ersätta fossila reduktionsämnen med biobaserade.

HYBRIT – Vätgasbaserad direktreduktion kan ersätta masugnsprocessen

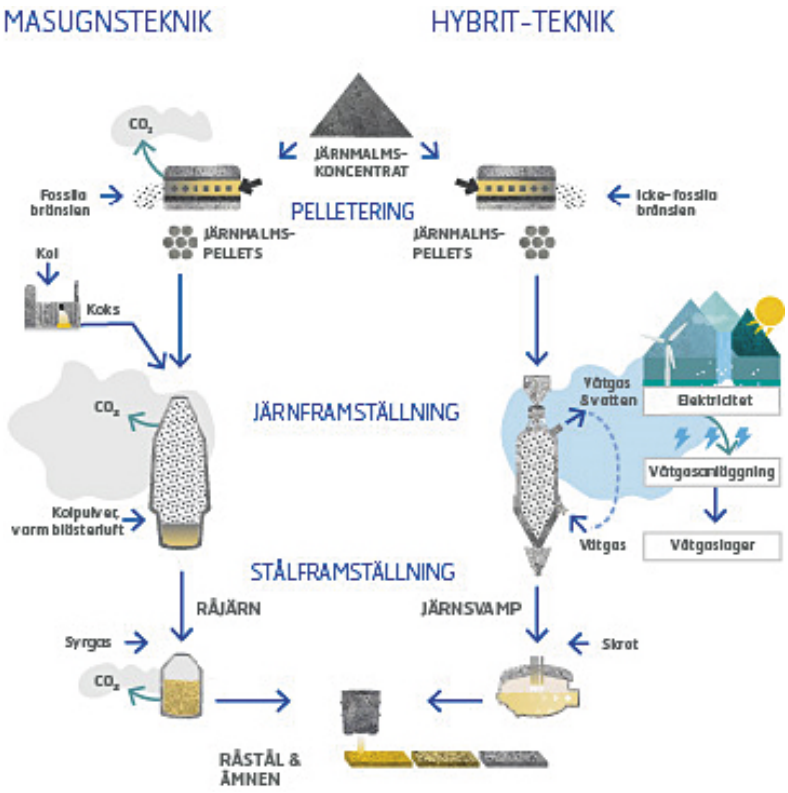
SSAB, LKAB och Vattenfall utreder i ett omfattande samarbetsprojekt, HYBRIT (Hydrogen Breakthrough Ironmaking Technology), möjligheten att ersätta masugnsprocessen med reduktion med vätgas. Vätgasreduktion skulle ge vatten som restprodukt i stället för koldioxid. HYBRIT-initiativet satsar på att utveckla den första fossilfria stålproduktionsprocessen i världen. Om HYBRIT-projektet lyckas så beräknas Sveriges fossila koldioxidutsläpp minska med 10 procent.[73] HYBRIT består av flera delprojekt som delfinansieras via Industriklivet.

HYBRIT-processen går i korta drag ut på att järnmalmspellets direktreduceras[74] till järnsvamp som sedan smälts till råstål i en ljusbågsugn. Processen ersätter hela den nuvarande processen från järnmalmspellets till råstål som visas i Figur 5 på sidan 23. Detta innebär att även dagens utsläpp från kokstillverkning och förbränning av restgaser försvinner. I stora drag liknar processen existerande teknik för direktreduktion, med den viktiga skillnaden att vätgas används som huvudsakligt reduktionsmedel. Eftersom vätgasen är tänkt att produceras genom elektrolys med förnybar el är utveckling av storskalig elektrolysbaserad vätgasproduktion och lagring av vätgas viktiga delar i projektet. Andra viktiga delar är forskning om själva reduktionsprocessen, både vad som sker när malmen reagerar med vätgas och hur processerna ska kunna skalas upp till dagens produktionskapacitet. Den nya HYBRIT-processen kommer att ha ett betydligt större behov av el än den nuvarande masugnsprocessen. Elbehovet beräknas uppgå till 15 TWh per år[75]. I Figur 8 nedan visas en översikt av HYBRIT-processen samt dess skillnader mot dagens teknik.

[73] http://www.hybritdevelopment.com/ (hämtad 2020-08-03).

[74] Direktreduktion innebär att järnmalmen reduceras i fast fas, jämfört med reduktionen i masugnen där smältan är flytande.

[75] http://www.hybritdevelopment.com/articles/three-hybrit-pilot-projects (hämtad 2020-08-03).



Figur 8. Processbeskrivning av HYBRIT.
Källa: Hybrit Development AB.

HYBRIT omfattar tre pilotprojekt

HYBRIT omfattar i dag tre olika pilotprojekt: *Fossilfri järn-, stål- och vätgasproduktion* (HYBRIT-processen*), Fossilfri pellets* samt *Vätgaslagring*.[76] Inom pilotprojekt *Fossilfri järn-, stål och vätgasproduktion* invigdes pilotanläggningen för tester på direktreduktionsprocessen och produktion av vätgas vid SSAB:s anläggning i Luleå i augusti 2020.[77] Parallellt med bygget av pilotanläggningen har en utredning startats för att utreda placering av en demonstrationsanläggning närmare industriell skala. Två placeringsalternativ utreds, i Gällivare respektive Luleå kommun. En samrådsprocess för demonstrationsanläggningen har påbörjats och ansökan om tillstånd enligt miljöbalken ska enligt planen lämnas in i slutet av 2020. Byggstart för demonstrationsanläggningen beräknas till 2023 med målet att ta den i drift 2025. Kapaciteten ska då vara drygt 1 miljon ton järn per år, vilket motsvarar ungefär hälften av produktionskapaciteten hos SSAB:s masugn i Luleå.[78]

[76] http://www.hybritdevelopment.com/articles/three-hybrit-pilot-projects (hämtad 2020-08-03).

[77] SSAB. *HYBRIT: SSAB, LKAB och Vattenfall startar världens första pilotanläggning för fossilfritt stål.* https://www.ssab.se/nyheter/2020/08/hybrit-ssab-lkab-och-vattenfall-startar-vrldens-frsta-pilotanlggning-fr-fossilfritt-stl Pressmeddelande 2020-08-31.

[78] SSAB. *SSAB, LKAB och vattenfall ett steg närmare produktion av fossilfritt stål i industriell skala.* https://www.ssab.se/nyheter/2020/06/ssab-lkab-och-vattenfall-ett-steg-nrmare-produktion-av-fossilfritt-stl-i-industriell-skala SSAB pressmeddelande 2020-06-01, HYBRIT, *demonstrationsanläggning och tillståndsprocess,* http://www.hybritdevelopment.se/demonstrationsanlaggning-och-tillstandsprocess (hämtad 2020-09-09) och HYBRIT, *Samrådsunderlag* https://www.hybritdevelopment.se/samradshandlingarf (hämtad 2020-09-09).

Målet för pilotprojektet *Fossilfri pellets* är att de fossila bränslen som används inom pelletstillverkningen ska ersättas med förnybara bränslen. Utöver grundläggande forskning på alternativa bränslen och nya uppvärmningstekniker testas inom projektet ett biooljesystem för uppvärmning i pilotfas.[79] Fullskaleförsök pågår för att ersätta fossil olja med bioolja i ett av LKAB:s pelletsverk i Malmberget. Försöken kommer att pågå till 2021 och under den perioden minskar verksamhetens utsläpp med 40 procent om försöken lyckas.[80]

Pilotprojekt *Vätgaslagring* syftar till att utveckla teknik och kunskap om trycksatt vätgaslagring i bergrum baserad på LRC-teknik (Lined Rock Cavern) samt att bygga och demonstrera ett lager i pilotskala.[81] Beslut om att bygga en pilotanläggning för lagring av vätgas under marken har tagits och lagret förväntas vara i drift 2022–2024.[82]

Utöver pilotprojekten pågår också forskningsprojekt inom HYBRIT för att bygga kunskap och kompetens för att minska risken i senare faser av utvecklingen. Projektet startade 2017 och planeras att avslutas under 2021. Här genomför institut och högskolor specifika studier inom områden där behov av ytterligare undersökningar har identifierats som exempelvis övergripande systemanalys, nedsmältning och stålproduktion, pelletsproduktion/värmningsprocesser, vätgasproduktion och lagring.

En första ljusbågsugn planeras installeras i Oxelösund till 2025

SSAB har beslutat att en masugnen i Oxelösund ska ersättas av en ljusbågsugn. Konverteringen till ljusbågsugn väntas vara klar till år 2025 och planeras ske stegvis[83]. Verksamhetens energisystem behöver konverteras till natur- eller biogas för att ersätta processgaserna och nätkapaciteten behöver förstärkas för att kunna driva ljusbågsugnen från 2025.[84] Konverteringen i Oxelösund beräknas minska SSAB:s totala utsläpp med 25 procent. Inledningsvis kommer råvaran huvudsakligen att utgöras av skrot, men i framtiden kan järnsvamp från direktreduktion med vätgas användas. Målet är att mellan 2030 och 2040 även ersätta resterande masugnar i Oxelösund, Luleå och Finland med ljusbågsugnar och att HYBRIT-tekniken implementeras successivt för att uppnå en helt fossilfri stålproduktion 2045.[85] Ljusbågsungar är nödvändiga för HYBRIT-tekniken eftersom järnsvampen smälts och bearbetas vidare i dem.

---

[79] http://www.hybritdevelopment.com/articles/three-hybrit-pilot-projects (hämtad 2020-08-03).

[80] LKAB 2020, https://www.lkab.com/sv/nyhetsrum/pressmeddelanden/hybrit-lyckade-forsok-med-fossilfria-branslen-i-pelletsprocessen/?aid=16447 Pressmeddelande LKAB 2020-08-05.

[81] HYBRIT, *three Hybrit pilot projects*. http://www.hybritdevelopment.com/articles/three-hybrit-pilot-projects (hämtad 2020-08-03).

[82] SSAB, *Hybrit.* https://www.ssab.se/ssab-koncern/hallbarhet/hallbar-verksamhet/hybrit (hämtad 2020-08-03).

[83] Metalliska Material*, SSAB slår fast tidsplan för ljusbågsugnen i Oxelösund*. https://www.metalliskamaterial.se/sv/fakta/ssab-slar-fast-tidsplan-for-ljusbagsugn-i-oxelosund/ (2020-08-04)

[84] *SSAB, Natur- och biogas i ett nytt energisystem* https://www.ssab.se/Nyheter/2017/11/Natur-och-biogas-i-ett-nytt-energisystem (2020-08-03) och *SSAB, Fossilfritt stål en viktig möjlighet för Sörmland* https://www.ssab.se/Nyheter/2020/06/Fossilfritt-stal-en-viktig-mojlighet-for-sormland (2020-08-03).

[85] SSAB, *Hybrit*. https://www.ssab.com/company/sustainability/sustainable-operations/hybrit (hämtad 2020-08-03).

Fossil kol och koks kan delvis ersättas med biobaserade alternativ

Möjligheten att ersätta fossil kol och koks med biobaserad undersöks i flera olika projekt. Användning av biobaserade reduktionsmedel i masugnen, Höganäsprocessen och andra applikationer undersöks och det finns också projekt med forskning om hur dessa biobaserade produkter skulle kunna tillverkas med tillräcklig kvalitet.

Att använda biokol i masugnen kan både vara ett sätt att minska utsläppen under tiden som tekniken för vätgasbaserad stålproduktion utvecklas samt vara ett alternativ om utvecklingen av den vätgasbaserade tekniken inte skulle lyckas. Någon slags biokol lär behövas inom stål- och övrig metallproduktion även om vätgasbaserad stålproduktion ersätter masugnarna och ur ett globalt perspektiv kan båda teknikerna behövas i framtiden.

Om biobaserade bränslen delvis ersätter kol och koks i masugnen skulle utsläppen från masugnsprocessen teoretiskt kunna reduceras med upp till 30 procent utan att några genomgripande investeringar behövs.[86] Däremot behövs fortsatt forskning för att hantera andra utmaningar. Eftersom biomassa har ett, för ändamålet, lågt värmevärde behöver det förbehandlas genom exempelvis pyrolys. Även andra egenskaper, som högre porositet och mer varierande partikelstorlekar, bidrar till att den hållfasthet som krävs för att biokoksen inte ska brinna upp i masugnen är svår att uppnå. Dessutom krävs stora volymer och biomassa är en begränsad resurs. Detta gör att det inte är troligt att biobaserade bränslen helt och hållet kommer att ersätta fossilt kol och koks i masugnsprocessen.[87] [88]

Flera projekt undersöker möjligheterna att använda biomassa

Projektet *BIO4BF* (Biokol för minskade utsläpp av fossila växthusgaser från masugnen), är ett exempel på forskningsprojekt som undersöker möjligheten att använda förbehandlad biomassa (biokol) i masugnar. Projektet, som pågår mellan 2017 och 2020, drivs av Swerim och finansieras delvis av Energimyndigheten. Projektet har en stark förankring i industrin och ska demonstrera ersättning av delar av masugnens kol och/eller koks med biokol.[89] Fullt utvecklad uppskattas tekniken kunna minska utsläppen från masugnsbaserad produktion med 30 procent. En implementering skulle kunna inledas inom 3–5 år och vara färdigställd inom 10–15 år. Resultaten kan även överföras till andra länder med biomassatillgångar och därmed bidra till en global minskning av växthusgasutsläpp.

Projektet *Energieffektivisering av masugnsprocessen genom användning av bio-agglomerat* [90] är ett annat pågående projekt som syftar till att minska koksanvändningen i masugnarna. Genom att tillsätta reaktiva bioagglomerat som innehåller biokol och järnoxid till masugnen beräknas koldioxidutsläppen kunna minskas med 40 000–55 000 ton per år.

För att minska utsläppen från Höganäsprocessen undersöks möjligheterna att delvis ersätta fossila bränslen med biobaserade inom projektet *Probiostål*. Ett annat exempel på projekt är *Utveckling av biokol-briketter for hållbar kupolugn* (Bio4Cupola) som drivs av Swerim AB. Här ska en metod för att delvis ersätta koks med biokol i kupolugnen hos

[86] Swerea, 2018. *Vägen till en grön masugn.* https://www.swerea.se/cases/vagen-till-en-gron-masugn (hämtad 2019-07-09).

[87] Mousa, E. m.fl., 2016. *Biomass applications in iron and steel industry: An overview of challenges and opportunities.*

[88] Jernkontoret, 2018.

[89] Energimyndighetens projektdatabas, P44676-1, diarienummer 2017-009495.

[90] Energimyndighetens projektdatabas, P39150-1.

Volvo Powertrains gjuteri i Skövde utvecklas. Gjuteriets huvudsakliga utsläppskälla är gjuterikoks som levererar både energi och kol till kupolugnen. I ett första steg syftar projektet till att ersätta 10 procent av gjutkoks med biokolbriketter. Projektet delfinansieras via Industriklivet.

CCS kan vara ett alternativ

Om tekniken för vätgasbaserad ståltillverkning och/eller biobaserad Höganäsprocess inte lyckas så kan CCS/CCU vara ett alternativ. I ett globalt perspektiv är det också möjligt att CCS/CCU inom stålindustrin kan behövas vid sidan av vätgasreduktion och biokol.

Eftersom CCS och CCU är effektivast vid stora utsläppskällor är det för järn- och stålindustrin framförallt masugnsprocessens utsläpp som kan vara relevant för sådan teknik. För att koldioxidavskiljningen ska ske så effektivt som möjligt bör masugnen använda syrgas istället för luft. Dessutom bör processgaserna som masugnen släpper ut cirkuleras tillbaka till masugnen med hjälp av toppgascirkulering. Även utan CCS eller CCU skulle syrgas och recirkulation kunna leda till 20 procent minskade utsläpp, men tekniken kräver omfattande ombyggnation av befintliga masugnar. Svensk stålindustri bedömer i dagsläget inte att CCS/CCU är den bästa vägen framåt för svenska anläggningar.[91]

Järnsvamp möjlig energibärare

Forskningsinstitutet RISE har i en studie undersökt om järnsvamp framställd genom direktreducerad järnoxid med förnybart producerad vätgas kan bli en koldioxidneutral och miljövänlig energibärare i processindustrin. Det skulle kunna innebära att järnpulver även har en potential att bli ett framtida elektrobränsle. Projektet visade att det är möjligt att förbränna järnpulver på ett sätt som kan innebära att det kan vara en möjlig energibärare.[92]

3.1.4 Handel och marknad

Företagen inom järn- och stålindustrin hade drygt 27 900 anställda under 2018. Delbranschen järn- och stålverk är störst med nästan hälften av både anställda och omsättning, följd av delbranschen stålrör m.m. Flest företag fanns däremot inom övrig stålbearbetning.[93] Stålföretagen är spridda över Sverige men finns framförallt i Mellansverige och på några platser i Skåne och Norrbotten.

Förädling av inhemska råvaror ger positiv nettoexport

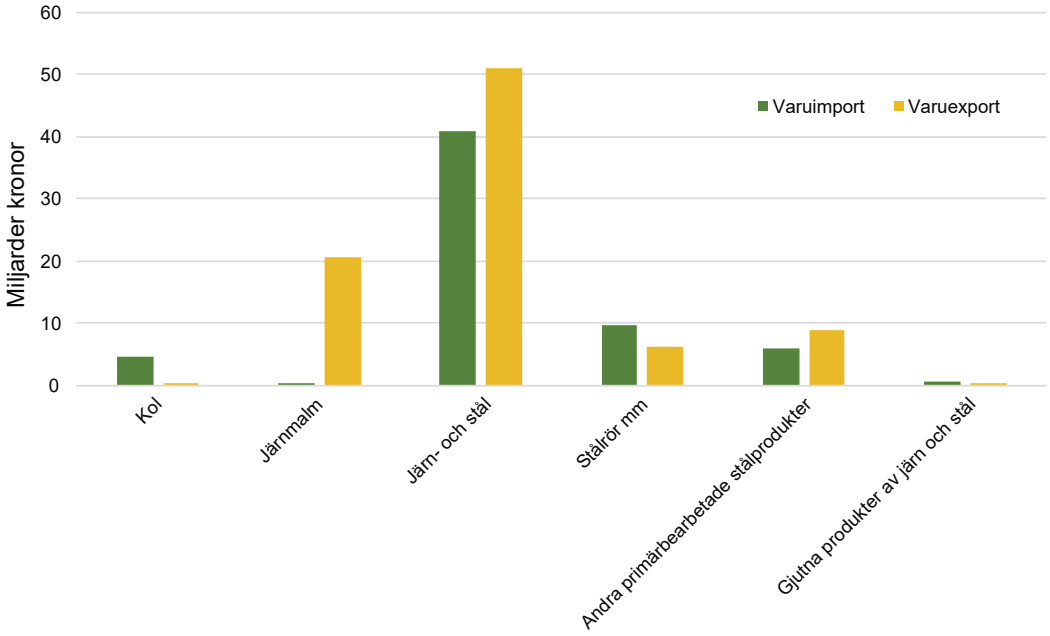
Värdet av Sveriges import av järn och stål, järnmalm samt kol var drygt 62 miljarder kronor 2018. Varuexportens värde var cirka 87 miljarder kronor, varav knappt en fjärdedel inom järnmalm.[94] Nettoexporten för branschen som helhet var alltså positiv, särskilt inom järnmalm där importen är mycket liten. En orsak till att den delbranschen exporterar så mycket mer än den importerar är att den till stor del förädlar råvaror som finns i Sverige för att sedan exportera slutprodukterna.

[91] Jernkontoret, 2018.

[92] Energimyndighetens projektdatabas, P45374-1.

[93] SCB, 2020b.

[94] SCB, 2020c.



Figur 9. Import- och exportvärde per delbransch (SPIN), 2018, miljarder kronor.
Källa: SCB.[95]

Den största delen av handeln, både export och import, skedde med länder inom EU. Tyskland är det största mottagarlandet för export av både järnmalmsprodukter och varor av järn- och stål. För järnmalmsprodukter var även Saudiarabien, Finland, Turkiet, Nederländerna Storbritannien, Qatar och Belgien andra stora exportmarknader. För järn och stål samt varor av järn och stål var Norge det näst största mottagarlandet, följt av USA, Danmark, Italien, Finland och Kina. De produktkategorier som exporterades mest var järnmalmsprodukter, platta valsade produkter av rostfritt stål samt platta valsade produkter av legerat stål. [96]

Importen av järn och stål samt varor av järn och stål skedde framförallt från Tyskland, Finland, Nederländerna, Storbritannien och Danmark. Importen av kolprodukter kommer främst från länder utanför EU, framförallt Australien, USA och Ryssland. Importen av järnmalmsprodukter är mycket liten. Den största importen i branschen skedde inom produktkategorierna platta valsade produkter av järn eller olegerat stål, konstruktioner och konstruktionsdelar, platta valsade produkter av legerat stål och kolprodukter. Bland de tio största import- respektive exportproduktkategorierna var fyra produktkategorier gemensamma för både import och export.[97]

Specialiserade svenska stålföretag verkar på en fragmenterad global marknad

År 2018 uppgick svensk råstålsproduktion till cirka 4,7 miljoner ton. Detta motsvarar 0,3 procent av världsproduktionen och 3 procent av råstålsproduktionen inom EU-28.[98]

[95] SCB, 2020c.

[96] Eurostat 2020.

[97] Eurostat 2020.

[98] World steel association, 2019.

Stål är en fragmenterad marknad där den största aktören bara har en marknadsandel på 5 procent och de 50 största företagen tillsammans har 57 procent. Kina är den dominerande producenten och världens största stålkonsument.[99]

Sveriges stålindustri är alltså liten ur ett globalt perspektiv, men viktig inom de marknadsnischer företagen valt att specialisera sig på.[100] De större svenska stålverken är till stor del specialiserade inom sina styrkeområden och har en nischstrategi där de producerar och utvecklar högspecialiserade stålprodukter för den globala marknaden. Nischstrategin har medfört att den historiskt nära kopplingen mellan stålverken och lokala teknikföretag har minskat. Många teknikföretag använder standardstål som de importerar som insatsvara. Den här branschstrukturen är en förklaring till att exporten främst består av mer förädlat stål medan standardstål importeras.[101]

Ett exempel på specialiseringen är den största svenska producenten av råstål, SSAB. SSAB[102] är en mindre aktör på den globala marknaden men förhållandevis stor på de fyra fokusmarknader företaget har specialiserat sig på: platta kolstål (tunnplåt och grovplåt) och rör i Norden, grovplåt i Nordamerika, specialstål globalt samt Premiumstål för fordon globalt. Dessa fokusmarknader står för cirka 3 procent av den globala marknaden för kolstål. SSAB är den största producenten av grovplåt i Nordamerika och företagets marknadsandel är 40–45 procent för platta kolstål i Norden, cirka 25 procent för specialstål och 3 procent för premiumstål för fordon. Kunderna finns exempelvis inom tunga transporter, fordonsindustrin, bygg och infrastruktur samt energi.[103]

Sverige är EU:s största producent av järnmalm

Sverige är EU:s största järnmalmsproducent och står för 80 procent av järnmalmsproduktionen inom EU. Globalt står Sverige endast för cirka 1 procent av järnmalmsproduktionen. Då flera av de största producentländerna använder mycket av sin produktion inhemskt var Sverige ändå den 6:e största exportören i världen 2019.[104] Järnmalmsmarknaden styrs av efterfrågan på stål, som i sin tur beror av världsekonomins utveckling.[105] En viktig drivkraft för metallmarknaderna är infrastrukturutveckling, till exempel byggande av bostäder, transportleder, fordon, telekommunikation.[106]

I Sverige produceras järnmalm främst av LKAB. Europa är LKAB:s största marknad med 62 procent av företagets försäljning av järnmalmsprodukter. Mellanöstern och Nordafrika är den näst största marknaden med 27 procent. Av LKAB:s försäljning under 2019 bestod 87 procent av pelletsprodukter, både masugnspellets och direktreduktionspellets. Direktreduktionspellets säljs främst till Mellanöstern och Nordafrika. Resten av försäljningen bestod av fines[107] och specialprodukter.[108]

---

[99] World steel association, 2020.

[100] Jernkontoret, 2018.

[101] Ahnberg m.fl, 2013. *Metallindustrin i Sverige 2007–2011*.

[102] Hela SSAB, inklusive verksamhet utanför Sverige.

[103] SSAB, 2020.

[104] World Steel Association, 2020.

[105] LKAB, 2020.

[106] Ahnberg m.fl, 2013.

[107] Fines är fint krossad järnmalm som sammanfogas till större stycken (sintras) under hög temperatur.

[108] LKAB, 2020.

3.2 Raffinaderier och kemiindustrin

Raffinaderier och kemiindustrin står för en dryg fjärdedel av industrins fossila växthusgasutsläpp, varav 80 procent består av processrelaterade utsläpp. Den största andelen kan härledas till användningen av interna restgaser. Tillverkningsprocesserna är komplexa och ser mycket olika ut. Till de mest energikrävande och utsläppsintensiva hör destillering och krackning. I dessa separeras råvaran i olika beståndsdelar genom uppvärmning respektive sönderdelning till mer användbara och värdefulla kolväten. Utöver detta uppstår diffusa utsläpp av fossila gaser genom dunstning, läckage och bildandet av restgaser från olika processer som resulterar i fackling. Omställningen av dagens kemi och raffinaderiindustri kan generellt delas in i fyra delar: återvinning av material, byte av råvaror från fossilbaserade till biobaserade, vätgas och koldioxidavskiljning.

Inom kemiindustrin är den petrokemiska industrin mest utsläppsintensiv. Tillverkning av petrokemiska produkter och tillverkning i raffinaderier har många likheter då båda använder fossila råvaror och har tillverkningsprocesser som på olika sätt bryter sönder, slår samman eller omformar kolväten till olika slutprodukter.

Både energianvändningen och utsläppen från de bränslen som används i tillverkningsprocessen i oljeraffinaderierna brukar allokeras till energisektorn, även om viss bränsleanvändning i raffinaderiet används för att tillverka kemikalier som sedan säljs. Då raffinaderier genererar processrelaterade utsläpp inkluderas de i denna rapport och redovisas tillsammans med kemiindustrin.

I oljeraffinaderier tillverkas olika gasformiga, flytande och fasta bränslen samt andra petroleumprodukter såsom icke-energivarorna smörjolja och bitumen. Processen kan ge olika biprodukter, som vätgas, gasol och baskemikalier. Gasformiga bränslen, framförallt gasol (propan/butan) används i huvudsak som bränsle för värmnings- och värmebehandlingsprocesser inom industrin. Flytande petroleumprodukter används som bränsle i transportsektorn, för arbetsmaskiner, eller för uppvärmning. En mindre del används för specifika lösningar så som lösningsmedel, flamskyddsmedel, bindemedel osv. Trögflytande petroleumprodukter såsom bitumen och smörjoljor används i vägarbeten respektive som smörjmedel i maskiner eller fordon. Petroleumkoks är ett fast petroleumbränsle som är en restprodukt i raffinaderiprocessen och kan användas som bränsle eller i den grafiska industrin. Vissa produkter från raffinaderiprocessen används också som insatsvara i den petrokemiska industrin, t.ex. gasol och nafta.

Det finns en mängd olika produkter som kommer från kemiindustrin med olika användningsområden. Eten och propen kommer från den petrokemiska industrin och används som insatsvara i den övriga kemiska industrin. Eten och/eller propen används t.ex. för tillverkning av etenoxid för produktion av etylenaminer, etanolaminer, tensider, mjukgörare för PVC (polyvinylklorid) och olika lack- och färgapplikationer. PVC är en plastsort som används i bl.a. rör, kablar och golvbeläggningar. Den elektrokemiska industrin tillverkar genom elektrolys t.ex. väteperoxid, natriumperkarbonat, saltsyra, natriumhypoklorit och klor. Väteperoxid och natriumklorat används främst till blekning av pappersmassa. Natriumperkarbonat används framförallt som ingrediens i tvättmedel. Saltsyra och natriumhypoklorit används bland annat för desinfektion av dricksvatten. Klor används tillsammans med etenoxid för tillverkning av PVC. Natriumhydroxid (kaustiksoda) används bland annat för att lösa upp lignin i massa- och pappersindustrin samt vid tvåltillverkning.

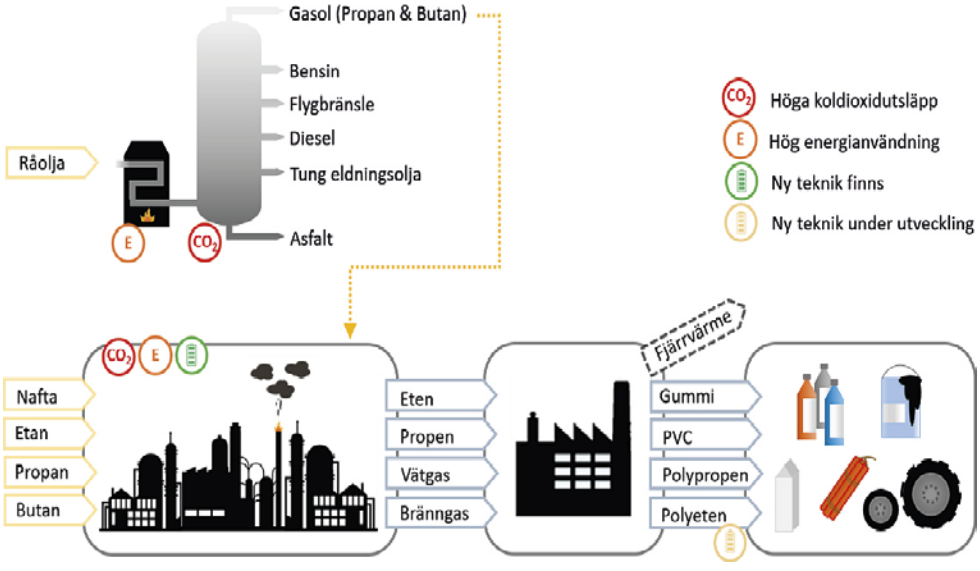
Övrig kemisk industri omfattar många olika typer av tillverkningsprocesser och slutprodukter, exempelvis läkemedel, och står för en mindre del av branschens utsläpp. Till skillnad från raffinaderier och resten av kemiindustrin är övrig industri varken energikrävande eller utsläppsintensiv och beskrivs därför inte mer ingående här.

3.2.1 *Petroleumraffinering och tillverkning av kemiska produkter*

Branschens tillverkningsprocesser är komplexa och ser mycket olika ut. I processugnar hettas råvaror direkt eller indirekt upp via strömning i rör. Upphettningen sker genom ånga och eldning av externa eller interna bränslen i processugnarna. Energin används inom krackning och för att få igång och underhålla önskade kemiska reaktioner. Även återvunnen ånga eller värme från andra anläggningar används i viss utsträckning.

I Figur 10 illustreras några viktiga processteg i processflödet från insatsvara till slutprodukt. Processen börjar i oljeraffinaderiet, där separeras råoljan i destillationskolonnen (överst till vänster). Vissa produkter som kommer ut kan användas direkt medan andra behöver förädlas ytterligare innan de kan användas som råvaror i petrokemiindustrin. De produkterna vidarebearbetas sedan i krackeranläggningen (längt ned till vänster). Krackeranläggningen är även det huvudsakliga processteget vid tillverkning av många petrokemiska produkter.

I Figur 10 anges även vilka delar av processen som är energiintensiva samt vilka som har höga koldioxidutsläpp. Det är förbränningen av de interna bränslena i raffinaderierna som ger upphov till de största utsläppen från branschen (överst till vänster i bilden), följt av kemiindustrins processutsläpp (nederst till vänster i bilden) som också innefattar förbränning av interna bränslen. Både raffinaderierna och kemiindustrin kräver höga temperaturer för att processerna ska fungera. De höga temperaturerna och de stora flödarna gör att branschen har en hög energianvändning.



Figur 10. Från raffinaderi till petrokemisk industri till slutprodukt.

Källa: Energimyndigheten.

Anm.: Pilarna symboliserar material- och gasflöden mellan de olika processtegen. Ikonerna visar var utsläppen och energianvändningen är störst och vilka utsläppsintensiva processteg som tros kunna ersättas av ny teknik inom snar respektive mer avlägsen framtid.

Processer i raffinaderier

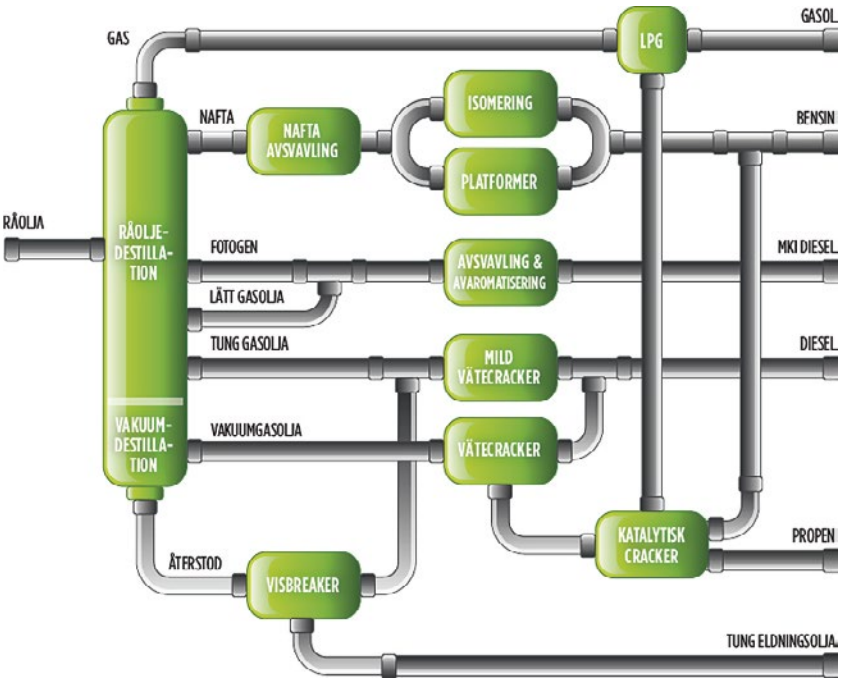
I raffinaderier tillverkas petroleumprodukter. Den huvudsakliga insatsvaran är råolja, men en del halvfabrikat och icke färdigbearbetade petroleumprodukter förekommer också. Tillverkningen av petroleumprodukter kan delas upp i tre huvudsteg; separation, konvertering och behandling.

I separationsprocessen delas råoljan upp i olika fraktioner genom destillering. Råoljedestilleringen är det första och viktigaste steget i en destilleringsprocess. Destilleringen innebär att råolja hettas upp och under atmosfäriskt (eller något högre) tryck separeras de olika råoljefraktionerna från varandra utifrån kokpunktintervall. Gaser separeras ut genom ett så kallat gasseparationssteg. I ett vakuumdestilleringssteg behandlar man ofta de tyngsta flytande eller fasta fraktionerna som sedan går vidare i andra förädlingssteg. De lättare flytande fraktionerna avsvavlas och behandlas ytterligare i olika processer för att få fram önskade produkter.

Efter separationen sker konverteringen, vars antal processer beror på raffinaderiets komplexitet. De viktigaste konverteringsprocesserna är sönderslagning (krackning), uppbyggnad (polymerisation, alkylering) samt omvandling (isomerisering, reformering) av olika kolväten. Processerna används för att öka utbytet av lättare kolväten eftersom det råder högre efterfrågan på dessa. I behandlingen hanteras föroreningar som svavel, kväve och andra partiklar som behöver separeras från produkten, ett exempel på en behandling är hydrokrackning.

Tre av Sveriges fem raffinaderier producerar till största delen bensin, diesel, tunn- och lättoljor och två producerar bitumen och naftabaserade produkter, bland annat olika smörj- och däckoljor. Ett exempel på processflödet hos de tre raffinaderier som producerar bensin, diesel, tunn- och lättoljor kan ses i Figur 11. Av de fem anläggningarna har en anläggning katalytisk kracker, två har vätgasanläggningar och fyra har svavelåtervinningsanläggningar.[109]

[109] Naturvårdsverket, 2019. *National inventory report 2019.*



Figur 11. Exempel på en produktionsprocess för ett raffinaderi (Preemraff Lysekil).
Källa: Preem.

Vätgasanläggningarna är så kallade reformeranläggningar där avsvavlad naturgas blandas med ånga. Naturgasen är ofta flytande naturgas (LNG) som återförgasats. Reaktionen mellan naturgas och ånga sker i rör som upphettas utifrån. Vätgasen används för att ta bort svavel och andra orenheter från insatsvarorna samt för att bryta ner långa kolvätekedjor till kortare kolvätekedjor och öka energidensiteten i slutprodukten. Vätgasen används också för att minska syreinnehållet i de förnybara insatsvarorna som sedan ska bli förnybara drivmedel, t.ex. biodiesel. Petroleumprodukter och förnybara råvaror vätgasbehandlas ofta tillsammans i samma steg (co-processing).[110] Vätgas produceras också genom elektrolys av salter, vilken sker inom den icke-organiska kemiindustrin, och används sedan som bränsle eller råvara i produktionsprocesserna för tillverkning av olika kemiska produkter.

Processer inom kemiindustrin

Inom kemiindustrin tillverkas många olika produkter. De undersektorer som är störst ur energisynpunkt är petrokemi (produktion av organiska baskemikalier och basplaster) och elektrokemin (produktion av oorganiska baskemikalier).[111]

Tillverkningen av petrokemiska produkter sker i huvudsak i en krackeranläggning där huvudsakliga råvaror är nafta, etan, propan eller butan. Dessa hettas upp i krackugnar och sönderdelas till omättade kolväten (eten, propen och buten/butadien) samt vätgas, bränngas, krackbensin och tyngre produkter. Anläggningens huvudprodukter är eten och propen vilka används som insats till vidareutveckling av kemiska produkter, bland annat

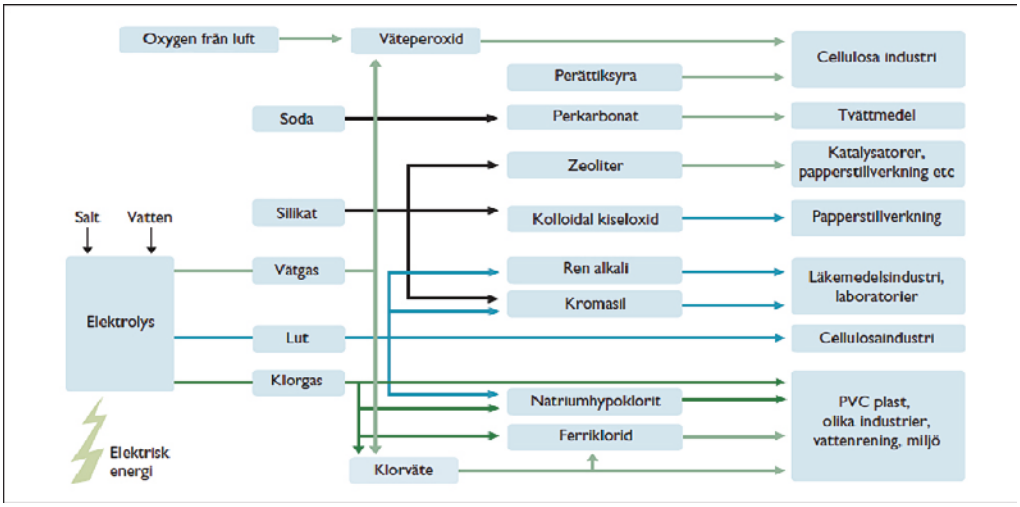
[110] Karatzos, S, m.fl., 2014. *The Potential and Challenges of Drop-in Biofuels.*

[111] Sundelöf, C., 2002. *Energianvändning i industrin – En faktarapport inom IVA-projektet energiframsyn Sverige i Europa*.

polyeten – vår tids vanligaste plast. Krackern har ett stort energibehov, ungefär lika stort som ett raffinaderi. Det huvudsakliga bränslet är den egenproducerade (fossila) bränngasen vilken är en biprodukt från produktionen. En mindre mängd bränngas facklas också eller säljs till närliggande kunder, framför allt andra kemiföretag. En viss mängd el används också i krackeranläggningen och till kompressorer och extrudrar[112] vid polyetentillverkningen. Olja förekommer också som stödbränsle men kvantiteterna är begränsade.

Eten och/eller propen används också vid tillverkning av etenoxid för produktion av etylenaminer, etanolaminer och olika tensider, samt för tillverkning av mjukgörare för PVC (polyvinylklorid), olika lack- och färgapplikationer och som insatsvara för tillverkning av PVC.

Inom den elektrokemiska industrin tillverkas en mängd olika kemikalier där elektrolys är den stora grundstenen, se Figur 12, t.ex. väteperoxid, natriumklorat, natriumperkarbonat, saltsyra och natriumhypoklorit, samt klor för tillverkning av PVC.



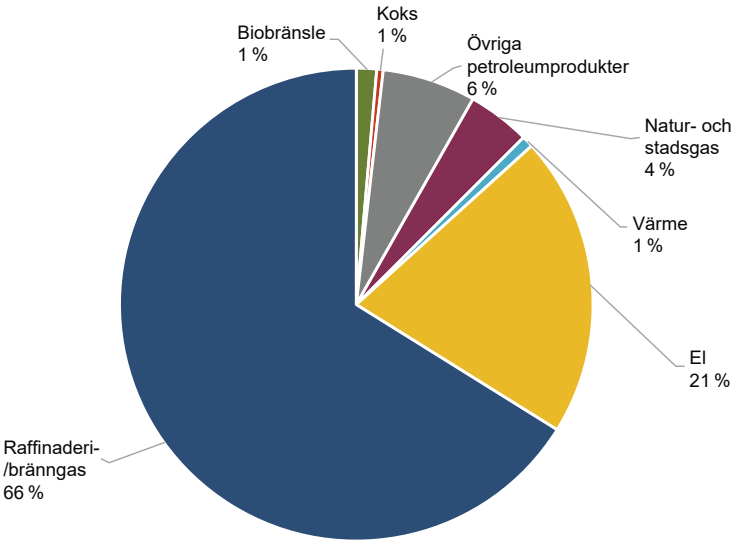
Figur 12. Exempel på elektrokemiska processer och produkter de genererar (Eka Chemicals, Bohus plants).
Källa: Sundelöf.[113]

3.2.2 *Energianvändningen och utsläpp av fossila växthusgaser*

Raffinaderier och kemiindustrin använde tillsammans drygt 26 TWh energi 2018, vilket utgjorde 17 procent av energianvändningen inom industrin. I siffran ingår dessa sektorers egenanvändning och fackling av raffinaderi-/bränngas. I Figur 13 visas fördelningen mellan olika energibärare.

[112] Maskiner där materialet pressas genom en form.

[113] Sundelöf, C., 2002.



Figur 13. Raffinaderiers och kemiindustrins (inklusive läkemedelsindustrin) energianvändning fördelat på olika energikällor, 2018, procent.

Källa: Energimyndigheten.[114]

Anm. 1: I den officiella energistatistiken hör raffinaderier till energisektorn och inte till industrin.

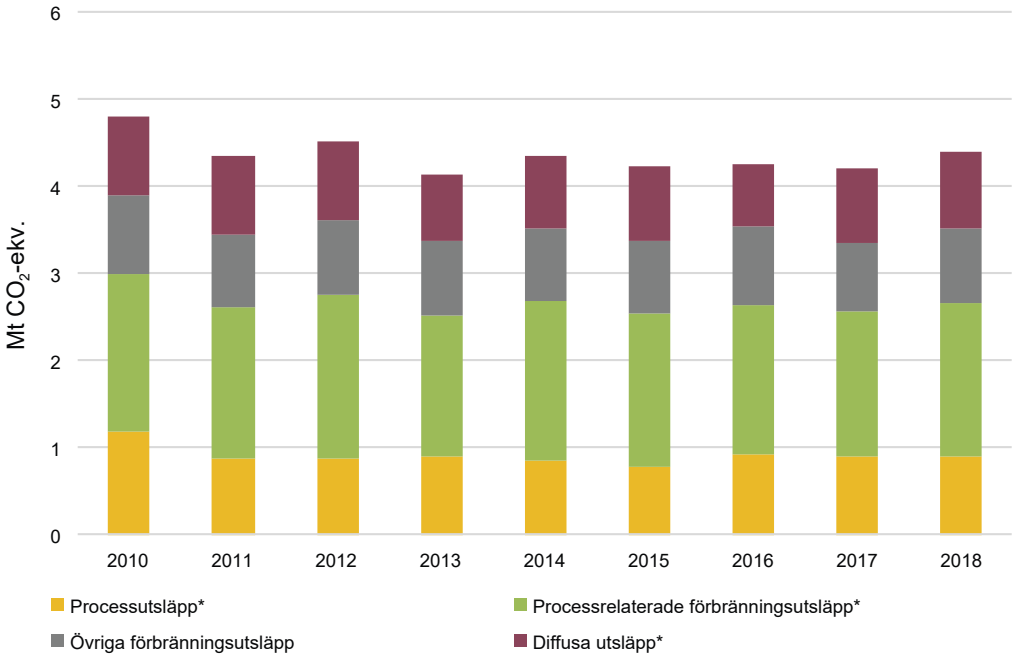
Anm. 2: På grund av osäkerheter i energistatistiken avseende år 2018 så har användningen av interna bränslen inom raffinaderier imputerats med föregående års data.

El kan användas för att starta och upprätthålla reaktioner som ett alternativ till ånga. El används också för olika elektrolysprocesser. Elen produceras antingen internt genom mottrycksanläggningar eller köps in. I övrigt används el i stor utsträckning för pumpar, fläktar och för kompressorer samt för att finfördela fasta ämnen i olika krossnings- och malningsoperationer.

I raffinaderier används mycket energi för att värma upp stora flöden av råolja, för destillationsprocesser och andra termiska, kemiska och katalytiska processer som resulterar i olika produktströmmar. Andra viktiga energikrävande processer inkluderar fasändring mellan gas och vätska, bland annat strippningsprocesser, kondensation och adsorptionsprocesser. Rent generellt kan branschen minska energianvändningen genom att använda värmen från restgaser genom t.ex. värmeväxlare och generering av lågvärdig ånga som kan användas vid torkning eller förvärmning av material.

De totala fossila växthusgasutsläppen för raffinaderier och kemiindustrin uppgick till 4,4 miljoner ton koldioxidekvivalenter under 2018. Detta motsvarar 26 procent av industrins totala fossila växthusgasutsläpp. Figur 14 visar fördelningen mellan processrelaterade utsläpp (uppdelat på underkategorier) och övriga förbränningsutsläpp.

[114] Energimyndigheten, 2020.



Figur 14. Raffinaderiers och kemiindustrins utsläpp av fossila växthusgaser fördelat på olika utsläppskategorier, 2010-2018, miljoner ton koldioxidekvivalenter (kategorier markerade med * ingår i processrelaterade utsläpp).

Källa: Naturvårdsverket och SCB[115], bearbetning av Energimyndigheten.

Anm: Utsläppen från förbränning av interna bränslen inom raffinaderier bygger på en beräkning som utgår från raffinaderiets energianvändning. På grund av osäkerheter i energistatistiken avseende år 2018 så har användningen av interna bränslen inom raffinaderier imputerats med föregående års data.

De processrelaterade utsläppen utgör 80 procent av branschens utsläpp. Beräkningen bygger dock på antaganden om raffinaderiernas förbränning av interna bränslen, vilka också utgör den största posten i branschens utsläpp. Under hela kedjan från produktion av fossila råvaror, transport, lagring till produktion och användning av slutprodukterna uppstår diffusa utsläpp av fossila gaser genom dunstning, läckage, bildandet av restgaser från olika processer och fackling. Dessa diffusa utsläpp är oftast svåra att mäta då utsläppen kan uppstå på en mängd olika ställen. Processutsläppen uppstår i kemiindustrin, framförallt vid destillering och krackning av nafta, etan, propan och butan.

3.2.3 Lösningar för att minska utsläppen

Branschindelningen, som omfattar läkemedel, baskemi, petrokemi och raffinaderier, är mycket diversifierad och samverkar kring utvecklingen av biobaserade insatsvaror och produkter med andra sektorer, t.ex. jordbrukssektorn och skogsindustrin. Det sker i dag ett flertal samarbeten och projekt inom branschen för att minska dess miljöpåverkan. Ett exempel på detta är Hållbar Kemi 2030[116] där flera företag i Stenungssund samarbetar för tillverkning av hållbara produkter inom kemiindustrin, t.ex. kring material- och resursutnyttjande. Ett annat exempel är SusChem Sweden[117] som syftar till att öka samverkan mellan industri och forskning inom svensk kemiindustri för utveckling av hållbara kemikalier, material och processer.

[115] SCB, 2020a

[116] http://kemiforetagenistenungsund.se/

[117] https://suschem.wordpress.com/

För att kunna minska branschens utsläpp behöver de interna bränngaserna åtgärdas på något sätt. Två tänkbara alternativ är att ersätta de fossila insatsvarorna med biogena insatsvaror, vilket gör utsläppen biogena, alternativt att lagra koldioxiden genom CCS. Omställningen av dagens kemi och raffinaderiindustri kan generellt sägas bygga på fyra delar: (1) återvinning av material, (2) byte av råvaror från fossilbaserade till biobaserade, (3) vätgas och (4) koldioxidavskiljning och lagring.

Återvinning

Den återvinning som främst diskuteras och är volymmässigt störst är plast, målsättningen med återvinningen av plast är att producera mindre jungfrulig plast (oavsett råvarukälla). Ett optimalt scenario för plaståtervinningen är att ingen ny plast produceras utan att plasten som redan finns i dag används oändligt många gånger, något som är tekniskt genomförbart. Men för plaståtervinning är egenskaperna i stor utsträckning densamma som för andra polymerbaserade material såsom kompositer, men återvinningen försvåras dock ytterligare pga. fibrer av olika slag. Återvinning av plast kan ske genom mekanisk eller kemisk återvinning (också kallad feedstock-återvinning).

I dag används främst mekanisk återvinning, där materialet sönderdelas och smälts, vilket i allmänhet är mindre energikrävande och betydligt mer kostnadseffektivt än kemisk återvinning. De främsta hindren för mekanisk återvinning är bristen på ett utbyggt och väl fungerande återvinningssystem för olika plaster och kvaliteter. Plast har olika kvaliteter som beror på hur lång polymerkedjan är, en lång kedja innebär en bättre kvalitet. När plast återvinns mekaniskt delas kedjan och kvaliteten sjunker. Då det saknas strukturerade insamlingar av de olika kvaliteterna hos plaster betyder det att dålig kvalitet och bra kvalitet blandas. Det gör att plasten som har god kvalitet och kan återvinnas flertal gånger inte längre har samma livslängd, då den inte särskiljs från plast med dålig kvalitet.

Kemisk återvinning innebär att polymerkedjorna i plasten bryts ner till sina beståndsdelar, som sen kan användas för att tillverka ny plast eller andra kemiska produkter. Det finns ett antal olika tekniker för kemisk återvinning som prövats i pilotskala, nu är det snarare en fråga om att applicera, anpassa och optimera teknikerna från pilotskala till kommersiellt gångbara lösningar. Annars handlar hindren främst om att det krävs kostsamma och riskfyllda investeringar.[118] Ett exempelprojekt som arbetar med kemisk återvinning är ChemCycling som är startat av kemiföretaget BASF för att producera produkter från kemiskt återvunnen plast i industriell skala[119]. Ett annat projekt är ett samarbete mellan Green Point Norge och Quantafuel. Det förstnämnda företaget ska leverera insamlade plastförpackningar från norska hushåll till Quantafuel, vilka i sin tur ska testa sin process i stor skala (omvandla plasten till gas) och där BASF sedan ska uppgradera det återvunna till plastråvara.[120] Till skillnad från mekanisk återvinning är inte plastens kvalitet en faktor i kemisk återvinning. Då plasten bryts ner i sina beståndsdelar och sedan byggs ihop igen kan plaster av sämre kvalitet användas. Problemet är istället att det krävs höga temperaturer och reaktionsämnen för att få processen att fungera, vilket medför stora både fasta och rörliga kostnader.

[118] SOU 2018:84. *Det går om vi vill. Förslag till en hållbar plastanvändning.*

[119] https://www.basf.com/global/en/who-we-are/sustainability/we-drive-sustainable-solutions/circular-economy/mass-balance-approach/chemcycling.html, hämtad 2020-09-02.

[120] https://www.recyclingnet.se/article/view/723324/forst_i_europa_med_kemisk_atervinning_av_plast?rel=related, hämtad 2020-09-02.

I dag är det billigt att tillverka ny plast, därför finns det inga stora incitament att återvinna. Teoretisk sett är det däremot möjligt att låta plasten cirkulera i ett slutet system med hjälp av både systematisk insamling samt mekanisk och kemisk återvinning.

Bioråvaror

Biobaserade råvaror får i dag en större marknad och efterfrågan ökar. Det rör sig om två utvecklingslinjer: att ersätta en befintlig atom i polymererna[121] med samma fast biobaserad eller att utveckla helt nya polymerer på molekylnivå som ersätter befintliga fossilbaserade. För att funktionen ska kunna garanteras för båda dessa utvecklingslinjer så krävs ett omfattande utvecklingsarbete.

Vad gäller den första utvecklingslinjen, om exempelvis polymerernas byggstenar, i första hand olefiner (omättade kolväten, t.ex. eten), metan, metanol och vätgas, ska vara biobaserade krävs ett omfattande arbete som spänner från grundläggande forskning till pilotprojekt. Ett stort forsknings- och utvecklingsarbete har redan gjorts och görs när det gäller förnybar metan, metanol och vätgas men mer forskning behövs. Olefinerna däremot är unika för polymertillverkning.

Vad gäller den andra utvecklingslinjen så är byte till helt nya biobaserade råvaror ett aktivt forskningsfält. I dag tillsätts små volymer biobaserade ämnen till vissa raffinaderiprodukter, t.ex. tallolja i diesel, men det finns också planer för nya anläggningar där lignin ersätter en del av råvaran i raffinaderier. Utveckling av nya tillsatser som kan ersätta delar av den fossila råoljan kräver allt från grundläggande forskning till pilotanläggningar.

Utmaningen ligger också i att få till en lönsam omvandling av bioråvaran till ”enkla” byggstenar för vidare reaktion. Tekniken för vidare omvandling av dessa till olika slutprodukter är mer mogen och kan ske genom olika tekniker så som delignifiering, hydrolys, pyrolys och förgasning. Råvaran kan sedan processas vidare med exempelvis biokemiska (t.ex. jäsning) eller termokemiska (t.ex. förgasning) metoder. Byggstenar som etanol produceras i dagsläget med biokemiska metoder för exempelvis drivmedelsproduktion. De två största pilotanläggningarna för förgasning var demonstrations- och forskningsanläggningen GoBiGas i Göteborg och pilotanläggningen LTU Green fuels i Piteå (som Luleå tekniska universitet tog över från Chemrec 2014). I den förstnämnda förgasades skogsråvara till biogas och i den sistnämnda förgasades olika slags bioprodukter till syntesgas och gröna bränslen. Verksamheterna i de båda anläggningarna är i nuläget nedlagda respektive i malpåse, pga. att biogasmarknaden inte utvecklats som prognostiserat och pga. minskad finansiering. Teknikerna som demonstrerades har inte tagits vidare till en fullskalig anläggning.

RenFuel och Preem har gått ihop med Rottneros och ska bygga en ligninanläggning för biodrivmedel vid massabruket i Vallvik, Söderhamn. Anläggningen planeras ha produktionsstart kvartal 1 år 2021 och tar i dag emot provleveranser av lignin. Ambitionen med anläggningen är att nå en årlig produktionskapacitet om 300 000–500 000 ton lignin.[122] Tekniken baseras på RenFuels patenterade katalytiska process för att framställa katalytisk ligninolja, Lignol. Processen fungerar utan tryck, under kokpunkten och är

[121] Polymer är kedjeformiga molekyler som i sin tur är uppbyggda av många mindre molekyler. Delarna i de kedjeformiga molekylerna är förenade med kovalenta bindningar på ett repeterande sätt.

[122] Renfuel, *Preem och Renfuel skapar världens första ligninanläggning för drivmedel.* https://renfuel.se/preem-och-renfuel-skapar-varldens-forsta-ligninanlaggning-for-biodrivmedel/ (hämtad 2019-07-11)

energisnål. Produkten vidareförädlas sedan i raffinaderier till bio-olja och bio-diesel, precis som vanlig råolja.[123] RenFuels testanläggning där man testat lignin från Rottneros har uppförts med stöd från Energimyndigheten. Preem planerar också för en ny produktionsanläggning för förnybara drivmedel, närmare bestämt diesel och biojetbränsle i Göteborg. Den planeras stå klar till 2024 och ha en produktionskapacitet på 1 miljon kubikmeter drivmedel.[124]

SCA har startat en process för att utreda förutsättningarna för att anlägga ett bioraffinaderi i anslutning till Östrands massafabrik i Timrå. I anläggningen planeras två produktionslinjer för biodrivmedel som ska produceras av restprodukter från sågverks- och massaindustri (sågspån och bark respektive lignin från svartlut).[125] Samtidigt planerar SCA och ST1 ett samarbete om att designa en biodrivmedelsanläggning som ska byggas vid raffinaderiet i Göteborg. SCA kommer där att vara en av flera leverantörer av råtallolja, vilken ska destilleras och förädlas till HVO, förnybar bensin och biojetbränsle.[126]

Vätgas

Vätgas är redan i dag en viktig beståndsdel i den kemiska industrin och tillverkas främst från naturgas. Med CCS blir processen nästan koldioxidneutral, dock inte fullt ut då all koldioxid inte kommer att kunna avskiljas. En helt fossilfri vätgasproduktion kan ske genom elektrolys, under förutsättning att elen är fossilfri. Läs mer om elektrolys av vätgas i avsnitt 2.2. Elektrolys förekommer redan inom industrin, framförallt inom baskemikalieindustrin. Men det finns också tillämpningar av tekniken för att minska den fossila användningen. I dag produceras vätgas genom ångreformering[127] av naturgas (metan) och vattenånga i höga temperaturer som ett reduktionsmaterial. Det är möjligt att ersätta denna process med elektrolys och framställa vätgas och syre från vatten. Preem och Vattenfall har i ett samarbete undersökt möjligheterna till att producera fossilfri vätgas storskaligt i Preems anläggning i Göteborg. Resultaten visade att det var tekniskt möjligt att installera en integrerad elektrolysör i raffinaderiet, men utmaningar finns i säkerställandet av tillräcklig överföringskapacitet av förnybar el vad gäller detta samt andra kommande utvecklingsprojekt.[128] I ST1:s satsning på ett bioraffinaderi i Göteborg, som nämnts under föregående rubrik, ingår också planer på en vätgasanläggning.

CCS och CCU

Inom kemi och raffinaderi kan koldioxidavskiljning vara aktuellt både som ett sätt att hantera de koldioxidutsläpp som uppstår, antingen genom att lagra dem (CCS) eller använda dem som en insatsvara för industrins kolbaserade produkter (CCU). För genomgång av de båda teknikerna, se avsnitt 2.4. Utveckling av CCS inom raffinaderi- och

[123] Renfuel, *Ny teknik Lignol.* http://renfuel.se/teknik/ (hämtad 2019-07-11).

[124] https://www.preem.se/om-preem/press/nyhetsrum/ (hämtad 2020-10-01).

[125] SCA, *Frågor och svar Bioraffinaderi.* https://www.sca.com/sv/fornybar-energi/projekt-och-utveckling/bioraffinaderi/fragor-och-svar/ (hämtad 2019-08-29).

[126] SCA, Pressmeddelande 2018-05-21. https://www.sca.com/sv/om-oss/Investerare/pressmeddelanden/2018-05/st1-och-sca-ingar-partnerskap-for-att-tillverka-fornybara-drivmedel/ (hämtad 2019-07-11), samt https://bioenergitidningen.se/bioenergi-i-industri/sa-kan-sca-producera-biodrivmedel-som-racker-till-inrikesflyget-om-behovet-finns (hämtad 2020-08-19).

[127] Läs mer om ångreformering i avsnitt 2.2 .

[128] Energimyndighetens projektdatabas, P46970-1, diarienummer 2018-006654.

kemiindustrin och en övergång till biobaserade råvaror utesluter inte varandra utan kan tvärtom på längre sikt ge synergieffekter eftersom det kan leda till negativa utsläpp när CCS används på utsläpp med biogent ursprung.

Preem, Chalmers tekniska högskola och det norska forskningsinstitutet SINTEF har genomfört en förstudie för hur Preems anläggning vid Lysekil kan använda sig av CCS-teknik. Förstudien undersökte de hinder och möjligheter som just den anläggningen behöver för att kunna möjliggöra tekniken. Enligt förstudien anses det bäst att transportera koldioxiden till Norge där teknik, kunskap och anläggningar finns. Detta förutsatt att de juridiska hinder som i dag hindrar en sådan lösning kan övervinnas. Anläggningen släpper i dag ut cirka 1,6 miljoner ton koldioxidekvivalenter per år, vilket motsvarar ungefär 3 procent av Sveriges totala växthusgasutsläpp. Införandet av CCS kan minska utsläppen från anläggningen med upp till 0,64 miljoner ton per år, vilket är lite över en procent av Sveriges utsläpp.[129]

Ett demonstrationsprojekt hos Preems raffinaderi i Lysekil inledes i februari 2019 och fortgår till december 2021. Projektet ska ta fram underlag för att kunna designa en fullskalig CCS-anläggning. Energimyndigheten och norska Gassnova stöder projektet med 7,7 miljoner kronor respektive 9,5 miljoner kronor.[130]

Ett annat sätt att ersätta den fossila råvaran är att genom elektrolys ”bygga upp” organiska molekyler baserade på exempelvis infångad koldioxid. Detta kan göras via flera olika processvägar, som bland annat beskrivs i en översiktsrapport från det nederländska projektet Volta Chemicals.[131] Genom elektrolys av vatten kan vätgas bildas, som kan fås att reagera med t.ex. koldioxid för att bilda exempelvis myrsyra, metanol eller eten. De kan sedan i sin tur kan reagera vidare för att bygga upp önskad produkt.

3.2.4 Handel och marknad

Under 2018 fanns det 1 029 företag inom raffinaderi och kemiindustrin.[132] Det finns fem raffinaderier.[133] Ett företag, Preem, står för cirka 80 procent av raffinaderikapaciteten och äger två av dessa raffinaderier.[134] Ett viktigt baskemikluster ligger i Stenungssund där flera företag samlats kring en krackeranläggning.[135]

Raffinaderi och baskemi samt läkemedel är de största delbranscherna sett till omsättning och antal anställda. De har också störst förädlingsvärde i branschen och bidrar därför mest i branschen till Sveriges BNP.

---

[129] Preem, *Case: CCS minskar CO_2-utsläppen.* https://www.preem.se/om-preem/hallbarhet/stabil-ekonomi/CCS-minskar-co2-utslappen/ (hämtad 2019-07-31).

[130] Preem, *Fullskalig CCS-anläggning minskar CO_2utsläppen.* https://news.cision.com/se/preem-ab/r/fullskalig-ccs-anlaggning-minskar-co2-utslappen-med-en-tredjedel,c2663853 (hämtad 2019-07-31).

[131] Voltachem, https://www.voltachem.com/news/whitepaper-electrification-offers-chemistry-a-sustainable-and-profitable-future (hämtad 2019-07-11).

[132] SCB, 2020b.

[133] Naturvårdsverket, 2019. *National inventory report 2019.*

[134] Preem, 2020, *Årsredovisning 2019.*

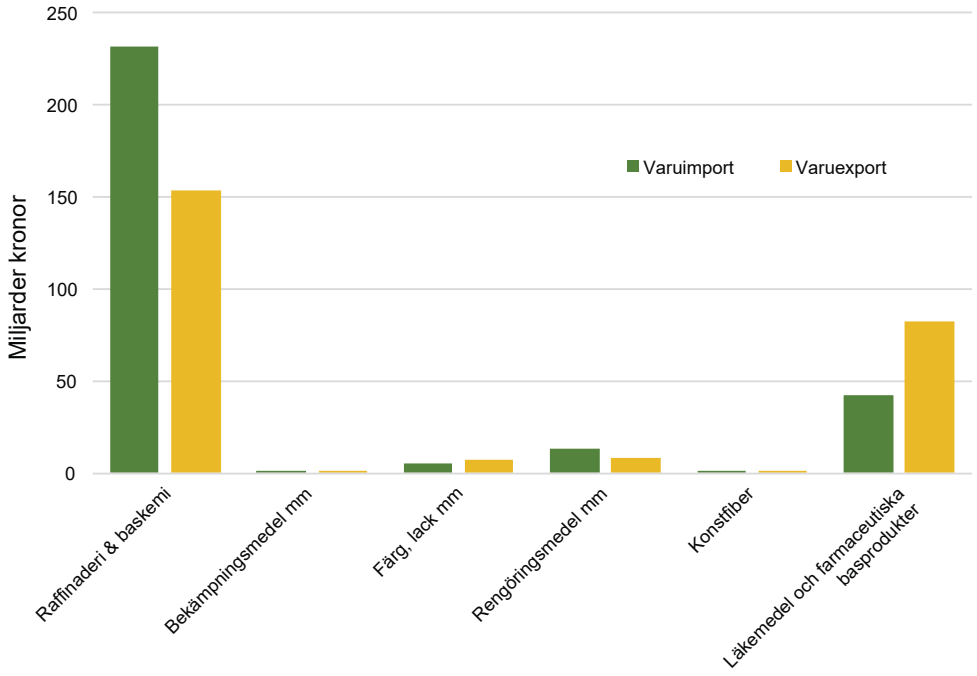
[135] Profu, 2012. *Industristruktur och tillhörande energiaspekter för kemi- och plastindustri, läkemedelsindustri och raffinaderier i Sverige.*

Stor import av fossila råvaror

Importen i raffinaderi och kemiindustrin var knappt 312 miljarder kronor 2018 och exporten var 272 miljarder kronor. Branschen har alltså en negativ nettoexport. Delbranscherna raffinaderi och baskemi samt läkemedel är störst även när det kommer till handel. De stod tillsammans för knappt 90 procent av både import och export.[136] Knappt 60 procent av branschens totala import och export skedde från och till länder inom EU-28.[137]

Raffinaderi och baskemi är den delbransch som handlar mest med andra länder. I branschen importeras fossila råvaror som förädlas till fossila bränslen och varor med fossil bas, t.ex. plast, som sedan till stor andel exporteras. Importvolymerna är dock större än exportvolymerna och raffinaderier och baskemi har en negativ nettoexport, se Figur 15. Det är också den delbransch med högst energianvändning och växthusgasutsläpp.[138]

Mineraliska bränslen[139] är den varukategori som importeras mest i raffinaderi och baskemi. Drygt hälften av detta är råolja, men även förädlade oljeprodukter importeras. Drygt 60 procent av importen av mineraliska bränslen kommer från länder utanför EU, främst Ryssland, Norge och Nigeria, men också från Finland. Mineraliska bränslen är också den största varukategorin för export, framförallt i form av förädlade oljeprodukter. Den största delen av exporten av fossila bränslen går till länder inom EU, framförallt Nederländerna, Storbritannien och Finland, men också Norge.[140]



Figur 15. Import- och exportvärde per delbransch (SPIN), 2018, miljarder kronor.
Källa: SCB.[141]

[136] SCB, 2020c.

[137] Eurostat, 2020.

[138] Eurostat, 2020.

[139] för att se vad som ingår i respektive varukategori, se Bilaga 3.

[140] Eurostat, 2020.

[141] SCB, 2020c.

Delbranschen läkemedel har näst störst handel i branschen och här är exporten större än importen. För farmaceutiska produkter sker majoriteten av importen från länder inom EU, främst från Tyskland och Danmark. USA är också ett stort importland. Cirka 60 procent av exporten 2018 gick till länder utanför EU, främst Kina, USA och Tyskland.[142]

3.3 Mineralindustrin

Mineralindustrin stod för knappt 20 procent av industrins totala fossila växthusgasutsläpp under 2018 och drygt 4 procent av energianvändningen. Drygt 60 procent av utsläppen var processrelaterade. Utsläppen uppstår framförallt i kalcineringsprocessen när kalksten används som råvara i cement- och kalkindustrin. Inom mineralindustrin är cementindustrin den största delbranschen sett till energianvändning och utsläpp. Utsläppen från kalcineringen är ofrånkomliga så länge som kalksten används som råvara. Huvudspåret för att minska utsläppen i cementproduktionen i Sverige är därför genom CCS.

Mineralindustrin omfattar tillverkning av produkter som baseras på olika mineral, t.ex. kalksten. Från kalksten tillverkas både mellan- och slutprodukter och användningsområdena är många. Ett exempel på en produkt som görs av kalksten är cement. Cement är en viktig beståndsdel i betong som utgör majoriteten av världens byggmaterial[143]. Av kalk görs även t.ex. bränd kalk och krossad kalksten som kan användas i stålproduktion samt används för andra metallurgiska och industriella processer, såsom kopparframställning. Så kallad släckt kalk används t.ex. för rökgasrening och i olika industriella processer, t.ex. vid produktion av papper, färg, plastprodukter, livsmedel, kosmetika och läkemedel. Inom mineralindustrin görs även andra produkter så som glas, porslin, keramik och gips.

De största utsläppen i branschen kommer från cement- och kalkproduktionen och uppstår när kalksten hettas upp kraftigt, det vill säga kalcineras, se processbeskrivning nedan.[144] Utsläppen från kalcineringen är ett processutsläpp. Det uppkommer också förbränningsutsläpp från förbränning av fossila bränslen.

3.3.1 Tillverkning av cement

Cementproduktion är den delbransch som har högst fossila växthusgasutsläpp inom mineralindustrin och därför fokuserar beskrivningen på den tillverkningsprocessen. De huvudsakliga stegen i cementproduktionen illustreras i Figur 16. Bilden visar även var energianvändningen och utsläppen är störst samt var ny teknik är under utveckling.

Det viktigaste råmaterialet i cementtillverkning är kalksten. Kalksten bryts i kalktäkter i Skövde och Slite. Cementtillverkningen börjar med att kalkstenen krossas, blandas med tillsatsmedel och mals i en råkvarn till ett fint pulver som kallas råmjöl. Råmjölet förs sedan vidare till cementugnen, som består av ett cyklontorn[145] och en roterugn[146].

[142] Eurostat, 2020.

[143] Cementa, 2018. *Färdplan cement – för ett klimatneutralt betongbyggande.* Cementa HeidelbergCement Group: Fossilfritt Sverige.

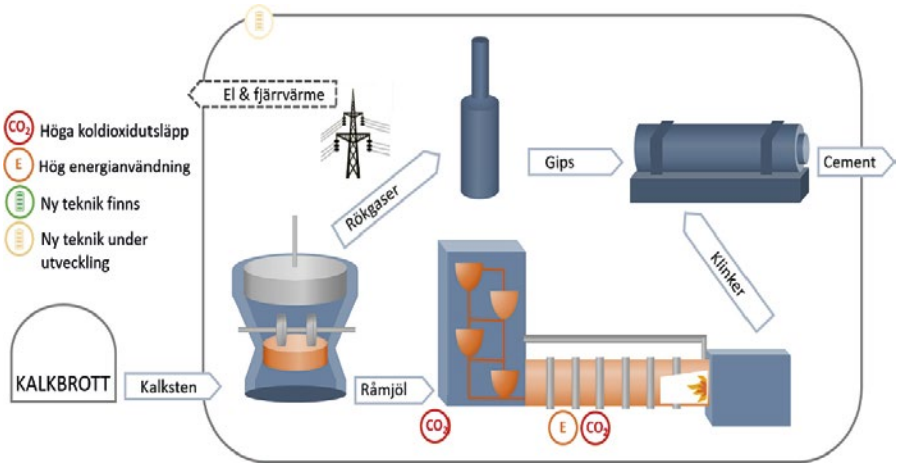
[144] Kalksten består till stor del av kalciumkarbonat ($CaCO_3$), som vid kraftig upphettning (kalcinering) bildar kalciumoxid (CaO) och släpper ifrån sig koldioxid (CO_2). Den processen kallas kalcinering.

[145] Cyklontornet är 80 meter högt och fungerar som en värmeväxlare.

[146] Roterugnen är ett 60-80 meter långt roterande stålrör med en diameter på 4,5-5 meter.

Temperaturen i roterugnen når cirka 1 450 grader. Här hettas råmjölet upp så att kalciumkarbonaten i råmjölet delas upp i kalciumoxid och koldioxid, en process som kallas kalcinering. Sedan sintras råmjölet i roterugnen, vilket innebär att det bildas små kulor som kallas klinker. Klinkern kyls snabbt och mals sedan i cementkvarnen tillsammans med gips och eventuella andra tillsatsmaterial till färdig cement. Genom att variera malningsprocess och tillsatsmedel produceras olika typer av cement.[147] Rökgaserna från processerna renas med hjälp av kalk. Vid reningen utvinns gips som sedan återanvänds i processen. Värmen återvinns i form av fjärrvärme- och elproduktion.[148]

Två tredjedelar av cementproduktionens fossila växthusgasutsläpp kommer från kalcineringsprocessen. Den resterande tredjedelen kommer från de bränslen som används för uppvärmning.[149] I cementugnen sker den största energianvändningen.



Figur 16. Tillverkning av cement.

Källa: Energimyndigheten.

Anm: Pilarna symboliserar material- och gasflöden mellan de olika processtegen. Ikonerna visar var utsläppen och energianvändningen är störst och vilka utsläppsintensiva processteg som tros kunna ersättas av ny teknik inom snar respektive mer avlägsen framtid. Den gula tekniksymbolen symboliserar möjligheten att minska utsläppen från hela processen genom till exempel koldioxidinfångning, energieffektivisering eller användning av restmaterial. Läs mer om olika tekniker för att minska utsläppen i avsnitt 3.3.3.

Det sker en likadan kalcineringsprocess vid tillverkningen av bränd kalk som vid cementproduktion. Kalksten upphettas och delas upp i kalciumoxid, som också kallas bränd kalk, och koldioxid. Den brända kalken mals och är sedan färdig att säljas, eller att användas för tillverkning av släckt kalk genom att tillsätta vatten.[150] Tillverkningen av bränd och släckt kalk står därför också för en stor del av branschens fossila utsläpp.

[147] Cementa, *Tillverkning av cement*. https://www.cementa.se/sv/tillverkning-av-cement (hämtad 2020-09-10).

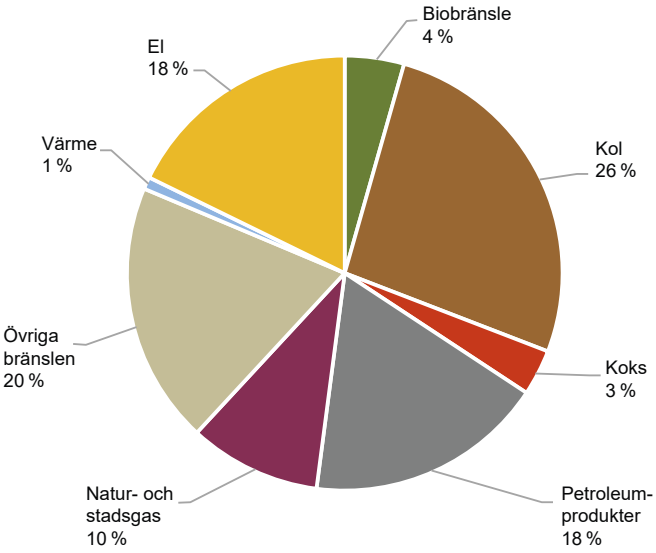
[148] Cementa, *Cementproduktion steg för steg* https://www.cementa.se/sv/cementproduktion-steg-f%C3%B6r-steg (hämtad 2020-09-10).

[149] Cementa, *Tillverkning av cement*. https://www.cementa.se/sv/tillverkning-av-cement (hämtad 2020-09-10).

[150] Nordkalk, *Produktionsprocess.* https://www.nordkalk.se/produkter/produkt-information/produktionsprocess/ (hämtad 2020-09-10).

3.3.2 *Energianvändning och utsläpp av fossila växthusgaser*

Mineralindustrins energianvändning uppgick till drygt 5,7 TWh under 2018, vilket motsvarar knappt fyra procent av industrins totala energianvändning.[151] Figur 17 visar fördelningen mellan olika energibärare.



Figur 17. Mineralindustrins energianvändning fördelat på olika energikällor, 2018, procent.

Källa: Energimyndigheten.[152]

Anm 1: Energin som används för kalkbrytning ingår inte i figuren eftersom kalkbrytning inte kan skiljas från annan mineralutvinning i energistatistiken.

Anm 2: Övriga bränslen inkluderar i huvudsak utsorterade och förädlade avfallsfraktioner som i betydande del har biogent innehåll.

Även om andelen biobaserade bränslen har ökat under de senaste åren utgjordes under 2018 mer än hälften av mineralindustrins energianvändning av fossila energikällor. Cementproduktionen står för en stor del av branschens energianvändning. Fossila bränslen är fortfarande relativt vanliga i cementfabrikernas termiska processer, men förädlade avfallsbaserade bränslen har kommit att öka på senare år. Eftersom den typen av bränslen i första hand ersätter kol blir följden att utsläppen minskar. Cementa, Sveriges enda cementproducent, använde 20 procent biobaserade bränslen och nära 50 procent avfallsbaserade bränslen under 2017 och uppger i sin färdplan mot fossilfrihet att trenden är uppåtgående.[153]

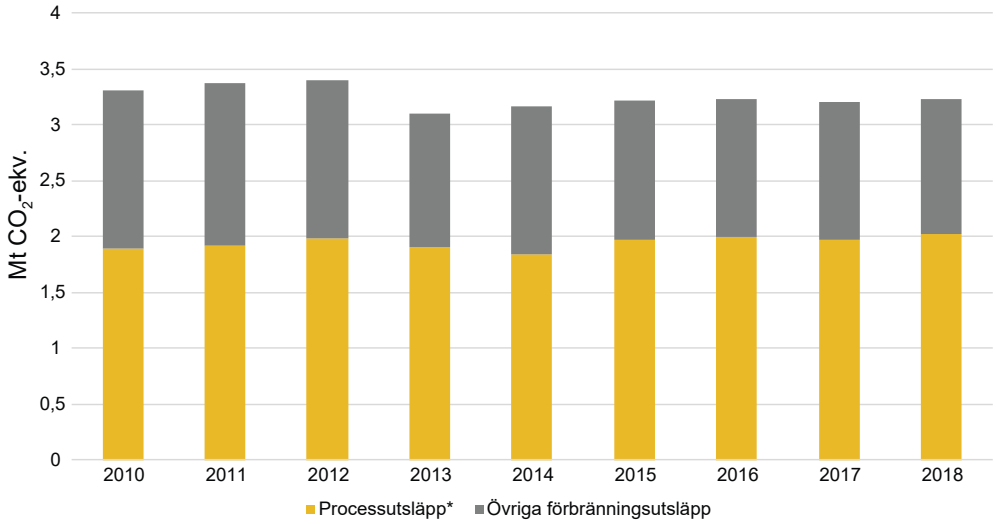
Totalt uppgick mineralindustrins utsläpp av fossila växthusgaser till 3,2 miljoner ton koldioxidekvivalenter under 2018, vilket motsvarade en knapp femtedel av industrins totala utsläpp. Drygt 60 procent av branschens totala utsläpp var processrelaterade under 2018 och resterande utgjordes av övriga förbränningsutsläpp, se Figur 18. De processrelaterade utsläppen utgjordes enbart av processutsläpp. Fördelningen mellan processrelaterade utsläpp och övriga förbränningsutsläpp ser likadan ut för cementindustrin. Produktion av cement, kalk och gips stod för i princip alla processutsläpp och cirka 80 procent av de övriga förbränningsutsläppen i branschen under 2018.

[151] Eftersom antalet anläggningar för cementproduktion i Sverige är få kan deras energianvändning inte särredovisas.

[152] Energimyndigheten, 2020.

[153] Cementa, 2018.

Då biobränslen används allt mer som bränsle i cementproduktionen så ökar de biogena koldioxidutsläppen och uppgick till drygt 0,25 miljoner ton under 2018.



Figur 18. Mineralindustrins utsläpp av fossila växthusgaser fördelat på olika utsläppskategorier, miljoner ton koldioxidekvivalenter, 2010-2018 (kategorier markerade med * ingår i processrelaterade utsläpp).

Källa: Naturvårdsverket och SCB[154], bearbetning av Energimyndigheten.

Ur ett livscykelperspektiv blir utsläppen i cementindustrin lägre på grund av en kemisk process som kallas för karbonatisering. Karbonatisering innebär att betongstrukturer tar upp koldioxid i ytskiktet. Genom att förbättra hanteringen av rivna betongkonstruktioner och skapa större exponerade betongytor kan upptaget ökas.[155] I dag får koldioxidupptag i betongstrukturer inte tillgodoräknas som negativa utsläpp i klimatrapporteringen.[156] Därför kan upptaget i dagsläget troligen inte räknas in i Sveriges klimatmål om nettonollutsläpp 2045. Diskussioner kring inkludering av upptag i betong pågår internationellt så detta kan komma att ändras i framtiden.

3.3.3 Lösningar för att minska utsläppen

I Färdplan cement[157] presenterar cementindustrin en vision för hur produktionen kan bli utsläppsneutral till 2030. Utsläppen ska enligt färdplanen minskas genom avskiljning av processutsläppen, utfasning av fossila bränslen, fortsatt energieffektivisering samt genom att ersätta viss del av den kalkstensbaserade cementklinkern med andra restmaterial. Enligt branschen är fungerande processer för CCS nödvändigt för att uppnå utsläppsneutralitet. I visionen ingår även negativa utsläpp från karbonatisering[158] i betong, men det kan i dagsläget inte tillgodoräknas mot klimatmålen enligt de internationella riktlinjerna för beräkning av växthusgasutsläpp.

[154] SCB, 2020a.

[155] Cementa, 2018.

[156] IPCC. *2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Volume 3: Industrial Processes and Product Use.* https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/pdf/3_Volume3/V3_1_Ch1_Introduction.pdf (Hämtad 2019-07-16.

[157] Cementa, 2018.

[158] Karbonatisering innebär att betongstrukturer tar upp koldioxid i ytskiktet, se föregående avsnitt.

CCS är nödvändigt för att minska processutsläppen och i Norge planeras en fullskaleanläggning

Eftersom stora delar av utsläppen från produktion av kalk och cement uppstår när kalkstenen omvandlas till klinker så kan dessa utsläpp inte försvinna så länge cement produceras med kalksten. Därför bedömer branschen att CCS är nödvändigt för att minska koldioxidutsläppen. Läs mer om tekniken för CCS under avsnitt 2.4.

Cementas norska systerbolag Norcem och HeidelbergCement driver tillsammans med ECRA (European Cement Research Academy) ett stort projekt kring CCS vid Norcems cementfabrik i Brevik, Norge. I projektet har fyra olika avskiljningsmetoder testats i pilotskala mellan 2013 och 2017. Efter att pilotförsöken avslutats har projektet under 2018 erhållit statlig finansiering för en så kallad ”FEED-study”, vilket är det sista steget innan en fullskalig anläggning. Norcem meddelade i juni 2020 att man är redo att gå vidare med att bygga en storskalig CCS-anläggning med kapacitet att fånga in och lagra 400 000 ton årligen. Det skulle då bli den första storskaliga anläggningen inom cementindustrin. Investeringsbeslutet är dock avhängigt att projektet beviljas finansiering från norska staten. Den norska regeringen inväntar nu besked efter att under september 2020 gått fram med förslag[159] om stöd till finansiering av det så kallade fullskaleprojektet där Norcem ingår (läs mer i avsnitt 4.4.1). Om beslutet blir till projektets fördel påbörjas en treårig konstruktionsfas, vilket innebär att en fullskalig anläggning för cementproduktion med koldioxidinfångning kan finnas på plats 2024.[160]

I det norska projektet föll valet på en efter-förbränningsteknik (Figur 2 sidan 16) för att avskilja koldioxiden ur gasströmmen. Valet av denna teknik innebär ingen ombyggnad av ugnar och har därför en relativt liten påverkan på den befintliga produktionsprocessen.[161] Infångningsnivån uppges i praktiken vara upp till 90 procent. Denna första generationens efter-förbränningsteknik med aminobaserad absorbent är en energiintensiv teknik som fördubblar energianvändningen per ton producerad cement. I det aktuella projektet kommer spillvärme från produktionsanläggningen användas som energi för regenerering av absorptionslösningen och infångad koldioxid återgår till gasfas. Mer energieffektiv teknik är under utveckling och har bland annat testats i de norska pilotprojekten. Projektet visar att det finns tekniska lösningar för koldioxidavskiljning kopplat till cementproduktionen, men investeringskostnaderna är stora och Norcem inväntar därför besked om stöd från norska staten för att gå vidare med användning av tekniken i full skala.[162]

Elektrifiering och biobränslen kan minska förbränningsutsläpp och förbättra möjligheterna för CCS

Inom cement- och kalkproduktion uppstår som tidigare nämns även utsläpp från förbränning av fossila bränslen. Dessa utsläpp kan minska genom att byta ut de fossila bränslena mot andra uppvärmningsalternativ.

---

[159] Det Kongelege Olje- og Energidepartementet, Meld.St.33 *Melding till Stortinget, Langskip – fangst og lagring av CO_2* https://www.regjeringen.no/contentassets/943cb244091d4b2fb3782f395d69b05b/nn-no/pdfs/stm201920200033000dddpdfs.pdf

[160] Norcem, 2020 *Karbonfangst ved Norcem Bevik*. https://www.norcem.no/no/CCS_Brevik (Hämtad 2020-07-06).

[161] Sweco, 2016.

[162] Cementa, 2018.

Cementa arbetar kontinuerligt med att ersätta fossila bränslen i cementproduktionen med bio- och avfallsbaserade bränslen. Dessutom arbetar Cementa inom projektet CemZero med att undersöka möjligheten att elektrifiera uppvärmningen. Om uppvärmningen av cementproduktionen kan elektrifieras skulle utsläppen från fossila bränslen försvinna. Dessutom skulle det göra avskiljning av koldioxid mer effektiv och därigenom minska kostnaderna för CCS.[163] Arbetet sker inom tre projekt som delfinansieras inom industriklivet.[164]

Kalkproducenten Nordkalk undersöker i ett projekt som delfinansieras genom Industriklivet möjligheterna att blanda in biobränsle i sitt befintliga system.[165] Om projektet lyckas kan de fossila utsläppen från kalkproduktionen minska.

Alternativa bindemedel och restmaterial kan minska utsläppen

Ett annat sätt att minska utsläppen från cementindustrin är att ersätta delar av klinkern med alternativa bindemedel och restmaterial, till exempel flygaska eller slagg. På så sätt behöver mindre klinker användas för samma mängd betong. Cementa ersatte 14 procent av cementklinkern med andra material[166] under 2017.[167] Sverige har dock fortfarande en högre andel klinker än medelvärdet i Europa som är 73 procent.[168] Andelen kan höjas under förutsättning att det finns tillräcklig tillgång till lämpliga ersättningsmaterial. I dag är tillgången en begränsning, men forskning pågår för att hitta lösningar.[169] Ett exempel är Skanska, som 2019 lanserade ”grön betong”, en betong som har upp till 50 procent lägre klimatbelastning genom att andelen cementklinker har minskats genom byte till masugnsslagg.[170] Att minska andelen cementklinker genom att använda restprodukter från andra branscher, t.ex. masugnsslagg, är resurseffektivt på systemnivå. Samtidigt är användningen av masugnsslagg bara en lösning på medellång sikt ifall direktreduktion med vätgas lyckas inom järn- och stålindustrin och denna teknik alltmer ersätter masugnar. En sådan utveckling inom järn- och stålindustrin kan minska tillgången på masugnsslagg som då behöver ersättas med andra restprodukter.[171]

Forskning pågår även för att hitta andra typer av cement med bättre klimatprestanda som skulle kunna ersätta dagens kalkbaserade cement. Deras roll i omställningen begränsas dock av omfattningen av utsläppsminskningar de erbjuder och den begränsade tillgången på råvaror. I allmänhet är tillgången lägst för de ämnen som har högst potential att minska utsläppen.[172] Det kalla svenska klimatet kan också utgöra en speciell utmaning eftersom

[163] Cementa, 2018.

[164] Energimyndighetens projektdatabas 50893-1, diarienummer 2020-008305, Energimyndighetens projektdatabas 50224-1, diarienummer 2019-022111 och Energimyndighetens projektdatabas 45367-2, diarienummer 2019-008655.

[165] Energimyndighetens projektdatabas 47198-1, diarienummer 2018-009037.

[166] Vilket innebär en klinkerandel på 86 procent.

[167] Cementa, 2018.

[168] Karlsson, Toktarova, Rootzén och Odenberger. 2020. *Technical Roadmap – Cement industri* Mistra Carbon Exit.

[169] Cementa, 2018.

[170] Skanska, *Grön betong för en hållbar framtid.* https://www.skanska.se/om-skanska/press/nyheter/gron-betong-for-en-hallbar-framtid/ (Hämtad 2020-09-08).

[171] Karlsson, Toktarova, Rootzén och Odenberger. 2020.

[172] Material Economics, 2019. *Industrial Transformation 2050 – Pathways to Net-Zero Emissions from EU Heavy Industry*.

det innebär högre krav på beständighet.[173] Även regleringar, standarder etc. påverkar användningen av alternativa material i stället för klinker.[174] Inom industriklivet finansieras ett projekt där RISE Reasearch institute AB undersöker möjligheterna att ta fram en cementsort med lägre klimatpåverkan genom att kombinera aska från havreskal med oreaktiva slagger från stålindustrin.[175]

Effektivisering kan bidra till minskade utsläpp, men inte eliminera dem

Det pågår även projekt för att effektivisera cementtillverkningen, vilket kan ge minskade processutsläpp även om de inte elimineras. Ett projekt som finansieras inom Industriklivet syftar till att utveckla metoder för bättre mätning av kalcineringsprocessen för att därmed minska oplanerade produktionsstopp och mängden kasserad bränd kalk. Projektet bedöms kunna minska utsläppen med 9 000 ton koldioxid per år inom den svenska cement- och kalkindustrin. En sådan implementering är alltså ett komplement till storskalig lösning (CCS) och skulle dels kunna minska utsläppen i väntan på CCS, dels kunna minska mängden koldioxid som måste fångas in och lagras.

Mellan 2017 och 2020 medverkar Cementa i det branschöverskridande forskningsprojektet Mistra Carbon Exit, vars syfte är att analysera vilka möjligheter och utmaningar Sverige har för att uppnå nettonollutsläpp 2045. I analyserna ingår hela försörjningskedjan från utvinning av råmaterial till slutanvändning och studien omfattar tekniska frågor, såväl som marknadsaspekter, styrmedel och hållbarhet.[176]

3.3.4 Handel och marknad

År 2018 ingick knappt 2 000 företag med cirka 18 000 anställda i mineralindustrin. Betong-, gips- och cementvaror var den största delbranschen med nästan hälften av både anställda och omsättning, följt av glas och glasvaror samt slipmedel m.m. Flest företag fanns dock inom delbranschen andra porslin- och keramiska produkter.[177]

Cementa är det enda företaget som tillverkar cement i Sverige.[178] Cementa ingår i koncernen HeidelbergCement som är den näst största cementproducenten i världen.[179] Den svenskproducerade cementen står för cirka 85 procent av den svenska marknaden för cement.[180]

Utrikeshandeln är störst för de produkter med låga utsläpp

Cement har ett lågt pris i förhållande till sin vikt så transportkostnaden utgör en stor del av kostnaden för en kund. Därför används den mesta cementen nära där den produceras.

---

[173] Skanska, *Grön betong för en hållbar framtid.* https://www.skanska.se/om-skanska/press/nyheter/gron-betong-for-en-hallbar-framtid/ (Hämtad 2020-09-08).

[174] Mistra Carbon Exit, 2020.

[175] Energimyndighetens projektdatabas 48844-1, diarienummer 2019-008729.

[176] Mistra Carbon Exit, *om oss*. https://www.mistracarbonexit.org/om-oss/ (hämtad 2020-08-04), https://www.mistracarbonexit.org/organisationen (hämtad 2020-08-04).

[177] SCB, 2020b.

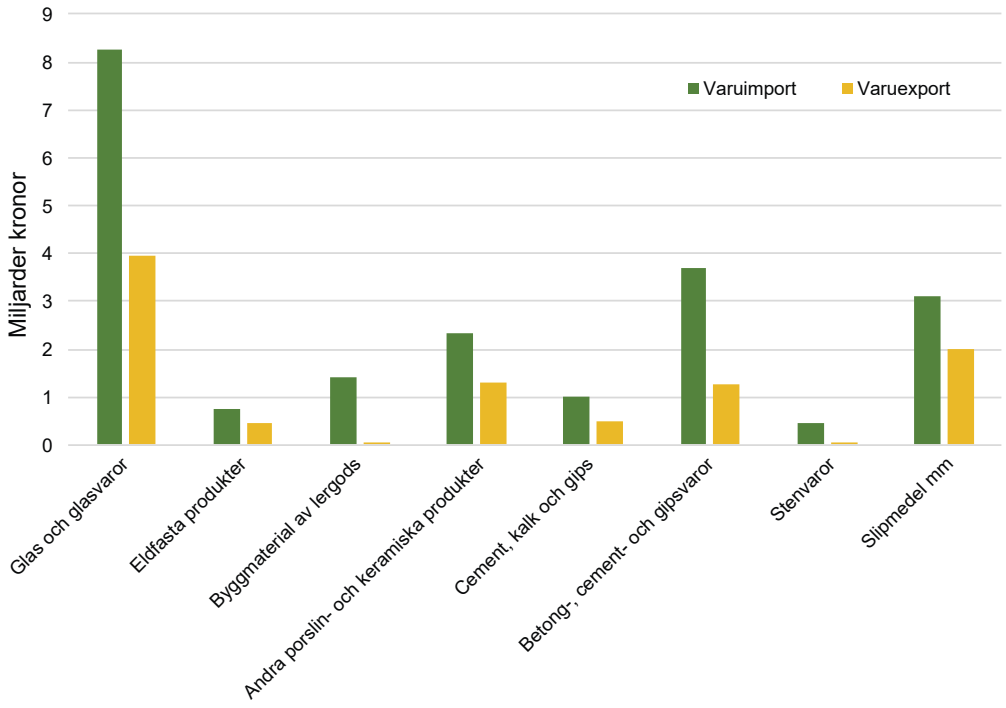
[178] Cementa, 2018.

[179] Cementa, 2018 och HeidelbergCement, *HeidelbergCement.* https://www.heidelbergcement.com/en/company (hämtad 2020-08-04).

[180] Seminarium, Klimatneutral processindustri, 2017-05-03.

Global Cement har uppskattat att mindre än tre procent av den globala produktionen handlas internationellt.[181]

Importvärdet inom mineralindustrin var cirka 21 miljarder kronor och exporten var knappt 10 miljarder kronor under 2018, se Figur 19.[182] Importvärdet var alltså dubbelt så stort som exportvärdet och nettoexporten negativ. Importvärdet är större än exportvärdet i alla delbranscher. Den största internationella handeln sker inom delbranschen glas och glasvaror. Slipmedel m.m. och betong-, cement- och gipsvaror hade den andra och tredje största handelsandelen. Delbranschen cement, kalk och gips, som är den delbransch där flest processrelaterade utsläpp finns, står för endast 5 procent av import- respektive exportvärdet. Samtidigt är den delbranschen nära kopplad till betong-, cement- och gipsvaror eftersom varorna där är en vidareförädling av cement, kalk och gips.



Figur 19. Import- och exportvärde per delbransch (SPIN), 2018, miljarder kronor.
Källa: SCB.[183]

Drygt tre fjärdedelar av importen av mineralprodukter kommer från länder inom EU. De största importländerna är Tyskland, Polen, Danmark, Kina och Norge. Exportvärdet fördelar sig relativt jämnt mellan länder inom och utanför EU. De länder som Sverige exporterar mest till är Norge, Danmark, Belgien, Finland och Tyskland. Säkerhetsglas, varor av cement och betong samt glasfiber är de varor som importeras mest. Glasfiber och varor av cement och betong är också de varor som exporteras mest, tillsammans med svavel och säkerhetsglas[184]

[181] Karltorp, Bergek, Fahnestock, Hellsmark och Ulman, 2019, *Statens roll för klimatomställningen i processindustrin.* RISE rapport 2019:15.

[182] SCB, 2020c.

[183] SCB, 2020c.

[184] Eurostat, 2020.

3.4 Övrig metall inklusive övriga gruvor

Övrig metall stod under 2018 för knappt 5 procent av industrin totala fossila växthusgasutsläpp, och drygt 88 procent var processrelaterade. Av industrins totala energianvändning stod branschen för knappt 4 procent samma år. Framställning av koppar och bly samt aluminium står för majoriteten av utsläppen, vilka främst kommer från bl.a. kol som används vid elektrolys samt plastrester i insamlad skrot som går in i koppar- och blyframställningen. För att minska utsläppen utreds t.ex. alternativ till fossil kol, såsom biokol och inerta anoder, samt CCS.

I branschen övrig metall, inklusive övriga gruvor, ingår produktion av andra metaller än järn och stål samt all mineralutvinning och malmbrytning utom järnmalm. Detta inkluderar framförallt framställning av koppar, bly, zink, ädelmetaller och aluminium. Jämfört med de andra branscherna som ingår i rapporten är utsläppen små, dock är majoriteten processrelaterade utsläpp som inte går att komma åt genom bränslebyten. Framställning av koppar och bly[185] samt aluminiumproduktion står för den största delen av de processrelaterade utsläppen inom övrig metall. Därför är dessa verksamheter i fokus i detta kapitel.

Framställning av koppar och bly domineras av mineral- och smältverksföretaget Boliden, som även har verksamhet i Sveriges grannländer och på Irland. I Sverige har bolaget ett koppardagbrott, underjordsgruvor för komplexmalm, smältverk för malm- och skrotbaserad metallproduktion och Nordens enda sekundära smältverk för bly. Boliden arbetar både med brytning och vidareförädling av malm och med återvinning av elektronikskrot och kasserade blybatterier. De flesta basmetaller som produceras säljs vidare till andra industrikunder, för vidareförädling till slutprodukter. Koppar används inom elektronik, för att producera och leda elektricitet. Bly används framförallt i batterier. Det finns en anläggning som producerar aluminium från malm, och ett antal som gör aluminium från skrot. Aluminium används till många olika saker som t.ex. folie, burkar, bilar och flygplan. Aluminium produceras antingen från bauxitmalm, som importeras till Sverige, eller genom återvinning av insamlat aluminiumskrot. Utöver detta finns andra gruvföretag, gjuterier och bearbetningsföretag i övrig metall.

3.4.1 Framställning av koppar, bly och aluminium

Koppar och bly framställs antingen från metallkoncentrat (anrikad malm) eller från återvunnen metall.[186] Malmen bryts i dagbrott eller i underjordsgruvor, krossas och transporteras sedan till ett anrikningsverk. I anrikningsverket mals den krossade malmen, innan den separeras från övriga mineraler genom flotation.[187] Därefter avvattnas och filtreras den malda malmen för att få fram metallkoncentrat. Koncentratet transporteras till smältverk där det förädlas till rena metaller. Eftersom malmen ofta är så kallad komplexmalm, dvs. består av olika metaller, separeras malmkoncentratet och transporteras

[185] Flera andra metaller framställs i delbranschen, men koppar och bly är de huvudsakliga. Läs mer i Bilaga 3.

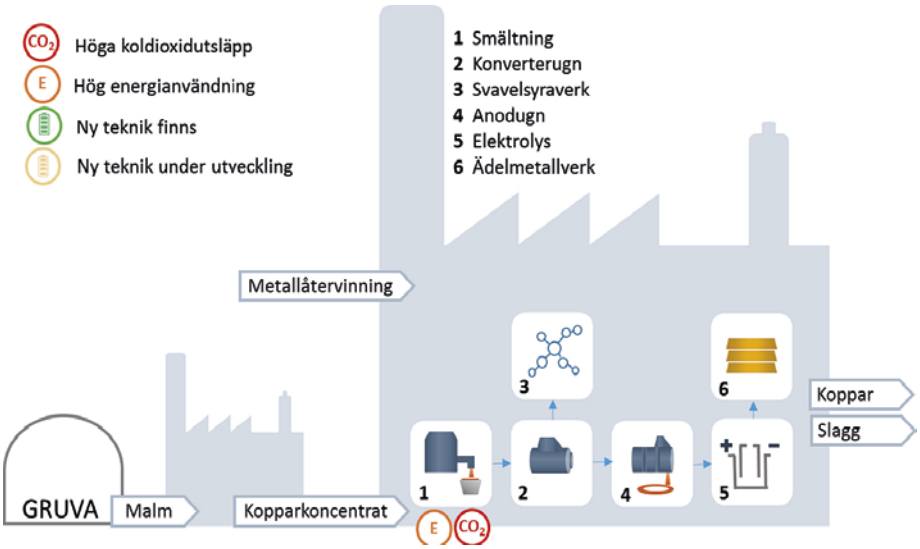
[186] Den återvunna metallen består bland annat av elektronikskrot och restprodukter från tidigare processteg.

[187] Flotation är en kemisk process för att separera hydrofoba material från hydrofila.

till olika smältverk. Smältverken i Sverige producerar i huvudsak koppar och blylegeringar, men har materialflöden både till och från andra smältverk i Finland och Norge och mellan varandra.[188]

Kopparsmältverket Rönnskär i Skelleftehamn producerar i första hand koppar, men även zinkklinker, bly, svavelsyra, guld och silver. Råvarorna består av koppar- och blykoncentrat samt återvunnet elektronikskrot och restprodukter från andra industrier. Först smälts koncentratet och den återvunna metallen i en ugn för att separera kopparhaltig skärsten från slagg (nr 1 i Figur 20 nedan). Skärstenen förs vidare till en konverterugn (nr 2). I konverterugnen separeras råkoppar från järn, svavel och föroreningar. Medan svavel och övriga processgaser leds vidare till ett svavelsyraverk (nr 3) transporteras råkoppar vidare till en anodugn (nr 4). Där reduceras syrehalten innan koppar slutligen utvinns med hjälp av elektrolys (nr 5). Ur elektrolysslammet utvinns ädelmetaller (nr 6).

I Figur 20 illustreras kopparframställningen, med fokus på processerna som sker i smältverket.



Figur 20. Kopparframställning – från gruva till slutprodukt.
Källa: Energimyndigheten.

I Sverige produceras både primär- och sekundärbly. Boliden Bergsöe i Landskrona är Nordens enda sekundära blysmältverk. Sekundärbly framställs från återvunnen metall, vilken främst utgörs av kasserade blybatterier. Först smälts råmaterialet i en ugn och därefter raffineras och legeras blyet innan det gjuts till tackor. En stor andel av det bly som produceras används för tillverkning av bilbatterier. Överskottsvärmen täcker det årliga fjärrvärmebehovet för hela Landskrona kommun.

Aluminium tillverkas från skrot eller malm. Bauxit innehåller 50–65 procent aluminiumoxid och är den vanligaste råvaran i malmbaserad aluminiumproduktion (primäraluminium).[189] Medan övrig malmbaserad metallproduktion utgår från råvaror som bryts i Sverige behöver bauxiten för produktion av aluminium importeras från

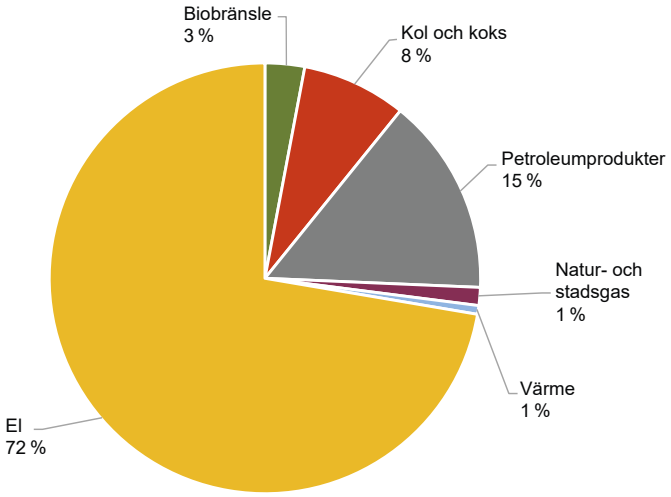
[188] Boliden, 2020. *Års- och hållbarhetsredovisning 2019.*

[189] Svenskt Aluminium, *Om aluminium*. https://www.svensktaluminium.se/om-aluminium/ (hämtad 2020-08-03).

andra länder. Primäraluminium tillverkas bara i Kubals smältverk i Sundsvall. Det sker genom elektrolys av aluminiumoxid i en saltsmälta. För elektrolysen används en kolbaserad anod som förbrukas vid användning. Det förbrukas cirka 45 kilo kolanod för 100 kg primäraluminium.[190] Vid reaktionen bildas perfluorklorväten (PFC) och koldioxid. Trots detta står aluminiumproduktionen fortfarande för en stor del av de processrelaterade utsläppen inom övrig metall. Utsläppen från skrotbaserad aluminiumproduktion är jämförelsevis små och utgörs av förbränningsutsläpp.

3.4.2 *Energianvändning och utsläpp av fossila växthusgaser*

Branschens energianvändning uppgick till 6,0 TWh under 2018, vilket motsvarar knappt 4 procent av industrins totala energianvändning. Figur 21 visar fördelningen mellan olika energibärare.



Figur 21. Energianvändningen i övrig metall fördelat på olika energikällor, 2018, procent.
Källa: Energimyndigheten.[191]

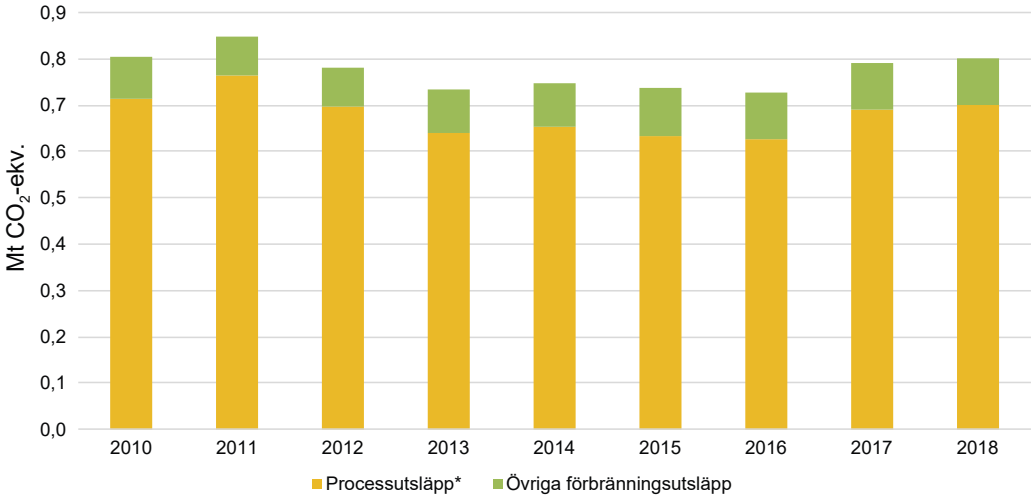
Elanvändningen utgör nästan tre fjärdedelar av branschens totala energianvändning. El används bland annat i elektrolysprocesserna vid aluminium- och kopparframställning. Gasol används för malmbaserad aluminium- och kopparframställning och andra petroleumprodukter används bland annat för blyframställning. Kol är en viktig energibärare i kopparframställningen och används i smältprocessen samt i elektrolys av aluminiumoxid.

Branschens totala utsläpp av fossila växthusgaser uppgick till cirka 0,8 miljoner ton koldioxidekvivalenter under 2018, vilket motsvarar knappt 5 procent av industrins totala utsläpp av fossila växthusgaser. Andelen processrelaterade utsläpp av branschens totala fossila växthusgasutsläpp uppgick under 2018 till 88 procent och resterande utgjordes av övriga förbränningsutsläpp, se Figur 22. De processrelaterade utsläppen utgjordes uteslutande av processutsläpp. De största utsläppen kan härledes till framställningen av koppar och bly samt aluminiumproduktion. Övriga processutsläpp i branschen kommer

[190] Svenskt Aluminium, 2013. *Material och energiflöden i svensk aluminiumindustri. Slutrapport GeniAl.*

[191] Energimyndigheten, 2020.

från framställning av järnlegeringar[192] och i magnesiumgjuterier. Investeringar i ny teknik inom den malmbaserad aluminiumproduktion ledde till en halvering av de processrelaterade utsläppen under den senare delen av 00-talet.[193]



Figur 22. Övrig metalls utsläpp av fossila växthusgaser fördelat på olika utsläppskategorier, miljoner ton koldioxidekvivalenter, 2010-2018 (kategorier markerade med * ingår i processrelaterade utsläpp).

Källa: Naturvårdsverket och SCB[194], bearbetning av Energimyndigheten

Anm: Precis som för järn- och stålindustrin ingår inte utsläppen från malmbrytning och mineralutvinning eftersom dessa inte kan särskiljas från brytning av järnmalm i den officiella statistiken.

Produktion från elektronikskrot och blybatterier orsakar en del av utsläppen eftersom koldioxid frigörs när plastdetaljer smälts. Den typen av utsläpp har ökat de senaste åren i takt med att kapaciteten att ta hand om elektronikskrot har ökat.[195]

3.4.3 Lösningar för att minska utsläppen

Även om flera av branschens tillverkningsprocesser liknar dem som används inom järn- och stålindustrin står övrig metall delvis inför andra utmaningar. Att använda direktreduktion för att producera aluminium är till exempel inte möjligt ur ett kemiskt perspektiv eftersom aluminium är ett starkare reduktionsmedel än kol.[196] Däremot bör det inte vara omöjligt att ersätta de fossila kolanoderna i elektrolysprocessen med biokol.

Branschgemensam forskning inom aluminiumindustrin hanteras av Tekniska Högskolan i Jönköping, Casting Innovation Center (CIC) och RISE.[197] Forskning kopplat till primär aluminiumproduktion bedrivs vid Norges Teknisk-naturvetenskapliga Universitet i

[192] Utsläpp från framställning av järnlegeringar (ferrolegeringar) ligger övrig metall i utsläppsstatistiken. I övrig statistik som används i rapporten (energi, ekonomi) så ligger järnlegeringar inom järn- och stål.

[193] Naturvårdsverket, 2019. *National inventory report 2019.*

[194] SCB, 2020a.

[195] Naturvårdsverket, 2019. *National inventory report 2019.*

[196] Råvarumarknaden, *Aluminium – världens vanligaste metall.* http://ravarumarknaden.se/aluminium-varldens-vanligaste-metall/ (hämtad 2019-07-05).

[197] Ahnberg m.fl, 2013.

Trondheim och vid Linköpings universitet. Det strategiska innovationsprogrammet Metalliska material omfattar Sveriges metallindustrier och syftar till att främja innovation inom branschen.[198] Metalliska material är ett av flera strategiska innovationsprogram som finansieras av Vinnova, Energimyndigheten och Formas.

Plastsorteringsanläggning minskar utsläppen från blyåtervinning

I september 2019 togs en plastseparationsanläggning i drift vid blysmältverket Bergsöe. Genom anläggningen ska plasten från bilbatteriernas höljen återvinnas och omvandlas till plastflingor. Flingorna kan sedan användas för att tillverka nya bilbatterihöljen. Plastseparationsanläggningen beräknas minska Bergsöes koldioxid-utsläpp med cirka 23 procent, eller 10 000 ton per år, när plasten inte längre bränns.[199]

Alternativa reduktionsmedel kan minska utsläppen

I sin årsredovisning uppger Boliden att man har initierat ett antal studier för att reducera processutsläpp vid smältverk. En av studierna ska utvärdera alternativa reduktionsmedel istället för kol.[200] Under 2017 undersökte Stena Recycling tillsammans med Boliden möjligheterna att använda plastavfall som reduktionsmedel med goda resultat.[201]

För att minska processutsläppen från aluminiumproduktion kan så kallade inerta anoder utvecklas. Inerta anoder skulle kunna minska utsläppen av koldioxid och PFC, samtidigt som energianvändningen minskar väsentligt. Sådana satsningar borde därför kunna motiveras av företagsekonomiska skäl.[202] Inerta anoder har utvecklats och testats i flera projekt, exempelvis testas ytbeläggning av keramer eller metallegeringar som inte förbrukas i reaktioner med smältan. Åsikterna om när de kan vara kommersiellt tillgängliga varierar kraftigt.

CCS kan också vara en möjlig strategi

I Bolidens årsredovisning uppger man även att man avser undersöka möjligheterna till koldiodavskiljning. I Bolidens strategiplan uppger företaget bland annat att de ska utreda möjligheterna till koldioxidavskiljning och fossilfria reduktionsmedel. Under 2019 har också flertalet studier initierats med syfte att reducera processutsläpp vid smältverk.[203]

Algteknik kan rena processutsläpp från blyproduktion

2018–2019 genomförde RISE och Boliden ett försök för att undersöka om algodlingar kan fånga koldioxid från industriella rökgaser vid Bergsöes blysmältverk. Försöken visar att algerna binder koldioxid och metaller från gas- och vattenutsläppen och att det går att odla alger året runt. Algerna kan användas för att fånga koldioxid och rena metaller från

---

[198] Metalliska material, *Om metalliska mineral.* http://www.metalliskamaterial.se/sv/om-metalliska-material/ (hämtad 2019-07-11).

[199] Boliden *plaståtervinning bergsoe,* https://www.boliden.com/sv/hallbarhet/sa-jobbar-vi/plast-atervinning-bergsoe (Hämtad 2020-09-10).

[200] Boliden 2020. *Års- och hållbarhetsredovisning 2019.*

[201] Stena Recycling, *Forskning gör plastavfall till hållbar resurs för industrin.* https://www.stenarecycling.se/nyheter/forskning-gor-plastavfall-till-hallbar-resurs-for-industrin/ (Hämtad 2020-09-10).

[202] Åhman M., m.fl. 2012.

[203] Boliden, 2020.

den tunga industrin. Sedan förs algmaterialet tillbaka och används som bränsle i ett slutet kretslopp. För att ta upp betydande andelar av industriella koldioxidutsläpp krävs anläggningar i storleksordningen några tusen hektar, men det framhålls att odlingsbar mark inte bör tas i anspråk. Algerna kan användas till andra saker än bränsle, t.ex. foder och mat. Projektet finansierades av Boliden och Energimyndigheten.[204] Den långsiktiga effekten av CCU, beror dock på användningen av algerna, se avsnitt 2.4.4.

3.4.4 Handel och marknad

År 2018 fanns det cirka 11 200 anställda i drygt 870 företag inom branschen övrig metall. De flesta företag och anställda finns inom delbranschen andra malmgruvor och brytning av sten, sand m.m. och därefter metallverk. Delbranschen metallverk hade störst omsättning. [205]

Företagen inom aluminiumindustrin är framförallt koncentrerade till Östergötland och Småland, vilket troligtvis beror på företagarkulturen och närhet till kunder och leverantörer. Produktionen av primäraluminium, där processutsläppen inom aluminiumproduktion sker, ligger i Sundsvall. Stenbrott och sand-, grus-, berg-, och lertäkter står för ett stort antal företag som är spridda över stora delar av Sverige. De produkter som fås från den verksamheten har höga transportkostnader, lågt varuvärde per ton och råvaran är rikligt förekommande. Det gör att produktion och användning av dessa produkter är lokal, vilket förklarar den stora geografiska spridningen och låg import/export. Flest antal anställda inom andra metallmalmsgruvor finns i Västerbotten, Norrbotten och i Örebro län.[206]

Stor nettoexport av förädlade metaller

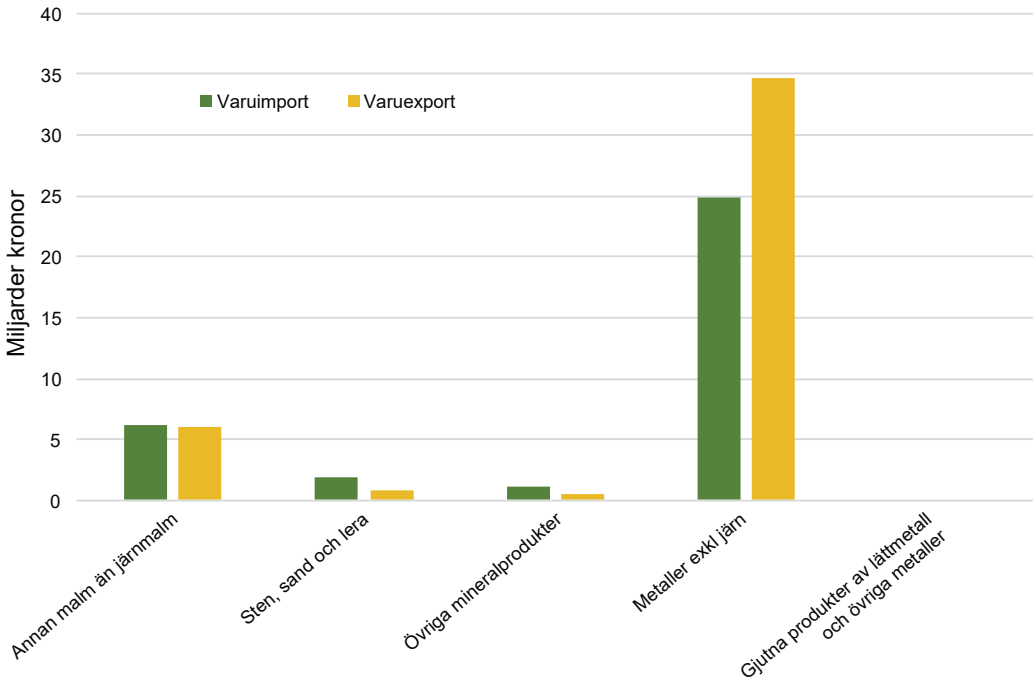
Importvärdet för övrig metall 2017 var knappt 34 miljarder kronor och exportvärdet var drygt 42 miljarder, se Figur 23. Nettoexporten var alltså positiv vilket beror på en hög nettoexport i metaller exklusive järn, knappt 10 miljarder kronor. Metaller exklusive järn stod också för branschens största internationella handel med en majoritet av både import och export.[207]

[204] RISE, algodling vid metallindustrier kan minska växthuseffekten, https://www.ri.se/sv/press/algodlingar-vid-metallindustrier-kan-minska-vaxthuseffekten (Hämtad 2020-08-05).

[205] SCB, 2020b.

[206] Ahnberg m.fl, 2013.

[207] SCB, 2020c.



Figur 23. Import- och exportvärde per delbransch (SPIN), 2018, miljarder kronor.
Källa: SCB. [208]

Importvärdet var relativt jämnt fördelat mellan länder inom och utanför EU. De länder som Sverige importerar mest från är Norge, Tyskland Finland och Nederländerna. Av exporten gick cirka 80 procent av värdet till länder inom EU och de största mottagarländerna var Tyskland, Finland, Norge, Polen och Italien.[209]

De största importvarukategorierna är aluminium och aluminiumvaror, koppar och kopparvaror samt metallmalmer exklusive järnmalm. De största importprodukterna är obearbetat aluminium, kopparmalm och kopparkoncentrat, plåt och band av aluminium samt kopparskrot. De största exportvarukategorierna är samma som för import men på produktkategorinivå finns vissa skillnader. Den största exporten är inom raffinerad obearbetad koppar och kopparlegeringar, koppartråd samt zinkmalm och zinkkoncentrat.[210]

Kopparmalm och kopparskrot importeras för att användas tillsammans med inhemsk malm och skrot i kopparanrikningsverket. Koppar exporteras sedan som bland annat raffinerad obearbetad koppar och kopparlegeringar samt koppartråd.

Boliden är det tjugonde största kopparsmältverksföretaget i världen, men världsledande i återvinning av elektronikskrot. För kopparbrytning är Boliden en mindre global aktör, men en av de större i Europa. Boliden bryter även zink i Sverige, men den anrikas i företagens anläggningar i Finland och Norge. Bolaget som helhet är världens 5:e största gruvbolag och 6:e största smältverksföretag för zink. Dessutom bryter och förädlar Boliden flera andra metaller och biprodukter.[211]

[208] SCB, 2020c.

[209] Eurostat, 2020.

[210] Eurostat, 2020.

[211] Boliden, 2020. Uppgifterna omfattar även Bolidens verksamhet i Norge, Finland och Irland.

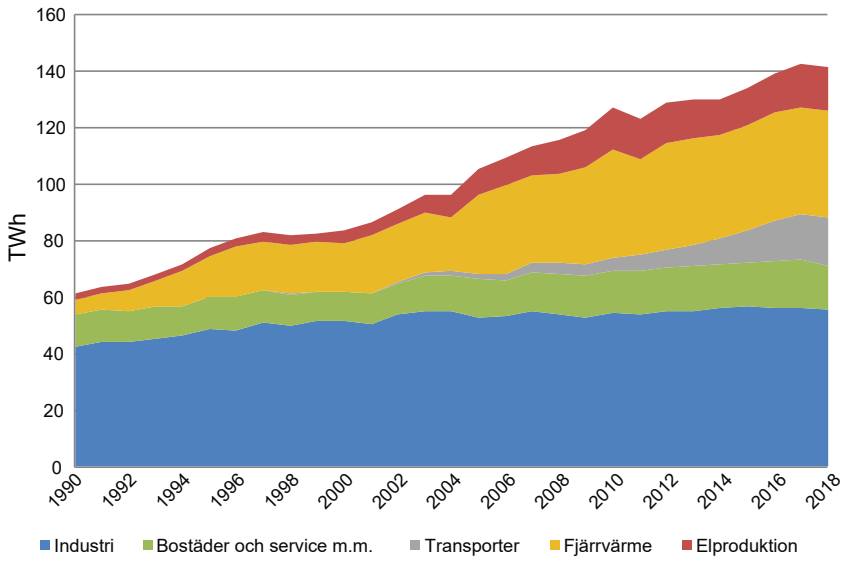
4 Negativa utsläpp

Biobränsleanvändningen i Sverige är störst i massa- och pappersindustrin samt kraftvärme- och värmeverk. Inom dessa återfinns således också stora biogena koldioxidutsläpp, och därmed en potential för negativa utsläpp. En fördjupning görs här av processer inom dessa sektorer, samt deras förutsättningar för att använda bio-CCS. Kapitlet ger också en överblick över pågående projekt och forskningsläget för negativa utsläpp.

4.1 Potential för negativa utsläpp

Användningen av biobränslen i Sverige är störst inom industrin samt inom fjärrvärmeproduktionen, se Figur 24. Omställningen inom industrin började tidigt. År 1970 utgjorde biobränslen 23 procent av den slutliga energianvändningen inom industrin (med el drygt 43 procent), och under 2018 utgjorde biobränslen 39 procent (med el 74 procent). Inom massa- och pappersindustrin, som är den bransch som har högst energianvändning, har fossila bränslen nästan helt ersatts av biobränslen och el. Av total biobränsleanvändning inom industrin stod massa- och pappersindustrin för knappt 90 procent under 2018. Vad gäller fjärrvärmeproduktionen så har en markant ökning i användningen av biobränslen skett sedan 1990, vilket kan ses i Figur 24 nedan. Användningen inom elproduktionen har också ökat, men där var andelen fossila bränslen redan låg då den domineras av kärnkraft och vattenkraft.

Styrmedel som energi- och koldioxidskatt och till viss del handeln med utsläppsrätter har gett industrin ökande incitament att minska användningen av fossila bränslen. Vad gäller fjärrvärmeproduktionen så har perioder med höga priser och ökade skatter på fossila bränslen gjort att fjärrvärmeproducenterna gått över till att främst använda biobränslen, avfall och spillvärme.



Figur 24. Användningen av biobränslen per sektor, 1990-2018, TWh.

Källa: Energimyndigheten, Energiläget i siffror 2020.

Anm: Den biogena delen av hushållsavfallet är inkluderat i figuren. Industriell kraftvärme ingår i el- och fjärrvärmeproduktionen. Icke-energianvändning, dvs. råvaror, är inte inkluderade.

4.1.1 Stor potential inom massa- och pappersindustri samt el- och värmesektorn

I avsnitt 2.4.5 diskuteras under vilka förutsättningar som en anläggning kan vara aktuell för att implementera CCS-teknik. CCS-tekniken är i dag förhållandevis kostsam, vilket betyder att det framförallt är anläggningar med stora punktutsläpp som är aktuella. Med en fortsatt teknikutveckling och minskade kostnader kan också mindre anläggningar komma i fråga. Definitionen av en liten anläggning i detta sammanhang är svår, men en fingervisning i nuläget är intervallet 100 000 – 300 000 ton koldioxid per år.[212]

Under 2018 fanns det enligt Naturvårdsverkets utsläppsregistret[213] 67 anläggningar i Sverige som hade utsläpp av biogen koldioxid som översteg 100 000 ton. Anläggningarna återfanns i princip uteslutande inom massa- och pappersindustrin samt el- och värmeproduktionen. De sammanlagda utsläppen av biogen koldioxid från dessa anläggningar var knappt 33 miljoner ton 2018.[214]

I Utsläppsregistret återfinns 33 anläggningar som hade utsläpp av biogen koldioxid på över 300 000 ton under 2018, och sammanlagt uppgick utsläppen från dessa till 26 miljoner ton biogen koldioxid, se Tabell 1. Vid en gräns på 500 000 ton biogen koldioxid istället återfinns 23 anläggningar, och deras totala biogena utsläpp under 2018 uppgick till drygt 22 miljoner ton. Av de anläggningarna med utsläpp över 100 000 ton står dessa 23 anläggningar för knappt 70 procent av utsläppen. Detta innebär att ett fåtal anläggningar står för en stor andel av de biogena utsläppen i Sverige och stora punktkällor är med dagens ekonomiska förutsättningar viktigt för tillämpning av CCS-tekniken.

Årliga utsläpp av biogen koldioxid, ton	Antal anläggningar	Totala årliga biogena utsläpp i ton	Procent inom massa- och pappersindustrin	Procent inom el- och värmesektorn
> 100 000	67	32 620 000	69	30
> 300 000	33	26 100 000	82	18
> 500 000	23	22 240 000	91	9

Tabell 1. Fördelning av utsläpp från stora punktkällor i Sverige under 2018.
Källa: Utsläppsregistret, Naturvårdsverket.

Enligt utredningen *Vägen till en klimatpositiv framtid*[215] uppgår den realiserbara potentialen för bio-CCS i Sverige till minst 10 miljoner ton biogen koldioxid per år i ett 2045-perspektiv i ovan nämnda sektorer. Den tekniska potentialen bedöms vara större än så.

[212] SOU 2020:4.

[213] Naturvårdsverket, Utsläppsregistret, utdrag avseende referensår 2018, https://utslappisiffror.naturvardsverket.se/

[214] Då biogen koldioxid inte redovisas för processutsläpp inom massa- och pappersindustri i den officiella statistiken över territoriella utsläpp så har Naturvårdsverkets utsläppsregister använts för beräkning av potentialer för negativa utsläpp. För mer information se Bilaga 2.

[215] SOU 2020:4.

4.2 Skogsindustrin

Massa- och pappersindustrin har den största energianvändningen i skogsindustrin[216] och står också för den största delen av branschens utsläpp. Utsläppen utgörs till största del av biogen koldioxid och här finns en stor potential för negativa utsläpp genom bio-CCS. Energianvändningen och utsläppen kan främst härledas till sodapannan och mesaugnen i den kemiska massatillverkningen. Möjligheterna att applicera CCS inom massa- och pappersindustrin är förhållandevis goda p.g.a. faktorer så som ett fåtal utsläppskällor och relativt hög koldioxidkoncentration i rökgaserna.

Skogsindustrin består av flera olika verksamheter som hänger samman och nyttjar resurser från skogen. Runt hälften av den skog som avverkas används till sågtimmer som går till sågverk som tillverkar och förädlar sågade trävaror . En stor del av avverkningen blir massaved som, tillsammans med flis från sågverken, går till massa- och pappersbruk som producerar massa, papper, kartong och andra förpackningsmaterial, textilfibrer samt olika hygienprodukter. Resterande delar av träden, liksom restprodukter från sågverk och massa- och pappersbruk, används bl.a. till bioenergi i form av pellets, biodrivmedel och biokomposit samt vid produktion av el och värme. Verksamheterna beror av varandra, där sågverken är de drivande verksamheterna genom sin efterfrågan på timmer.

Den viktigaste råvaran för skogsindustrins produkter är vedråvara. Ved består av cellulosa, hemicellulosa och lignin och det är kombinationen av dessa som ger trädet styvhet och hållfasthet. I ved finns också harts- och fettsyror (extraktivämnen). För att man ska kunna använda fibrerna i papperstillverkning m.m. så måste de friläggas. Friläggningen av fibrerna sker i massaprocessen med hjälp av kemikalier och värme (kemisk massa) som ger en fiber som består av enbart cellulosa eller genom mekanisk bearbetning (mekanisk massa) som ger en fiber som innehåller vedens alla beståndsdelar. Vedutbytet för kemisk massa är cirka 45 procent och för mekanisk massa är det cirka 95 procent. Förenklat kan man säga att papper, kartong och många andra pappersvaror produceras genom att fibrerna friläggs och vedråvaran omvandlas till massa som sedan omvandlas till slutprodukten.

I Sverige är cirka tre fjärdedelar av massan som produceras kemisk massa och en dryg fjärdedel mekanisk eller halvmekanisk massa. Ungefär 60 procent av massan används internt på samma bruk där det producerades och cirka 40 procent är så kallad marknadsmassa[217] som säljs till andra producenter.[218] Massornas egenskaper skiljer sig åt beroende på tillverkningsprocess och vilken typ av råvara de är tillverkade av. Eftersom massasorterna skiljer sig åt så används de för olika produkter. Kemisk massa ger ett starkt papper som kan blekas utan att förlora styrka och den används till skriv- och tryckpapper, mjukpapper och förpackningsmaterial. Mekanisk massa är billigare än kemisk massa, men kan inte blekas lika mycket och används mest till olika sorters tidningar, hygienpapper och som del av kartong. Returfibermassa görs på insamlat papper och används för att göra tidningspapper, mjukpapper och viss kartong.

[216] Skogsindustrin definieras här som SNI 16 (trävaruindustri), SNI 17 (massa-, papper- och pappersvaruindustrin) och SNI 18 (grafisk industri). Skogsbruk ingår inte, men verksamheter så som tryckeri och förlag ingår eftersom dessa inte kan brytas ut från utsläppsstatistiken. För mer information om branschindelningen, se Bilaga 3.

[217] Marknadsmassa kallas också avsalumassa.

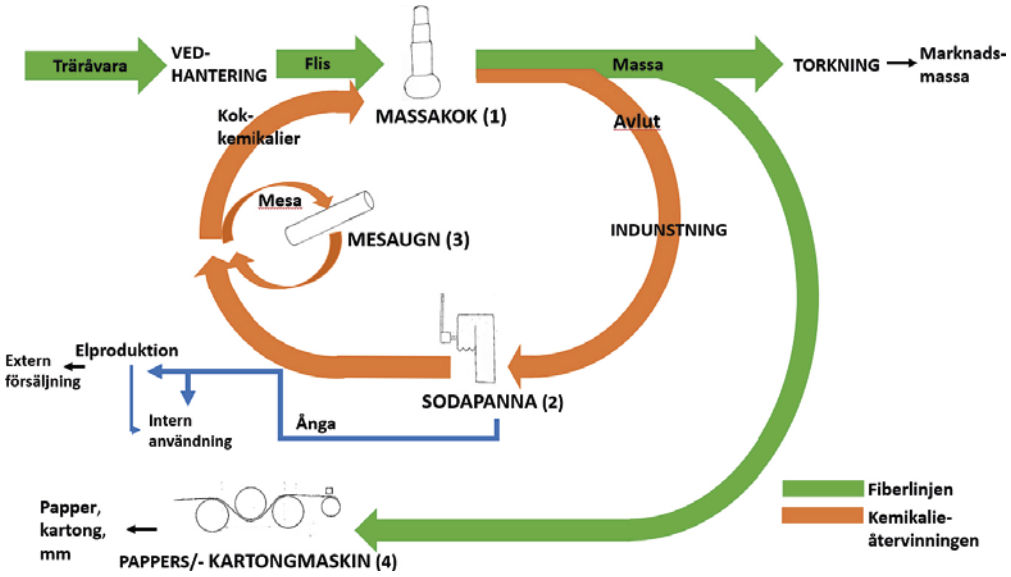
[218] Skogsindustrierna, https://www.skogsindustrierna.se/om-skogsindustrin/branschstatistik/massa-produktion-och-handel, hämtad 2020-09-08. Statistik för 2019.

Returfiber är inte lika starkt och spänstigt som nya fibrer. Energiåtgången för att göra returfiber är mycket lägre jämfört med kemisk och mekanisk massa eftersom det energikrävande steget med att frilägga fibern redan är gjort. Papper, kartong m.m. kan återvinnas fem till sju gånger. Returfiber kan inte användas för alla pappersprodukter, t.ex. inte för livsmedelsförpackningar där det ställs höga krav på renhet och ursprungskontroll.[219]

4.2.1 Framställning av massa och papper

Massa- och pappersbruken, och framförallt kemisk massatillverkning, har den största energianvändningen i skogsindustrin och står för den största delen av branschens utsläpp. Processbeskrivningen nedan fokuserar därför på ett integrerat kemiskt bruk. Vidare så är sulfatprocessen det vanligaste sättet att producera kemisk massa på i Sverige och därför är det den som beskrivs.[220]

På ett bruk med kemisk massaproduktion finns två huvudsakliga processlinjer: fiberlinjen och kemikalieåtervinningen. Fiberlinjen är vägen för träfibrerna från vedråvaran till den färdiga massan (och vidare till slutprodukterna) medan kemikalieåtervinningen är hantering och återvinning av kokkemikalier och utlöst vedsubstans. Kemikalieåtervinningen sker dels av miljöskäl, dels av ekonomiska skäl eftersom kokkemikalierna är värdefulla och den utlösta vedsubstansen är värdefull som bränsle.



Figur 25. Principskiss över processerna för produktion av papper/kartong i ett integrerat kemiskt massabruk.

Källa: Energimyndigheten.

Produktionen startar med att ved och flis kommer in till fabriken och förbereds för massakoket (nr 1 i Figur 25) där cellulosa frigörs genom att tillsätta kokkemikalier och värme. Efter koket tvättas massan och separeras från tvättvattnet. Massan går vidare till antingen intern användning (produktion av papper, kartong eller liknande) eller torkas för att säljas som marknadsmassa.

[219] Skogssverige https://www.skogssverige.se/papper/fakta-om/pappersatervinning-och-returfiber (hämtad 2020-08-03).

[220] Kemisk massa kan också produceras genom sulfitprocessen.

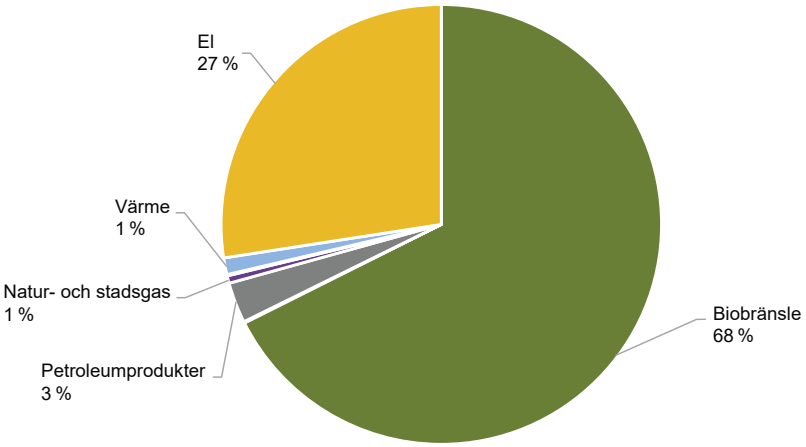
Tvättvattnet, som också kallas avlut, innehåller reagerade kemikalier och upplöst vedsubstans, och dessa återvinns i sodapannan (nr 2). För att kunna använda avluten som bränsle måste torrhalten höjas, vilket görs genom indunstning. I sodapannan förbränns avluten och kemikalierna förändras så att de efter vidare omvandling kan återanvändas som kokkemikalier, i en sluten kemikaliecykel. Vid tillverkning av massa med sulfatprocessen är sodapannan hjärtat i processen, dels är den en viktig del i kemikalieåtervinningen och dels produceras ånga från förbränningen av avlutarna. Det är i sodapannan som den största delen av de biogena utsläppen i processen sker. I vidarebehandlingen av kemikalierna används bland annat bränd kalk. Även kalken cirkuleras och återvinns i systemet efter att den använts, även om en viss mängd ny bränd kalk också behöver tillsättas. Kalken återvinns i mesaugnen (nr 3) där kalciumkarbonat omvandlas till bränd kalk genom en kalcineringsprocess, på samma sätt som vid kalk- och cementtillverkning, se avsnitt 3.3.1. Mesaugnen drivs ofta med fossila bränslen och där uppstår en stor del av de fossila utsläppen inom massaproduktionen, både som förbränningsutsläpp från de fossila bränslena och som processutsläpp från kalcineringen av den tillsatta kalken.

Ångan som bildas i sodapannan används dels för brukets interna värmebehov, t.ex. för torkning och indunstning. Den används också för att producera el som nyttjas internt men som också kan säljas externt. Vid behov kan det också finnas en separat ångpanna som kan elda t.ex. bark, flis, olja eller gas. Värme från t.ex. massakokning och torkning återvinns också.

Vid papperstillverkningen (nr 4 i Figur 25) blandas massan med olika kemikalier för att ge pappret önskade egenskaper. Massablandningen avvattnas och torkas innan den slutligen förpackas och skickas ut till olika kunder. Det mest energikrävande steget är torkningen vilket kräver stora mängder ånga som genereras genom att elda avlutar i sodapannan och/eller biobränsle i en annan typ av panna. Torkning är ett steg som ingår för all tillverkning av marknadsmassa och olika produkter.

4.2.2 Energianvändning och utsläpp av biogen koldioxid

Skogsindustrin använde knappt 80 TWh 2018 och är därmed den industribransch som använder mest energi. Energianvändningen domineras av biobränsle (68 procent) och därefter el (27 procent), se Figur 26. Dessutom används eldningsoljor, gasol, naturgas och värme. Majoriteten av biobränslet utgörs av avlutar (70 procent) och trädbränsle (24 procent). Avlutar är ett annat namn för den lut som bränns i sodapannan, se 4.2.1, och är alltså en restprodukt från den egna processen.



Figur 26. Skogsindustrins energianvändning fördelat på olika energikällor, 2018, procent.
Källa: Energimyndigheten.[221]

Delbranschen massa- och pappersindustrin står för 90 procent av skogsindustrins energianvändning. Avlutar används endast inom massa- och pappersindustrin där de svarar för mer än hälften av energianvändningen. El står för en dryg fjärdedel av massa- och pappersindustrins energianvändning och 12 procent är trädbränsle. Biobränsle och el är de viktigaste energibärarna inom kemisk massatillverkning medan mekanisk massatillverkning främst använder el.

Skogsindustrins växthusgasutsläpp domineras av biogena koldioxidutsläpp på grund av att energianvändningen domineras av biobränslen. Det finns stora punktkällor vilka utgör en potential negativa utsläpp, se Tabell 1 på sidan 63. Industrin har också vissa fossila förbränningsutsläpp samt mindre processutsläpp.

4.2.3 Generella förutsättningar för negativa utsläpp i skogsindustrin

Möjligheterna till negativa utsläpp genom bio-CCS är goda inom massa- och pappersindustrin, och främst inom bruk med kemisk massaproduktion. Förutsättningarna och kostnaden för CCS är beroende av flera faktorer, (läs mer om detta i avsnitt 2.4.5). Nedan listas några som är till fördel för papper- och massaindustrin:

- Punktutsläppen är relativt stora, dvs. stora flöden av koldioxid.
- Koldioxidkoncentrationen i rökgaserna är relativt hög (13 procent i sodapannan och 20 procent i mesaugnen).
- Utsläppen kommer i första hand från ett fåtal utsläppskällor, sodapanna (75 procent) och mesaugn[222] (10–15 procent).

Förutsättningarna kan skilja sig mycket mellan olika anläggningar, bl.a. beroende på om det är ett integrerat bruk, dvs. ett bruk som producerar både massa och papper, eller inte. I integrerad produktion, som är det vanligaste i Sverige, används överskottsångan från massatillverkningen i pappers- och kartongtillverkningen. Detta innebär att

[221] Energimyndigheten, 2020.

[222] En del av utsläppen i mesaugnen är dock fossila.

mindre överskottsånga blir tillgänglig för koldioxidavskiljning och att ytterligare energi kan behöva tillföras. Hur CCS skulle kunna påverka ett integrerat bruk beror till stor del på platsspecifika förutsättningar och val. Den el eller ånga som används för att avskilja koldioxiden måste ersättas. Det kan ske genom att köpa el från nätet, vilket ökar elanvändningen, eller genom att öka ångproduktionen från biobränsleeldad panna, vilket ökar biobränsleanvändningen. I SOU 2020:4 beräknas avskiljning och komprimering av 2 Mton biogen koldioxid i ett integrerat bruk minska elproduktionen med 0,4 TWh och öka biobränsleanvändningen med 0,6 TWh. Icke-integrerade bruk som producerar kemisk massa är nettoproducenter av el. För dessa bruk skulle nettoeffekten av CCS främst vara en minskad leverans av el till nätet.[223]

Övriga generella svårigheter förknippat med CCS gäller även för skogsindustrin, exempelvis utmaningen att få ekonomisk lönsamhet, att CCS-tekniken kan behöva anpassas specifikt till anläggningen beroende på rökgasernas sammansättning (som hänger samman med vilket bränsle som eldas) eller att anläggningens geografiska placering (t.ex. kustnära eller inte) påverkar kostnaden för transport till slutförvar.

4.2.4 Skogsindustrins koppling till klimatomställningen i andra branscher

Utvecklingen inom skogsindustrin kan påverka klimatomställningen inom andra branscher. Skogsindustrin erbjuder redan idag substitut till produkter med fossilt ursprung, såsom att delvis minska efterfrågan på cement genom ökat träbyggande samt papper- och kartongvaror som ersätter plastförpackningar. Skogsindustrin kan, utöver sina egna huvudprodukter även vara en råvaruproducent till andra branscher. Tallolja är ett exempel på en restprodukt som är råvara till andra industrier i dag, till exempel till tvättmedel, färger och förnybar diesel.

För en del massabruk kan sodapannan vara en flaskhals som förhindrar ökad produktion. Det går helt enkelt inte att elda mer i sodapannan. Ett sätt att lösa problemet är att separera en del lignin från avlutarna före indunstning. Då blir det mindre att elda i sodapannan och produktionen av massa kan ökas. Det separerade ligninet kan användas för att producera t.ex. biodrivmedel, kolfiber, lim, batterier och kompositmaterial.[224] Forskning pågår för att utveckla avskiljningsprocessen och olika användningsområden för ligninet. Preem och Renfuel planerar att bygga en lignin-anläggning för biodrivmedel vid Rottneros bruk i Vallvik som ska tas i bruk 2021. Ett annat exempel är SCA som utreder möjligheterna att anlägga ett bioraffinaderi som ska producera biodrivmedel av bland annat lignin. Läs mer om båda dessa under 3.2.3. Att separera delar av ligninet bedöms inte märkbart påverka möjligheterna för negativa utsläpp genom bio-CCS. Även om uttaget av lignin skulle minska koldioxidutsläppen är koldioxidflödena fortfarande mycket stora. Eftersom ett uttag av lignin möjliggör en ökad massaproduktion skulle troligen produktionsvolymerna öka, vilket i sin tur skulle innebära ett högre flöde avlutar och kompensera för det uttagna ligninet.

[223] SOU 2020:4.

[224] RISE https://www.ri.se/sv/berattelser/lignin-pa-frammarsch-med-svensk-teknik (Hämtad 2020-09-08).

4.2.5 Handel och marknad

Det fanns under 2018 drygt 67 000 anställda inom skogsindustrin. Delbranscherna massa- och pappersindustrin och trävaruindustrin har tillsammans drygt 85 procent av de anställda.[225] Flest finns i Värmland, Västra Götaland och Västernorrland[226]. Massa- och pappersindustrin har också den största omsättningen[227]. Branschorganisationen Skogsindustrierna, som organiserar den del av skogsindustrin som är mest relevant för denna rapport, hade 50 massa- och pappersbruk, 120 sågverk och 40 företag med nära anknytning till massa-, pappers- eller trävarutillverkning bland medlemsföretagen[228].

Skogsindustrin har en stor positiv nettoexport

80 procent av den svenska produktionen av massa, papper och sågade trävaror exporteras.[229] Under 2018 var Sverige världens fjärde största exportör av massa, papper och sågade trävaror.[230]

Skogsindustrin har ett handelsöverskott på knappt 107 miljarder och bidrar därmed med störst positiv handelsinkomst av de studerande branscherna i denna rapport.[231] Nettoexporten är störst inom massa, papper och papp samt även positiv inom trävaruindustrin, se Figur 27. Den positiva handelsbalansen beror på att branschen i första hand förädlar inhemska råvaror.

[225] SCB, 2020b.

[226] Sörensson och Jonsson, 2014, *Företag inom svensk massa- och pappersindustri.*

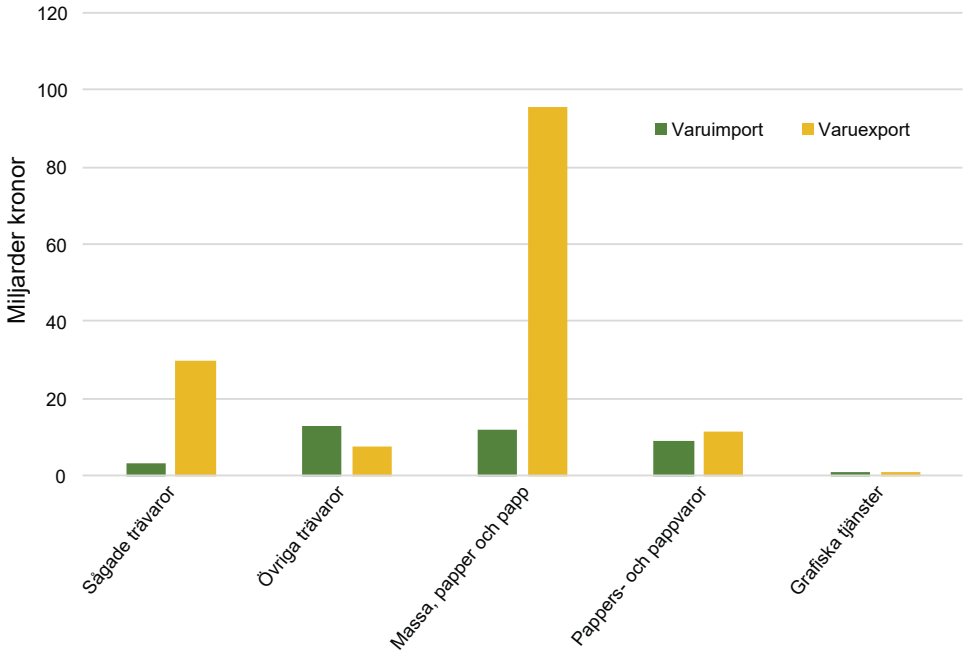
[227] SCB, 2020b.

[228] https://www.skogsindustrierna.se/om-skogsindustrin/skogsindustrin-i-korthet/fakta--nyckeltal/ (hämtad 2020-08-08).

[229] https://www.skogsindustrierna.se/vara-asikter/global-konkurrenskraft/internationell-handel/ (hämtad 2020-08-03).

[230] https://www.skogsindustrierna.se/om-skogsindustrin/branschstatistik/skogsindustrin-i-varlden/ (hämtad 2020-08-03).

[231] SCB, 2020c.



Figur 27. Import- och exportvärde per delbransch (SPIN), 2018, miljarder kronor.
Källa: SCB.[232]

Handeln sker främst med andra EU-länder

Av den svenska exporten av skogsindustrins produkter sker 66 procent till länder inom EU-28. De största exportländerna under 2018 var Tyskland, Storbritannien, Norge och Nederländerna. Den största exportproduktkategorin var sågade trävaror och bestruket papper och papp, följt av sulfat- och sulfitmassa och obestruket papper.[233]

Knappt tre fjärdedelar av importen inom skogsindustrin kommer från länder inom EU-28. Länderna som Sverige importerar mest från var Norge, Finland, Tyskland och Polen. Den största importvarukategorin var obearbetat trä, följt av byggnadssnickerier och kartonger och förpackningar av papper och papp.[234]

Bland de 10 största import- och exportvarukategorierna fanns fem med på båda listorna. För alla utom en av dem var exporten minst dubbelt så stor som exporten och för en av varorna var import- och exportvärdet ungefär lika.[235]

[232] SCB, 2020c.

[233] Eurostat, 2020.

[234] Eurostat, 2020.

[235] Eurostat, 2020.

4.3 El och värmesektorn

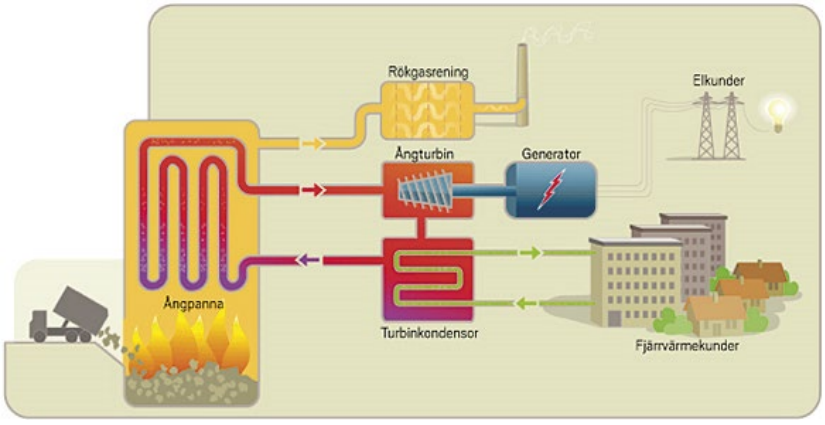
I Sveriges kraftvärme- och värmeverk produceras el och värme, till stor del baserat på förbränning av biobränslen. Förbränningen ger upphov till utsläpp av biogen koldioxid och genom CCS-teknik kan dessa anläggningar bidra med negativa utsläpp. Möjligheterna att applicera CCS inom kraftvärme- och värmeverk är förhållandevis goda p.g.a. faktorer hög koldioxidkoncentration i rökgaserna och att överskottsånga kan användas vilket minskar behovet av extra energitillförsel.

I Sveriges kraftvärme och värmeverk är användningen av biobränslen stor. I dessa anläggningar uppkommer en stor del av Sveriges biogena koldioxidutsläpp, och de är i fokus i detta kapitel. Grundprincipen för kraftvärme- och värmeverk är att dra nytta av termisk förbränning, dvs. eld. Bränslet kan vara antingen fossilt eller förnybart. I ett kraftvärmeverk produceras både el och värme, medan ett värmeverk endast producerar värme. Utöver dessa två typer av anläggningar finns även så kallade kondenskraftverk, där el produceras men värmen inte tas till vara. Kärnkraftverk eller kolkraftverk är exempel på sådana anläggningar. Kondenskraftverk baserade på termisk förbränning som genererar utsläpp av växthusgaser används inte i någon större utsträckning i Sverige i dag.

4.3.1 Produktion av el och värme i ett kraftvärmeverk

Principen inom kraftvärme- och värmeverk är att ha en kontrollerad eld (termisk förbränning) i en panna som värmer upp vatten och bildar ånga. I ett kraftvärmeverk driver ångan en turbin som i sin tur driver en generator som genererar el. Denna process visas översiktligt i Figur 28. Den värmeenergi som blir över tas tillvara i t.ex. fjärrvärmenät. Eftersom både el och värme tas till vara inom kraftvärme blir verkningsgraden högre jämfört med om enbart el produceras från samma mängd bränsle (i ett kondenskraftverk). Verkningsgraden beräknas som producerad nyttig energi i form av el och/eller värme, dividerat med totala tillförda energin i bränslet.

Ett värmeverk saknar turbin och generator och producerar ingen el, utan enbart värme. Verkningsgraden för kondenskraftverk är vanligtvis runt 30 procent, medan verkningsgraden för både kraftvärme- och värmeverk brukar ligga strax över 80 procent.[236]



Figur 28. Översiktsbild av processen i ett kraftvärmeverk.
Källa: Energiföretagen Sverige.

[236] Energimyndigheten/SCB, Årlig energistatistik (el, gas och fjärrvärme), tabell 4B, https://www.scb.se/publikation/37671

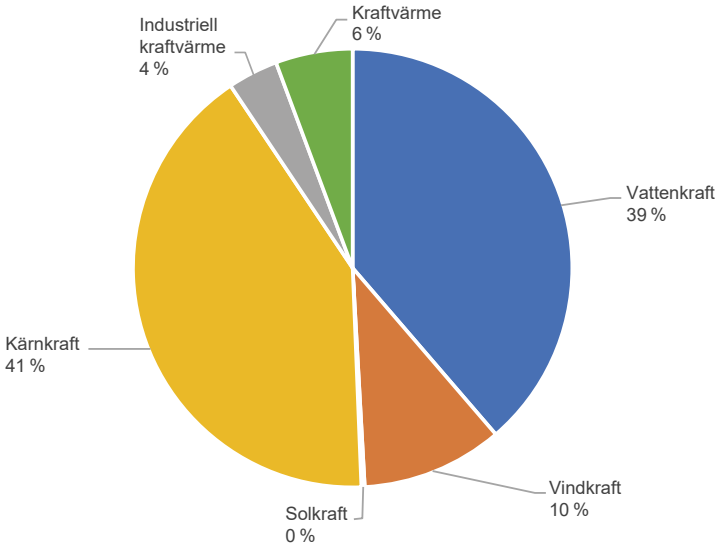
Pannorna där förbränningen sker utformas på olika sätt beroende på bl.a. bränsleval och emissionskrav. Vid design av en ny panna utgår man från en specifik bränslesammansättning, vilket betyder att vid ett bränslebyte kan pannan behöva anpassas till det nya bränslet. Det kräver investeringar i anläggningen. Exempelvis kan det nya bränslet vara mer korrosivt och kräva mer beständiga material och/eller högre grad av underhåll. Sådana anpassningar riskerar att minska anläggningens verkningsgrad och i en förlängning anläggningens lönsamhet. Ibland kan det krävas en anläggning för att bereda eller förarbeta bränslet innan det eldas i pannan, t.ex. om man tar in olika typer av avfall. Att byta bränsle till en panna är därmed förknippat med kostnader och vissa svårigheter.

När bränslet förbränns i pannan bildas rökgaser som passerar en rökgasreningsanläggning innan de släpps ut i luften eftersom rökgaserna behöver renas för att uppnå tillåtna miljövärden. Rökgasernas sammansättning och behovet av rökgasrening varierar beroende på vilket bränsle som används och anläggningens utformning. Det är i samband med rökgaserna möjligheten finns att fånga in koldioxid via så kallad efter-förbränningsteknik (se avsnitt 2.4.2 och Figur 2 sidan 16).

Inom industrin finns också kraftvärmeproduktion, främst inom massa- och pappersbruk. Detta beror på att det där finns god tillgång till brännbara restprodukter som kan komma till nytta genom att omvandlas till el och värme. Dessa anläggningar fungerar på liknande sätt som kraftvärmeproduktion inom ett fjärrvärmesystem. En skillnad är att den ånga som produceras också används direkt i processerna för massa- och papperstillverkningen.[237]

4.3.2 *Energianvändning och utsläpp av biogen koldioxid*

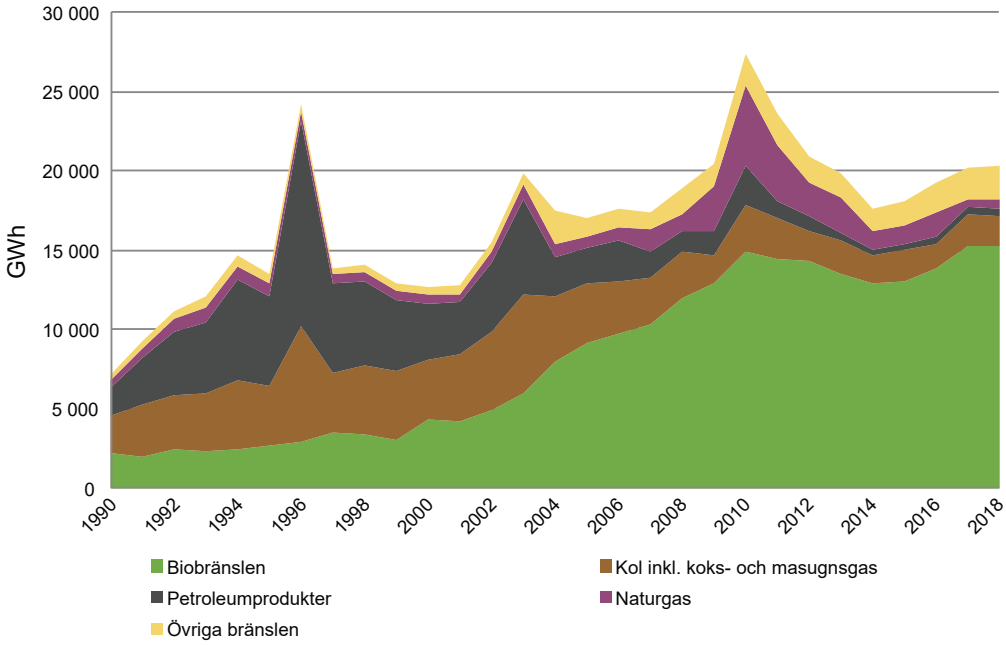
I Figur 29 nedan visas elproduktionen i Sverige under 2018 fördelat mellan olika energislag (totalt producerades 160 TWh el under 2018). Kärn-, vatten-, vind- och solkraften stod för 90 procent av elproduktionen. Resterande 10 procent utgjordes av el från kraftvärme, inklusive industriell kraftvärme, vilket är den del av elproduktionen som är förbränningsbaserad och genererar utsläpp.



Figur 29. Elproduktionen i Sverige 2018.
Källa: Energimyndigheten, Energiläget i siffror 2020.

[237] IVA, 2019. *Elproduktion, Tekniker för produktion av el – IVA-projekt Vägval el.*

Det bränsle som används till den förbränningsbaserade elproduktion i Sverige består idag till största delen av biobränsle (vilket också inkluderar biogent avfall), se Figur 30.

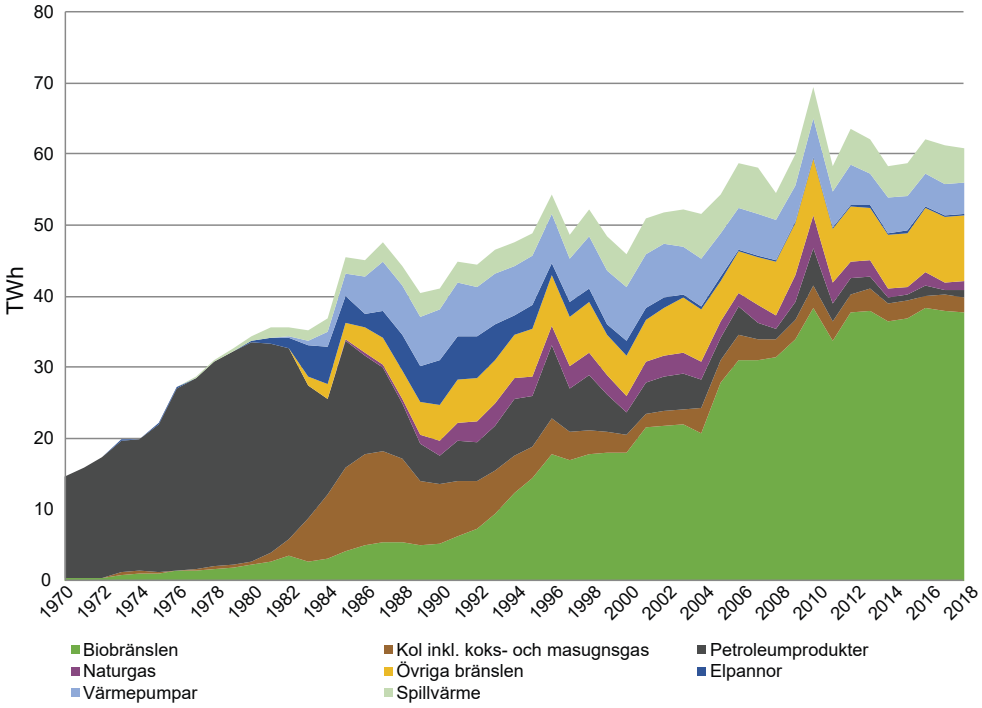


Figur 30. Insatt bränsle för elproduktion i Sverige, exklusive kärnbränsle, GWh, 1990-2018. Industriell kraftvärmeproduktion ingår här.

Källa: Energimyndigheten, Energiläget i siffror 2020

I Figur 31 nedan visas den energi som tillförs[238] värmeproduktion i Sverige, (både värmeverk och den delen som allokeras till värmeproduktionen i kraftvärmeverk). I Figur 31 samt Figur 30, ingår de fossila fraktionerna av blandat hushållsavfall och blandat verksamhetsavfall i kategorin övriga bränslen. De biogena fraktionerna ingår i kategorin biobränslen. Figuren visar tydligt att det skett en övergång från fossila bränslen till biobränslen sedan 70-talet, vilket till stor del beror på koldioxidskatten men också en utbyggnad av biokraftvärme efter införandet av elcertifikatsystemet. Biobränslen i Figur 31 utgjorde drygt 60 procent under 2018. Användningen av avfall, både biogent och fossilt, har också ökat stadigt.

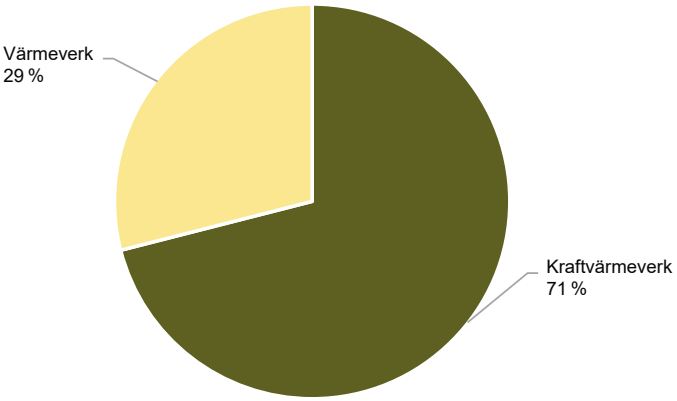
[238] Till skillnad från Figur 30. Insatt bränsle för elproduktion i Sverige, exklusive kärnbränsle, GWh, 1990-2018. Industriell kraftvärmeproduktion ingår här.30 som visar insatt bränsle visar Figur 31. Tillförd energi för fjärrvärmeproduktion i Sverige, TWh, 1970-2018.31 tillförd energi eftersom det även ingår energikällor som inte kommer direkt från förbränning, dvs. elpannor, värmepumpar och spillvärme.



Figur 31. Tillförd energi för fjärrvärmeproduktion i Sverige, TWh, 1970-2018.
Källa: Energimyndigheten, Energiläget i siffror 2020.

Utsläppen av biogen koldioxid inom el- och värmesektorn uppgick totalt till nästan 16 miljoner ton koldioxid under 2018.[239] Utsläppen av biogen koldioxid har ökat kraftigt sedan 90-talet, vilket hänger samman med att användningen av biobränsle har ökat. I Figur 32 visas fördelningen av biogena utsläpp mellan värmeverk och kraftvärmeverk, där kraftvärmeverk ger upphov till majoriteten av de biogena koldioxidutsläppen (71 procent under 2017). De totala fossila växthusgasutsläppen från sektorn uppgick under 2018 till 4 miljoner ton, vilket är knappt 8 procent av Sveriges totala fossila växthusgasutsläpp.

[239] SCB, 2020a.



Figur 32. Fördelning av biogena utsläpp mellan värmeverk och kraftvärmeverk 2017 (både el- och värmeproduktion) Totalt 15,9 miljoner ton koldioxid.
Källa: Naturvårdsverket, 2019 National Inventory Report Sweden 2019.[240]

4.3.3 Generella förutsättningar för negativa utsläpp inom kraftvärme och värmeproduktion

Utsläppen inom kraftvärme och värmeproduktion i Sverige är till stor del biogena, vilket utgör en potential för negativa utsläpp. Vidare är möjligheten att applicera CCS inom kraftvärme- och värmeverk är förhållandevis goda. Detta beror på att många förutsättningar uppfylls (läs mer om förutsättningarna för CCS i kapitel 2.4.5). Några fördelar är:

- Utgör ofta relativt stora punktutsläpp, dvs. stora årliga koldioxidflöden.
- Koldioxidkoncentrationen i rökgaserna är relativt hög (10–20 procent).
- Kraftverken har ofta ett fåtal utsläppskällor (jämfört med t.ex. ett raffinaderi).
- Överskottsånga kan återvinnas som fjärrvärme, vilket minskar behovet av extra energitillförsel.

Trots att värmeöverskottet kan utnyttjas i ett fjärrvärmenät, kräver ändå avskiljning av koldioxid en viss mängd energi i form av el eller värme. Detta sänker verkningsgraden på anläggningen och medför att en större mängd bränsle behövs för att producera samma mängd el och värme i en anläggning med CCS, jämfört med motsvarande anläggning utan CCS. En konsekvens kan också bli att samma mängd bränsle används men att elproduktionen från anläggningen blir lägre. En modellering av bio-CCS tillämpat på Stockholm Exergis biobränsleeldade panna visade att elproduktionen skulle minska med 0,25 MWh per ton koldioxid som avskiljs.[241]

Övriga generella svårigheter förknippat med CCS gäller även för kraftvärme- och värmeverk, exempelvis utmaningen att få ekonomisk lönsamhet, att CCS-tekniken kan behöva anpassas specifikt till anläggningen beroende på rökgasernas sammansättning (som hänger samman med vilket bränsle som eldas) eller att anläggningens geografiska placering (t.ex. kustnära eller inte) påverkar kostnaden för transport till slutförvar.

[240] Greenhouse Gas Emission Inventories 1990–2018. Submitted under the United Nations Framework Convention on Climate Change and the Kyoto Protocol. Stockholm https://unfccc.int/process-and-meetings/transparency-and-reporting/reporting-and-review-under-the-convention/greenhouse-gas-inventories-annex-i-parties/submissions/national-inventory-submissions-2018

[241] SOU 2020:4.

4.4 Projekt och forskning

Under 2019 fanns det 19 stycken storskaliga projekt för koldioxidinlagring i drift i världen, samt fyra under konstruktion (som alla fyra avsåg EHR[242]). Majoriteten av de i drift var projekt med EHR, närmare bestämt 14 stycken, och resterande 5 avser geologisk lagring av koldioxid utan EHR. Av projekten i drift återfinns 10 stycken i USA, två i Kanada, två i Norge, och ett vardera i Australien, Saudiarabien, Förenade Arabemiraten, Kina och Brasilien. Tillsammans har dessa, inklusive de under konstruktion, en kapacitet att fånga och permanent lagra cirka 40 miljoner ton koldioxid om året. Av de i drift är det två stycken där koldioxid avskiljs från ett kraftverk.[243] Det första driftagna stora projektet med bio-CCS återfinns inom den kemiska industrin i USA (Illinois Industrial), där ungefär en miljon ton lagras årligen från etanolproduktion från majs.[244]

Under 2019 fanns det också 28 storskaliga projekt under utveckling i världen (inkluderat både de i tidig och sen utvecklingsfas). Av dessa avsåg 11 stycken tillämpningar på kraftverk, och betydligt färre andel avser EOR (sex av 28) än bland de projekt som är i drift i dag. Vad gäller den geografiska spridningen av dessa projekt kan noteras att USA inte längre är lika dominerande och att fler projekt återfinns i Europa (10 stycken, varav sex i Storbritannien).[245]

4.4.1 Fullskaleprojektet i Norge

Norge har genom sin petroleumindustri skaffat sig ett försprång vad gäller forskning och kunskapsuppbyggande om lagring av koldioxid. Enligt en stor kartläggning framtagen av det norska oljedirektoratet finns potential att lagra 80 miljarder ton koldioxid under havsbottnen utanför Norges kust, en potential som motsvarar dagens norska utsläpp 1 000 år framåt.[246] Formationerna som kan användas till lagring är till stor del gamla olje- och naturgasfält eller fält som planeras tas ur drift 2030 eller 2050. Ända sedan 1996 har cirka 1 miljon ton per år avskilts och lagrats under havsbottnen i den så kallade Utsira-formationen i Sleipnerfältet. Tekniken har då använts för att rena naturgas från koldioxid.

Sedan några år har Norge planerat för ett stort demonstrationsprojekt, ett så kallat fullskaleprojektet, som ska täcka hela CCS- kedjan. Detta skulle innefatta avskiljning vid Norcems Cementfabrik i Brevik (se avsnitt 3.3.3) avfallsförbränningsanläggningen Fortum Oslo Värme (läs mer nedan), samt transport- och lagring genom det så kallade Northern Lights-projektet. Det sistnämnda projektet innebär att koldioxid fraktas med båt från respektive avskiljningsplats till ett mellanlager i anslutning till en naturgasanläggning. Därifrån ska den sedan transporteras vidare i pipeline till slutlagringsplatsen. Northern Lights drivs genom ett samarbete mellan Equinor, Shell och Total. I januari 2019 fick de tillstånd för lagring av koldioxid från norska staten. Provborrningar har

[242] EHR (Enhanced Hydrocarbon Recovery) är en form att utvinning av naturgas eller olja som innebär att koldioxid injiceras i marken och gör det möjligt att utvinna mer från samma källa.

[243] Varav det första (Boundary Dam i Kanada) togs i drift under 2016.

[244] Global CCS institute, 2019.

[245] Global CCS institute, 2019.

[246] Norska Oljedirektoratet https://www.npd.no/en/facts/publications/co2-atlases/co2-storage-atlas-norwegian-north-sea/ (Hämtad: 21-08-2020).

genomförts och företagen gjorde i maj 2020 sin avsiktsförklaring att gå vidare med investeringen. Den norska regeringen har under september 2020 gått till Stortinget för att söka stöd för finansieringen av fullskaleprojektet[247] , som hittills är väldens största satsning på CCS.

Som en del av det norska fullskaleprojektet har infångning av koldioxid testats vid kraftvärmeverket Fortum Oslo Värme. Värmekraftverket drivs med avfallsförbränning och förväntad infångning uppgår till omkring 400 000 ton koldioxid årligen, varav cirka 58 procent med biogent ursprung. Piloten har visat att effektiv infångning om 90–95 procent av utsläppen är möjligt med en form av avskiljning efter förbränning med aminer. Liksom övriga delar av fullskaleprojektet inväntas beslut om stöd i statsbudgeten, men avsikten är att starta projektet i stor skala under första kvartalet 2021, givet att beslut kommer under hösten 2020.[248]

Det pågår även andra projekt i Europa som inte nått lika långt men som är påbörjade fullskaleprojekt, närmare bestämt i Storbritannien och Nederländerna. Det nederländska projektet[249] är det projekt som bedöms ha kommit längst vid sidan av det norska fullskaleprojektet.

4.4.2 Systemfrågor större barriär än teknikfrågor

Hela CCS-kedjan, dvs. avskiljning, transport och lagring, tillämpas redan idag, men erfarenheterna är fortfarande begränsade. Möjligheterna till fortsatt teknikutveckling och lägre kostnader bedömas däremot som goda då tekniken hittills endast tillämpats i liten skala. Då den relativt höga kostanden för CCS, och bio-CCS, är det som mest talar emot tekniken i nuläget så är forskning som bidrar till att sänka kostnaden viktig.

Enligt *Vägen till en klimatpositiv framtid*[250] är däremot systemfrågorna kopplade till CCS, samt bio-CCS, en större barriär för spridning av tekniken än själva teknikfrågorna. Med systemfrågor menas i detta sammanhang fungerande affärsmodeller, hur ekonomiska incitament kan skapas, hur juridiska och acceptansmässiga hinder kan övervinnas, samt mer forskning om konsekvenserna för energisystemet och biomassaanvändningen. Vidare är demonstrationsprojekt som avser hela kedjan, likt projektet i Norge som beskrivits i 4.4.1 ovan, väsentliga för att visa på att affärsmodeller och systemet fungerar som helhet. Vad gäller teknikforskning framhålls att grundforskning och tillämpad forskning i samarbete med svensk industri är viktigt. Framförallt med fokus på avskiljningssteget då den största potentialen till kostnadsreducering bedöms finnas där genom effektivisering av processen samt minskning av energibehoven.

[247] Det Kongelege Olje- og Energidepartementet, Meld.St.33 *Melding till Stortinget, Langskip – fangst og lagring av CO_2* https://www.regjeringen.no/contentassets/943cb244091d4b2fb3782f395d69b05b/nn-no/pdfs/stm201920200033000dddpdfs.pdf

[248] Carbon Capture Oslo (2020) https://ccsnorway.com/wp-content/uploads/sites/6/2020/07/FEED-Study-Report-DG3_redacted_version_03-2.pdf (Hämtad: 25 augusti 2020).

[249] Porthos CO_2 Transport and Storage, *Projects* https://www.porthosco2.nl/en/project/

[250] SOU 2020:4.

4.4.3 Industriklivet och negativa utsläpp

Inom ramen för Industriklivet pågår flera forskningsprojekt med fokus på infångningstekniker inom CCS. Ett exempel på sådant projekt syftar till att öka förståelsen för vilka kemitekniska utmaningar och möjligheter som behöver beaktas inför konvertering till oxyfuel-förbränning av svartlut i sodapannor inom svensk massa- och pappersindustrin.[251] Läs mer om denna teknik och de två andra huvudsakliga sätten att fånga in koldioxid på i 2.4.5.

Nedan beskrivs några av de avslutade projekten hittills inom Industriklivet mer utförligt, närmare bestämt två genomförbarhetsstudier samt ett pilotprojekt.

Test av bio-CCS i kraftvärmeverket Värtan i Stockholm

Stockholm Exergi har med stöd från Industriklivet genomfört ett projekt där en testanläggning byggts varvid långtidstester med avskiljningstekniken Hot Potassium Carbonate (HPC) har genomförts. Detta har gjorts på en del av rökgasflödet från det fliseldade kraftvärmeverket KVV8 vid Värtaverket. Trots att flera tusen studier finns om CCS för kondenskraftverk, är CCS på kraftvärmeprocesser ett relativt outforskat område. Den stora skillnaden mellan applikationerna är att möjligheten att återvinna lågvärdig värme som fjärrvärme öppnar upp för användning av helt andra tekniker jämför med kondensanläggningar där endast el produceras. Den generella målsättningen med projektet var att lösa öppna frågor inför uppförande av en storskalig HPC-anläggning vid ett kraftvärmeverk, såsom oväntade problem vid oförutsedda sidoreaktioner. Resultaten från studien visar bl.a. att generell nedbrytning inte inträffade utan att infångningsgraden var densamma under hela testperioden, samt att infångningsgraden låg på den förväntade nivån om cirka 10 procent. Stockholm Exergi har genom att driftsätta och köra denna testanläggning fått värdefull kunskap som ger en bra grund för att kunna utveckla testanläggningen ytterligare. Stockholm Exergi uppger dock att den enskilda kostnaden för att implementera tekniken fullt ut på en anläggning i dagsläget är för stor utan någon form av ekonomiskt styrmedel och uppdaterade regelverk.[252]

Uppsala kommun kan bli klimatneutralt genom bio-CCS

Vattenfall AB och Stuns Stiftelse Uppsala Science Park i Uppsala har i en genomförbarhetsstudie undersökt möjligheten att minska koldioxidutsläpp genom bio-CCS och hur detta kan inkluderas i Uppsala kommuns långsiktiga planering tillsammans med näringslivet. Inriktningen på studien har varit värme- och elproduktionsrelaterad biogen koldioxid. Mål med studien har bl.a. varit att kvantifiera systemkostnader för avskiljning. Resultaten i studien visar att ett klimatpositivt Uppsala är möjligt om investeringar sker i både avfallsbaserad- och biobaserad CCS. I Uppsala kan lägst kostnad åstadkommas då avskiljningsanläggningen kopplas till avfallsblocken som har betydligt fler drifttimmar än de rena biobränsleblocken. Resultaten från projektet visar också att det är praktiskt möjligt att bygga en koldioxidinfångningsanläggning i storleken cirka 200 000 ton koldioxid per år i Vattenfalls anläggning i Uppsala. Tillsammans med låga utsläpp från trafikarbetet

[251] Energimyndighetens projektdatabas P50859-1, diarienummer 2020-008018.

[252] Energimyndighetens projektdatabas P49101-1, diarienummer 2019-013114.

i Uppsala, skulle detta medföra att kommunen åstadkommer negativa utsläpp vad avser lokal klimatpåverkan. Systemkostnaden beräknas hamna på 850–1 250 SEK/år/invånare, där infångningen står för den största kostnaden följt av utskeppning och slutlagring.[253]

Genomförbarhetsstudie för bio-CCS inom Stora Enso

En genomförbarhetsstudie för bio-CCS har gjorts med syfte att ge stöd för att utröna om det är möjligt (tekniskt, operationellt, marknadsmässigt och ekonomiskt) att installera en fullskalig bio-CCS-anläggning inom den svenska delen av Stora Ensos sulfatbruk. Vidare var syftet att undersöka säkra platser för lagring och transporten dit. Projektet bedömer att det är tekniskt och operationellt möjligt att införa ett system för infångning, transport och lagring av biogena utsläpp i svenska bruk inom Stora Enso. Dock är det i dag svaga marknadskrafter och ingen lönsamhet i ett sådant projekt utan det förutsätter att det finns andra finansierings-/bidragssystem. Projektet har potential att på sikt bidra till negativa utsläpp från Stora Ensos utsläppskällor av biogen koldioxid.[254]

[253] Energimyndighetens projektdatabas P49869-1, diarienummer 2019-022504.

[254] Energimyndighetens projektdatabas P49897-1, diarienummer 2019-022605.

Referenser

Ahnberg Elisabeth, Kostela Johanna och Messing Jan, 2013. *Metallindustrin i Sverige 2007–2011*. Vinnova Analys VA 2013:02.

BASF, https://www.basf.com/global/en/who-we-are/sustainability/we-drive-sustainable-solutions/circular-economy/mass-balance-approach/chemcycling.html, hämtad 2020-09-02.

Boliden, 2020. *Års- och hållbarhetsredovisning* 2019.

Boliden, *Plast återvinning Bergsoe.* https://www.boliden.com/sv/hallbarhet/sa-jobbar-vi/plast-atervinning-bergsoe (Hämtad 2020-09-10).

Carbon Capture Oslo (2020) https://ccsnorway.com/wp-content/uploads/sites/6/2020/07/FEED-Study-Report-DG3_redacted_version_03-2.pdf (Hämtad: 25 augusti 2020).

Cementa, 2018. *Färdplan cement – för ett klimatneutralt betongbyggande.* Cementa HeidelbergCement Group: Fossilfritt Sverige.

Cementa, *Tillverkning av cement*. https://www.cementa.se/sv/tillverkning-av-cement (hämtad 2020-09-10).

Cementa, *Cementproduktion steg för steg* https://www.cementa.se/sv/cementproduktion-steg-f%C3%B6r-steg (hämtad 2020-09-10).

Det Kongelege Olje- og Energidepartementet, Meld.St.33, *Melding till Stortinget, Langskip – fangst og lagring av CO_2* https://www.regjeringen.no/contentassets/943cb244091d4b2fb3782f395d69b05b/nn-no/pdfs/stm201920200033000dddpdfs.pdf

Energimyndigheten, 2020. Energibalans. http://www.energimyndigheten.se/statistik/energibalans/ (hämtad 2020-07-01).

Energimyndigheten/SCB, Årlig energistatistik (el, gas och fjärrvärme), tabell 4B, https://www.scb.se/publikation/37671

Energimyndighetens projektdatabas: P44676-1 (diarienummer 2017-009495), P39150-1, P45374-1, P46970-1 (diarienummer 2018-006654), P50893-1 (diarienummer 2020-008305), P50224-1 (2019-022111), P45367-2 (diarienummer 2019-008655), P47198-1 (diarienummer 2018-009037), P48844-1 (diarienummer 2019-008729), P50859-1 (diarienummer 2020-008018), P49101-1 (diarienummer 2019-013114), P49869-1 (diarienummer 2019-022504), P49897-1 (diarienummer 2019-022605). http://www.energimyndigheten.se/forskning-och-innovation/projektdatabas/

ENET-Steel, *Energieffektivisering inom SSAB i Oxelösund under åren 1996–2007.* https://static1.squarespace.com/static/534fa8d4e4b0a1a3d8a42c81/t/54352b8de4b052cb7a7ff7f4/1412770725088/SSAB+1996-2007.pdf (hämtad 2019-07-15).

European Commission, 2020. *A hydrogen strategy for a climate-neutral Europe, COM(2020) 301 final*.

Eurostat 2020, International trade in goods (Detailed data (ext_go_detail) EU trade since 1988 by HS2-HS4 [DS-016894]), *Database*. https://ec.europa.eu/eurostat/data/database (hämtad 2020-07-20).

HeidelbergCement, *HeidelbergCement.* https://www.heidelbergcement.com/en/company (hämtad 2020-08-04).

Global CCS Institute, 2019. *The Global Status of CCS,* https://www.globalccsinstitute.com/resources/global-status-report/download/

HYBRIT, *Three Hybrit pilot projects.* http://www.hybritdevelopment.com/articles/three-hybrit-pilot-projects (hämtad 2020-08-03).

HYBRIT, *Toward fossil free steel.* http://www.hybritdevelopment.com/hybrit-toward-fossil-free-steel (hämtad 2019-07-09).

HYBRIT. http://www.hybritdevelopment.com/ (hämtad 2020-08-03).

HYBRIT. http://www.hybritdevelopment.com/articles/three-hybrit-pilot-projects (hämtad 2020-08-03).

HYBRIT, *Demonstrationsanläggning och tillståndsprocess,* http://www.hybritdevelopment.se/demonstrationsanlaggning-och-tillstandsprocess (hämtad 2020-09-09).

HYBRIT, *Samrådsunderlag* https://www.hybritdevelopment.se/samradshandlingar (hämtad 2020-09-09).

IEA, 2017. *Energy Technology Perspectives, 2017 edition.*

IEA Greenhouse Gas R&D Programme, 2020. *The status and Challenge of CO_2 Shipping Infrastructures.*

IVA, 2019. *Elproduktion, Tekniker för produktion av el* – IVA-projektet Vägval el.

IPCC, 2006. *IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Volume 3. Industrial Processes and Product Use*. https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/pdf/3_Volume3/V3_1_Ch1_Introduction.pdf (hämtad 2019-07-16).

IPCC, 2018. *Special Report, Global Warming of 1.5°, Chapter 2, Mitigation Pathways Compatible with 1.5°C in the Context of Sustainable Development.*

Jernkontoret, 2018. *Klimatfärdplan – För en fossilfri och konkurrenskraftig stålindustri i Sverige*. Jernkontoret: Fossilfritt Sverige.

Jernkontoret, 2019. *Fakta och nyckeltal om stålindustrin.* https://www.jernkontoret.se/sv/stalindustrin/branschfakta-och-statistik/fakta-och-nyckeltal/ (hämtad 2019-07-05).

Jernkontoret, *Processer,* https://www.jernkontoret.se/sv/stalindustrin/tillverkning-anvandning-atervinning/processer/ (hämtad 2020-09-09).

Johnsson F och Kjärstad J., 2019. *Avskiljning, transport och lagring av koldioxid i Sverige – Behov av forskning och demonstration*.

Johnsson, F., Normann, F., Svensson E., 2020. *Marginal Abatement Cost Curve of Industrial CO_2 Capture and Storage – A Swedish Case Study,* Chalmers Tekniska Högskola.

Karatzos, S., McMillan, J.D., Saddler, J.N., 2014. The Potential and Challenges of Drop-in Biofuels – A Report by IEA Bioenergy Task 39. IEA Bioenergy.

Karlsson, Toktarova, Rootzén och Odenberger2020. *Technical Roadmap – Cement industry*. Mistra Carbon Exit.

Karltorp K, Bergek A, Fahnestock J, Hellsmark H, Ulmanen J, 2019, *Statens roll för klimatomställning i processindustrin*, RISE rapport 2019:15.

LKAB, 2020. *2019 Års- och hållbarhetsredovisning*.

LKAB, *Förädla*. https://www.lkab.com/sv/om-lkab/fran-gruva-till-hamn/foradla/ (hämtad 2020-08-04).

LKAB 2020, https://www.lkab.com/sv/nyhetsrum/pressmeddelanden/hybrit-lyckade-forsok-med-fossilfria-branslen-i-pelletsprocessen/?aid=16447 Pressmeddelande LKAB 2020-08-05.

Material Economics, 2019. *Industrial Transformation 2050 – Pathways to Net-Zero Emissions from EU Heavy Industry.*

Metalliska material, *Om metalliska mineral.* http://www.metalliskamaterial.se/sv/om-metalliska-material/ (hämtad 2019-07-11).

Metalliska material, *SSAB slår fast tidsplan för ljusbågsugnen i Oxelösund*. https://www.metalliskamaterial.se/sv/fakta/ssab-slar-fast-tidsplan-for-ljusbagsugn-i-oxelosund/ (hämtad 2019-08-26).

Miljö- och energidepartementet, *Bakgrundspromemoria om Industriklivet*. 2017-08-22.

Mistra Carbon Exit, *Om oss.* https://www.mistracarbonexit.org/om-oss/ (hämtad 2020-08-40).

Mousa, E., Wang, C., Riesbeck, J., Larsson, M. 2016. *Biomass applications in iron and steel industry: An overview of challenges and opportunities.* Renewable and Sustainable Energy Reviews, Volume 65, November 2016, Pages 1247-1266. https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.07.061

Naturvårdsverket, 2019, *National Inventory report Sweden 2019 (NIR 2019).*

Naturvårdsverket, Utsläppsregistret, utdrag avseende referensår 2018, https://utslappi-siffror.naturvardsverket.se/

Norcem, 2018. *Carbon capture – a part of our zero vision*. https://www.norcem.no/no/karbonfangst. (hämtad 2019-09-30).

Norcem, 2020 *Karbonfangst ved Norcem Bevik*. https://www.norcem.no/no/CCS_Brevik (Hämtad 2020-07-06).

Nordkalk, *Produktionsprocess.* https://www.nordkalk.se/produkter/produkt-information/produktionsprocess/ (hämtad 2020-09-10).

Norska Oljedirektoratet, *CO_2 Storage Atlas Norwegian North Sea,* https://www.npd.no/en/facts/publications/co2-atlases/co2-storage-atlas-norwegian-north-sea/ (Hämtad: 21-08-2020).

Northern lights, *Om projektet* https://northernlightsccs.com/en/about

Preem, *En grönare framtid,* https://www.preem.se/om-preem/hallbarhet/preem-evolution-drivmedel/framtiden---var-viktigaste-marknad/framtidens-drivmedel/ (hämtad 2018-09-09).

Porthos CO_2 Transport and Storage, *Projects,* https://www.porthosco2.nl/en/project/ (hämtad 2020-10-01).

Preem, *Case – CCS minskar CO_2-utsläppen.* https://www.preem.se/om-preem/hallbarhet/stabil-ekonomi/CCS-minskar-CO2-utslappen/ (hämtad 2019-07-31).

Preem, *Fullskalig CCS-anläggning minskar CO_2-utsläppen med en tredjedel.* https://news.cision.com/se/preem-ab/r/fullskalig-ccs-anlaggning-minskar-co2-utslappen-med-en-tredjedel,c2663853 (hämtad 2019-07-31).

Preem, 2020. *Årsredovisning 2019*.

Profu, 2012. *Industristruktur och tillhörande energiaspekter för kemi- och plastindustri, läkemedelsindustri och raffinaderier i Sverige.* Underlagsrapport till Energimyndigheten.

Recyclingnet, https://www.recyclingnet.se/article/view/723324/forst_i_europa_med_kemisk_atervinning_av_plast?rel=related, hämtad 2020-09-02.

Renfuel, *Preem och Renfuel skapar världens första ligninanläggning för drivmedel.* https://renfuel.se/preem-och-renfuel-skapar-varldens-forsta-ligninanlaggning-for-bio-drivmedel/ (hämtad 2019-07-11).

Renfuel, Ny teknik Lignol. http://renfuel.se/teknik/ (hämtad 2019-07-11).

RISE, *algodling vid metallindustrier kan minska växthuseffekten,* https://www.ri.se/sv/press/algodlingar-vid-metallindustrier-kan-minska-vaxthuseffekten (Hämtad 2020-08-05)

RISE, *lignin på frammarsch med svensk teknik*, https://www.ri.se/sv/berattelser/lignin-pa-frammarsch-med-svensk-teknik Hämtad 2020-09-08.

Råvarumarknaden, *Aluminium – världens vanligaste metall.* http://ravarumarknaden.se/aluminium-varldens-vanligaste-metall/ (hämtad 2019-07-05).

SCA, *Frågor och svar Bioraffinaderi.* https://www.sca.com/sv/fornybar-energi/projekt-och-utveckling/bioraffinaderi/fragor-och-svar/ (hämtad 2019-08-29).

SCA, Pressmeddelande 2018-05-21. https://www.sca.com/sv/om-oss/Investerare/pressmeddelanden/2018-05/st1-och-sca-ingar-partnerskap-for-att-tillverka-fornybara-drivmedel/ (hämtad 2019-07-11).

SCB, 2020a. Utsläpp av växthusgaser från industrin efter växthusgas, bransch och år. *Statistikdatabasen.* https://www.statistikdatabasen.scb.se/pxweb/sv/ssd/START__MI__MI0107/MI0107IndustriN/ (hämtad 2020-03-02).

SCB, 2020b. Företagens ekonomi (Företagsenhet – Basfakta företag enligt Företagens ekonomi efter näringsgren SNI 2007. År 2000–2017). *Statistikdatabasen.* http://www.statistikdatabasen.scb.se/pxweb/sv/ssd/START__NV__NV0109__NV0109L/BasfaktaFEngs07/ (hämtad 2020-07-01).

SCB, 2020c. Utrikeshandel med varor (Varuimport och varuexport efter produktgrupp SPIN 2007, bortfallsjusterat) *Statistikdatabasen*. https://www.scb.se/hitta-statistik/statistik-efter-amne/handel-med-varor-och-tjanster/utrikeshandel/utrikeshandel-med-varor/ (hämtad 2020-07-01).

SCB, 2020d. Företagsdatabasen – Företag (FDB efter näringsgren SNI2007 och storleksklass. År 2008–2018). *Statistikdatabasen.* https://www.scb.se/hitta-statistik/statistik-efter-amne/naringsverksamhet/naringslivets-struktur/foretagsdatabasen-fdb/ (hämtad 2020-07-01).

SGU, 2017. *Geologisk lagring av koldioxid i Sverige – Lägesbeskrivning avseende förutsättningar, lagstiftning och forskning samt olje- och gasverksamhet i Östersjöregionen,* Rapporter och meddelanden 142.

Seminarium, Klimatneutral processindustri, 2017-05-03.

Skanska, *Grön betong för en hållbar framtid.* https://www.skanska.se/om-skanska/press/nyheter/gron-betong-for-en-hallbar-framtid/ (Hämtad 2020-09-08).

Skogsindustrin, *Fakta nyckeltal.* https://www.skogsindustrierna.se/om-skogsindustrin/skogsindustrin-i-korthet/fakta--nyckeltal/ (hämtad 2020-08-08).

Skogsindustrin, *Internationell handel*https://www.skogsindustrierna.se/vara-asikter/global-konkurrenskraft/internationell-handel/ (hämtad 2020-08-03).

Skogsindustrin, *Skogsindustrin i världen* https://www.skogsindustrierna.se/om-skogsindustrin/branschstatistik/skogsindustrin-i-varlden/ (hämtad 2020-08-03).

Skogsindustrierna, Massaproduktion och handel, https://www.skogsindustrierna.se/om-skogsindustrin/branschstatistik/massa-produktion-och-handel, hämtad 2020-09-08.

Skogssverige, *Pappersåtervinning och returfiber,* https://www.skogssverige.se/papper/fakta-om/pappersatervinning-och-returfiber (hämtad 2020-08-03).

SOU 2018:84, *Det går om vi vill. Förslag till en hållbar plastanvändning.* Betänkande av Utredningen om hållbara plastmaterial, Stockholm 2018.

SOU 2020:4, *Vägen till en klimatpositiv framtid*, Betänkande av klimatpolitiska vägvalsutredningen, Stockholm 2020.

Stena Recycling, *Forskning gör plastavfall till hållbar resurs för industrin.* https://www.stenarecycling.se/nyheter/forskning-gor-plastavfall-till-hallbar-resurs-for-industrin/ (Hämtad 2020-09-10).

SSAB, 2020. *Årsredovisning 2019*.

SSAB, *Hybrit*. https://www.ssab.com/company/sustainability/sustainable-operations/hybrit (hämtad 2020-08-03).

SSAB. *SSAB, LKAB och vattenfall ett steg närmare produktion av fossilfritt stål i industriell skala.* https://www.ssab.se/nyheter/2020/06/ssab-lkab-och-vattenfall-ett-steg-nrmare-produktion-av-fossilfritt-stl-i-industriell-skala SSAB pressmeddelande 2020-06-01.

SSAB. *HYBRIT: SSAB, LKAB och Vattenfall startar världens första pilotanläggning för fossilfritt stål.* Pressmeddelande 2020-08-31. https://www.ssab.se/nyheter/2020/08/hybrit-ssab-lkab-och-vattenfall-startar-vrldens-frsta-pilotanlggning-fr-fossilfritt-stl (hämtad 2020-09-09).

SSAB, *Natur- och biogas i ett nytt energisystem* https://www.ssab.se/Nyheter/2017/11/Natur-och-biogas-i-ett-nytt-energisystem (2020-08-03).

SSAB, *Fossilfritt stål en viktig möjlighet för Sörmland* https://www.ssab.se/Nyheter/2020/06/Fossilfritt-stal-en-viktig-mojlighet-for-sormland (2020-08-03).

Sundelöf, C, 2002. *Energianvändning i industrin – En faktarapport inom IVA-projektet energiframsyn Sverige i Europa*, Kungliga ingenjörsvetenskapsakademin.

Svemin, 2018. *Färdplan för en konkurrenskraftig och fossilfri gruv- och mineralnäring. Delrapport april 2018*. Svemin: Fossilfritt Sverige.

Svenskt Aluminium, 2013. *Material och energiflöden i svensk aluminiumindustri – Slutrapport GeniAl.*

Svenskt Aluminium, *Om aluminium.* https://www.svensktaluminium.se/om-aluminium/ (hämtad 2020-08-03).

Sweco, 2016. *Cementindustrins möjlighet till minskade koldioxidutsläpp – CCS-teknik och alternativa bränslen. Underlagsrapport till Tillväxtanalys.*

Swerea, 2018. *Vägen till en grön masugn.* https://www.swerea.se/cases/vagen-till-en-gron-masugn (hämtad 2019-07-09).

Sörensson och Jonsson. 2014. *Företag inom svensk massa- och pappersindustri. Vinnova.* VA 2014:08. Robert Sörensson & Anders Jonsson.

Voltachem. https://www.voltachem.com/news/whitepaper-electrification-offers-chemistry-a-sustainable-and-profitable-future (hämtad 2019-07-11).

World Steel Association. 2020. *World steel in figures2020.*

World Steel Association. 2019. *Steel statistical yearbook 2019 – concise version.*

Åhman M., Nikoleris A., Nilsson L. J. 2012. *Decarbonising industry in Sweden – an assessment of possibilities and policy needs.* Environmental and Energy Systems Studies, Lund University.

Bilaga 1. Lagstiftning och ekonomiska incitament för CCS

Lagstiftningen ett mindre hinder

Vid sidan om ett behov av fortsatt kunskapsuppbyggande återstår en del legala och ekonomiska hinder för att CCS-tekniken ska kunna används fullt ut. Fram till 2019 förbjöd Londonprotokollets sjätte artikel helt transport av koldioxid som är ämnad för lagring under havsbotten hos annan part. Artikel 6 reviderades redan år 2009[255], men ändringen har ännu inte vunnit laga kraft på grund av att för få stater hittills har godkänt den. Förbudet ligger alltså kvar, men 2019 godkändes ett undantag som gör det möjligt att kringgå detta genom att provisoriskt tillämpa den reviderade artikeln. För detta behövs att en deklaration lämnas till IMO och ett bilateralt avtal tas fram mellan det exporterande landet och det lagrande. Sverige ratificerade 2009 års ändring i juni 2020.[256] För att kunna exportera koldioxid för lagring i Norge i enlighet med Sveriges förpliktelser enligt Londonprotokollet behöver Sverige i avvaktan på att ändringen i protokollets art 6 vinner laga kraft deponera en avsiktsförklaring om provisorisk tillämpning av denna hos IMO och även sluta avtal om detta med Norge (som redan som första part till Londonprotokollet har lämnat sin förklaring).

På liknande sätt tillåter som huvudregel inte den svenska *miljöbalken*[257] att avfall dumpas inom Sveriges sjöterritorium eller ekonomiska zon, eller från svenska fartyg på det fria havet. För att möjliggöra geologisk lagring av koldioxid har dock ett undantag införts.[258] Undantaget anger inget om att export av koldioxid ska vara tillåtet, vilket medfört att det av vissa tolkats som att detta inte medges. Något uttryckligt förbud mot att *exportera* avfall (dvs. här koldioxid) då avsikten är lagring inom ett annat lands territorium eller ekonomiska zon framgår dock inte av miljöbalkens bestämmelse i 15 kap. 27 §.[259]

En fråga har tidigare varit om export av koldioxid kräver att transporten ska ske via rörledning för att koldioxiden inte ska räknas som utsläppt enligt *regelverket för EU ETS*. Det skulle ha inneburit att transport med fartyg till Norge för slutförvar skulle räknas som utsläppt och därmed täckas av utsläppsrätter.[260] Norge har ifrågasatt denna tolkning och begärt förtydligande från Kommissionen.[261] Kommissionen har bekräftat Norges tolkning av direktivet, dvs. att sjötransport inte är ett hinder för att räkna av utsläpp som är lagrade genom CCS.[262]

---

[255] Reviderades genom Londonprotokollets resolution LP.3(4).

[256] Regeringen, 2020. https://www.regeringen.se/pressmeddelanden/2020/06/sverige-godkanner-regler-som-mojliggor-export-av-koldioxid-avsedd-for-lagring-under-havsbotten/ (Hämtad: 25 augusti 2020.)

[257] 15 kap. 27§ Miljöbalken.

[258] Förordningen om geologisk lagring av koldioxid (2014:21).

[259] I SOU 2020:4 framhålls att det undantag mot att dumpa avfall som finns för koldioxid inte gäller export av avfall och att export av koldioxid därför inte är tillåtet. I samtal med Miljödepartementets rättssekretariat (Johan Pettersson, 2020-09-03), framkom att deras tolkning är att inget hinder föreligger då Miljöbalken inte anger något förbud mot att exportera avfall.

[260] SOU 2020:4.

[261] Brev till Kommissionen från Norges departement för klimat, (2019-06-28). Ref: 19/2533-

[262] Svar från Kommissionen till Norges Ambassadör Rolf Einar Fife, (2020-07-27). Ref. Ares (2020)3943156

Kunskapen om möjliga lagringsplatser i Sverige är i dag bristfällig och att utveckla lagring i Sverige skulle kosta både mycket tid och pengar. Legala hinder kan också uppkomma, såsom att Östersjön är ett skyddat innanhav och att lagring kan påverka andra länder. Sveriges implementering av CCS-direktivet[263] begränsar också möjligheterna till lagring på land, men tillåter lagring under havsbottnen. För att kunna komma igång med koldioxidavskiljning i Sverige, i tid till att uppnå målen till 2045, bedöms därför lagring i annat land vara nödvändigt. För lagring i t.ex. Norge[264], som är det land som kommit längst med lagring, krävs först en deklaration till IMO samt ett bilateralt avtal med Norge för att export av koldioxid ska vara möjligt. Något sådant avtal finns inte i dagsläget.

Svaga ekonomiska incitamenten för CCS

Kostnaderna för att investera i CCS är ännu stora, även om de väntas falla då lärandet från demonstrationsprojekt ökar och mer effektiv teknik utvecklas. Kostnaden för avskiljning, transport och lagring av biogen koldioxid, om än befäst med osäkerhet, uppskattas vid gynnsamma förhållanden till ca 650–1 100 kr per ton.[265],[266] Då biogena utsläpp inte ingår i EU:s utsläppshandelssystem finns dock inga ekonomiska incitament att investera i bio-CCS. Samtidigt är utsläppsrätter i dagsläget billigare än kostnaden för CCS så inte heller för fossil CCS finns tillräckliga ekonomiska incitament för att minska utsläppen den vägen.

För att stödja fullskalig bio-CCS har utredningen *Vägen till en klimatpositiv framtid* [267] därför föreslagit att Sverige inrättar auktionering av negativa koldioxidutsläpp genom bio-CCS. På så sätt kan de bud med lägst kostnad för bio-CCS få ersättning för de negativa utsläpp de skapar. Utredningen menar också att Sverige på EU-nivå bör verka för att styrmedel som främjar bio-CCS introduceras, t.ex. inom ramen för EU:s utsläppshandelssystem.[268] I budgetpropositionen för 2021 lägger regeringen förslag om att Energimyndigheten ska inrätta ett system med omvända auktioner alternativt fast lagringspeng för avskiljning, infångning och lagring av koldioxid från förnybara källor (bio-CCS). Propositionen ger också myndigheten en ny uppgift som nationellt centrum för CCS-utveckling.[269] EU har med syfte att påskynda kommersialiseringen av klimatsmart teknik, bl.a. stimulera att anläggningar för CCU och CCS byggs, inrättat den så kallade Innovationsfonden. Denna finansieras av utsläppsrätter och ska kunna täcka upp till 60 procent av investerings- och driftskostnaderna under en tioårsperiod. En första utlysning pågår under andra halvan av 2020. Därefter kommer regelbundna sökomgångar att genomföras fram till 2030.[270]

---

[263] Direktiv 2009/31/EG.

[264] Även Storbritannien och Nederländerna har aviserat att de är villiga och kan lagra koldioxid åt andra länder.

[265] 400–600 kr per ton för avskiljning, transport för omkring 150–300 kr per ton och lagring för 100–200 kr per ton.

[266] SOU 2020:4.

[267] Ibid.

[268] Detta bör dock göras på ett sätt som inte riskerar leda till en ohållbar användning av biobränsle, som riskerar att andra miljövärden. Förändringar av EU:s utsläppshandelssystem bör i så fall också säkerställa att omställningstrycket i övrigt inte minskar, genom att antalet utsläppsrätter i systemet justeras.

[269] Prop. 2020/21:1, Utgiftsområde 21.

[270] https://ec.europa.eu/clima/policies/innovation-fund_en (hämtad 2020-09-29).

Bilaga 2. Bearbetning och tolkning av statistik

I den här bilagan beskrivs hur statistik från olika källor har bearbetats eller tolkats för att matcha rapportens branschindelning. Eftersom statistikkällorna skiljer sig åt med hänsyn till bland annat urval, avgränsningar, sekretess, klassificeringssystem och insamlingsmetod ska jämförelser mellan källorna göras med försiktighet.

Statistik om utsläpp och energianvändning

Utsläpp från koks-, masugns- och LD-gas som används för produktion av el och värme räknas till järn- och stålindustrins processrelaterade utsläpp i denna rapport. I den internationella klimatrapporteringen rapporteras dessa utsläpp under elproduktion (förbränningsutsläpp), men eftersom utsläppen är direkt kopplade till produktionen i koksverk, masugnar och LD-konverter och uppkommer oavsett om gaserna används till elproduktion, som bränsle för tillverkningsprocessen eller facklas bort så är de för uppdraget relevanta som processrelaterade förbränningsutsläpp. Utsläpp från förbränning av processgaser räknas i den här rapporten som processrelaterade (förbrännings)utsläpp oavsett var förbränningen sker.

Utsläppsstatistiken är delvis annorlunda uppbyggd än övrig statistik och det har därför inte varit möjligt att helt synkronisera dessa. Gruvornas växthusgasutsläpp kan inte fördelas mellan olika sorters gruvor och följaktligen inte heller enligt den branschindelning som används i rapporten. Förbränningsutsläpp från framställning av järnlegeringar (ferrolegeringar) kan inte heller separeras ut från andra förbränningsutsläpp inom övrig metall i utsläppsstatistiken och därför ligger alla utsläpp från dessa inom övrig metall i rapporten. För övrig statistik (energi, ekonomi) däremot går det inte att separera ut järnlegeringar från järn- och ståltillverkning utan järnlegeringar redovisas därför i järn- och stålindustri. Se också figuren i slutet av Bilaga 3 för mer information om skillnaderna i branschuppdelning.

Energianvändningen i raffinaderier ingår inte i industrins slutliga energianvändning i Energimyndighetens årliga energibalans, utan hör till tillförselsidan. Därför skiljer sig industrins totala energianvändning i denna rapport något från industrins energianvändning i energibalansen. Dessutom är det antaget att all värme från fackling inom raffinaderier har återvunnits i de interna processerna.

Vad gäller utsläpp av biogen koldioxid har inte den officiella statistiken över territoriella utsläpp fullt ut kunnat användas i denna rapport. Detta då processutsläpp av biogen koldioxid inte redovisas för massa- och pappersindustrin, vilket innebär att de biogena utsläpp som genereras från användningen av avlutar inom papper- och massaindustrin inte inkluderas. Därför har Naturvårdsverkets utsläppsregister använts för beräkning av potentialer för negativa utsläpp. I detta register ingår de verksamheter som är ålagda att rapportera sina utsläpp på anläggningsnivå i enlighet med Förordning (EG) 166/2006[271].

[271] Europaparlamentet och rådets förordning (EG) nr 166/2006 av den 18 januari 2006 om upprättande av ett europeiskt register över utsläpp och överföringar av föroreningar

Registret innehåller information om majoriteten av de stora punktutsläppen av både biogen och fossil koldioxid i Sverige.

Statistik om handel och ekonomi

Det handlas många olika varor och kvaliteter inom samma bransch så för att få en bättre förståelse av handelsströmmarna kan man undersöka import och export på varunivå. I rapporten görs en grov genomgång, främst på 2–4 siffrig HS/KN för att skapa en översikt av handelsströmmarna. Även på 4-siffrig HS/KN är ett flertal varor aggregerade under samma kod. I vissa fall skiljer sig andelarna av import/export i värde och vikt åt. Här undersöks, om inget annat anges, handeln i värde.

Import- och exportvärdena redovisas på branschnivå och är inte proportionella mot handelsvolymerna mätt i fysiska enheter, till exempel ton. Inom varje bransch handlas en mängd olika varor av olika värde. Inom till exempel raffinaderier importeras framförallt råvaror, medan förädlade varor exporteras. Att nettoexporten ändå är negativ beror på att importvolymen är större än exportvolymen. Inom stålindustrin är import- och exportvolymerna ungefär lika stora, men de produkter som exporteras är mer förädlade.

All import av stenkol och kolbaserade produkter används inte inom ståltillverkning utan kan också användas till el- och värmeproduktion m.m. Det går inte att se hur stor andel av importen som går till vilket användningsområde i statistiken. Men sett till hur kolanvändningen fördelas i energistatistiken är det rimligt att anta att en större del av importen används inom ståltillverkning.

För referensår 2017 har järnmalmsgruvor (SNI 07.1) på grund av sekretess slagits ihop med utvinning av råpetroleum och naturgas (SNI 06) i Företagens ekonomi (SCB), det vill säga den statistik som ligger till grund för uppgifter om antal företag, antal anställda, produktionsvärde och omsättning i branschkapitlen. I företagsdatabasen uppges att det finns 2 stycken företag med noll anställda inom utvinning av råpetroleum och naturgas. Det finns inga företag inom branschen 2008–2013, 2015–2016 eller 2018. 2014 fanns ett företag med noll anställda inom utvinning av råpetroleum och naturgas.[272] Eftersom det rör sig om företag utan anställda är det rimligt att anta att de inte påverkar övriga poster särskilt mycket. I denna rapport har därför hela den aggregerade gruppen 06.1–07.1 använts för stålprocessen för beräkningar baserade på Företagens ekonomi.

[272] SCB, Företagsdatabasen, *Statistikdatabasen.* https://www.scb.se/hitta-statistik/statistik-efter-amne/naringsverksamhet/naringslivets-struktur/foretagsdatabasen-fdb/ *(*hämtad 2019-09-09).

Bilaga 3. Bransch-, varu-, och produktindelning

Branschuppdelningen har gjorts med avsikt att fånga hela kedjan från råvara till slutprodukt. I tabell 1, 2 och 3 beskrivs vilka SNI-koder och SPIN-koder som ingår i respektive bransch, vilka varu- och produktkategorier dessa motsvarar samt CRF-kodernas branschindelning[273]. I slutet av bilagan finns en schematisk bild över hur branschindelningen i CRF och SNI hänger ihop.

Tabell 1. Branschuppdelning enligt SNI och SPIN för energistatistik, ekonomisk statistik och handelsstatistik. SNI-koder används för att klassificera verksamheter efter vad de gör (deras aktivitet) medan SPIN-koder används för att klassificera varor.

Rapportnamn	SNI/SPIN-kod
Hela industrin	05–33
Järn- och stålindustri, inklusive järnmalmsgruvor och ferrolegeringar	05.1, 07.1, 24.1–24.3, 24.51-24.52
Stenkolsgruvor/Kol	05.1
Järnmalmsgruvor/Järnmalm	07.1
Järn och stål	24.1
Tillverkning av rör, ledningar, ihåliga profiler och tillbehör av stål/ Stålrör mm	24.2
Annan primärbearbetning av stål/Andra primärbearbetade stålprodukter	24.3
Gjutning/gjutna produkter av järn och stål	24.51, 24.52
Övrig metall inklusive övriga gruvor	07.2–08+ 24.4,24.53-24.54
Andra malmgruvor och brytning av sten, sand mm	
- Andra malmgruvor än järnmalm/Annan malm än järnmalm	07.2
- Brytning av sten, sand m.m. /Sten, sand och lera	08.1
Övriga mineralbrott/Övriga mineralprodukter	08.9
Metallverk/Metaller exklusive järn	24.4
Gjutning/Gjutna produkter av lättmetall och övriga metaller	24.53, 24.54
Raffinaderier och kemiindustri	**06, 19–21**
Raffinaderi och baskemi /raffinaderi och baskemikalier	06, 19.1–20.1[274]
- Raffinaderi	19.2
- Baskemikalier mm	20.1
- Råpetroleum och naturgas	
Bekämpningsmedel mm	20.2
Färg, lack mm	20.3
Rengöringsmedel mm	20.4

[273] I rapporten används varukategori för att besrkiva övergripande kategorier, främst på 2-siffrig HS/ Kn- nivå, medan produktkategorier används för mer finfördelade kategorier på 4-siffrig HS/Kn.

[274] 06 är främst relevant för handel eftersom det inte finns någon produktion av råolja eller naturgas i Sverige utan det importeras.

Annan kemisk industri	20.5
Konstfiber	20.6
Läkemedel och farmaceutiska basprodukter	21.1–21.2
Mineralindustri	**23**
Glas- och glasvarutillverkning/Glas och glasvaror	23.1
Tillverkning av eldfasta produkter/Eldfasta produkter	23.2
Tillverkning av byggmaterial av lergods/Byggmaterial av lergods	23.2
Tillverkning av andra porslinsprodukter och keramiska produkter/ Andra porslin- och keramiska produkter	23.4
Tillverkning av cement, kalk och gips/Cement, kalk och gips	23.5
Tillverkning av varor av betong, cement och gips/Betong-, cement- och gipsvaror.	23.6
Huggning, formning och slutlig bearbetning av sten/Stenvaror	23.7
Tillverkning av slipmedel och övriga icke-metalliska mineraliska produkter/Slipmedel mm	23.9
Skogsindustrin	**16, 17, 18**
Trävaruindustri	16
-Sågade trävaror	16.1
-Övriga trävaror	16.2
Massa och papper	17
-Massa, papper och papp	17.1
-Pappers- och pappersvaror	17.2
Grafisk industri/Grafiska tjänster	18
El- och värmesektorn	
Generering av elektricitet	35.11
Överföring av elektricitet	35.12
Distribution av elektricitet	35.13
Försörjning av värme och kyla	35.3

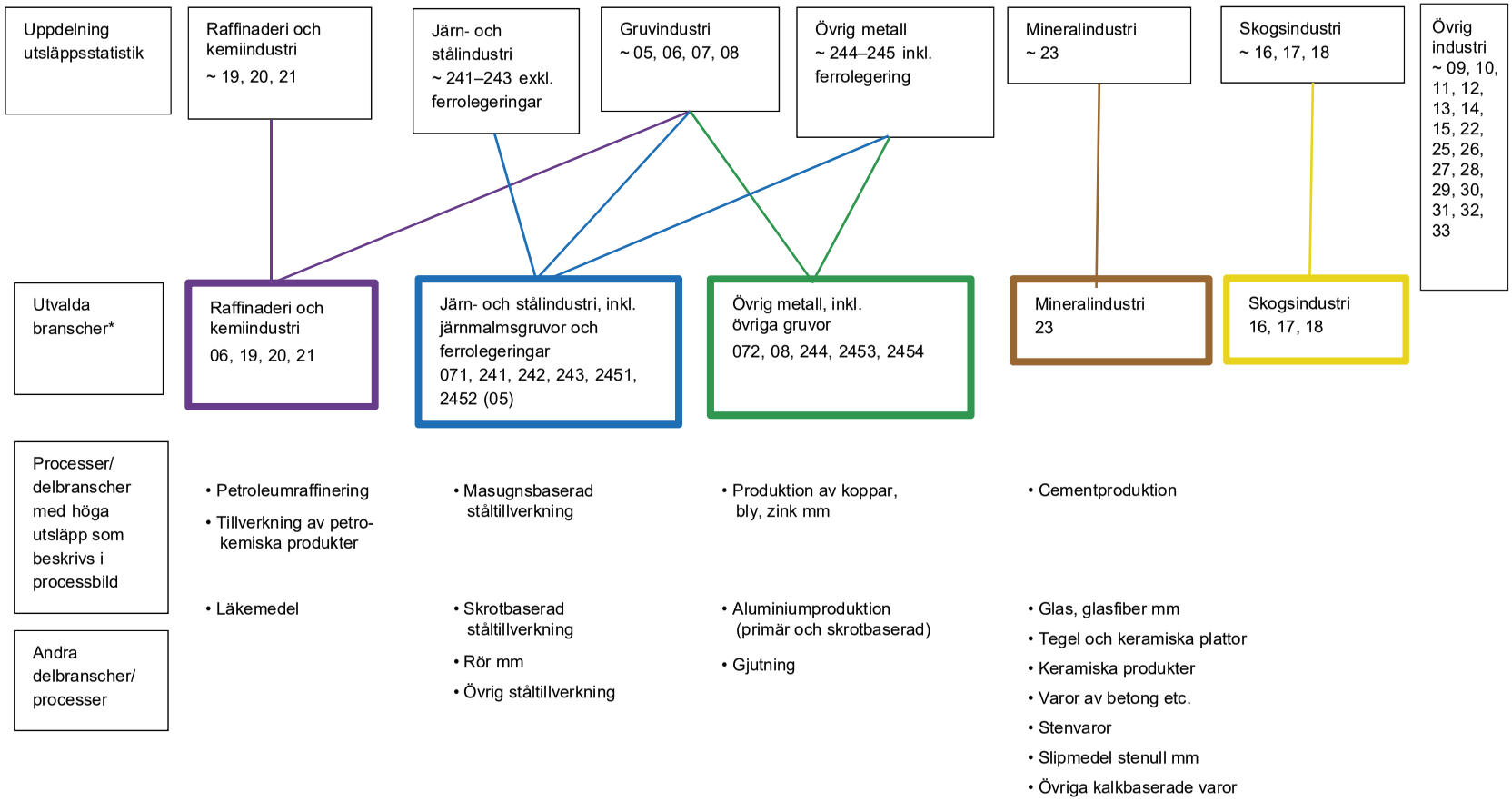
Tabell 2. Varu- och produktkategorier enligt HS/Kn och vilken bransch respektive produktkod antas tillhöra i rapporten. 2-siffrig HS/Kn kallas i rapporten för varukategori och 4-siffrig för produktkategori.

”Bransch”	HS/KN	Rapportnamn
Järn- och stålindustrin	2601, 2701, 2704, 2705, 72, 73	
Järn- och stålindustri	2601	Järnmalmsprodukter
Järn- och stålindustri	2701+2704+2705	Kolprodukter
Järn- och stålindustri	72	Järn och stål
Järn- och stålindustri	7210	Platta valsade produkter av järn eller olegerat stål.
Järn- och stålindustri	7219	Platta valsade produkter av rostfritt stål
Järn- och stålindustri	7225	Platta valsade produkter av legerat stål
Järn- och stålindustri	73	Varor av järn och stål
Järn- och stålindustri	7308	Konstruktioner och konstruktionsdelar
Övrig metall	26 (exklusive 2601), 74–76, 78–81	
Övrig metall	2603	Kopparmalm och kopparkoncentrat

Övrig metall	2608	Zinkmalm och -koncentrat
Övrig metall	7403	Raffinerad obearbetad koppar & kopparlegeringar
Övrig metall	7404	Kopparskrot
Övrig metall	7408	Koppartråd
Övrig metall	7601	Obearbetad aluminium
Övrig metall	7606	Plåt och band av aluminium
Raffianderi och kemi	27 (exklusive 2701 2704 2705 2716), 28,-39	
Raffinaderi & kemi	27 exklusive 2701, 2704, 2705 & 2716	Mineraliska bränslen
Raffinaderi & kemi	2709	Råolja
Raffinaderi & kemi	2710	Raffinerade oljeprodukter
Raffinaderi & kemi	30	Farmaceutiska produkter
Mineralindustrin	25, 68,69, 70	
Mineralindustri	2503	Svavel
Mineralindustri	6810	Varor av cement och betong
Mineralindustri	7007	Säkerhetsglas
Mineralindustri	7019	Glasfiber
Skogindustrin	44, 47, 48, 49	
Skogsindustrin	4407	Sågade trävaror
Skogsindustrin	4810	Bestruket papper och papp
Skogsindustrin	4703	Sulfat- och sulfitmassa
Skogsindustrin	4804	Obestruket papper
Skogsindustrin	4403	Obearbetat trä
Skogsindustrin	4418	Byggnadssnickerier
Skogsindustrin	4819	Kartonger och förpackningar av papper och papp

Tabell 3. Statistik över växthusgasutsläpp enligt CRF.

Bransch	**CRF**	**Ungefärlig motsvarighet SNI 2007**
Järn- och stålindustri	1.A.2.a, 1.B.1, 2.C.1, 1.A.1.b, 1.A.1.b, del av 2.C.1	242–243 + del av 241
Övrig metall	1.A.2.b, 2.C.2–2.C.7	244–245 + del av 241
-Aluminiumindustrin (processutsläpp)	CRF 2.C.3	-
-Framställning av koppar, bly, zink mm (processutsläpp)	CRF 2.C.7	-
Gruvor	1.A.2.g, del av 2.C.1	05–09
Mineralindustri	1.A.2.f, 2.A,	23
Raffinaderi och kemiindustri	1.A.1.b, 1.A.2.c, 1.B.2.A, 1.B.2.C.1.1, 1.B.2.C.1.3, 1.B.2.C.2.1, 1.B.2.C.2.3, 2.B,	19–21
Skogsindustrin	1A2d, 2A2, 2H1,2I, 1A2gviii	16-18


Uppdelning utsläppsstatistik
Raffinaderi och kemiindustri ~ 19, 20, 21
Järn- och stålindustri ~ 241–243 exkl. ferrolegeringar
Gruvindustri ~ 05, 06, 07, 08
Övrig metall ~ 244–245 inkl. ferrolegering
Mineralindustri ~ 23
Skogsindustri ~ 16, 17, 18
Övrig industri ~ 09, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 22, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33
Utvalda branscher*
Raffinaderi och kemiindustri 06, 19, 20, 21
Järn- och stålindustri, inkl. järnmalmsgruvor och ferrolegeringar 071, 241, 242, 243, 2451, 2452 (05)
Övrig metall, inkl. övriga gruvor 072, 08, 244, 2453, 2454
Mineralindustri 23
Skogsindustri 16, 17, 18
Processer/ delbranscher med höga utsläpp som beskrivs i processbild
• Petroleumraffinering
• Tillverkning av petro-kemiska produkter
• Läkemedel
• Masugnsbaserad ståltillverkning
• Skrotbaserad ståltillverkning
• Rör mm
• Övrig ståltillverkning
• Produktion av koppar, bly, zink mm
• Aluminiumproduktion (primär och skrotbaserad)
• Gjutning
• Cementproduktion
• Glas, glasfiber mm
• Tegel och keramiska plattor
• Keramiska produkter
• Varor av betong etc.
• Stenvaror
• Slipmedel stenull mm
• Övriga kalkbaserade varor
Andra delbranscher/ processer

Hållbar energi för alla

Energimyndigheten leder samhällets omställning till ett hållbart energisystem.

Vi bidrar med fakta, kunskap och analyser om tillförsel och användning av energi i samhället, och arbetar för en trygg energiförsörjning.

Forskning om framtidens fordon och bränslen, förnybara energikällor och smarta elnät får stöd av oss. Vi stöttar också affärsutveckling som gör det möjligt att kommersialisera innovationer och ny teknik, och ser till att goda lösningar kan exporteras.

Vi ansvarar för Sveriges officiella statistik på energiområdet, och hanterar elcertifikatsystemet och handeln med utsläppsrätter.

Dessutom deltar vi i internationella klimatsamarbeten, och förmedlar fakta om effektivare energianvändning till hushåll, företag och myndigheter.

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