Industrin – nuläge och förutsättningar för omställning

En nulägesanalys inom Industriklivet

ER 2021:27

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

Statens energimyndighet, oktober 2021

ER 2021:27
ISSN 1403-1892
ISBN (pdf) 978-91-7993-036-3

Tryck: Arkitektkopia AB, Bromma

Förord

Senast år 2045 ska Sverige inte ha några nettoutsläpp av växthusgaser till atmosfären, för att därefter uppnå negativa utsläpp. Industrin står idag för en tredjedel av utsläppen i Sverige och spelar därför en avgörande roll för möjligheten att minska utsläppen i den omfattning och takt som krävs. Industrins omställning förutsätter också en rad förändringar i det omgivande samhället, allt ifrån utbyggnad av infrastruktur, tillgång till kompetens och arbetskraft men också tillgång till fossilfri el och en ökad återvinning av material och sektorsintegration.

Vägen mot nettonollutsläpp i industrin kräver satsningar på innovativa och teknikskiftande lösningar, i många systemlösningar. I omställningen till en mer cirkulär och biobaserad ekonomi har industrin en viktig roll. Både genom att minska sina egna utsläpp och genom att bidra till klimatomställningen i samhället genom sina produkter och tjänster. Sedan 2018 har Industriklivet möjliggjort utvecklingen av lösningar för att minska de process-relaterade utsläppen inom industrin som ofta är svåra att komma åt. Från 2019 kan även stöd ges till permanenta negativa utsläpp. Industriklivet kan från 2021 dessutom ge stöd till så kallade strategiskt viktiga insatser inom industrin som bidrar till klimatomställningen i övriga samhället och möjliggör byggandet av hela värdekedjor som är fossilfria.

Denna rapport har tagits fram på uppdrag av regeringen inom ramen för Industriklivet. Årets rapport ger liksom tidigare år en översikt över, och en bakgrund till industrins största utsläppskällor av växthusgaser och de branscher där de stora utsläppen finns. Den redogör för de tekniksp år som de olika branscherna inriktar sig mot för att kunna ställa om och nå klimatmålen.

Eskilstuna i oktober 2021

Robert Andrén
Generaldirektör

Innehåll

Sammanfattning 3

1 Inledning 5

1.1 Metodbeskrivning 6

1.2 Utsläppsdefinitioner 6

1.3 Avgränsning 9

1.4 Rapportens upplägg 9

2 Huvudspår för omställningen 11

2.1 Biomassa 11

2.2 Vätgas 12

2.3 Elektrifiering 14

2.4 Avskiljning, transport och lagring av koldioxid 16

2.5 Hur långt kommer vi med materialeffektivitet och cirkulära affärsmodeller? 19

3 Branscher inom industrin med stora processrelaterade utsläpp 24

3.1 Järn- och stålindustrin, inklusive järnmalmsgruvor 25

3.2 Raffinaderier och kemiindustrin 36

3.3 Mineralindustrin 47

3.4 Övrig metall inklusive övriga gruvor 54

4 Negativa utsläpp 61

4.1 Stor potential för negativa utsläpp inom massa- och pappersindustrin samt kraft- och värmeverk 61

4.2 Systemfrågor större barriär än teknikfrågor 64

4.3 Forskning och projekt 67

5 Referenser 72

Bilaga 1. Bearbetning och tolkning av statistik 79

Bilaga 2. Bransch-, varu-, och produktindelning 81

Bilaga 3. Nuvarande processer inom industrin 85

Sammanfattning

Sverige har som mål att senast 2045 inte ha några nettoutsläpp av växthusgaser till atmosfären, för att därefter uppnå negativa utsläpp. De fossila växthusgasutsläppen i industrin uppgick till 16,2 miljoner ton under 2019, vilket motsvarar cirka en tredjedel av Sveriges totala territoriella fossila växthusgasutsläpp. Flera teknikspår för industrin att nå nettonoll utsläpp håller på att ta form. Det finns fyra huvudsakliga teknikspår, som utöver *energieffektivisering* och *bränslebyten*, i högre eller lägre grad är gemensamma för de industrier som är tätt sammankopplade med fossil energi och fossila råvaror. Dessa är:

- biomassa
- vätgas
- elektrifiering
- avskiljning, transport och lagring av koldioxid (CCS) och/eller avskiljning och användning av koldioxid (CCU).

I Sverige anses CCS emellertid endast vara en lösning om andra rimliga alternativ saknas. CCS är samtidigt – i form av *bio-CCS* – ett alternativ för att uppnå *negativa utsläpp,* vilket är en kompletterande åtgärd till kraftiga utsläppsminskningar för att uppnå negativa utsläpp. För att nå klimatmålen kommer en kombination av dessa nya tekniker och kompletterande åtgärder att behövas. De har alla gemensamt att de kräver stora mängder *fossilfri el* och/eller *biomassa*.

Fokus i denna rapport är på branscher med stora fossila *processrelaterade utsläpp*, dvs. utsläpp som kan härledas till olika produktionsprocesser och de råvaror som används där. De processrelaterade utsläppen utgjorde under 2019 två tredjedelar av industrins totala fossila växthusgasutsläpp. Nedan listas branscherna med de största processrelaterade utsläppen, samt en kort beskrivning av hur utsläppen kan minska genom tillämpning av nya tekniker.

1. *Järn- och stålindustrin* där utsläppen främst kan härledas till förbränning av industriella restgaser från koksverk och järn- och stålproduktionsprocesser samt användning av koks som reduktionsmedel i masugnar. Huvudspåret för att ersätta masugnsprocessen är *vätgasbaserad direktreduktion,* vilket har potential att eliminera dagens utsläpp givet att vätgasen produceras fossilfritt samt att el och biokol används i efterföljande processteg. Satsningar på vätgasbaserad direktreduktion görs i företagen HYBRIT och H2GS.
2. *Mineralindustrin* och processen kalcinering av kalksten vid cementproduktionen. Så länge som kalksten används som råvara för cement så är kalcineringsprocessen ofrånkomlig, och därför bedöms i dagsläget *elektrifiering* kombinerat med *CCS* som nödvändigt för att kraftigt minska branschens utsläpp. Cementa, Sveriges enda cementproducent, inleder nu en förstudie om att tillämpa CCS på sin anläggning på Gotland.
3. *Raffinaderi- och kemiindustrin* vid förbränning av industriella restgaser samt från fossil vätgasproduktionen vid raffinaderier. Omställningen av dagens raffinaderi- och kemiindustri kan generellt delas in i fyra delar: *återvinning* av material,

byte av råvaror från fossilbaserade till biobaserade, användning av *fossilfri vätgas* samt *koldioxidavskiljning*. Projekt för fossilfri vätgasproduktion med elektrolys pågår liksom initiativ för ökad biodrivmedelsproduktion, CCS, CCU samt elektrobränslen.

4. *Övrig metall* och vid användning av fossila råvaror vid framställningen av metaller (koppar, bly, zink och aluminium), samt från processen att återvinna vissa metaller. Potential till utsläppsreduktion finns främst i användningen av mer hållbara råvaror, t.ex. genom användning av biokol, fossilfri vätgas eller inerta anoder.

Framtidsscenarier visar att *materialeffektivitet* och *cirkulära affärsmodeller* är viktigt för omställningen oavsett andra teknikval samt indikerar att omställningen då också kan ske till en lägre kostnad. Teknik och innovativa lösningar är också viktigt i detta hänseende. Exempelvis utreds nu förutsättningarna för den första svenska anläggningen för kemisk återvinning av plast, vilket kan öka användningen av återvunnen råvara och återvinningen av plast generellt samt minska växthusgasutsläppen.

Potentialen för *negativa utsläpp* genom *bio-CCS* är störst i massa- och pappersindustrin samt i kraftvärme- och värmeverk. Hela CCS-kedjan, dvs. avskiljning, transport och lagring, tillämpas redan i dag, men erfarenheterna är fortfarande begränsade. Systemfrågor, så som fungerande affärsmodeller och hur ekonomiska incitament skapas, bedöms dock utgöra en större barriär för implementering av CCS än själva teknikfrågorna. Omvända auktioner som styrmedel för att främja bio-CCS är under utredning och regeringen föreslog i budgetpropositionen för 2022 att införa ett sådant system. Preems demonstrationsanläggning för CCS bedöms ha kommit längst i Sverige och avser primärt infångning av fossila koldioxidutsläpp. För bio-CCS så har Stockholm Exergi kommit längst med sin pilotanläggning på kraftvärmeverket Värtaverket i Stockholm.

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 16,2 miljoner ton koldioxidekvivalenter till atmosfären under 2019, vilket motsvarar cirka en tredjedel av Sveriges totala fossila växthusgasutsläpp.[2,3]

Industrins utsläppsminskningar, som hittills huvudsakligen berott på övergången från fossila till förnybara bränslen och el, har stannat av de senaste åren då fortsatta utsläppsminskningar är svåra att åstadkomma med dagens teknik. För att minska de processrelaterade utsläppen, som härleds till produktionsprocesser och råvaror, 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 processrelaterade utsläppen. Inom ramen för Industriklivet finns sedan 2019 också möjligheter att få stöd för åtgärder som bidrar till negativa utsläpp, vilket är en kompletterande åtgärd till utsläppsminskningar för att uppnå negativa utsläpp efter 2045. Under 2021 breddades Industriklivet ytterligare till att också omfatta andra växthusgasutsläpp så som vissa förbränningsutsläpp och diffusa utsläpp kopplade till processrelaterade utsläpp. Breddningen under 2021 innefattade också stöd till strategiskt viktiga insatser inom industrin som bidrar till klimatomställningen i samhället i stort, vilket kopplar till den för Sverige antagna strategin[4] för en cirkulär ekonomi.[5]

Enligt regeringsbeslutet om regleringsbrev för budgetåret 2021 avseende anslag 1:19 Industriklivet (M2020/02056) 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. Detsamma ska göras för negativa utsläpp. Årets redovisning ska också omfatta strategiskt viktiga insatser som är viktiga för klimatomställningen. Sammanställningen ska redovisas till Regeringskansliet (Miljödepartementet) senast den 31 oktober 2021.

---

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 Naturvårdsverket och SCB, 2021. Utsläpp av växthusgaser från industrin efter växthusgas, bransch och år. Statistikdatabasen. https://www.statistikdatabasen.scb.se/pxweb/sv/ssd/START__MI__MI0107/MI0107IndustriN/ (hämtad 2021-05-30).

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

4 Regeringskansliet, 2020. *Cirkulär ekonomi – strategi för omställningen i Sverige.*

5 Regleringsbrev avseende anslag 1:19 Industriklivet (M2020/02056) (delvis)

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 1 och 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 1 och Bilaga 2 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 2.

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.

---

[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.

[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)

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.

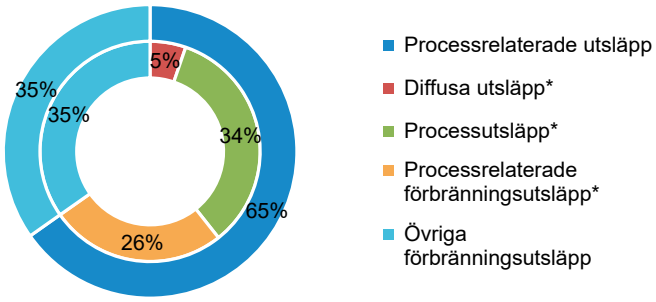
1. *Processutsläpp,* vilket avser de utsläpp som orsakas av industriella tillverkningsprocesser. Industriella processer genererar växthusgaser i många olika processteg, men framförallt vid kemisk eller fysisk materialomvandling. Ett exempel på processutsläpp är koldioxid som bildas när kalksten omvandlas 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 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.

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

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

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

Figur 1 visar hur industrins utsläpp var fördelade mellan processrelaterade utsläpp (och dess underkategorier) samt övriga förbränningsutsläpp under 2019.



Figur 1. Fördelningen av industrins totala fossila växthusgasutsläpp på olika utsläppskategorier, 2019, 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 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

[11] Naturvårdsverket och SCB, 2021. Utsläpp av växthusgaser från industrin efter växthusgas, bransch och år. *Statistikdatabasen.* https://www.statistikdatabasen.scb.se/pxweb/sv/ssd/START_MI_MI0107/MI0107IndustriN/ (hämtad 2021-05-30).

[12] SOU 2020:4, *Vägen till en klimatpositiv framtid*, Betänkande av klimatpolitiska vägvals-utredningen, Stockholm 2020

[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 förbrännings-utsläpp 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.

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) nettonoll 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.

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

Kapitel 2 beskriver de huvudsakliga tekniskspåren för nettonollutsläpp inom industrin, nämligen biomassa, vätgas, elektrifiering samt avskiljning, transport och lagring av koldioxid (CCS) och/eller avskiljning och användning av koldioxid (CCU). I år breddas detta kapitel till att också redogöra för hur en ökad materialeffektivitet och cirkulära affärsmodeller kan bidra till omställningen av industrin.

I kapitel 3 är fokus på de branscher i Sverige som har stora *processrelaterade utsläpp*. Närmare bestämt 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. De processrelaterade utsläppen utgör majoriteten av industrin utsläpp, och de härrör från produktionsprocesser och de råvaror som används. Kapitlet ger en översikt över de processer som är mest utsläppsintensiva och beskriver vägar för att nå nettonoll utsläpp i respektive bransch. En överblick ges också över branscherna vad gäller handel och marknad.

[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.

I kapitel 4 beskrivs potentialen för negativa utsläpp och i vilka sektorer den är störst, dvs. i papper-och massaindustrin samt i kraftvärme- och värmeverk. Kapitlet ger en översikt av de förutsättningar och utmaningar som föreligger (tekniska, ekonomiska och logistiska) för att uppnå negativa utsläpp genom koldioxidinfångning. Vidare görs också en sammanställning av pågående bio-CSS-projekt i Sverige.

I Bilaga 1 beskrivs statistiken som redogörs för i rapporten och Bilaga 2 beskriver hur branschindelningen gjorts. Bilaga 3 beskriver nuvarande produktionsprocesser inom de branscher inom industrin som redogörs för i rapporten, samt i kraftvärmeproduktionen.

2 Huvudspår för omställningen

För att Sverige ska nå klimatmålen måste industrin ställa om till fossilfritt. Flera tekniksspår för industrin att nå nettonoll utsläpp håller på att ta form, även om fortsatta satsningar på forskning och utveckling krävs för att teknikerna ska kunna tillämpas. Det finns fyra huvudsakliga tekniksspår för att minska fossila växthusgasutsläpp som, utöver energieffektivisering och bränslebyten, i högre eller lägre grad är gemensamma för de industrier som är tätt sammankopplade med fossil energi och fossila råvaror. Dessa är

- biomassa,
- vätgas,
- elektrifiering, och
- avskiljning, transport och lagring av koldioxid (CCS) och/eller avskiljning och användning av koldioxid (CCU).

CCS är dessutom – i form av *bio-CCS* – ett alternativ för att uppnå *negativa utsläpp*. För att nå klimatmålen kommer en kombination av dessa att behövas, och gemensamt för dem är att de kräver stora mängder fossilfri el och/eller biomassa. Teknikerna beskrivs översiktligt i detta kapitel medan kapitel 3 beskrivs hur de tillämpas i branscher med stora processrelaterade utsläpp. Med processrelaterade utsläpp avses här utsläpp som kan härledas till tillverkningsprocesser och de råvaror som används där (läs mer om utsläppsdefinitioner i avsnitt 1.2).[19]

Framtidsscenarier visar att materialeffektivitet och cirkulära affärsmodeller är viktigt för omställningen oavsett andra teknikval. Därför tillägnas senare delen av detta kapitel till en diskussion om hur långt vi kan komma med en ökad materialeffektivitet och cirkulära affärsmodeller i omställningen av industrin och hur det bidrar till utsläppsminskningar i samhället i stort.

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, såsom stålindustrins värmningsugnar.[20] Detta ställer höga krav på bränslets energitäthet och kvalitet, vilket kan kräva teknisk utveckling. När det gäller användning av biomassa som råvara för att minska processrelaterade utsläpp är dock behovet av teknisk utveckling större.

[19] Fokus är således inte på utsläpp som uppstår när fossila bränslen används för energiändamål, såsom för att generera ånga, vilket här refereras till som övriga förbränningsutsläpp.

[20] Inför bearbetning värms stålet upp till temperaturer över 1 000 grader

2.1.1 Teknisk utveckling krävs för att ersätta fossila råvaror med biogena

En förutsättning för att biomassa ska kunna användas i existerande processer är att den har liknande egenskaper som den fossila råvara som den ska ersätta. Biomassa behöver därför ofta mycket förbehandling, vilket kan innefatta flera bearbetningssteg. Komplexiteten i dessa beror ofta på vilken råvara som används samt vilken produkt som ska framställas. Utvecklingen innebär stora satsningar på forskning och utveckling för att kunna framställa och implementera biobaserade alternativ, både för process- och produktutveckling.

Potentialen för biobaserad råvara är framförallt stor inom kemi- och raffinaderiindustrin. Där utgör fossil råolja den huvudsakliga råvaran för de kolväten som kemikalier, plaster och drivmedel består av. Läs mer om detta i avsnitt 3.2.2. Biomassa som råvara, i form av biokol, testas också i järn- och stålindustrin och är huvudspåret för att minska utsläppen i den s.k. Höganäsprocessen. Mer om detta finns att läsa i 3.1.2. Biokol är också ett alternativ för att minska utsläppen från koppar- och blyframställningen i Övrig metall. Läs mer i avsnitt 3.4.2.

2.2 Vätgas

Vätgas används redan i dag inom processindustrin, men kan användas i andra tillämpningar för att direkt eller indirekt ersätta fossil råvara. Den vätgas som används inom industrin i dag produceras nästan uteslutande från naturgas. För att vätgas ska bli ett relevant omställningsalternativ förutsätts dock att den tillverkas fossilfritt. Fossilfri vätgas kan fylla tre funktioner i den svenska industrins klimatomställning;

- Ersätta fossila vätgasen som används i dag industrin, (främst som råvara i raffinaderierna och i den kemiska industrin), vilket är cirka 6 TWh i dagsläget.
- Ersätta andra fossila bränslen och råvaror exempelvis naturgas, kol eller olja i olika industriprocesser.
- Användas i nya industrier/processer vid framställning av olika produkter, exempelvis som råvara till elektrobränslen och elektrokemikalier.

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 Sverige i dag ångreformering[21] av naturgas, främst vid raffinaderier. Genom att koppla på CCS (se 2.4) kan utsläppen reduceras med upp till 90 procent.[22] 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. Den svenska elmixen med en mycket låg fossil andel ger elektrolys möjligheter att nå en renare vätgas än att endast koppla på CCS på befintlig produktion.

[21] Ångreformeringen är normalt uppdelat i två processteg, där den första är energiintensiv och sker vid en hög 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.

[22] IEA, 2019. *The Future of Hydrogen – Seizing today's opportunities.* International Energy Agency.

Det är också möjligt att ersätta den naturgas som används i ångreformering med biogas. Hur stor klimatpåverkan blir från ångreformering av biogas beror till stor del på hur biogasen framställts.

2.2.2 Betydande kostnadsreduktioner för elektrolysörer möjliga

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 genom elektrolys. 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 vara konkurrenskraftig mot fossilbaserad vätgas till 2030.[23]

2.2.3 Flera vätgasprojekt planeras i Sverige till 2030

Till 2030 planeras flertalet vätgasprojekt inom industrin, dessa kan främst kategoriseras till;

- järn- och stålproduktion där projekten är kopplade till produktion av fossilfritt stål (se 3.1.2),
- produktion av biodrivmedel, vilket främst sker i raffinaderier och där behovet av vätgas som insatsvara ökar i och med en ökande andel biogen råvara (se avsnitt 3.2.2),
- produktion av elektrobränslen, vilket inte är begränsat till en särskild bransch, utan alla aktörer som kan ta vara på större flöden av koldioxid är potentiella producenter (se avsnitt 3.2.2).

Stora satsningar i elproduktion och överföringskapacitet krävs

Enligt scenarier över olika utvecklingsvägar för kraftsystemet som Svenska kraftnät tagit fram kan elbehovet för vätgas producerad med elektrolys uppgå till 85 TWh 2045 enligt scenariot *Elektrifiering förnybart.*[24] Elproduktionen uppgick år 2019 till cirka 165 TWh.[25] Enligt Svenska kraftnäts ovan nämnda scenario skulle elproduktionen behöva vara runt 300 TWh år 2045. Detta innebär att behovet av vätgas står för cirka 60 procent av ökningen i elproduktion till 2045 enligt scenariot. Det kommer bli en stor utmaning för Sverige att möjliggöra att produktionen av fossilfri vätgas kan öka i den takt som industrin vill då detta kommer att kräva mycket stora satsningar på elproduktion och överföringskapacitet.

---

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

[24] Svenska kraftnät, 2021. *Långsiktig marknadsanalys 2021 – Scenarier för elsystemets utveckling fram till 2050*

[25] Energimyndigheten och SCBa, 2021a. Årlig energistatistik (el, gas och fjärrvärme), Eltillförsel i Sverige efter produktionsslag och år, *Statistikdatabasen. https://www.statistikdatabasen.scb.se/pxweb/sv/ssd/START__EN__EN0105/ElProdAr/* (hämtad 2021-09-20).

Vätgaslagring centralt i vätgasens värdekedja och för ekonomin

En stor del av produktionskostnaden för vätgas producerad genom elektrolys är elkostnaden. För att minimera kostnaderna för den elintensiva vätgasframställningen krävs att vätgasen produceras mer intensivt under perioder då elpriserna är förmånliga och lagras för att kunna nyttjas under perioder med högre elpriser. För att kunna vara flexibel i sin efterfråga av el krävs därmed ett antal extra investeringar, bland annat i form av en överkapacitet i elektrolysörer och ett vätgaslager. Ett vätgaslager kan också komma att bli viktigt i framtiden för att skapa flexibilitet i elanvändningen.

Flera projekt planerar för storskalig vätgaslagring under jord

Flera industriprojekt planerar för storskalig lagring under jord, för vilket saltgruvor är den mest ideala formationen. I Sverige finns inga saltgruvor och den mest lovande lösningen för vätgaslagring bedöms vara tekniken Lined rock cavern (LRC), vilket kortfattat innebär metallinkapslade bergrum. LRC-tekniken har demonstrerats i Sverige för naturgas, i gaslagret Skallen på västkusten som har en volym på 40 000 m^3. Det krävs dock mer forskning för att utvärdera hur väl det fungerar tekniskt för vätgas. Forskning behövs också kring lämpliga platser i Sverige för lagring med tekniken samt hur stort behovet är. Att vätgaslagret är nära användaren (och producenten i de fall de inte sammanfaller) är en fördel då rörledningar krävs mellan producent, lager och slutanvändare. Inom HYBRIT byggs nu ett vätgaslager i pilotskala för att testa LRC-tekniken. Lagret placeras i en nedlagd gruva i Svartsöberget i närheten av deras pilotanläggning för tillverkning av fossilfri järnsvamp i Luleå. Lär dig mer om HYBRIT under 3.1.2.

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 produktionsprocesser 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 Förnybar el öppnar nya möjligheter att ersätta fossilbaserade råvaror

Med hjälp av el kan olika råvaror omformas till andra ämnen som ersätter fossilbaserade råvaror i vidare processer. Genom elektrolys med fossilfri el kan t.ex. vatten spjälkas till vätgas och syre och den producerade vätgasen kan ersätta vätgas producerad från naturgas (se föregående avsnitt, 2.2, om vätgas).

En stor potential för att använda el i helt nya tillämpningar finns inom petrokemisk industri och raffinaderier. Dessa 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 annat än fossila kolväten vid framställning av så kallade elektrobränslen och elektrokemikalier. Elektrobränslen eller elektrokemikalier framställs genom att vätgas som producerats genom elektrolys av vatten får reagera med koldioxid, (eller kväve), för att bilda exempelvis metanol, bensin, ammoniak och eten. Dessa kan sedan i sin tur användas för framställning av en mängd olika produkter. Läs mer om detta i avsnitt 3.2.2. För att producera elektrobränslen och elektrokemikalier behövs både tillgång till förnybar el och en lämplig koldioxidkälla. Koldioxiden kan vara infångad koldioxid, dvs. CCU, läs mer i avsnitt 2.4 nedan. 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[26].

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. Att ha viss flexibilitet i sin efterfrågan på el kommer troligtvis bli en förutsättning för den elintensiva industrin, inte minst ekonomiskt. Industrier som använder vätgas som bränsle eller råvara kan investera i större produktionskapacitet för vätgas genom elektrolys än vad som behövs för att klara sitt behov. Det ger möjlighet att lagra ett överskott av vätgas under perioder då elpriserna är förmånliga och minska sina inköp av el och istället använda den lagrade vätgasen under perioder med högre elpris. Vid riktigt höga elpriser kan det eventuellt vara intressant att omvandla vätgas till el som matas tillbaka in på nätet men det kräver investeringar i bränsleceller eller turbiner och det är osäkert om dessa investeringar kan bli bärkraftiga om de används relativt sällan.

Power to X

Internationellt ses industriell elektrifiering som ett intressant koncept både för att ställa om industrin och för att upprätthålla balans i elsystemet när detta ställs om till förnybar och i högre grad variabel elproduktion. Power-to-x (P2X) är en övergripande term för ett antal konverterings-, lagrings- och omvandlingsvägar som använder el från förnybar energi, vanligtvis sol och vind. X:et står för den typ av energi som elen omvandlas till, vanligtvis gaser, vätskor eller värme. Ett exempel på detta är den produktion av elektrobränslen genom CCU som planeras i anslutning till kraftvärmeverk. Koldioxiden ska fås från kraftvärmeverket och kombineras med vindkraftsel (läs mer i avsnitt 3.2.2). Att notera i sammanhanget är dock att verkningsgraden blir lägre när el ska omvandlas till exempelvis vätgas i stället för att användas direkt.

[26] För mer information, se www.voltachem.com

2.4 Avskiljning, transport och lagring av koldioxid

CCS (Carbon Capture and Storage) innebär att koldioxid fångas in för att sedan transporteras till permanent lagring i en särskild typ av geologiska formationer på land eller djupt nere under havsbotten. Tekniken pekas ut av både IEA[27] och FN:s klimatpanel[28] som en förutsättning för att det ska finnas en rimlig chans att nå både 2-graders målet och 1,5-graders målet.[29]

2.4.1 Negativa utsläpp och 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.[30] 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 nettonoll 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.[31,32] Vid applicering på fossila utsläpp kan inga negativa utsläpp nås. Teknikens potential består då i att uppnå utsläppsminskningar vid industrier där inga andra rimliga alternativ finns tillgängliga, eller förväntas finnas tillgänglig inom det tidsperspektiv då utsläppsminskningarna måste ske.

2.4.2 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 och järnväg är möjligt för mindre kvantiteter och sträckor. För svensk del är fartyg i dagsläget det realistiska alternativet då lagring i Sverige inte är aktuellt (mer om det nedan). 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 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.[33] I det norska fullskaleprojektet (se 4.3.1) kommer fartygen ha möjlighet att

---

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

[28] 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.*

[29] 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.

[30] Johnsson F., Normann F., och Svensson E., 2020. *Marginal Abatement Cost Curve of Industrial CO2 Capture and Storage – A Swedish Case Study,* Chalmers Tekniska Högskola

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

[32] SOU 2020:4

[33] Inklusive hamnens storlek och hur stora fartyg som kan passera på farleden till hamnen.

ta drygt 8 500 ton, med en årlig transportkapacitet på 400 000 ton.[34,35] 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.[36]

Norge har kommit längst vad gäller lagring

Kunskapen om möjliga lagringsplatser i Sverige är i dag bristfällig och att utveckla lagring i Sverige skulle kosta både mycket tid och pengar.[37] 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.[38] 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.[39]

I Norge har man kommit längre än resten av Norden med att kartlägga denna potential då avskiljning och lagring har skett sedan 1996. 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, Danmark, 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 men Energimyndigheten har i uppdrag att ta fram ett förslag till avtal under 2021. För att läsa mer om lagstiftningen kopplat till CCS, se avsnitt 4.2.3.

2.4.3 CCU – använda den infångade koldioxiden som råvara

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.

Jämfört med CCS, där koldioxiden lagras permanent, beror klimatnyttan av CCU på vad den infångade koldioxiden används till och vilka råvaror som den infångade koldioxiden ersätter. Om koldioxiden används för att tillverka bränslen som sedan förbränns blir

---

[34] För mer information, se https://northernlightsccs.com/en/about

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

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

[37] 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.

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

[39] SOU 2020:4

resultatet en kortare senareläggning av utsläppen, men kan ge/ger minskat behovet av fossila råvaror. Om koldioxiden i stället används till material (t.ex. plaster eller byggnadsmaterial) dröjer det längre tills koldioxiden återförs till atmosfären. För att koldioxiden mer 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.

2.4.4 Förutsättningarna beror på utsläppens storlek, sektor 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 bli aktuella. Som en fingervisning kan i dagsläget anläggningar med koldioxidutsläpp på cirka 300 000–500 000 ton koldioxid per år, i CCS-sammanhang, betraktas som stor anläggningar.[40,41]

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 det finns ett behov av fortsatt forskning och innovation.

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.

[40] SOU 2020:4

[41] Svebio 2019, *Stor källor för biogen CO2 lista,* https://www.svebio.se/press/pressmeddelanden/stor-potential-for-bio-ccs-i-sverige-38-orter-med-bast-forutsattningar/ (Hämtad 2021-10-06)

Andra tekniker kopplade till CCS

DAC (Direct air capture)

Ett annat sätt att fånga in koldioxiden är att göra det direkt från atmosfären. Detta kallas DAC (Direct Air Capture) och infångningstekniken används ofta 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.[42] 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.

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 samtidigt som koldioxid kan lagras i marken. De flesta CCS-anläggningar i världen som är i drift har någon form av EHR även om majoriteten av anläggningar under utveckling har som mål att endast lagra den infångade koldioxiden.

2.5 Hur långt kommer vi med materialeffektivitet och cirkulära affärsmodeller?

Materialeffektivisering är ett brett begrepp som täcker in mer än bara materialeffektiva produktionsprocesser (genom t.ex. att recirkulera material och minska materialåtgången), så som återställning, uppgradering, återanvändning och återvinning av produkter. Det innehåller också bl.a. intensivare användning (färre produkter för att tillhandahålla samma tjänst), ökad livslängd genom produktdesign, klimatsmart design och materialval samt återanvändning av komponenter i både tillverkningen och själva produkten.[43] I *cirkulära affärsmodeller* är utgångspunkten att en produkt kan cirkulera (återställning, uppgradering, återanvändning och återvinning av produkter) och inte endast användas, förbrukas och slängas som ofta är fallet i dag med s.k. *linjära affärsmodeller*. Materialeffektivitet och cirkulära affärsmodeller är också centrala delar i den *cirkulära ekonomin*.

Övergången till en mer cirkulär ekonomi, minskar samhällets resursanvändning och den miljö- och klimatpåverkan som följer av den i samhället i stort. I en rapport[44] från Naturvårdsverket jämförs olika framtidsscenarier[45] och visar att bl.a. över 60 procent av utsläppen från järn- och stålindustrin-, kemiindustrin samt cementindustrin i EU skulle kunna elimineras med hjälp av ett fokus på ökad *materialeffektivitet* och *cirkulära affärsmodeller*. Naturvårdsverkets jämförelser visar att cirkulära affärsmodeller och ökad materialeffektivitet är viktigt för omställningen oavsett teknikval för omställningen. Jämförelsen indikerar också att omställningen kan ske till lägre kostnad om den görs

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

[43] Naturvårdsverket (2019), *Fördjupad analys av den svenska klimatomställningen – Industrin i fokus,* Rapport 6911

[44] Ibid

[45] Material Economics, 2018. *Industrial Transformation 2050 – Pathways to Net-Zero Emissions from EU Heavy Industry*.

med fokus på ökad materialeffektivitet och cirkulära affärsmodeller. Samtidigt visar en studie att stål, plast och aluminium har 79–95 procent mindre utsläpp vid återvinning än från primärproduktion.[46]

De flesta framtidsscenarier som används i Naturvårdsverkets analys visar dock på en ökad efterfrågan på material och att enbart materialeffektivisering inom industrin inte kommer att räcka för att tillgodose efterfrågan. Nya tekniker kommer fortfarande att behövas för att möta det behov som kvarstår, såsom nya stålproduktionsprocesser och kemisk återvinning (det senare möjliggör en ökad återvinning av plast och beskrivs mer nedan).

2.5.1 Potential för utsläppsreduktion från materialeffektivitet och cirkulära affärsmodeller i Sverige

Regeringen har tagit fram en strategi för omställningen till en cirkulär ekonomi i Sverige där det övergripande målet är *ett samhälle där resurser används effektivt i giftfria cirkulära flöden och ersätter jungfruliga material.* Se Figur 2 nedan för en schematisk skiss över den cirkulära ekonomin. För att ställa om till en väl fungerande cirkulär ekonomi krävs innovation längs hela värdekedjan och framgångsrika affärsmodeller i näringslivet. De material som är i fokus för arbetet för en cirkulär ekonomi enligt strategin är följande:

- plast,
- textil,
- förnybara och biobaserade råvaror,
- livsmedel,
- bygg- och fastighetssektorn, inklusive bygg- och rivningsavfall, och
- innovationskritiska metaller och mineraler.[47]

Industrin spelar en viktig roll i den cirkulära ekonomin, både vad det gäller att skapa materialeffektiva produktionsprocesser och för att designa produkter som håller länge och kan cirkulera enligt den tekniska cykeln som Figur 2 illustrerar. Samtidigt är samarbete mellan näringslivets aktörer centralt för att den cirkulära ekonomin ska bli verklighet, t.ex. genom att reströmmar och biprodukter (som annars skulle bli avfall) från en industri kan användas som material i en annan.

Hur stor potential materialeffektivitet och cirkulära affärsmodeller har för omställningen av industrin i Sverige har inte kunnat uppskattas (scenarierna nämnda ovan gäller hela EU). Enligt Naturvårdsverket behövs en analys av effekten av genomförda materialeffektiviserande åtgärder samt en grundlig analys av den kvarvarande potentialen för att kunna besvara denna frågeställning.[48] Vissa åtgärder för ökad materialeffektivitet har redan vidtagits, såsom att cirka en tredjedel av råmaterialet i svensk stålproduktion är stålskrot[49] och andra åtgärder för omhändertagande av restflöden, t.ex. utvinning av zink från reststoft från ståltillverkningen.

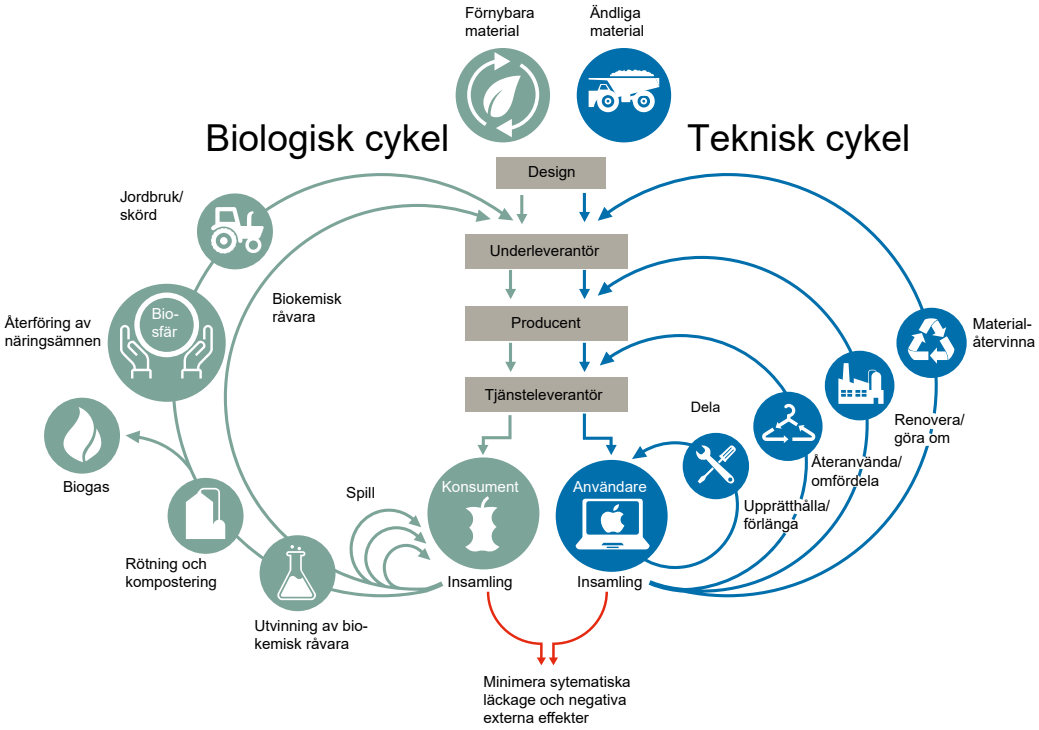
---

[46] Material Economics, 2020. *Preserving value in EU industrial materials – A value perspective on the use of steel, plastics and aluminium.*

[47] Regeringskansliet, 2020. *Cirkulär ekonomi – strategi för omställningen i Sverige.*

[48] Naturvårdsverket (2019), *Fördjupad analys av den svenska klimatomställningen – Industrin i fokus,* Rapport 6911

[49] Jernkontoret, *Tillverkning, användning och återvinningsprocesser i Stålindustrin* https://www.jernkontoret.se/sv/stalindustrin/tillverkning-anvandning-atervinning/processer/ (Hämtad 2021-09-27)



Figur 2. Schematisk bild över cirkulär ekonomin.
Källa: Regeringskansliet.

Forskning visar på ett betydande värde av svenskt materialsvinn

Återvinningsindustrierna och Material Economics har tidigare drivit forskningsprojektet *Ett värdebeständigt materielsystem*, som syftade till att synliggöra de ekonomiska förlusterna som uppstår i dagens materialhantering. Forskningsprojektet uppskattade förlusterna från dagens materialhantering i Sverige till 42 miljarder kronor per år, beräknat som värdet av råmaterial som går in i den svenska industrin och hur mycket värde som återstår efter en användningscykel. Endast en fjärdedel av materialets värde bevarades efter användning, och beräknades för stål och cement i byggnader som rivs, plast från kastade förpackningar eller färdiganvända produkter, aluminium i fordon som skrotas, papper som förbrukas med mera. Värdeförlusterna skapas genom att material förloras och genom nedgradering av kvalitén genom t.ex. sammanblandning och kontaminering och slutsatsen av projektet var bl.a. att den svenska ekonomin är fortsatt tydligt linjär.[50]

2.5.2 *Incitament behövs för att ställa om till en cirkulär ekonomi*

För att ställa om samhället till en cirkulär ekonomi med en högre grad av materialeffektivisering krävs styrmedel på både efterfrågesidan (konsumenterna) och utbudssidan (industrin och övriga näringslivet). Cirkulära affärsmodeller måste implementeras och vara lönsamma, och återvunnet material och biprodukter måste ha samma förutsättningar som jungfruligt material. I dagsläget föreligger en skev prissättningen där produktionen av jungfruligt material sällan bär sina negativa miljökostnader. Detta marknadsmisslyckande innebär att jungfruligt material produceras i för stor utsträckning jämfört med användningen av återvunnet material. Tillverkande bolag saknar i dag

[50] Material Economics, *Ett värdebeständigt svenskt materielsystem – En rapport om materialanvändning ur ett värdeperspektiv.*

också incitament att beakta de negativa effekter som materialval eller produktdesign har på materialvärdet vid återvinning.[51] Samtidigt kan innovationsrelaterade marknadsmisslyckanden[52] finnas som gör att satsningar på tekniker för en ökad materialeffektivitet och cirkulära affärsmodeller inte genomförs.

Regeringen har i sin handlingsplan för en cirkulär ekonomi ringat in fyra fokusområden med åtgärder för att främja omställningen. Det gäller (1) hållbar produktion och produktdesign, (2) hållbara sätt att konsumera och använda material, produkter och tjänster, (3) giftfria och cirkulära kretslopp och (4) åtgärder som främjar innovation och cirkulära affärsmodeller.[53]

Industriklivet breddas till att också omfatta strategiskt viktiga insatser för klimatomställningen

Ett styrmedel mot en mer cirkulär ekonomi är den breddning av Industriklivet som skedde under 2021. Genom Industriklivet kan nu stöd ges till ny teknik eller andra innovativa lösningar inom industrin som på ett väsentligt sätt bidrar till att minska växthusgasutsläppen i övriga samhället.[54] Motiveringen till utvidgningen är att industrin kan bidra till utsläppsminskningar i andra sektorer.

2.5.3 Stor potential finns för ökad återvinning av plast med betydande utsläppsminskningar som följd

I dag är det billigt att tillverka plast med jungfruliga råvaror (företrädesvis fossila), därför finns det inga större incitament att återvinna. Framtidsscenarier visar att upp till 70 procent[55] av produktionen inom EU kan ske med återvunnen plast i en framtid med hög cirkuläret, vilket förutsätter både mekanisk och kemisk återvinning av plast (läs mer i avsnitt 3.2.2). Potentialen för utsläppsminskning från att tillverka plast från jungfruliga material till återvunnet material är signifikant, 0,5 ton koldioxid per ton per återvunnen plast jämfört med 2,3 ton koldioxid vid tillverkningen av jungfrulig plast.[56]

Systematisk insamling samt mekanisk respektive kemisk återvinning möjliggör för en hög cirkularitet av plast

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 rent tekniskt är genomförbart med hjälp av *systematisk insamling av plastavfall* samt *mekanisk* respektive *kemisk återvinning*. Den mekaniska och kemiska återvinningen har potential att komplettera varandra. Skillnaderna mellan mekanisk och kemisk återvinning är t.ex. att mekanisk återvinning är mer energieffektiv men att den inte kan hantera alla plastströmmar som den kemiska återvinningen kan. I den mekanisk återvinning får det

---

[51] Ibid.

[52] Innovationsrelaterade marknadsmisslyckanden uppstår när den privata avkastningen på teknisk utveckling understiger den samhällsekonomiska, så att satsningarna på teknisk utveckling därmed blir för låga.

[53] Regeringskansliet, 2020. *Cirkulär ekonomi – Handlingsplan för omställningen av Sverige.*

[54] Innan breddningen 2021 var fokus i Industriklivet åtgärder för att minska industrins processrelaterade utsläpp samt för att uppnå negativa utsläpp.

[55] Material Economics, 2018.

[56] Ibid.

utgående materialet sämre kvalitet än det ingående, vilket gör att dess användningsområden begränsas. Så är inte fallet i den kemiska återvinningen där det utgående materialet får samma kvalité som jungfrulig råvara, vilket också gör att dess användningsområden ökar. Lär mer i avsnitt 3.2.2.

Första anläggningen för kemisk återvinning kan vara på plats till 2024

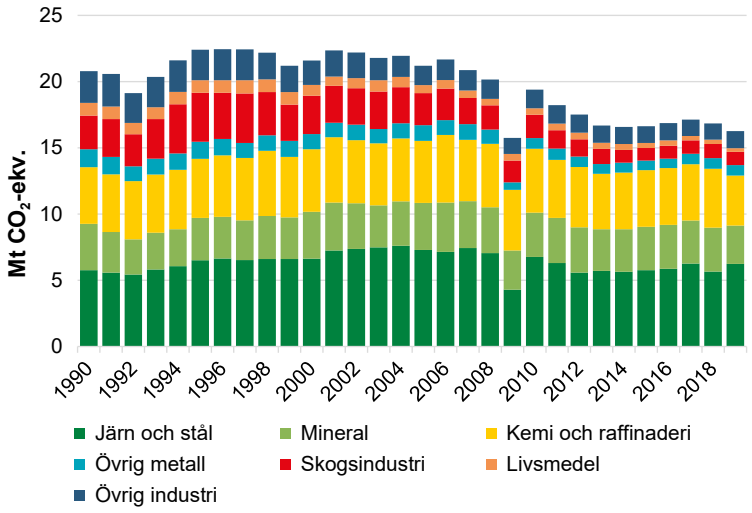
Den återvunna råvaran kan både användas till ny plast eller andra kemiprodukter och återvinning av plast är en väg för kemi- och raffinaderiindustrin att ställa om. Läs mer i avsnitt 3.2.2. Ökad materialåtervinning av plast gör också att mindre plast blir tillgängligt att förbränna för energiändamål, vilket kan minska utsläppen i energisektorn (denna plast måste dock ersättas med t.ex. biomassa). Förutsättningarna för Sveriges första anläggning för kemisk återvinning utreds nu och kan om studien faller väl ut vara på plats vid Borealis anläggning i Stenungssund redan 2024.[57] Även detta finns mer beskrivet i 3.2.2. Projektet har beviljats stöd inom Industriklivet genom breddning till strategiskt viktiga insatser för klimatomställningen i samhället.

[57] Energimyndighetens projektdatabas, P51956-1, diarienummer 2020-025110

3 Branscher inom industrin med stora processrelaterade utsläpp

Industrins totala utsläpp av fossila växthusgaser har minskat med 22 procent mellan åren 1990 och 2019. Utsläppen har sedan 2012 legat på en nivå om cirka 17 miljoner ton koldioxidekvivalenter, och utgjorde under 2019 cirka en tredjedel av Sveriges totala[58] fossila växthusgasutsläpp.[59] 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. 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.

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.



Figur 3. Industrins totala utsläpp av fossila växthusgaser fördelat på olika branscher, 1990–2019, miljoner ton koldioxidekvivalenter.

Källa: Naturvårdsverket och SCB,[60] 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 2019 så har användningen av interna bränslen inom raffinaderier imputerats med föregående års data.

[58] Dessa uppgick till knappt 51 miljoner ton koldioxidekvivalenter, exklusive LULUCF och internationella transporter.

[59] Naturvårdsverket och SCB, 2020.

[60] Naturvårdsverket och SCB, 2020.

Massa och pappersindustrin[61] är den bransch som minskat sina fossila växthusgasutsläpp mest under tidsperioden i absoluta tal, följt av övrig industri och livsmedelsindustrin. Massa- och pappersindustrin, står för hälften av industrins energianvändning under 2019, 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 2019. De utsläppsintensiva branscherna järn- och stålindustrin, raffinaderi och kemiindustrin, mineralindustrin samt övrig metall stod tillsammans för 84 procent av industrins totala fossila växthusgasutsläpp under 2019. 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[62] 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 i dag att kol och koks används för att minska syrehalten i järnmalmen. Det finns olika tekniker för reduktionssteget. I den så kallade Höganäsprocessen används direktreduktion som ger upphov till mindre utsläpp, men fortfarande används fossila råvaror. För att minska/eliminera utsläppen från masugnsprocessen utvecklas en ny process där direktreduktion sker med fossilfri vätgas. För Höganäsprocessen är den huvudsakliga inriktningen i dagsläget att ersätta fossila reduktionsämnen med biobaserade. Det finns även skrotbaserad stålframställning i Sverige, men utsläppen därifrån är förhållandevis små då stålskrot inte behöver genomgå en reduktionsprocess på samma sätt som stål framställd från järnmalm.

Järn- och stålindustrin omfattar en mängd olika verksamhetsområden och tillverkningsprocesser. De produkter som tillverkas längs produktionskedjan har ofta flera användningsområden, både som insatsvaror i andra processer och som slutprodukter. Produktionskedjan börjar med järnmalm som bryts i Sverige, vilken sedan både kan exporteras direkt eller vidareförädlas i Sverige till olika järn- och stålprodukter. 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 i dag tre huvudsakliga processpår för stål, nämligen malmbaserad produktion med masugn (masugnsprocessen) och tunnelugn (även kallad Höganäsprocessen) samt skrotbaserad produktion med ljusbågsugn.[63] Varje teknik består av olika processteg

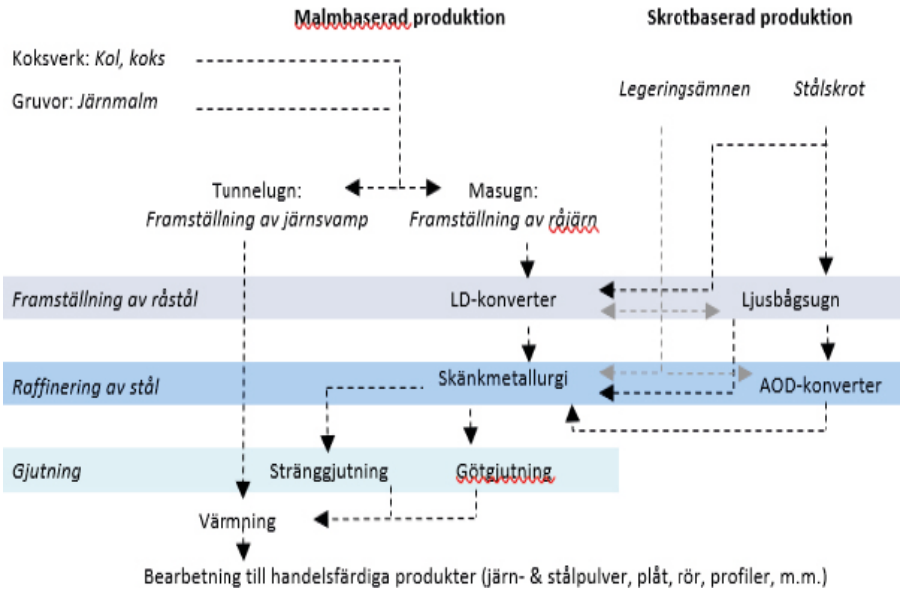
[61] I skogsindustrin ingår också grafisk produktion, men denna produktion står för en liten andel av branschens energianvändning och utsläpp.

[62] 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.

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

som ger upphov till olika stora utsläpp. De viktigaste stegen visas i Figur 4. För en mer utförlig genomgång av nuvarande processer inom järn och stålindustrin, se Bilaga 3.

Det 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.[64]



Figur 4. Processpår inom svensk järn- och stålindustri.

Källa: Jernkontoret[65], 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* då 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 och råjärn bildas, samtidigt som koldioxid avgår som utsläpp. Reduktionen kan ske när smältan är flytande och kallas då bara reduktion, och den kan ske när smältan är fast, vilket kallas för direktreduktion. Reduktion (dvs. med flytande smälta) används i masugnsprocessen och är mer utsläppsintensivt än direktreduktion, vilket används i Höganäsprocessen.

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. Utsläppen 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.[66]

---

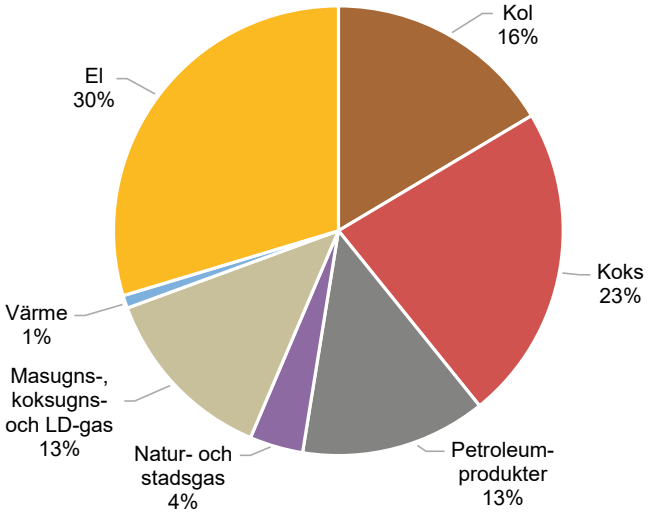
[64] Jernkontoret, 2019. *Fakta och nyckeltal om stålindustrin* 2019, samt Naturvårdsverket, 2019. *National Inventory Report Sweden 2019*, NIR 2019

[65] Jernkontoret, 2018. s.18.

[66] Jernkontoret, 2018.

3.1.1 Energianvändning och utsläpp av fossila växthusgaser

Den slutliga energianvändningen i järn- och stålindustrin, inklusive järnmalmsgruvor och koksverk, uppgick till 24 TWh under 2019, vilket motsvarade 15 procent av industrins totala energianvändning samma år.[67] Energianvändningen i branschen är störst i masugnsprocessen. Figur 5 visar hur energianvändningen var fördelad mellan olika energikällor under 2019.



Figur 5. Järn- och stålindustrins energianvändning, inklusive järnmalmsgruvor och koksverk, fördelat på olika energikällor, 2019, procent.

Källa: Energimyndigheten.[68]

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 stålframställningen och i olika bearbetningsprocesser, men även i de malmbaserade processerna. Naturgas och gasol används som bränsle i värmnings- och värmebehandlingsugnar. Petroleumprodukter används också i arbetsmaskiner och vid pelletstillverkning. Processer för att krossa och anrika järnmalm är nästan helt eldrivna i dag och ytterligare elektrifiering sker kontinuerligt vid reinvesteringar.[69,70]

[67] Notera att 24 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.

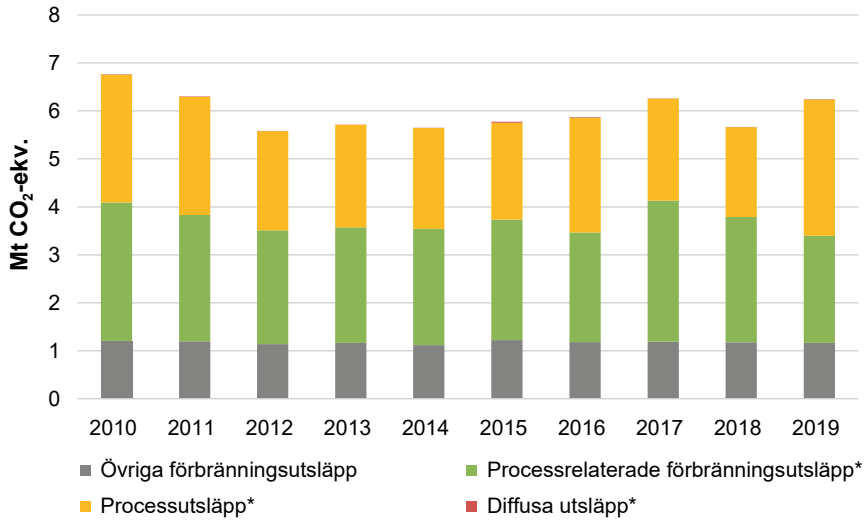
[68] Energimyndigheten, 2021a. Energibalans. https://www.energimyndigheten.se/statistik/den-officiella-statistiken/statistikprodukter/arlig-energibalans/ (hämtad 2021-05-30).

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

[70] Jernkontoret, 2018.

Majoriteten av utsläppen uppstår i magugnsprocessen

Järn- och stålindustrins utsläpp av fossila växthusgaser uppgick till 6,2 miljoner ton koldioxidekvivalenter[71] under 2019, vilket motsvarar 38 procent av industrins totala fossila växthusgasutsläpp. I Figur 6 visas branschens utsläpp fördelat på olika utsläppskategorier och över tid. Under 2019 var cirka 80 procent av branschens totala fossila utsläpp processrelaterade och resterande 20 procent utgjordes således av övriga förbränningsutsläpp. Utsläppen från järn- och stålindustrin är starkt kopplade till konjunkturen och kan därför variera år till år beroende på produktionsvolym och fördelningen mellan stålkvaliteter.



Figur 6. Järn- och stålindustrins utsläpp fördelat på olika utsläppskategorier, 2010–2019, miljoner ton koldioxidekvivalenter (kategorier markerade med * ingår i processrelaterade utsläpp).

Källa: Naturvårdsverket och SCB,[72] bearbetning av Energimyndigheten.

Anm 1: Järnmalmsbrytning (inklusive förädling och pelletstillverkning) samt framställning av ferrolegeringar ingår i Figur 5 men inte i Figur 6. 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.

Den stora majoriteten av processutsläppen uppstår i den masugnsbaserade järnproduktionen och kan främst härledas till när koks används som reduktionsmedel och frigör syre från järnet. Det bildas energirika fossila restgaser i processerna i koksverk, masugn och stålverk, vilka används som bränsle i processer, uppvärmningsugnar samt i efterföljande tillverkningssteg samt för el- och fjärrvärmeproduktion. Förbränningen av restgaserna är också är en stor källa till processrelaterade utsläpp.[73] Även från den s.k. Höganäs-

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

[72] Naturvårdsverket och SCB, 2021. Utsläpp av växthusgaser från industrin efter växthusgas, bransch och år. *Statistikdatabasen.* https://www.statistikdatabasen.scb.se/pxweb/sv/ssd/START__MI__MI0107/MI0107IndustriN/ (hämtad 2021-05-30).

[73] Naturvårdsverket och SCB, 2020.

processen[74] kan processutsläpp härledas, och även där från reduktionen av järn då koks används. Efterföljande processteg för att framställa stål av järnet ger också upphov till vissa processrelaterade utsläpp.

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.[75]

3.1.2 Järn- och stålindustrins väg mot nettonoll

I det här avsnittet beskrivs olika möjligheter att minska utsläppen från malmbaserad produktion, med utgångspunkt i den svenska järn- och stålindustrins förutsättningar. Den begränsade mängden stålskrot tillgänglig för återvinning i förhållande till efterfrågan på stål innebär att både järnmalm och skrot sannolikt kommer att behövas för att täcka efterfrågan på stål i framtiden. I dagsläget sker ungefär en tredjedel av stålframställningen med skrot som insatsvara.[76]

För masugnsprocessen finns två spår som i dagsläget är relevanta i en svensk kontext;

1. Huvudspåret för att ersätta masugnsprocessen är *vätgasbaserad direktreduktion,* vilket har potential att eliminera dagens utsläpp givet att vätgasen produceras fossilfritt samt att el och biokol används i efterföljande processteg.
2. Forskningsprojekt och verksförsök för att ersätta fossilt kol och koks med *biobaserade alternativ* pågår också, vilket kan vara ett komplement eller alternativ till vätgasbaserad direktreduktion.

För Höganäsprocessen är den huvudsakliga inriktningen i dagsläget att *ersätta fossila reduktionsämnen med biobaserade*.

Om tekniken för vätgasbaserad direktreduktion i masugnsprocessen med förnybar el och/eller biobaserad Höganäsprocess inte lyckas så kan *CCS* vara ett alternativ, men bedöms inte vara vägen framåt i dagsläget. Ett annat alternativ är att använda *elektrolys* vid reduktionen i järnframställningen, vilket man kommit långt med i t.ex. USA, men detta har inte varit fokus för teknikutvecklingen i Sverige.

Vätgasbaserad direktreduktion kan ersätta masugnsprocessen

Reduktion med vätgas går i korta drag ut på att järnmalmspellets direktreduceras (d.v.s. reduktion sker i fast form istället för i flytande) till järnsvamp som sedan smälts till råstål i en ljusbågsugn. Vätgasbaserad direktreduktion ger vatten som restprodukt i stället för koldioxid och processen ersätter alla de nuvarande stegen från järnmalmspellets till råjärn som visas nedan i Figur 7. Detta innebär också att dagens utsläpp från kokstillverkning och förbränning av restgaser försvinner. I stora drag liknar processen existerande teknik för direktreduktion, men med den viktiga skillnaden att vätgas används som huvudsakligt reduktionsmedel. Resultatet från den vätgasbaserade reduktionen blir s.k. järnsvamp, vilket är den produkt i fast form som är resultatet av direktreduktionen.

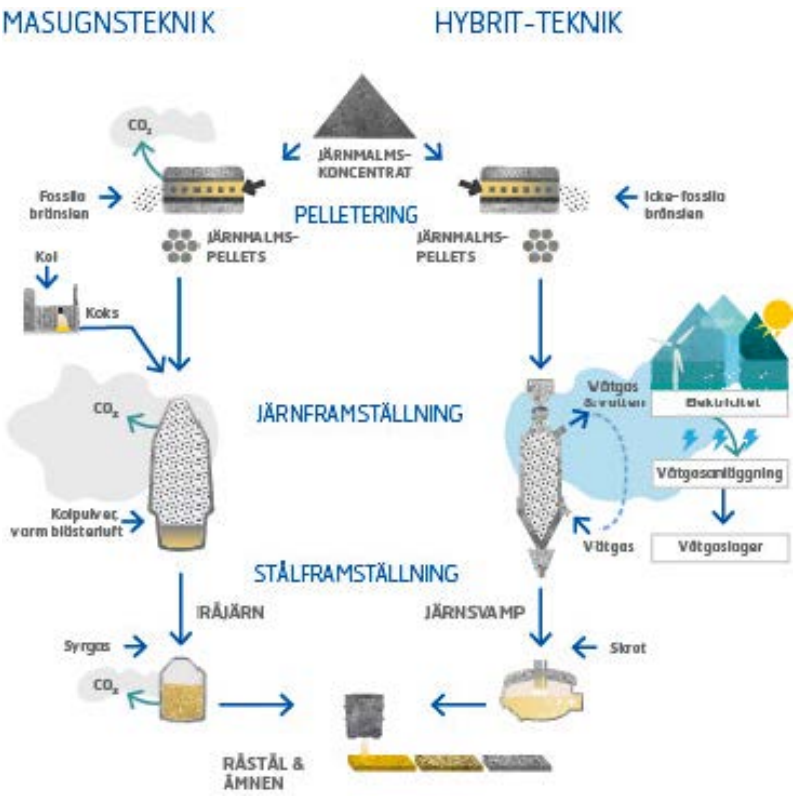
---

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

[75] Jernkontoret, 2018.

[76] Jernkontoret, https://www.jernkontoret.se/sv/stalindustrin/tillverkning-anvandning-atervinning/processer/ (Hämtad 2021-09-27)

Järnsvampen smälts sedan i en ljusbågsugn, som drivs med elektricitet, och blir till råstål. I Sverige är vätgas tänkt att produceras genom elektrolys med förnybar el. För många andra länder med mindre tillgång på förnybar el undersöks andra alternativ, så som naturgasproducerad vätgas kombinerat med infångning av koldioxiden genom CCS. I Figur 7 nedan visas en översikt av vätgasreduktionsprocessen som används i det svenska initiativet HYBRIT, (läs mer nedan), samt dess skillnader mot dagens masugnsprocess.



Figur 7. Processbeskrivning av direktreduktion med vätgas.
Källa: Hybrit Development AB.

En utveckling av storskalig elektrolysbaserad vätgasproduktion och lagring av vätgas är viktiga förutsättningar för framställningen av fossilfritt stål. Direktreduktion med vätgas producerad genom elektrolys kräver dock stora mängder el i jämförelse med masugnsprocessen vilket gör att tillgången på förnybar el är en förutsättning för teknikskiftet. Detta kräver stora satsningar på elproduktion och överföringskapacitet.

HYBRIT – fossilfri värdekedja med fossilfri vätgas och el

SSAB, LKAB och Vattenfall utreder tillsammans i ett gemensamt utvecklingsbolag, HYBRIT (Hydrogen Breakthrough Ironmaking Technology), möjligheten att ersätta masugnsprocessen med vätgasbaserad direktreduktion. Initiativet har som mål att utveckla den första fossilfria stålproduktionsprocessen i världen genom att göra hela värdekedjan från gruva till färdigt stål fossilfri med hjälp av förnybar el och fossilfri vätgas. Om projektet leder till en fullskaleanläggning så beräknas Sveriges fossila koldioxidutsläpp minska med 10 procent. HYBRIT omfattar i dag projekt inom områdena fossilfri järnmalmspellets, en pilot för direktreduktion av järnmalmspellets med vätgas,

en pilotanläggning för vätgaslagring samt smältningsförsök i pilotskala av järnsvamp i ljusbågsugn.[77] Utöver detta bedrivs också en omfattande forskningsverksamhet för att bygga upp kunskap och kompetens för att ta fram ett detaljerat tekniskt koncept för framställning av fossilfritt stål samt identifiera hur färdvägen för en sådan framställning ska se ut.

HYBRIT:s pilot har lyckats producera och leverera första fossilfria stålet

Under 2020 invigdes en pilotanläggning vid SSAB:s anläggning i Luleå som innefattar en direktreduktionsreaktor där reduktionen sker och en elektrolysör för produktion av vätgas med fossilfri el. I augusti 2021 lyckades projektet producera järnsvamp med den nya tekniken som sedan vidarebearbetades till färdigt stål och levererades till den första kunden, Volvokoncernen.[78] Testerna i labb- och pilotskala ska nu tas vidare i en demonstrationsanläggning som planeras i Gällivare kommun och vara klar 2026. Målsättningen med demonstrationsanläggningen är att få ut det första fossilfria stålet på marknaden. En förstudie[79] för demonstrationsanläggningen pågår.

HYBRIT bygger vätgaslager i pilotskala

För att minimera kostnaderna för den elintensiva vätgasframställningen så krävs att vätgasen produceras mer intensivt under perioder då elpriserna är förmånliga och lagras för att kunna nyttjas under perioder med högre elpriser.[80] HYBRIT utvecklar därför i ett pilotprojekt[81] teknik och kunskap om trycksatt vätgaslagring i bergrum samt ett lager i pilotskala. Syftet med projektet är att testa tekniken Lined rock cavern, (LRC, läs mer i avsnitt 2.2), i pilotskala för att säkerställa förutsättningarna för att lagra energi i form av trycksatt vätgas. Under 2021 påbörjades byggnadsarbetet av pilotlagret i ett bergrum i Luleå i direkt anslutning till HYBRIT:s pilotanläggning. Lagret beräknas vara i drift 2022–2024.[82]

SSAB i Oxelösund planerar för att byta ut masugn mot ljusbågsugn

SSAB har beslutat att masugn och koksverk i Oxelösund ska ersättas av en ljusbågsugn. Målet är att konverteringen ska vara klar till 2025 och att den ska kunna ta emot järnsvamp från HYBRIT:s demoanläggning. Råvara till Ljusbågsugnen kan utöver järnsvampen även vara skrot. För att tidsplanen ska hållas krävs att miljötillstånd för anläggningen och koncession för kraftledningen som behöver byggas fås i tid. Omställningen kräver stora mängder el och en ny högspänningsledning behöver byggas från stamnätet i Flen.[83] 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.[84]

---

[77] HYBRIT, *En fossilfri utveckling*, https://www.hybritdevelopment.se/en-fossilfri-utveckling/ (hämtad 2021-08-03)

[78] HYBRIT, *Världens första fossilfria stål färdigt för leverans*, https://www.hybritdevelopment.se/varldens-forsta-fossilfria-stal-fardigt-for-leverans/, (hämtad 2021-08-03)

[79] Energimyndighetens projektdatabas, P51570-1, diarienummer 2020-019555

[80] Behovet av lagerstorlek för vätgas inom HYBRIT uppskattas till motsvarande 2 veckors förbrukning.

[81] Energimyndighetens projektdatabas, P49149-1, diarienummer 2019-014194

[82] HYBRIT, *Vätgaslagring*, https://www.hybritdevelopment.se/en-fossilfri-utveckling/vatgaslagring/, (hämtad 2021-08-03)

[83] SSAB*, Fossilfritt stål en viktig möjlighet för Sörmland,* http://www.ssab.se/nyheter/2020/06/fossilfritt-stal-en-viktig-möjlighet-for-sormland, (hämtad 2021-09-02)

[84] SSAB, *Tidslinje för HYBRIT och fossilfritt stål*. https://www.ssab.se/ssab-koncern/hallbarhet/hallbar-verksamhet/hybrit-phases (hämtad 2021-08-03).

H2 Green Steel – ytterligare en svensk satsning på fossilfri stålproduktion

H2 Green Steel (H2GS) har påbörjat planeringen av en elektrolysanläggning för framställning av fossilfri vätgas i Boden. Företaget har beviljats stöd för en grundläggande teknisk planering (en s.k. ”FEED study”)[85] som ska ligga till grund för beslut och planering av nästa steg i bygg- och miljötillståndsprocessen. Planeringen innefattar två delar, varav den första är själva vätgasproduktionen och den andra innefattar samtliga processteg inom järn- och stålframställningen fram till färdig slutprodukt, i detta fall en handelsfärdig tunnplåt. För vätgasproduktionen kommer två kommersiella metoder för elektrolys[86] att övervägas och testas. Vätgasen kommer sedan att användas för direktreduktion av järnpellets. Anläggningen planeras att tas i drift 2024 och nå full produktionskapacitet under 2026.

Fossilt kol och koks kan delvis ersättas med fossilfria alternativ

Möjligheten att ersätta fossilt kol och koks med biobaserade alternativ undersöks i flertalet projekt världen över. För Höganäsprocessen är den huvudsakliga inriktningen i dagsläget att ersätta fossila reduktionsämnen med biobaserade. Även i den skrotbaserade stålproduktionen kan biokol användas för att minska utsläppen. Att använda biokol i masugnen kan både vara ett sätt att minska utsläppen under tiden som tekniken för vätgasbaserad direktreduktion utvecklas samt vara ett alternativ om utvecklingen av den vätgasbaserade tekniken inte skulle lyckas i stor skala. Ur ett globalt perspektiv kan båda teknikerna behövas.

Biomassa kan minska utsläpp i masugnen, men inte eliminera dem

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.[87] Däremot behövs fortsatt forskning för att hantera andra utmaningar. Då 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 skulle kunna ersätta fossilt kol och koks i masugnsprocessen.[88,89] Tester av biokol som reduktionsmedel i masugnen har bl.a. gjorts i projektet *BIO4BF*.[90]

---

85 Energimyndighetens projektdatabas, P52451-1, diarienummer 2021-016330

86 Alkaline Water Electrolysis (AWE) och Protone Exchange Membrane (PEM) elektrolys där den största skillnaden dem emellan ligger i den kemiska processen.

87 Swerea, *Vägen till en grön masugn.* https://www.swerim.se/cases/vagen-till-en-gron-masugn (hämtad 2021-09-02).

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

89 Jernkontoret, 2018.

90 Energimyndighetens projektdatabas, P44676-1, diarienummer 2017-009495

Biokol testas som reduktionsmedel i Höganäsprocessen

Cortus Energy har i ett samarbete med Höganäs AB och akademin påbörjat processen att producera fossilfritt stål i projektet *Probiostål*. Under 2018 invigdes en produktionsanläggning där restprodukter från skogsindustrin förgasas för att producera förnybar energigas (syntetgas) som ska ersätta naturgas i ståltillverkningen om försöken lyckas. Höganäs AB har under 2021 även påbörjat pilotförsök med biokol för järnreduktion. Syftet med projektet är att få svar på frågor gällande de långsiktiga effekterna av att använda biokol som reduktionsmedel inför att det implementeras i processen. I testerna ska 20 procent av koksen ersättas med biokol i framställningen av järnsvamp.[91]

Forskningsprojekt med syfte att ersätta delar av det fossila kolet med biokol i skrotbaserade stålverk

Swerim driver ett projekt med syfte att ersätta delar av kolet i ljusbågsugnarna i den skrotbaserade ståltillverkningen. Detta projekt syftar till att visa att det är möjligt att ersätta delar av det fossila kol som används i dag för legering i stålsmältan samt reduktion av metalloxider i chargemixen[92] med biokol. I Sverige finns sju skrotbaserade stålverk, som alla deltar i projektet tillsammans med forskningsinstitut och två biokolsproducenter. Målet i projektet är att i verksförsök visa att det är möjligt att ersätta upp till 100 procent av det fossila chargekolet med biokol, där chargekolet utgör drygt hälften av kolanvändningen i den skrotbaserad stålframställning. [93]

Utveckling av biokol för en hållbar kupolugn

Ett annat exempel är Bio4Cupola som drivs av Swerim AB där en metod för att delvis ersätta koks med biokol i kupolugnen (dvs. ugnen för uppsmältning av gjutjärn) hos Volvo Powertrains gjuteri i Skövde är under utveckling. 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.[94]

Elektrolys är en möjlighet att minska utsläppen inom järnproduktionen

Swerim ska i en studieundersöka elektrolys som är ett alternativ för att minska koldioxidutsläpp inom järnproduktion. Elektrolys har en låg klimatpåverkan när man använder förnybar el samt arbetar vid en låg temperatur. Det senare möjliggörs när man använder en elektrolyt med låg smältpunkt, vilket projektet planerar att göra. Projektets mål inkluderar studier av elektrolytisk reduktion av järnoxider/malmer och utveckling en elektrolysprocess för reduktion av järnmalm.[95]

---

[91] Energimyndighetens projektdatabas, P51957-1, diarienummer 2020-025559

[92] En charge är en fylld ljusbågsugn och en chargemix är den mix av råvaror som används för just den satsen (chargen).

[93] Energimyndighetens projektdatabas, P51591-1, diarienummer 2020–020043

[94] Energimyndighetens projektdatabas, P50878-1, diarienummer 2020-008292

[95] Energimyndighetens projektdatabas, P51242-1, diarienummer 2020-013682

Elektrolystekniken för järn har kommit längre i USA där Boston Metal har en demoanläggning och lyckats producera ett fossilfritt stål genom att reducera järnet genom elektrolys istället för i en ugn. Reducering med elektrolys är vanligt för andra typer av metaller där traditionellt kol använts som reduktionsmedel i form av kolanoder (se avsnitt 3.4.2 i Övrig metall).

CCS kan vara ett alternativ

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 vägen framåt för svenska anläggningar.[96]

I ett globalt perspektiv är det också möjligt att CCS/CCU inom stålindustrin kan behövas vid sidan av lösningar så som vätgasbaserad direktreduktion, biokol och elektrolys.

Vätgas ska minska förbränningsutsläpp vid tillverkning av skrotbaserat stål

Ovako Sweden AB, som producerar skrotbaserat stål, investerar i en elektrolysör i Hofors för produktion av fossilfri vätgas för uppvärmning av stål i tillverkningsprocessen[97] och på så vis ersätta fossila bränslen. En elektrolysör ska byggas för produktion av vätgas, (som är möjlig att skalas upp då de byggs i moduler), samt ett tillhörande vätgaslager. Samma teknik kunna användas vid värmebehandling i andra stålverk.[98]

3.1.3 Handel och marknad

Värdet av Sveriges import av järn och stål, järnmalm samt kol var drygt 55 miljarder kronor 2019. Varuexportens värde var cirka 95 miljarder kronor, varav knappt en fjärdedel inom järnmalm.[99] Det innebär att handelsnettot (varuexport minus varuimport) för branschen som helhet var positiv, med den största positiva skillnaden för järnmalm. En orsak till att det exporteras mycket mer järnmalm än vad som importeras är att delbranschen till stor del förädlar råvaror som finns i Sverige och sedan exporterar slutprodukterna.

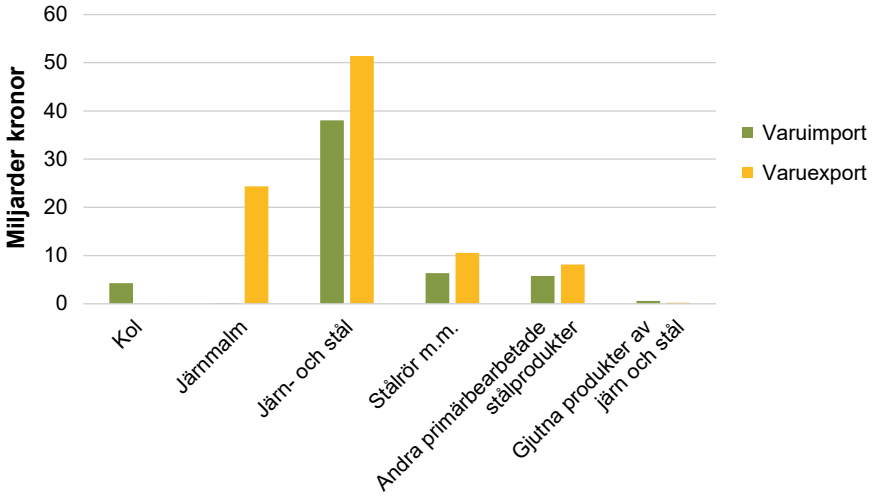
---

[96] Jernkontoret, 2018.

[97] Detta projekt avser att eliminera utsläpp i en ugn som används för varmvalsning (formning och varmhärdning) av stålet.

[98] Energimyndighetens projektdatabas, P52399-1, diarienummer 2021-013428

[99] SCB, 2021. 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 2021-09-15).



Figur 8. Import- och exportvärde per delbransch (SPIN), 2019, miljarder kronor.
Källa: SCB.[100]

Den största delen av handeln, både export och import, skedde med länder inom EU-27. Sveriges största exportland för hela branschen under 2019 var Tyskland följt av Finland, Norge och USA. På importsidan så importerar Sverige mest stål- och järnprodukter från Tyskland följt av Finland och Kina.[101]

Specialiserade svenska stålföretag verkar på en fragmenterad global marknad

År 2019 uppgick svensk råstålsproduktion till cirka 4,7 miljoner ton. Detta motsvarar knappt 0,3 procent av världsproduktionen och 3 procent av råstålsproduktionen inom EU-28. 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.[102,103]

Sveriges stålindustri är alltså liten ur ett globalt perspektiv, men viktig inom de marknadsnischer företagen valt att specialisera sig på.[104] 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.[105]

---

[100] SCB, 2021. 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 2021-09-15).

[101] Eurostat 2021, 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 2021-09-15).

[102] World steel association, 2020. *World steel in figures2020*

[103] World steel association, 2021. *World steel in figures2021*

[104] Jernkontoret, 2018.

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

Ett exempel på specialiseringen är den största svenska producenten av råstål, SSAB. SSAB[106] 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.[107]

Sverige är EU:s största producent av järnmalm

Sverige är EU:s största järnmalmsproducent och stod 2019 för nästan 90 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 bland de 10 största exportörerna i världen 2019.[108] Järnmalmsmarknaden styrs av efterfrågan på stål, som i sin tur beror av världsekonomins utveckling.[109] En viktig drivkraft för metallmarknaderna är infrastrukturutveckling, till exempel byggande av bostäder, transportleder, fordon, telekommunikation.[110]

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[111] och specialprodukter.[112]

3.2 Raffinaderier och kemiindustrin

Raffinaderier och kemiindustrin står för cirka en fjärdedel av industrins fossila växthusgasutsläpp, varav 80 procent består av processrelaterade utsläpp. Både raffinaderier och kemiindustrin hanterar stora flöden av fossil råvara i sina processer, vilket genererar betydande mängder fossila restgaser. Restgaserna återanvänds som energi i processerna och ger upphov till fossila växthusgasutsläpp. Utsläpp från i dag fossil vätgasproduktion i raffinaderierna utgör också en stor del av utsläppen. Omställningen av dagens kemi och raffinaderiindustri kan generellt delas in i fyra delar: återvinning av material, byte av råvaror från fossilbaserade till biobaserade, fossilfri vätgas och koldioxidavskiljning.

Inom kemiindustrin är den petrokemiska industrin mest utsläppsintensiv. Tillverkning av petrokemiska produkter och tillverkning i raffinaderier[113] 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 raffinaderierna och kemiindustrin hanterar stora fossila flödena i sina processer, vilket genererar stora mängder fossila restgaser som i sin tur ger upphov till växthusgasutsläpp. För en mer genomgående beskrivning av processerna i raffinaderi- och kemiindustrin, se Bilaga 3.

---

106 Hela SSAB, inklusive verksamhet utanför Sverige.

107 SSAB 2020, *Årsredovisning 2019*.

108 World Steel Association, 2021.

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

110 Ahnberg m.fl, 2013.

111 Fines är fint krossad järnmalm som sammanfogas till större stycken (sintras) under hög temperatur

112 LKAB, 2020.

113 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.

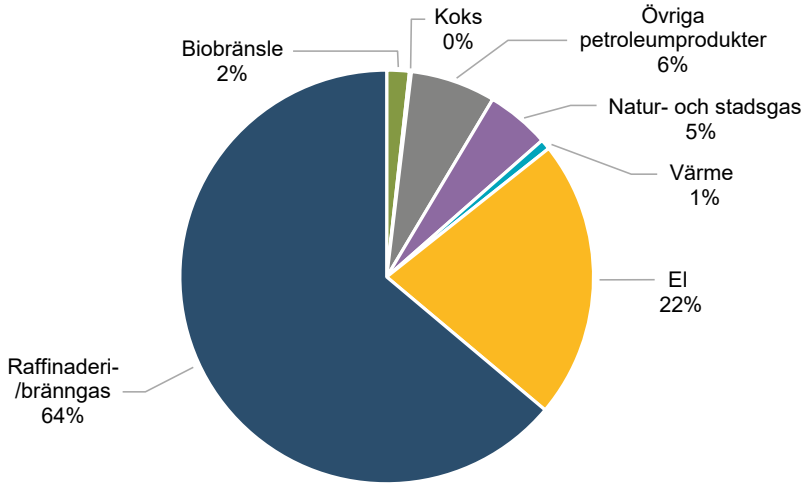
I oljeraffinaderier tillverkas olika gasformiga, flytande och fasta bränslen samt andra petroleumprodukter såsom icke-energivarorna smörjolja, bitumen och petroleumkoks. Trögflytande petroleumprodukter såsom bitumen och smörjoljor används i vägarbeten respektive som smörjmedel i maskiner eller fordon. 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 tensider och mjukgörare för PVC (polyvinylklorid som är en plastsort som används i t.ex. rör och kablar) och i olika lack- och färgapplikationer. Den elektrokemiska industrin tillverkar genom elektrolys t.ex. väteperoxid som används för blekning av pappersmassa och natriumbikarbonat används framförallt som ingrediens i tvättmedel. Andra produkter är de mer välkända kemikalierna saltsyra och klor.

Övrig kemisk industri omfattar många olika typer av tillverkningsprocesser och slutprodukter, exempelvis läkemedel, och står för en mindre del av branschens utsläpp och energianvändning. Därför beskrivs inte övrig kemisk industri mer ingående här.

3.2.1 *Energianvändningen och utsläpp av fossila växthusgaser*

Raffinaderier och kemiindustrin använde tillsammans knappt 24 TWh energi 2019, vilket utgjorde cirka 15 procent av energianvändningen inom industrin. I siffran ingår dessa branschers egenanvändning och fackling av raffinaderi-/bränngas. I Figur 9 visas fördelningen mellan olika energibärare under 2019.



Figur 9. Raffinaderiers och kemiindustrins (inklusive läkemedelsindustrins) energianvändning fördelat på olika energikällor, 2019, 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 2019 så har användningen av interna bränslen inom raffinaderier imputerats med föregående års data.

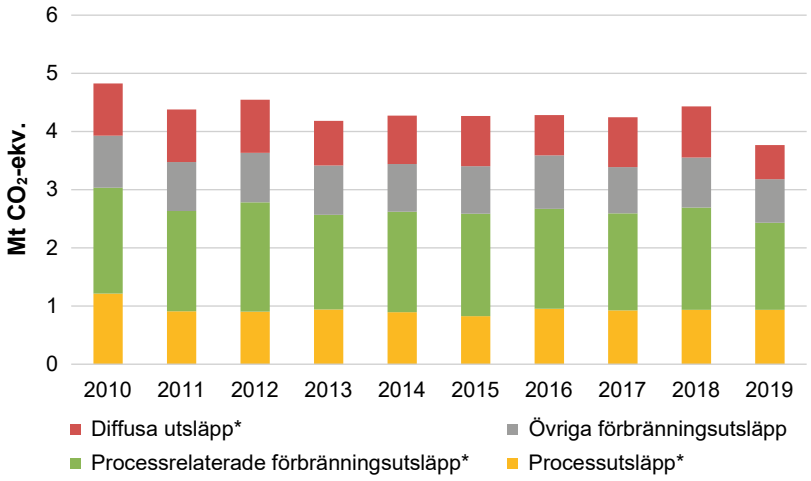
[114] Energimyndigheten, 2021a.

I raffinaderier och kemiindustri (framförallt den petrokemiska) används energi för att värma upp stora flöden av fossil råolja som genom att genomgå flertalet produktionsprocesser resulterar i olika produktströmmar. För att läsa mer om produktionsprocesser i raffinaderi- och kemiindustrin, se Bilaga 3. Energin för att driva perocesserna består till stor del av interna restgaser (i Figur 9 benämnda som raffinaderi-/bränngas). 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.

El 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.

Utsläppen kan till stor del härledas till förbränning av fossila restgaser

De totala fossila växthusgasutsläppen för raffinaderier och kemiindustrin uppgick till runt 3,8 miljoner ton koldioxidekvivalenter under 2019. Detta motsvarade en knapp fjärdedel av industrins totala fossila växthusgasutsläpp samma år. Utsläppen minskade med cirka 15 procent mellan 2019 och 2018, vilket framför allt berodde på att två raffinaderier hade planerade underhållsstopp. Figur 10 visar fördelningen mellan olika kategorier av fossila växthusgaser.



Figur 10. Raffinaderiers och kemiindustrins utsläpp av fossila växthusgaser fördelat på olika utsläppskategorier, 2010–2019, 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 2018–2019 så har användningen av interna bränslen inom raffinaderier imputerats med ett genomsnitt för föregående år.

[115] Naturvårdsverket och SCB, 2021.

De processrelaterade utsläppen utgör 80 procent av branschens utsläpp. Största utsläppskategorin utgörs av branschens förbränning av interna restgaser.[116] Vätgasproduktionen vid raffinaderier ger också upphov till 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. Processutsläpp uppstår i kemiindustrin, framförallt vid destillering och krackning av nafta, etan, propan och butan.

3.2.2 Raffinaderi- och kemiindustrins väg mot nettonoll

Centralt för att kunna minska branschens utsläpp är att minska de fossila utsläppen från användningen av fossila restgaser. 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:

- *Återvinning av material.*
- *Byte av råvaror från fossilbaserade till biobaserade.*
- *Fossilfri vätgas.*
- *CCS/CCU.*

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. Exempel på samarbeten är Hållbar Kemi 2030[117] 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[118] som syftar till att öka samverkan mellan industri och forskning inom svensk kemiindustri för utveckling av hållbara kemikalier, material och processer.

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 rent tekniskt är genomförbart med hjälp av *systematisk insamling* samt *mekanisk* respektive *kemisk återvinning*. Den mekaniska och kemiska återvinningen har potential att komplettera varandra.[119]

---

[116] Beräkningen bygger dock på antaganden om raffinaderiernas förbränning av interna bränslen

[117] Kemiföretagen Stenungssund, *Kemiföretagen Stenungssund,* http://kemiforetagenistenungsund.se/ (Hämtad 2021-09-04)

[118] SusChem Sweden, *Plattformen för hållbar kemikalieindustri, https://www.ivl.se/vart-erbjudande/forskning/kemikalier/suschem-sweden---plattformen-for-hallbar-kemikalieindustri.html* (Hämtad 2021-09-04)

[119] Naturvårdsverket, 2021. *Kemisk återvinning av plast – Teknik, flöden och miljöaspekter*, rapport 6990.

I dag är det billigt att tillverka plast med jungfruliga material (företrädesvis fossila), därför finns det inga större incitament att återvinna. Efterfrågan börjar emellertid öka på cirkulära produkter, liksom förväntningarna på skärpt lagstiftning, vilket ökar intresset för återvinning i kemiindustrin.

Mekanisk återvinning

I dag används främst mekanisk återvinning, där materialet sönderdelas och smälts, vilket i allmänhet är mindre energikrävande och mer kostnadseffektivt än kemisk återvinning. Därför är mekanisk återvinning att föredra då det är möjligt, men den ställer krav på de ingående materialens renhet och kvalitet. I den mekaniska återvinningen sjunker kvaliteten (mer eller mindre), och det återvunna materialet får lägre kvalitet än det ingående materialet.[120] Därför går endast den kvalitetsmässigt bästa delen av det insamlade materialet till återvinning i dag, då marknaden efterfrågar den typen av råvara.[121]

Det finns en stor potential till att utöka sortering av plast för materialåtervinning. Då stora mängder plastavfall förbränns tillsammans med övrigt restavfall blir de flöden som lämpar sig för mekanisk återvinning, (plast med hög kvalité), relativt små. Detta blir till ett moment 22 för den mekaniska återvinningen. De små flödena ger inte en tillräckligt stabil situation för större användare av den återvunna råvaran. Återvunnen råvara efterfrågas därför inte av dessa och incitamenten för återvinnare att öka insamlingen blir låga.[122]

Begränsningar med den mekaniska återvinningen är som ovan nämnt att kvaliteten på det utgående materialitet sjunker, vilket den gör ännu mer om plaster av olika kvalitet blandas. Därför begränsas den mekaniskt återvunna plastens användningsområden och livslängd. Exempelvis kan inte plasten använda till avancerade applikationer såsom kabelmaterial eller för livsmedelskontakt. En annan begränsning är att denna teknik kräver relativt homogena och rena materialströmmar och inte kan hantera exempelvis laminerade produkter.

Kemisk återvinning

Kemisk återvinning innebär att polymerkedjorna i plasten bryts ner till sina ursprungliga molekyler, vilka sedan kan användas för att tillverka ny plast eller andra kemiska produkter. Kemisk återvinning är ett samlingsnamn för flertalet olika tekniker, såsom pyrolys, förgasning och depolymerisation. De olika teknikerna skiljer sig något i vilka material som är möjliga att återvinna. Teknikerna har provats i pilotskala och nu är det snarare en fråga om att applicera, anpassa och optimera teknikerna till kommersiellt gångbara lösningar.[123]

Hindren har främst varit att investeringar i tekniken är stora och riskfyllda. Processerna kräver höga temperaturer och reaktionsämnen för att fungera, vilket medför både stora

---

[120] Plast har olika kvaliteter som beror på hur lång polymerkedjan är, en lång kedja innebär en bättre kvalitet. Då det saknas strukturerade insamlingar av de olika kvaliteterna hos plaster betyder det att dålig kvalitet och bra kvalitet ibland 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.

[121] Naturvårdsverket, 2021.

[122] Ibid.

[123] Naturvårdsverket, 2021.

fasta och rörliga kostnader.[124] Andra hinder för den kemiska återvinningen är att lagar, styrmedel och infrastruktur är baserade på att plast tillverkas från fossil råvara och sedan återvinns via mekanisk återvinning så långt det är möjligt, eller förbränns. Aktörer efterfrågar långsiktiga styrmedel som går mot återvunnen råvara och återvinning av plast, inklusive kemisk återvinning, istället för som nu mot fossila råvaror och förbränning.[125]

Kemisk återvinning kan öka efterfrågan på insamlad plastråvara och öka incitamentet för utsortering (som skulle kunna användas för både kemisk och mekanisk återvinning). Kemisk återvinning kan dessutom bidra med att få fram högvärdiga produkter av återvunnet material, vilket den mekaniska inte klarar av. Till skillnad från mekanisk återvinning är inte plastens kvalitet en faktor i kemisk återvinning. Då plasten bryts ner till sina beståndsdelar kan plaster av sämre kvalitet också användas. Den återvunna råvaran får samma kvalitet som om ny råvara hade använts och kan sedan användas för tillverkning av ny plast eller andra kemiprodukter liksom för avancerade applikationer där den mekaniskt återvunna plasten inte kan användas. Den möjliggör också återvinning av mer komplexa plaster, som inte kan återvinnas i dag.[126]

Förutsättningarna för kemisk återvinning utreds i Stenungssund

Borealis[127], Stena Recyling[128] och Fortum Waste Solutions[129] genomför förstudier för att utreda möjligheterna för uppförande av en anläggning för kemisk återvinning av plast via pyrolys i Stenungssund. Detta är ett första steg mot att ställa om råvarubasen mot en återvunnen råvara. Målet med ett plastreturraffinaderi i Stenungssund är att anläggningen ska kunna förse Borealis kracker med pyrolysolja via inblandning och som substitut för delar av den fossila naftan som används i dag. Studien ska utvärdera vad som är optimal teknik för integration med Borealis krackeranläggning samt aspekter kring råvaruströmmar, miljö och klimat. Målsättningen med projektet är att leverera underlag för att möjliggöra beslut om att gå vidare till slutgiltig studie och investering. Enligt Borealis kan ett plastreturraffinaderi, vilket skulle vara det första i Sverige[130], vara på plats redan år 2024 om förstudien faller väl ut.

Bioråvaror

Marknaden för biobaserade alternativ till fossila råvaror och/eller produkter växer med en ökande efterfrågan och skärpta krav i lagstiftningen. Dessa framställs genom nya eller existerande produktionsprocesser. Utvecklingen innebär stora satsningar på forskning och utveckling för att kunna framställa och implementera biobaserade alternativ, både för process- och produktutveckling.

---

124 SOU 2018:84. *Det går om vi vill. Förslag till en hållbar plastanvändning,* Stockholm 2020

125 Naturvårdsverket, 2021.

126 Ibid.

127 Energimyndighetens projektdatabas, P51956-1, diarienummer 2020-025110

128 Energimyndighetens projektdatabas, P51962-1, diarienummer 2021-000220

129 Energimyndighetens projektdatabas, P52674-1, diarienummer 2021-036071

130 Andra initiativ som kommit långt inom kemisk återvinning ChemCycling som är startat av kemiföretaget BASF för att producera produkter från kemiskt återvunnen plast. Ett annat projekt är ett samarbete mellan Green Point Norge (som driver ett återvinningsföretag) och Quantafuel AS (som ska stå för den kemiska återvinningen). I Quantafuels process omvandlas plasten till gas som sedan ska uppgraderas till ny petrokemisk plastråvara av kemijätten BASF.

Utmaning att utveckla biogena råvaror med samma egenskaper som fossila

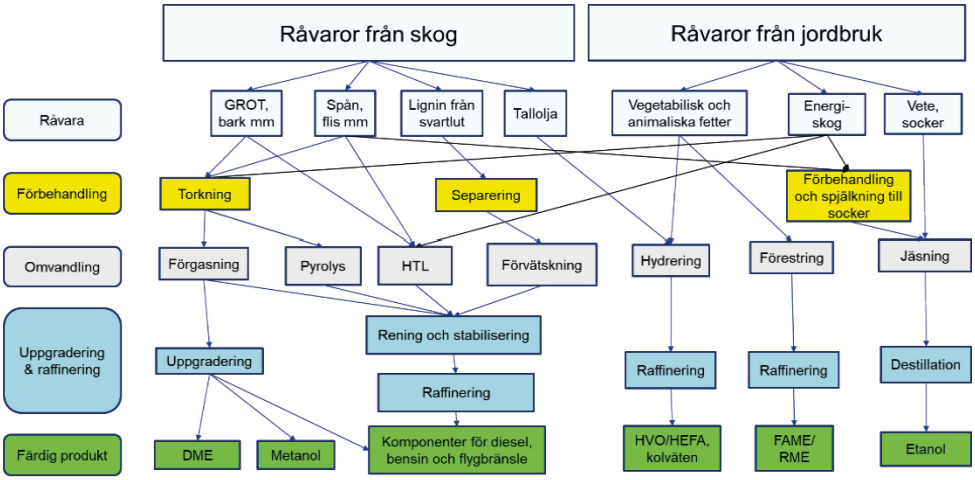
En utmaning är att utveckla en ekonomisk och materialeffektiv omvandling av bioråvaran till byggstenar som kan ersätta fossila råvaror i existerande processer eller användas i nya processer. Sådan omvandling innebär ofta flera bearbetningssteg och dess komplexitet beror ofta på vilken råvara som används samt vilken produkt som ska framställas. En förutsättning för att bioråvaran, t.ex. en bioolja, ska kunna användas i existerande processer är att den har liknande egenskaper som den fossila råvara som den ska ersätta. Biooljorna behöver därför förbehandlas innan de kan vidareförädlas i nuvarande raffinaderi- och kemiprocesser, som är optimerade utifrån fossila råvarors egenskaper, till t.ex. drivmedel, kemikalier eller material. Det finns i dag flertalet processvägar för att omvandla biomassa till mellanprodukter, såsom biooljor. Mellanprodukterna kan sedan användas inom kemi- och raffinaderiindustrin för olika ändamål. Exempel på sådana processvägar är jäsning, förgasning, pyrolys, ligninseparering och hydrotermisk förvätskning.

Utvecklingen av biodrivmedelsproduktionen i Sverige

Efterfrågan på biodrivmedel ökar i Sverige i takt med bl.a. ökande kvotnivåer i reduktionsplikten. En väg för att möta detta är att ställa om befintlig raffinaderiindustri till att förädla råvaror av biogent ursprung istället för fossilt. Både Preem och St1 har aviserat att de ämnar att både bygga om befintliga anläggningar för att kunna förädla biogena råvaror samt bygga nya anläggningar för biodrivmedelsproduktion.

I dag är de biodrivmedel som används i Sverige till största delen importerade, liksom råvaran som används till dessa. Det finns potential för ett ökat hållbart uttag av biomassa i Sverige. Potentialen består till största delen av ett ökat uttag av grenar och toppar (grot) samt restprodukter från skogsindustrin (bark, sågspån och lignin). Gemensamt för dessa råvaror är att de är rika på lignocellulosa[131]. Lignocellulosa kan omvandlas till biodrivmedel, men för att det ska kunna vara möjligt krävs andra, mer avancerade tekniker än för att omvandla socker, stärkelse och oljor, dvs. råvaror till dagens konventionella biodrivmedel. Nya tekniker är också nödvändiga för att producera biodrivmedel som är fullt ut kompatibla med bränslestandarderna för bensin och diesel, något som är särskilt utmanande för biobensin. Figur 11 nedan visar processvägar som bedöms vara möjliga i perspektivet 2030. Energimyndigheten bedömer potentialen för inhemska biodrivmedel med inhemska lignocellulosarika råvaror till 10 TWh i perspektivet 2030, under förutsättning att ytterligare styrmedel införs för främjande av de nya teknikerna.

[131] lignin, cellulosa och hemicellulosa i varierande proportioner.



Figur 11. Processvägar för biodrivmedel från olika typer av råvaror.
Källa: Energimyndigheten.

De tekniker som kommit längst baseras på produktion av biooljor i anslutning till massabruk och sågverk som sedan behöver förädlas till färdiga drivmedel i ett raffinaderi. Det krävs dock fortsatt teknisk utveckling genom hela produktionskedjan från råvara till färdigt biodrivmedel. Läs mer i utredningen *Styrmedel för nya biodrivmedel*.[132]

Fossilfri vätgas

Vätgas är redan i dag en viktig råvara i raffinaderiindustrin där den främst används för behandling av såväl fossila som biobaserade bränslen. Inom kemisk industri ingår vätgas bl.a. som råvara vid produktion av ammoniak, metanol, polymerer och lösningsmedel. I dag tillverkas vätgas främst genom reformering av fossila bränslen (naturgas och kol), En fossilfri vätgasproduktion kan ske genom elektrolys, under förutsättning att elen är fossilfri. Läs mer om reformering och elektrolys för vätgasproduktion i avsnitt 3.2.

Elektrolys förekommer redan i dag i en mindre skala inom industrin, framförallt inom baskemikalieindustrin. Det finns många andra möjliga tillämpningar av elektrolystekniken, som kan minska användningen av fossila råvaror i kemi och raffinaderiindustrin och därmed utsläppen, under förutsättning att elen är fossilfri.

Vätgasbehovet ökar i raffinaderierna

Vätgasanvändningen i raffinaderiprocesserna väntas öka i och med omställningen till biogena råvaror. Uppskattningsvis går det åt 3–4 gånger så mycket vätgas vid förädling av biomassa som vid förädling av fossil råolja.[133] 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 för detta samt andra kommande utvecklingsprojekt.[134] Därför är Preems huvudspår för omställningen för raffinaderiet nu att använda

[132] Energimyndigheten, 2021c, *Styrmedel för nya biodrivmedel – Behov av utformning av styrmedel för att främja biodrivmedel med nya tekniker*, ER2021:22

[133] Fossilfritt Sverige, 2020. *Strategi för fossilfri konkurrenskraft- Vätgas*, https://fossilfrittsverige.se/wp-content/uploads/2021/01/Vatgasstrategi-for-fossilfri-konkurrenskraft-1.pdf

[134] Energimyndighetens projektdatabas, P46970-1, diarienummer 2018-006654

biogas i befintliga processer, kombinerat med CCS (se nästa stycke). Detta under förutsättning att utmaningen med tillgång och kostnad för biogasen kan lösas[135] Elektrolystekniken kan däremot vara möjlig på Preems raffinaderi i Lysekil och en studie pågår för att se över förutsättningarna för storskalig vätgasproduktion där.[136] St1 undersöker också möjligheten att ersätta produktionen av vätgas från naturgas med vätgas producerad via elektrolys på sitt raffinaderi i Göteborg.[137]

Flera projekt med vätgas på gång i kemiindustrin

Företaget Nouryon undersöker förutsättningarna att ersätta den fossila vätgasen med vätgas från elektrolys i sin produktion av väteperoxid som sker vid två anläggningar i Sverige. Även Borealis utreder möjligheten att använda vätgas från elektrolys i sin process (krackern), istället för den fossila gasen som används i dag.[138]

CCS – infångning, transport och lagring av koldioxid

Inom kemi- och raffinaderiindustrin kan koldioxidavskiljning och lagring vara aktuellt som ett sätt att hantera de koldioxidutsläpp som uppstår. För en genomgång av tekniken, se avsnitt 2.4. Utveckling av CCS inom raffinaderi- och 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 fortsätter arbetet med CCS

Ett steg på väg mot Preems mål om nettonoll utsläpp till 2045 är genom att tillämpa CCS, och målet är en fullskalig anläggning i Lysekil till 2025.[139] Ett demonstrationsprojekt hos Preems raffinaderi i Lysekil inleddes i februari 2019 och fortgår till december 2021. Projektet ska ta fram underlag för att kunna designa en fullskalig CCS-anläggning och beräknar att det på sikt finns en potential att fånga in 400 000 ton koldioxid årligen. Resultaten från projektet är hittills positiva och cirka 90 procent av koldioxiden från rökgaserna från vätgasproduktionen har kunnat fångas in.[140] Preem är också involverat i ett infrastrukturprojekt med syfte att skapa förutsättningar för en effektiv distributionskedja, dvs. infångning, transport och lagring av koldioxid, i Göteborgsregionen[141], vilket finns beskrivet i mer detalj i avsnitt 4.3.2.[142]

---

135 Preem, 2020. *Hållbarhetsredovisning 2020, https://www.preem.se/globalassets/om-preem/hallbarhet/preem_hallbarhetsredovisning_2020_sve.pdf*

136 Energinyheter, *Vattenfall och Preem fortsätter samarbet kring fossilfri vätgas till biobränslen,* https://www.energinyheter.se/20210713/24467/vattenfall-och-preem-fortsatter-samarbete-kring-fossilfri-vatgas-till-biobranslen (2021-09-04)

137 Fossilfritt Sverige, 2020.

138 Ibid.

139 Preem, 2020.

140 Energimyndighetens projektdatabas, P47607-1, diarienummer 2018-014060

141 Energimyndighetens projektdatabas, P 50892-1, diarienummer 2020-008345

142 Preem, *Case: CCS minskar co2-utsläppen.* https://www.preem.se/om-preem/hallbarhet/stabil-ekonomi/CCS-minskar-CO2-utslappen/ (Hämtad 2019-07-31)

CCU – koldioxiden används som råvara

Genom CCU kan koldioxid infångas, återvinnas och användas som råvara vid produktion istället för att direkt släppas ut. På detta sätt kan både utsläppen och behovet av ny fossil råvara minska. Om biogen råvara används kan negativa utsläpp uppnås, men det beror på hur de nya produkterna används, läs mer i avsnitt 2.4.3.

Perstorp planerar göra hållbar metanol genom CCU

Kemiföretaget Perstorp tillsammans med Fortum och Uniper planerar en investering i en anläggning för produktion av klimatneutral metanol.[143] Projektet går under namn ”Project Air” och har som ambition att ersätta den fossila metanolen som Perstorp varje år köper in till produktionen, mot egenproducerad klimatneutral metanol som tas fram genom att utnyttja restströmmar och fånga in och använda koldioxid från produktionen. Bolagen har fått stöd från Industriklivet och söker därutöver stöd för projektet inom EU:s innovationsfond. Besked från fonden väntas under sista kvartalet 2021. Anläggningen planeras att vara i drift 2025 och kommer då att minska koldioxidutsläppen med ungefär 500 000 ton per år, vilket motsvarar de årliga utsläppen från Sveriges inrikesflyg.

Elektrobränslen och elektrokemikalier

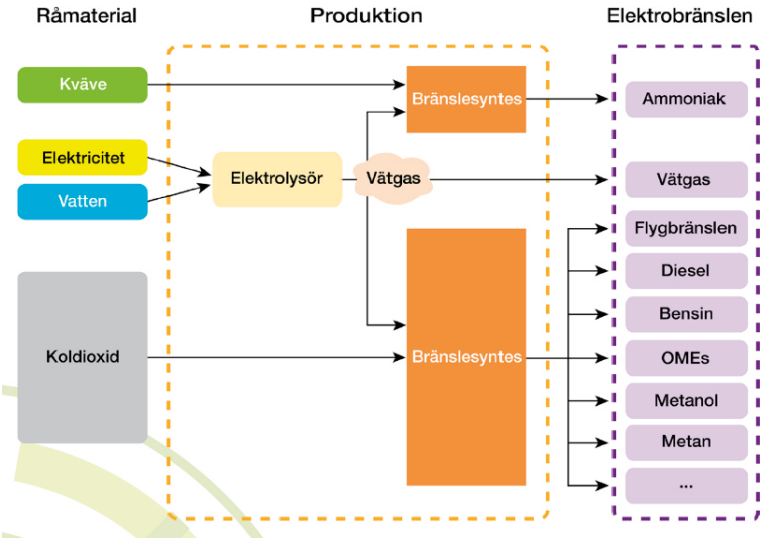
Elektrobränslen eller *elektrokemikalier* (samlingsnamn för olika syntetiska bränslen eller kemikalier) framställs genom att vätgas som produceras genom elektrolys av vatten får reagera med koldioxid, (eller kväve), för att bilda exempelvis metanol, bensin, ammoniak och eten. Dessa kan sedan i sin tur användas i önskad produkt. För att producera elektrobränslen och elektrokemikalier behövs både tillgång till förnybar el och en lämplig koldioxidkälla. Koldioxiden kan vara infångad från exempelvis industrins rökgaser, dvs. CCU tillämpas.

Anläggning för produktion av elektrobränsle kan vara på plats 2025

Elektrobränslen är möjliga att producera utan råvaror av fossilt ursprung. De går att använda i flertalet transportslag, men kan framförallt vara ett alternativ i de transportsektorer där elektrifiering är svår att genomföra, såsom i flyg och fartyg. Deras största tekno-ekonomiska utmaningar i dag är låg energieffektivitet och höga produktionskostnader. Konceptet elektrobränslen är ett relativt nytt begrepp och produktionssteg för framställning av vissa elektrobränslen är fortfarande under utveckling. Vätgas producerad genom elektrolys är i sig ett elektrobränsle, men det är också en insatsvara till att göra andra elektrobränslen. Figur 12 nedan visas olika processvägar för att producera elektrobränslen.[144]

[143] Energimyndighetens projektdatabas, P52508-1, diarienummer 2021-019840

[144] Svenskt kunskapscentrum för förnybara drivmedel f3, *Faktablad elektrobränslen,* https://f3centre.se/sv/faktablad/elektrobranslen/ (Hämtad 2021-09-04)



Figur 12. En förenklad bild över möjliga processvägar för produktion av elektrobränslen.
Källa: Svenskt kunskapscentrum för förnybara drivmedel, f3.

Ett exempel på projekt inom detta område är St1 som har genomfört en genomförbarhetsstudie inför ett pilotprojekt för produktion av elektrometanol i Finland. Ett elektrobränslekoncept kan implementeras på företagets bioraffinaderi i Göteborg tidigast 2025. Företaget Liquid Wind utvecklar en process för att tillverka elektrometanol i Skandinavien. En första fabrik planeras i anslutning till ett kraftvärmeverk i Örnsköldsvik och metanolen ska framställas av vindkraftsbaserad el samt koldioxid från biobränsleeldning. Även Jämtkraft har planer på att framställa elektrobränsle vid ett av sina kraftvärmeverk. Danmark satsar stort på elektrobränslen och har som målbild att redan om tio år kunna producera 30 procent av Danmarks flygbränslebehov. [145]

3.2.3 Handel och marknad

I Sverige finns det fem raffinaderier.[146] Preem står för cirka 80 procent av raffinaderikapaciteten och äger två av raffinaderierna.[147] För kemiföretagen så ligger ett viktigt baskemikluster i Stenungssund där flera företag samlats kring en krackeranläggning.[148]

Stor import av fossila råvaror

Importen i raffinaderi och kemiindustrin var knappt 307 miljarder kronor 2019 och exporten var 286 miljarder kronor. Branschen har alltså ett negativt handelsnetto (exportvärdet minus importvärdet). Delbranscherna raffinaderi och baskemi samt läkemedel är störst även när det kommer till handel. De stod tillsammans för knappt

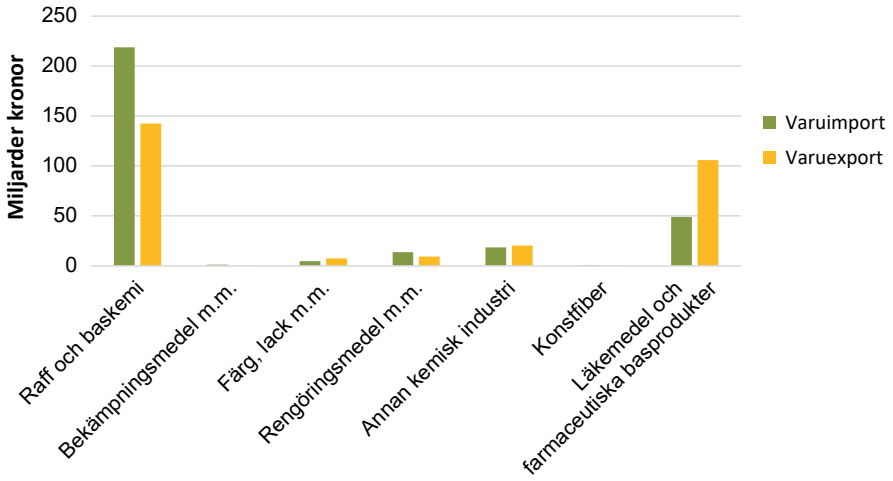
[145] Övik Energi, *Övik Energi inleder samarbete med Liquid Wind,* https://www.mynewsdesk.com/se/oevik-energi/pressreleases/oevik-energi-inleder-samarbete-med-liquid-wind-2877584 (Hämtad 2021-09-06)

[146] Naturvårdsverket, 2019.

[147] Preem, 2019. *Årsredovisning 2019, https://www.preem.se/globalassets/om-preem/finansiell-info/arsredovisningar/2019/preem_arsredovisning_2019_sve.pdf*

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

90 procent av både import- och exportvärdet.[149] Runt 50 procent av branschens totala import och export skedde från och till länder inom EU-27. Norge, USA och Tyskland var de största mottagarna av den svenska exporten och Norge, Ryssland och Tyskland de länder som Sverige importerade mest från under 2019.[150]



Figur 13. Import- och exportvärde per delbransch (SPIN), 2019, miljarder kronor.
Källa: SCB.[151]

3.3 Mineralindustrin

Mineralindustrin stod för en knapp femtedel av industrins totala fossila växthusgas-utsläpp under 2019. Cirka 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 kalksten används som råvara. Huvudspåret för att minska utsläppen i cement-produktionen 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 användnings-områdena 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.[152] Av kalk görs även t.ex. bränd kalk och krossad kalksten som kan användas i stålproduktion samt 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.

149 SCB, 2021

150 Eurostat, 2021.

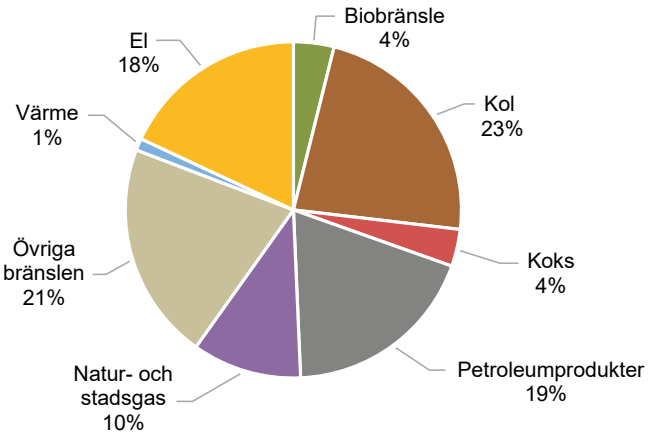
151 SCB, 2021

152 Cementa, 2018. *Färdplan cement – för ett klimatneutralt betongbyggande.* Cementa Heidelberg-Cement Group: Fossilfritt Sverige.

Cementproduktion är den delbransch som har högst fossila växthusgasutsläpp inom mineralindustrin och är därför mer i fokus här än övriga delbranscher. För att se en beskrivning av huvudsakliga steg i cementproduktionen, se Bilaga 3.

3.3.1 *Energianvändning och växthusgasutsläpp*

Mineralindustrins energianvändning uppgick till drygt 5,2 TWh under 2019, vilket motsvarar cirka tre procent av industrins totala energianvändning.[153] Detta är en minskning med 0,5 TWh jämfört med 2018, vilket förklaras med en minskad produktion av cement och klinker.[154] Minskningen i energianvändningen var mest tydlig för kol. Figur 14 visar fördelningen mellan olika energibärare.



Figur 14. Mineralindustrins energianvändning fördelat på olika energikällor, 2019, procent

Källa: Energimyndigheten.[155]

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 mer än hälften av mineralindustrins energianvändning av fossila energikällor under 2019. 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 62 procent avfallsbaserade bränslen under 2020, varav 23 procent var biobaserade. Detta är en fördubbling av andelen avfallsbaserade bränslen sedan 2010 och en 75 procentig ökning för den biobaserade andelen.[156]

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

[154] Cementa stängde cement- och klinkerfabriken i Degerhamn i april 2019 och centrerar istället produktionen till sina större fabriker.

[155] Energimyndigheten, 2021a.

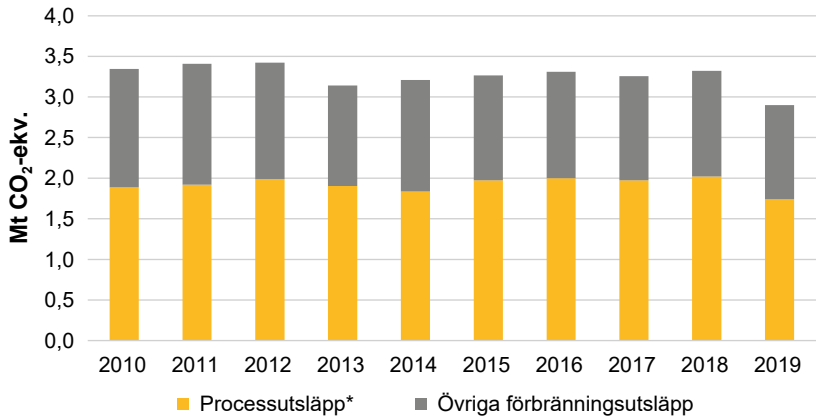
[156] Från mailkontakt med Cementa.

Utsläppen kommer främst från kalcineringsprocessen i cementproduktionen

Totalt uppgick mineralindustrins utsläpp av fossila växthusgaser till 2,9 miljoner ton koldioxidekvivalenter under 2019, vilket motsvarade en knapp femtedel av industrins totala utsläpp. Branschens totala utsläpp har minskat med 13 procent under 2019 jämfört med 2018, vilket beror på en minskad produktion av cement och klinkers.[157] De processrelaterade utsläppen har minskat med ungefär samma procentsats.

Av branschens totala fossila koldioxidutsläpp var cirka 60 procent processrelaterade under 2019 och resterande utgjordes av övriga förbränningsutsläpp, se Figur 15. De processrelaterade utsläppen kan nästan uteslutande härledas till cement- och kalkproduktionen och uppstår när kalksten hettas upp kraftigt, det vill säga kalcineras[158]. Produktionen av cement och kalk stod också för cirka 80 procent av de övriga förbränningsutsläppen.

Cementproduktionen är den mest utsläppsintensiva delbranschen. Två tredjedelar av de fossila växthusgasutsläppen i cementproduktionen kan härledas till kalcineringen. Den resterande tredjedelen kommer från de bränslen som används för att värma upp cementugnen.[159] För en utförligare beskrivning om nuvarande processer i cementindustrin, se Bilaga 3.



Figur 15. Mineralindustrins utsläpp av fossila växthusgaser fördelat på olika utsläppskategorier, miljoner ton koldioxidekvivalenter, 2010–2019 (kategorier markerade med * ingår i processrelaterade utsläpp).

Källa: Naturvårdsverket och SCB,[160] bearbetning av Energimyndigheten.

Ur ett livscykelperspektiv kan utsläppen i cementindustrin vara lägre än de direkta utsläppen på grund av en kemisk process som kallas för karbonatisering. Karbonatisering innebär att betongstrukturer tar upp koldioxid i ytskiktet.[161] I dag får koldioxidupptag i betongstrukturer inte tillgodoräknas som negativa utsläpp i klimatrapporteringen.[162]

---

157 Cementa stängde cement- och klinkerfabriken i Degerhamn i april 2019 och centrerar istället produktionen till sina större fabriker.

158 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.

159 Cementa, *Nollvision för koldioxid,* https://www.cementa.se/sv/nollvision2030 (Hämtad 2021-08-30)

160 Naturvårdsverket och SCB, 2021.

161 Cementa, 2018.

162 IPCC, 2006.

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. Viktiga frågor är karbonaternas stabilitet över tid och vad som händer vid t.ex. rivning av konstruktionen/byggnaden.

3.3.2 Mineralindustrins väg mot nettonoll

I Färdplan cement[163] presenterar cementindustrin en vision för hur produktionen kan bli utsläppsneutral till 2030. Utsläppen ska enligt färdplanen minskas genom;

- koldioxidavskiljning följt av geologisk lagring eller återanvändning (CCS/CCU),
- utfasning av fossila bränslen,
- fortsatt energieffektivisering,
- ersätta viss del av den kalkstensbaserade cementklinkern med andra restmaterial,
- forskning kring ett ökat koldioxidupptag hos befintliga betongstrukturer (karbonatisering).

CCS bedöms som nödvändigt så länge som kalksten används

Då stora delar av utsläppen från produktion av kalk och cement uppstår när kalkstenen omvandlas till klinker går det inte att reducera dessa koldioxidutsläpp så länge som cement produceras med kalksten. Därför bedömer branschen att CCS är nödvändigt för att minska utsläppen från produktionen. Cementa nämner även i sin färdplan att CCU är aktuellt. Läs mer om tekniken för CCS och CCU under avsnitt 3.4.

CCS snart verklighet på Cementas systerbolags anläggning i Norge

Cementas norska systerbolag, Norcem, driver tillsammans med ECRA (European Cement Research Academy) ett stort projekt kring CCS vid Norcems cementfabrik i Brevik, Norge. Planen är att bygga en fullskalig anläggning för cementproduktion med koldioxidavskiljning med en kapacitet att fånga in och lagra 400 000 ton årligen till 2024. I slutet på 2020 beviljade norska staten finansiering till fullskaleprojektet Longship där Norcem ingår, (läs mer i avsnitt 4.3.1), vilket var en förutsättning för investeringsbeslutet från Norcems sida.[164,165]

I det norska projektet föll valet, efter flertalet pilotförsök, på en efter-förbränningsteknik 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.[166] Infångningsnivån uppges i praktiken vara upp till 90 procent. Denna första generations 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. Mer energieffektiv teknik är under utveckling och har bland annat testats i de norska pilotprojekten.[167]

---

[163] Cementa, 2018.

[164] Heidelberg cement, *Storskalig satsning på koldioxidavskiljning i Norden blir verklighet ett stort steg närmare klimatneutreal,* https://www.heidelbergcement.se/sv/storskalig-satsning-pa-koldioxidavskiljning-i-norden-blir-verklighet-ett-stort-steg-narmare-klimatneutral-betong (Hämtad 2021-08-19)

[165] Norcem, *CCS Brevik,* https://www.norcem.no/no/CCS_Brevik (Hämtad 2021-08-19)

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

[167] Cementa, 2018.

Cementa i förstudie om CCS som kan bli verklighet till 2030

Cementa planerar att genomföra en studie vilken är tänkt att lägga grunden för att fabriken i Slite ska implementera CCS till 2030. Exempelvis måste det utredas hur eltillförseln kan säkras då effektuttaget beräknas bli fem gånger större än i dag. Studien kommer att baseras på forskning och erfarenheter från kommande CCS-anläggning hos systerbolaget Norcem i Norge.[168]

Elektrifiering och biobränslen kan minska förbränningsutsläpp och förbättra möjligheterna för CCS

Inom cement- och kalkproduktion uppstår även utsläpp från förbränning av fossila bränslen vid uppvärmning av ugnar. Förbränningsutsläppen kan minska genom att byta ut de fossila bränslena mot andra uppvärmningsalternativ.

Cementa arbetar kontinuerligt med att ersätta fossila bränslen i cementproduktionen med bio- och avfallsbaserade bränslen. Vid sidan av detta arbetar Cementa tillsammans med diverse universitet och företag inom initiativet CemZero med att undersöka möjligheten att elektrifiera uppvärmningen inom cementproduktionen. Om uppvärmningen i cementproduktionen kan elektrifieras skulle utsläppen från fossila bränslen kunna elimineras. Dessutom skulle det göra avskiljning av koldioxid mer effektiv och därigenom minska kostnaderna för CCS.[169]

Kalkproducenten Nordkalk undersöker möjligheterna att blanda in biobränsle i befintligt system för uppvärmning av ugnarna i sina två fabriker för bränd kalk. Målet är att uppnå en andel om 46 procent förnybara energibärare vid projektets slut.[170]

Effektivisering kan bidra till minskade utsläpp, men inte eliminera dem

Det pågår även projekt för att effektivisera cementtillverkningen, vilket kan ge minskade processutsläpp. Ett projekt 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[171]. En sådan implementering är 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.[172]

Restmaterial och alternativa bindemedel kan minska utsläppen från cement- och betongindustri

Ett annat sätt att minska utsläppen från cementindustrin är att ersätta delar av kalkstensklinkern i cementen med alternativa restmaterial, till exempel flygaska eller slagg. På så sätt behöver mindre kalksten användas för samma mängd cement vilket i förlängningen också ger en betong med mindre klimatavtryck. Cement används i betong som bindemedel, dvs. som ett klister, som håller ihop de övriga materialen som består av grus, sand, sten och vatten. Betongbolagen har i sin tur börjat att byta ut delar av cementen mot mer hållbara alternativ för att reducera koldioxidavtrycket från sin produkt.

---

168 Energimyndighetens projektdatabas 52610-1, diarienummer 2021-028441

169 Energimyndighetens projektdatabas 45367-2, diarienummer 2019-008655.

170 Energimyndighetens projektdatabas 47198-1, diarienummer 2018-009037.

171 5500 ton koldioxid per år för Nordkalks anläggning i Storugns och 3500 ton koldioxid per år för Cementas anläggning i Slite.

172 Energimyndighetens projektdatabas 44643–3, diarienummer 2019–022013

Cementa ersätter en del av kalkstenen i cement med andra material

Cementa ersätter i genomsnitt nästan 17 procent av kalkstensklinkern med andra material i sin cement. [173,174] Sverige har dock fortfarande en högre andel kalkstensklinker i sin cement än medelvärdet i Europa som är 73 procent.[175] Forskning pågår för att hitta nya typer av material för att ersätta kalkstensklinkers i cement. Deras roll i omställningen begränsas dock av omfattningen av de utsläppsminskningar de erbjuder och en begränsad tillgång på råvaror. I allmänhet är tillgången lägst för de ämnen som har högst potential att minska utsläppen så som puzzolaner (vulkanisk aska) samt lera och skiffer.[176,177] Det kalla svenska klimatet kan också utgöra en speciell utmaning eftersom det medför högre krav på beständighet.[178] Även regleringar, standarder etc. påverkar användningen av alternativa material i stället för kalkstensklinker.[179] RISE undersöker i ett projekt möjligheterna att ta fram en cementsort med lägre klimatpåverkan genom att kombinera aska från havreskal med oreaktiva slagger från stålindustrin.[180]

Betongbolagen ersätter viss andel cement i betongen med restprodukter

Även betongindustrin utforskar möjligheter till att producera mer klimatsmart betong genom att ersätta en viss del av cementen, som fungerar som bindemedel i betongen, med andra material. Exempelvis har både Skanska och Swerock lanserat betong som har lägre klimatbelastning genom att cementen delvis ersatts av slaggprodukter från järn- och ståltillverkning.[181,182] Att minska andelen cement i betongen genom att använda restprodukter från andra branscher, t.ex. masugnsslagg, är resurseffektivt på systemnivå. Samtidigt är användningen av masugnsslagg endast en temporär lösning på medellång sikt om direktreduktion med vätgas implementeras storskaligt inom järn- och stålindustrin, vilket skulle minska tillgången på masugnsslagg.[183] Det pågår även försök av andra företag att blanda in en viss typ av sand i betongen för att minska behovet av bindemedel och därmed minska betongens klimatavtryck.[184]

---

173 Vilket innebär en klinkerandel på 83,1 procent. Notera att detta är ett viktat genomsnitt mellan cementen som produceras i Skövde och på Slite. Den nya Slite bascementen ska enligt hemsidan ha en lägre kalkstensklinkerhalt än tidigare cementsorter.

174 Från mailkontakt med Cementa.

175 Karlsson I., Toktarova A., Rootzén, J. och Odenberger, M., 2020. Technical Roadmap – Cement industry. Mistra Carbon Exit

176 Som kan omvandlas till puzzolaner genom kalicifiering.

177 Material Economics, 2019.

178 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)

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

180 Energimyndighetens projektdatabas 48844-1, diarienummer 2019-008729

181 Skanska, *Grön betong för en hållbar framtid.*

182 Infrastrukturnyheter, 2020-11-24, *Swerock lanserar miljöbetong från nyöppnad fabrik,* https://www.infrastrukturnyheter.se/20201124/23847/swerock-lanserar-miljobetong-fran-nyoppnad-fabrik (Hämtad 2021-08-20)

183 Karlsson, Toktarova, Rootzén och Odenberger. 2020.

184 Cementa, *Klimatanpassad betong här är listan,* https://www.cementa.se/sv/klimatanpassad-betong-har-ar-listan (Hämtad 2020-08-20)

RISE försöker ersätta kalksten med lera för en koldioxidsnål betong

På forskningsnivå har RISE i sitt labb lyckats producera provbitar av betong där upp till 30 procent av kalkstenen i cementen har ersatts av en lera (illitlera) som har bra egenskaper i cement. Lera ger inte upphov till koldioxidutsläpp och behöver inte heller lika hög uppvärmning vid tillverkningen. Detta skulle resultera i betydligt mer koldioxidsnål cement, och i förlängningen betong, om metoden visar sig fungerar även i stor skala.[185]

3.3.3 Handel och marknad

Cementa är det enda företaget som tillverkar cement i Sverige.[186] Cementa ingår i koncernen HeidelbergCement som är den näst största cementproducenten i världen.[187,188] Den svenskproducerade cementen står för cirka 85 procent av den svenska marknaden för cement.[189] 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. Global Cement har uppskattat att mindre än tre procent av den globala produktionen handlas internationellt.[190]

Utrikeshandeln är störst för de produkter med låga utsläpp

Importvärdet inom mineralindustrin var cirka 21 miljarder kronor och exporten var cirka 9 miljarder kronor under 2019, se Figur 16.[191] Detta innebär att handelsnettot (exportvärdet minus importvärdet) var negativt och detta gäller för alla delbranscher förutom slipmedel. Som kan ses i Figur 16 så är glas och glasvaror den delbransch som står för den största importen av varor, men står även för en stor andel export jämfört med andra delbranscher. Sverige importerar även en del betong-, cement- och gipsvaror. Delbranschen cement, kalk och gips, som är den delbransch där flest processrelaterade utsläpp finns, står för endast tre 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.

---

185 Plusquellec, G., Babaahmadi, A., L'Hopital, E. och Mueller, U., 2021, *Activated clays as supplementary cementitious material,* RISE Report 2021:25, ActivatedclaysasSCM-Slutrapport.pdf

186 Cementa, 2018.

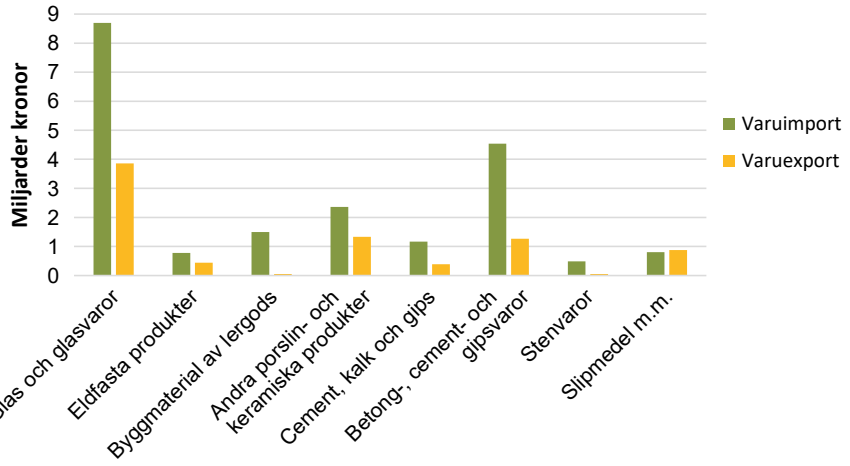
187 Ibid.

188 Heidelberg Cement, *HeidelbergCement,* https://www.heidelbergcement.com/en/company (Hämtad 2020-08-04)

189 Seminarium, Klimatneutral processindustri, 2017-05-03

190 Karltorp, Bergek, Fahnestock, Hellsmark och Ulman, 2019, *Statens roll för klimatomställningen i processindustrin.* RISE rapport 2019:15, https://www.ri.se/sites/default/files/2019-09/Statens%20roll%20f%C3%B6r%20klimatomst%C3%A4llning%20i%20processindustrin_RISE%20rapport%202019_15.pdf

191 SCB, 2021.



Figur 16. Import- och exportvärde per delbransch (SPIN), 2019, miljarder kronor.
Källa: SCB.[192]

Sverige export, som är relativt begränsad inom denna bransch, var ungefär lika stor inom EU[193] som utanför. De största exportländerna är Norge, Danmark och Finland medan Tyskland, Polen och Danmark är de länder som Sverige främst importerar mineralprodukter från.[194]

3.4 Övrig metall inklusive övriga gruvor

Övrig metall stod under 2019 för knappt 5 procent av industrin totala fossila växthusgasutsläpp, och drygt 86 procent var processrelaterade. Primär och sekundärframställning av koppar, zink, bly och aluminium står för majoriteten av utsläppen. Utsläppen kan främst härledas till kol ock koks som används vid framställning av metallerna, plastrester i insamlad skrot, vid återvinning av bly från batterier och utvinning av zink från restmaterial. För att minska utsläppen utreds alternativ till fossila insatsvaror, såsom vätgas, biokol och inerta anoder, samt CCS/CCU.

I branschen övrig metall, inklusive övriga gruvor, ingår framställning 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. Även om utsläppen är mindre jämfört med de andra branscherna som ingår så är majoriteten av övrig metalls utsläpp processrelaterade, vilka inte går att komma åt genom bränslebyten. Framställning av koppar och bly[195] samt aluminiumstår för den största delen av de processrelaterade utsläppen inom övrig metall och är därför 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 malm som innehåller flera metaller (s.k. komplex-

[192] SCB, 2021.

[193] Detta gäller för EU-27 (dvs. dagens medlemsländer).

[194] Eurostat, 2021.

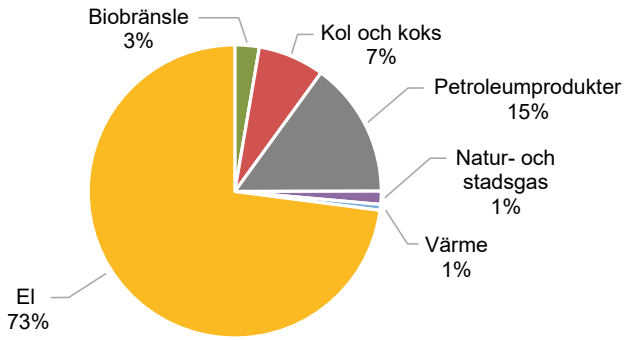
[195] Flera andra metaller framställs i delbranschen, men koppar och bly är de huvudsakliga. Läs mer i Bilaga 3.

malm), ett smältverk för malm- och skrotbaserad metallframställning samt Nordens enda smältverk för återvunnet bly. Boliden arbetar både med brytning och vidareförädling av malm samt med återvinning av elektronikskrot och kasserade blybatterier. Boliden bryter även zink i Sverige som sedan anrikas i företagens anläggningar i Norge och Finland. Zink utvinns även från restmaterial på Bolidens anläggning och från stål-produktion i Sverige som sedan skickas till Norge för vidareförädling. De flesta bas-metaller som produceras säljs vidare till andra industrikunder för vidareförädling till slutprodukter. Koppar används främst för att producera och leda elektricitet. Bly används framförallt i batterier.

Aluminium produceras antingen från bauxitmalm, som importeras till Sverige, eller genom återvinning av insamlat aluminiumskrot. Det finns en anläggning i Sverige som producerar aluminium från malm som ägs av företaget Kubal och det finns ytterligare ett antal företag som tillverkar aluminium från skrot. Aluminium har många olika användningsområden, exempelvis till burkar, bilar och flygplan.

3.4.1 Energianvändning och utsläpp av fossila växthusgaser

Branschens energianvändning uppgick till cirka 5,7 TWh under 2019, vilket motsvarar knappt 4 procent av industrins totala energianvändning. Figur 17 visar fördelningen mellan olika energibärare.



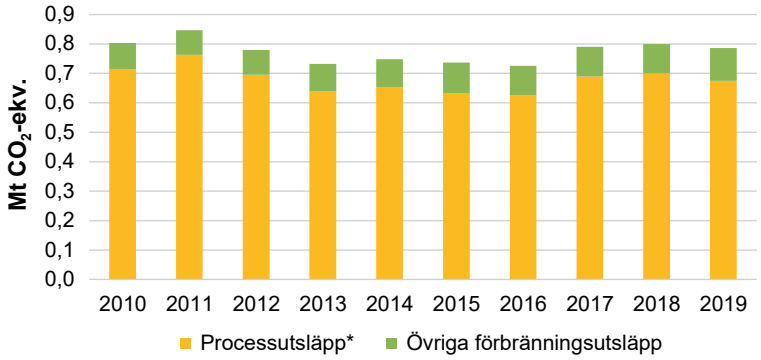
Figur 17. Energianvändningen i övrig metall fördelat på olika energikällor, 2019, procent.
Källa: Energimyndigheten.[196]

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 petroleum-produkter används bland annat för blyframställning. Kol och koks är viktiga energi-bärare i övriga metall och används t.ex. i elektrolys av aluminiumoxid.

Hög andel av utsläppen inom branschen är processrelaterade

Branschens totala utsläpp av fossila växthusgaser uppgick till cirka 0,8 miljoner ton koldioxidekvivalenter under 2019, vilket motsvarar knappt 5 procent av industrins totala utsläpp av fossila växthusgaser. Andelen processrelaterade utsläpp av branschens totala fossila växthusgasutsläpp uppgick under 2019 till cirka 85 procent och resterande utgjordes av övriga förbränningsutsläpp, se Figur 18.

[196] Energimyndigheten, 2021a.



Figur 18. Övrig metalls utsläpp av fossila växthusgaser fördelat på olika utsläppskategorier, miljoner ton koldioxidekvivalenter, 2010–2019 (kategorier markerade med * ingår i processrelaterade utsläpp).

Källa: Naturvårdsverket och SCB,[197] 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.

För bly och aluminium krävs, likt för järn, ett reduktionssteg vid primärframställningen. Detta görs i dagsläget med fossila reduktionsmedel, så som kol och koks, som reagerar med syret och binder det till sig, vilket resulterar i koldioxidutsläpp. För primärframställning av koppar så härrör koldioxidutsläppen från när kolet i kopparkoncentratet oxideras i den initiala delen av processen. Se Bilaga 3 för mer detaljer kring tillverkningsprocesserna.

Stora processutsläpp uppstår också vid återvinning av bly, elektronikskrot, samt vid utvinning av zink från restmaterial (se nedan). Övriga processutsläpp i branschen kommer från framställning av järnlegeringar[198] och i magnesiumgjuterier.

Återvinning av metaller innebär inte nödvändigtvis mindre utsläpp

Även om återvinning av aluminium innebär betydligt lägre utsläpp av koldioxid än vid primärframställningen så ser det inte likadant ut för alla metaller. Återvinning av koppar från elektronikskrot genererar stora utsläpp eftersom det är svårt att separera plast i t.ex. kretskort vilket gör att plasten förbränns[199] och ger upphov till fossila utsläpp. I takt med att kapaciteten för att ta hand om elektronikskrot har ökat så har även dessa typer av utsläpp gått upp.[200] Detta gör att koldioxidavtrycket för primär- och sekundärkoppar ur ett livscykelperspektiv uppskattas vara lika stora vid Bolidens anläggning i Rönnskär[201]. För bly krävs reduktion även vid återvinningen av blybatterier eftersom det innehåller delar som består av blydioxid (dvs. oxiderat bly) som måste reduceras igen. Utvinning av zink från restmaterial (stoft från ståltillverkningen) har högre koldioxidavtryck än

197 Naturvårdsverket och SCB, 2021.

198 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.

199 Delvis återvunnet som bränsle och delvis i rökgaserna.

200 Naturvårdsverket, 2019. *National inventory report 2019*

201 Räknat från gruva till att Boliden säljer det vidare (”from cradle-to-Boliden-gate”).

primärframställning. Detta då det krävs reduktion vid användningen av zinkrika stofter medan tillverkning från primär råvara inte kräver reduktion.[202,203]

3.4.2 Övrig metalls väg mot nettonoll

Övriga metallindustri består av tillverkning av en rad olika metaller så som bly, aluminium, koppar och zink med unika tillverkningsprocesser. I Sverige finns det endast ett fåtal aktörer inom branschen vilket gör att de får ett stort ansvar för forskning och utveckling.

Då de stora processutsläppen härrör från den kol eller koks som används i processerna så finns i dagsläget potential till utsläppsreduktion främst i användningen av mer *hållbara reduktionsmedel och råvaror,* t.ex. genom användning av biokol, fossilfri vätgas eller inerta anoder. Förutom förändringar i insatsvarorna så kan processrelaterade utsläpp också *fångas in genom t.ex. CCS/CCU*.

Ett annat sätt att undvika processrelaterade utsläpp från *aluminiumframställningen är en ökad återvinning* eftersom det utsläppsintensiva reduktionssteget då helt uteblir.[204] För koppar, bly och zink föreligger inte samma vinster i utsläppsminskning vid återvinning i dagsläget. För koppar skulle utsläppen från återvinningsprocesserna dock kunna minskas markant om plast och metall gick att separera helt innan nedsmältning.[205]

Alternativa reduktionsmedel och insatsråvaror kan minska utsläppen

De alternativa metoder som utreds för bly och koppartillverkningen är främst att ersätta kolen och koksen som används vid framställningen med biokol, vätgas eller andra alternativa medel, t.ex. svavel. De utmaningar som finns för biokol liknar de som finns inom järn- och stålindustrin då biokolets egenskaper skiljer sig från fossilt kol, t.ex. har det lägre hållfasthet. Boliden utreder möjligheten att ersätta (delar) av de fossila reduktionsmedlen och råvarorna med biokol. Reduktion med vätgas är teoretiskt möjligt men befinner sig ännu på forskningsstadiet. En av de stora utmaningarna med att använda vätgas för reduktion av övriga metaller är utvecklingen av en injektionsteknik som leder till en effektiv reduktionsprocess eftersom reduktionen måste ske i en smälta (dvs. inte i fast form som vid vätgasbaserad direktreduktion av järn).[206]

Under 2017 undersökte Stena Recycling tillsammans med Boliden möjligheterna att använda plastavfall som energikällan i tillverkningen av återvunnen zink med goda resultat. Även i blytillverkningen använder sig Boliden av (PE) plast från uttjänta batterier som energi, dock utblandat med koks.

---

202 Boliden 2020, *Carbon footprint of Boliden main metals*, https://www.boliden.com/globalassets/operations/products/copper/green-copper/carbon-footprint-of-boliden-main-metals-2020_2021.pdf (Hämtad 2021-09-10)

203 Från samtal Bolidens.

204 SGU, *Metall och mineralåtervinning,* https://www.sgu.se/mineralnaring/metall--och-mineralatervinning/ (Hämtad 2021-09-23) År 2013 använde vi cirka 90 500 ton aluminium medan återvinningen låg på 56 500 ton.

205 IVA 2019, *Så klarar svensk industri klimatmålen, en delrapport från IVA-projektet Vägval för klimatet,* https://www.iva.se/globalassets/bilder/projekt/vagval-klimat/201904-iva-vagval-for-klimatet-delrapport1-n_ver2.pdf

206 Från samtal med Boliden.

Inerta anoder kan komma att ersätta kolanoder vid reduktion av aluminium

För att minska processutsläppen från aluminiumframställningen är så kallade inerta anoder under utveckling. Det är anoder som är tillverkade av keramik eller legeringar som inte oxiderar i elektrolysprocessen vilket gör att de inte förbrukas likt kolanoder och endast släpper ut små mängder av koldioxid och andra växthusgaser, (så som perfluorkolväten, PFC). Metallföretaget Rusal, som äger svenska Kubal, har i sin testanläggning i Ryssland lyckats producera världens hittills mest koldioxidsnåla aluminium med hjälp av just inerta anoder. Sådant aluminium har i jämförelse med branschen i genomsnitt 85 procent lägre koldioxidavtryck[207] och processen släpper dessutom ut stora mängder syre som biprodukt. Enligt Rusal så minskar tekniken även produktionskostnaden eftersom anoderna inte behöver bytas ut vilket innebär att det finns företagsekonomiska incitament för teknikbytet. En kommersialisering av tekniken skulle inte bara kraftigt kunna reducera utsläppen av koldioxid och PFC från aluminiumframställningen utan också komma att minska energianvändningen väsentligt.[208]

Utmaningar för återvinning av bly och koppar – är CCS enda lösningen?

Förutom att separera plasthöljen från blybatterier (se nedan) så föreligger samma utmaningar för att reducera processrelaterade utsläpp vid framställningen av återvunnet bly som vid primärframställningen. Detta på grund av att även återvunnet bly måste reduceras. För koppar ligger utmaningen i att en stor del av det skrot som används i återvinningen är plastskrot som inte går att skilja från metallen, i t.ex. kretskort. För att minska utsläppen från kopparåtervinningen så ser Boliden inte någon annan lösning (så länge elektroniken ser ut som den gör i dag) än att använda CCS/CCU för att fånga in koldioxiden. Detta innebär dock i dagsläget ett antal tekniska utmaningar då rökgaserna från produktionen inte har tillräckligt hög koncentration av koldioxid för en effektiv infångning. Dessutom sker produktionen satsvis, vilket försvårar infångningen som kräver ett jämnt rökgasflöde. Rökgaserna kan även innehålla vissa ämnen som minskar effektiviteten av infångningen. Pyrolys eller hydrometallurgiska processer för att skilja plast från metall i elektronikskrot skulle kunna vara en lösning för att minimera utsläpp från återvinningen men befinner sig ännu på ett tidigt forskningsstadium.[209]

Plastsorteringsanläggning minskar utsläppen från blyåtervinning

I september 2019 togs en plastseparationsanläggning i drift vid blysmältverket Bergsöe där plasten från bilbatteriernas höljen återvinns och omvandlas till plastflingor. Flingorna används för att tillverka nya bilbatterihöljen.[210] Plastseparationsanläggningen har minskat Bergsöes koldioxidutsläpp med cirka 20 procent, eller runt 10 000 ton per år, jämfört med om plasten skulle brännas.[211]

---

[207] Rusal uppger att koldioxidutsläppen är i storleken av 0,01 ton koldioxid per ton aluminium, dvs. 99% koldioxidfritt.

[208] Rusal, 2020. *Transforming the vision, Sustainability Report 2020,* https://rusal.ru/upload/iblock/e34/e3474184f80194b484cd848b7048b0f8.pdf

[209] Från samtal Boliden.

[210] Boliden, P*laståtervinning Bergsoe,* https://www.boliden.com/sv/verksamhet/smaltverk/boliden-bergsoe (Hämtad 2020-09-10)

[211] Boliden, *Blyåtervinning,* https://www.boliden.com/sv/nyheter/blyatervinning (Hämtad2021-08-12)

Effektivisering av kopparframställning genom integrering

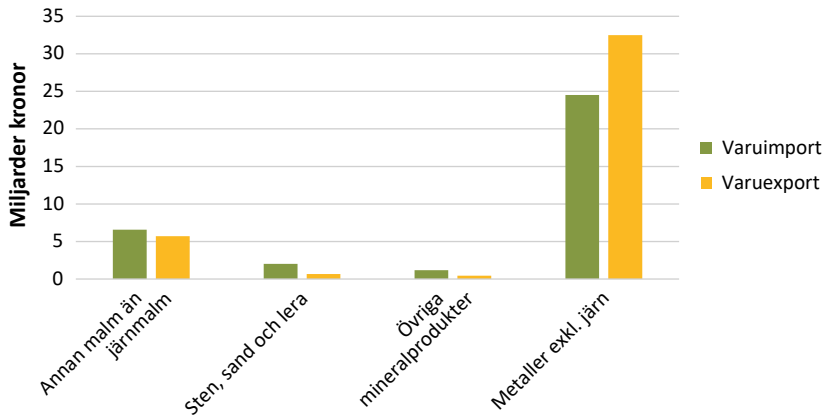
Boliden har lyckats reducera sina förbränningsutsläpp från koppartillverkningen av både ny och återvunnen koppar med hälften av vad som är den globala standarden genom en integration av sina gruvor och smältverk där en elektrifiering har skett av gruvfordonen och alternativa bränslen används i smältverken.[212]

3.4.3 Handel och marknad

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 aluminium-framställningen 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.[213]

Stor nettoexport av förädlade metaller

Importvärdet för övrig metall 2019 var runt 34 miljarder kronor och exportvärdet var drygt 39 miljarder, se Figur 19. Detta ger ett positivt handelsnetto, (exportvärdet minus importvärdet), vilket främst beror på det stora handelsnettot av metaller exklusive järn, runt åtta miljarder kronor. Metaller exklusive järn stod också för branschens största internationella handel med en majoritet av både import och export.[214]



Figur 19. Import- och exportvärde per delbransch (SPIN), 2019, miljarder kronor.
Källa: SCB.[215]

[212] Boliden, *Produktblad Grön koppar,* a5-produktblad-21-05-18.pdf (boliden.com)

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

[214] SCB, 2021

[215] SCB, 2021

Sverige exporterar runt två tredjedelar av sina varor inom branschen till andra EU-länder[216] där Tyskland, Finland och Polen är de största mottagarländerna. På importsidan kommer ungefär hälften av varorna från andra EU-länder och de största importerna sker från Norge, Tyskland och Finland.[217] Från Figur 19 kan utläsas att den absolut största handeln (både import och export) sker med metaller men det förekommer även en del handel med övrig metalmalm.

[216] EU-27 (dvs. dagens medlemsländer).

[217] Eurostat, 2021.

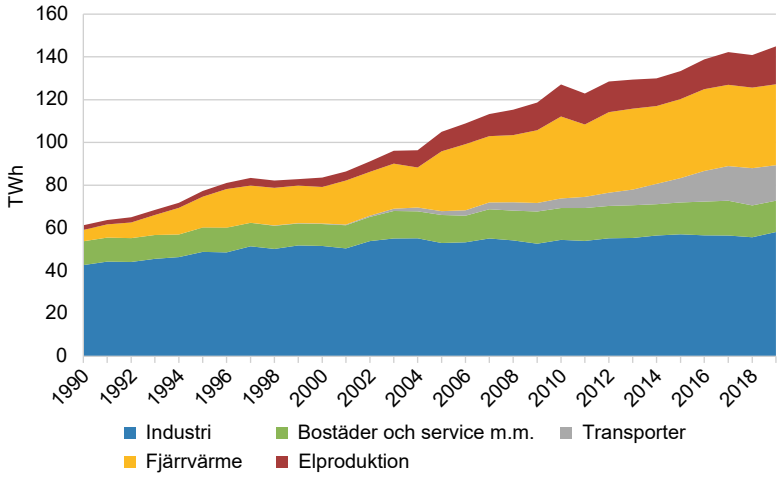
4 Negativa utsläpp

I Sverige finns en stor potential för negativa utsläpp inom massa- och pappersindustrin samt i kraftvärme- och värmeverk eftersom deras koldioxidutsläpp huvudsakligen är biogena. Detta kapitel ger en inblick i de förutsättningar och utmaningar som föreligger (tekniska, ekonomiska och logistiska) för att uppnå negativa utsläpp genom koldioxidinfångning. De största barriärerna för implementering av CCS bedöms vara systemfrågor, såsom fungerande affärsmodeller och hur ekonomiska incitament skapas, snarare än teknikfrågor. Regeringen föreslog i budgetpropositionen för 2022 att införa ett styrmedel för att främja bio-CCS i form av omvända auktioner, ett system som är under utredning. Kapitlet get även en överblick av pågående projekt där Preem AB har kommit längst i Sverige med sitt demonstrationsprojekt som primärt avser fossil koldioxidinfångning medan Värtaverket kommit längst med sitt pilotprojekt för bio-CCS. Det pågår även en handfull infrastrukturprojekt som utreder de logistiska utmaningarna med CCS.

4.1 Stor potential för negativa utsläpp inom massa- och pappersindustrin samt kraft- och värmeverk

Sverige har en stor potential för negativa utsläpp då biobränsleanvändningen är stor inom både industrin och inom fjärrvärmeproduktionen. Omställningen inom industrin började tidigt. År 1970 utgjorde biobränslen 21 procent av den slutliga energianvändningen inom industrin (med el drygt 43 procent), och under 2019 utgjorde biobränslen 41 procent (med el 75 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 2019. Styrmedel som energi- och koldioxidskatt och till viss del handeln med utsläppsrätter har gett industrin ökande incitament att minska användningen av fossila bränslen.

I fjärrvärmeproduktionen har en markant ökning i användningen av biobränslen skett sedan 1990, vilket kan ses i Figur 20 nedan. Perioder med höga priser och ökade skatter på fossila bränslen har gjort att fjärrvärmeproducenterna gått över till att främst använda biobränslen, avfall och spillvärme. Biobränsleanvändningen inom elproduktionen har också ökat, men där var andelen fossila bränslen redan låg då den domineras av kärnkraft och vattenkraft.



Figur 20. Användning av biobränsle per sektor, 1990–2019, TWh.

Källa: Energimyndigheten.[218]

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

4.1.1 *Tillämpning av tekniken på få anläggningar ger stora effekter på utsläppen*

I avsnitt 2.4.4 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 stor anläggning i detta sammanhang är svår, men en fingervisning i nuläget är anläggningar som har utsläpp som överstiger 300 000–500 000 ton koldioxid per år.[219,220]

Under 2019 fanns det enligt Naturvårdsverkets utsläppsregister[221] 34 anläggningar i Sverige som hade utsläpp av biogen koldioxid som översteg 300 000 ton. Anläggningarna återfanns i princip uteslutande inom massa- och pappersindustrin samt kraftvärme- och värmeverk. De sammanlagda utsläppen av biogen koldioxid från dessa anläggningar var knappt 27 miljoner ton under 2019, se Tabell 1 nedan.[222] Det fanns samma år 23 anläggningar som hade utsläpp av biogen koldioxid som översteg 500 000 ton. Dessa skulle tillsammans kunna bidra med negativa utsläpp om cirka 23 miljoner ton, se Tabell 1.

[218] Energimyndigheten, Energiläget i siffror 2021

[219] SOU 2020:4

[220] Svebio, 2019

[221] Naturvårdsverket, *Utsläppsregistret, utdrag avseende referensår 2019*, https://utslappisiffror.naturvardsverket.se/

[222] 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 1.

Tabell 1. Fördelning av utsläpp från stora punktkällor i Sverige under 2019

Årliga utsläpp av biogen koldioxid, ton	Antal anläggningar	Totala årliga biogena utsläpp i ton	Andel utsläpp inom massa- och pappersindustrin	Andel utsläpp inom el- och värmesektorn
> 100 000	69	32 970 000	69 %	31 %
> 300 000	34	26 800 000	81 %	19 %
> 500 000	23	22 550 000	91 %	9 %

Källa: Utsläppsregistret, Naturvårdsverket[223]

Enligt utredningen *Vägen till en klimatpositiv framtid*[224] 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 uppemot dubbelt så stor.

4.1.2 Två branscher med goda förutsättningar för negativa utsläpp

För både massa- och pappersindustrin samt kraftvärme- och värmeverk uppfylls många av de förutsättningar som krävs för CCS (läs mer om förutsättningarna för CCS i avsnitt 2.4.4), varav några av de viktigaste är:

- Utgör ofta relativt stora punktutsläpp.
- Koldioxidkoncentrationen i rökgaserna är relativt hög.
- Ett fåtal utsläppskällor (jämfört med t.ex. ett raffinaderi).
- Överskottsånga kan återvinnas som fjärrvärme, vilket minskar behovet av extra energitillförsel.

För att driva en CCS-anläggning krävs en viss mängd energi i form av el, värme eller ånga. För ett kraftvärme- eller värmeverk innebär det en sänkt verkningsgrad på anläggningen och medför att en större mängd bränsle behövs för att producera samma mängd el och värme jämfört med motsvarande anläggning utan CCS.[225,226] För pappers- och massabruk skiljer sig förutsättningarna åt mellan anläggningar, bland annat beroende på om det är ett integrerat bruk, dvs. ett bruk som producerar både massa och papper. I integrerad produktion, som är det vanligaste i Sverige, används överskottsångan från massatillverkningen i pappers- och kartongtillverkningen. Detta innebär att mindre överskottsånga blir tillgänglig för koldioxidavskiljning och att ytterligare energi kan behöva tillföras. Det kan ske genom att köpa el från nätet eller genom att öka ångproduktionen från en biobränsleeldad panna, vilket i båda fall innebär en ökad energianvändning. 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

[223] Naturvårdsverket, Utsläppsregistret, utdrag avseende referensår 2019, https://utslappisiffror.naturvardsverket.se/

[224] SOU 2020:4

[225] Alternativt så används samma mängd bränsle men lägre elproduktion. 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.

[226] SOU 2020:4

till nätet vilket innebär minskade intäkter och eventuellt negativa effekter på elnätet.[227] För att läsa mer om processer i massa- och pappersindustrin samt kraftvärme- och värmeverk, se Bilaga 3.

4.2 Systemfrågor större barriär än teknikfrågor

Enligt *Vägen till en klimatpositiv framtid*[228] är systemfrågorna kopplade till CCS och bio-CCS en större barriär för spridning 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. Därför är demonstrationsprojekt som avser hela kedjan, likt projektet i Norge som beskrivs i avsnitt 4.3.1 nedan, viktiga för att visa på att affärsmodeller och systemet fungerar som helhet.

Eftersom bio-CCS är en typ av CCS applicerad på biogena utsläpp så behandlas i detta avsnitt den tekniska utvecklingen för CCS som stort även om specifika utmaningar för bio-CCS är i fokus.

4.2.1 Ekonomiska incitament viktiga för spridning och kostnadsreduktion

Då den relativt höga kostnaden för CCS och bio-CCS är det som mest talar emot tekniken i nuläget så är faktorer som bidrar till att sänka kostnaderna och skapa långsiktiga incitament för investering viktiga. För anläggningar med fossila utsläpp blir därför den förväntade ETS-prisutvecklingen en nyckelfaktor då ett högre ETS-pris gör det relativt billigare att fånga in koldioxid. För företag med biogena utsläpp föreligger inga företagsekonomiska incitament att investera i bio-CCS eftersom infångning, transport och lagring av koldioxid i dagsläget inte kompenseras för, och tekniken leder till antingen produktionsbortfall eller ett ökat bränslebehov. Det innebär att ett stödsystem för bio-CCS är en avgörande faktor för implementering. Även faktorer som inte direkt påverkar kostnaderna såsom lagstiftning som främjar tekniken och efterfrågan av produkter tillverkade utan (eller med negativa) koldioxidutsläpp kan skapa ytterligare långsiktiga incitament för företagen att investera i CCS och bio-CCS.

Hela CCS-kedjan, dvs. avskiljning, transport och lagring, tillämpas redan i dag, men erfarenheterna är fortfarande begränsade. Möjligheterna till fortsatt teknikutveckling och lägre kostnader bedöms dock som goda då tekniken hittills endast tillämpats i liten skala. En första kostnadsreduktion förväntas efter att ett par anläggningar är i drift och erfarenhet av tekniken har byggts upp. Hur mycket kostnaderna sedan minskar beror på vilken spridning tekniken får. I beräkningarna måste dock hänsyn tas till att förutsättningarna för CCS-tekniken skiljer sig mellan olika sektorer, branscher och även mellan anläggningar beroende på en mängd olika faktorer (läs mer i avsnitt 2.4.4). Detta gör att det inte går att massproducera en teknik för alla typer av anläggningar, vilket kan göra att kostnaderna inte faller lika snabbt som den gjort för t.ex. solceller som är en standardiserad teknik. Till detta tillkommer att förutsättningarna för transport till hamn och mellanlagring inför vidare sjötransport till slutförvaring också skiljer sig åt mellan

[227] SOU 2020:4

[228] Ibid.

anläggningarna beroende på bl.a. avstånd till större vattendrag, vilket också påverkar totalkostnaden för användning av tekniken.[229]

Driftstöd för bio-CCS

Energimyndigheten har, efter ett förslag i *Vägvalsutredningen*, fått i uppdrag av regeringen att föreslå utformning av ett system för driftstöd för att främja bio-CCS. Uppdraget ska utvärdera stödformerna omvända auktioner och en fast lagringspeng, samt se över möjligheten att inkludera negativa utsläpp med hjälp av biokol i stödsystemet. Delredovisning av uppdraget skedde i april 2021.[230]

Omvända auktioner som styrmedel för bio-CCS

I delrapporten för uppdraget föreslår Energimyndigheten omvända auktioner som form för driftstöd då ett sådant system är mest kostnadseffektivt för både stat och aktörer samt lämpar sig bäst utifrån statsstödsreglerna och aktörernas synpunkter. Storleken på stödet till aktörerna bestäms av de lägst inkomna bud som aktörerna lägger per ton geologiskt lagrad biogen koldioxid[231] och den totala mängd negativa utsläpp som auktioneras ut. Gällande biokol så bedömer myndigheten att det inte ska inkluderas som negativa utsläpp i detta stödsystem efter att ha undersökt ett antal olika aspekter så som dess stabilitet, klimatnytta, resurseffektivitet, produktionskostnad och legala aspekter.

I aktörsdialoger har det framgått att det finns ett starkt intresse för ett stödsystem och att ett sådant skulle vara avgörande för investeringar i bio-CCS anläggningar. Då det finns ett antal kraftvärme- och värmeverk som kommit långt i den tekniska processen är det sannolikt dessa aktörer som kommer att bli de första auktionsdeltagarna. Intresse finns också inom massa- och pappersindustrin, men där vägs CCS mot flertalet andra värden (miljömässiga och ekonomiska) i produktionskedjan. T.ex. kan överskottsenergin från bruken som i dag är viktig för den lokala och regionala elförsörjningen i stället behöva användas för att driva en bio-CCS-anläggning. Det finns överlag inte samma lönsamhet i bio-CCS för massa- och pappersbruken som det gör för kraftvärme- och värmeindustrin. Till följd av detta så finns inte heller lika mycket studier kring bio-CCS på massa- och pappersbruk. Det innebär att de har en längre startsträcka för att investera i bio-CCS och förväntas därför ansluta sig senare till ett stödsystem.

Regeringen la i budgetpropositionen för 2022[232] fram ett förslag om att införa ett driftstöd i form av omvända auktioner under 2022. Den första auktionen ska äga rum under samma år med utbetalning till vinnarna av den omvända auktionen från 2026.

Energimyndigheten ska slutredovisa sitt uppdrag till regeringen i november 2021.

---

[229] Roussanaly, S., Berghout, N., Fout, T., Garcia, M., Gardarsdottir, S., Mohd Nazir, S., Ramirez, A. och Rubin, E.S., 2021. *Towards improved guidelines for cost evaluation of carbon capture and storage for industry.* International Journal of Greenhouse Gas Control.Vol.106, nr. 103263

[230] Energimyndigheten, 2021b. *Förslag på utformning av ett system för driftstöd, i form av omvänd auktionering eller fast lagringspeng, för avskiljning, infångning och lagring av koldioxid från förnybara källor (bio-CCS)* – Delredovisning, Förslag på utformning av ett system för driftstöd, i form av omvänd auktionering eller fast lagringspeng, för avskiljning, infångning och lagring av koldioxid från förnybara källor (bio-CCS) Delredovisning (energimyndigheten.se)

[231] Detta inkluderar kostnad för transport till lagringsplats samt lagring.

[232] Regeringens Prop. 2021/22:1, *Budgetproposition för 2022*, https://www.regeringen.se/4a6970/contentassets/cdd922ce835e4da0a87edcb38aafef65/utgiftsomrade-20-allman-miljo--och-naturvard.pdf

4.2.2 Energimyndigheten är nationellt centrum för CCS

Energimyndigheten har fått i uppdrag av regeringen att agera som ett nationellt centrum för frågor om infångning och lagring av koldioxid i syfte att främja en ändamålsenlig tillämpning av CCS i Sverige. I uppgifterna ingår att ta fram ett förslag till avtal med Norge för långsiktig geologisk lagring av koldioxid. Förslaget ska redovisas senast 31 december 2021. Myndigheten ska även följa utvecklingen inom CCS-området så som juridiska hinder och omvärldsanalyser, ha dialog med aktörer samt utreda hur kedjan från avskiljning till lagring kan göras så energi- och klimateffektiv som möjligt.

4.2.3 Lagstiftningen ett mindre hinder

Vid sidan om ett behov av fortsatt kunskapsuppbyggande och ekonomiska hinder återstår en del legala 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[233], 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 att ett bilateralt avtal tas fram mellan det exporterande landet och det lagrande. Sverige ratificerade 2009 års ändring i juni 2020.[234] 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 artikel 6 vinner laga kraft lämna en avsiktsförklaring om provisorisk tillämpning av denna hos IMO och även sluta avtal om detta med Norge (som redan har lämnat sin avsiktsförklaring).

På liknande sätt så finns det nationell lagstiftning och andra internationella konventioner som kan utgöra hinder och/eller behövas ses över för att möjliggöra transport av koldioxid. Energimyndigheten håller för närvarande på att utreda frågan vidare.

För transport av koldioxid så har EU-kommissionen på förfrågan från Norge förtydligat att sjötransport av koldioxid inte räknas som utsläpp enligt *regelverket för EU ETS.* Detta innebär att både transport via rörledningar och transport med fartyg av koldioxid får räknas av som lagrade genom CCS.[235,236]

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[237] 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.

---

233 Reviderades genom Londonprotokollets resolution LP.3(4)

234 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.)

235 SOU 2020:4

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

237 Direktiv 2009/31/EG

4.3 Forskning och projekt

Under 2020 fanns 26 storskaliga anläggningar för koldioxidinfångning[238] i drift i världen, samt tre under konstruktion (som avser Enhanced Hydrocarbon Recovery, EHR). Majoriteten av anläggningarna i drift är anläggningar med EHR, närmare bestämt 19 stycken medan sex avser geologisk lagring av koldioxid utan EHR och en anläggning avser en kombination av EHR och geologisk lagring. Av dessa återfinns tolv i USA, fyra i Kanada, tre i Kina, två i Norge, och en vardera i Australien, Brasilien, Förenade Arabemiraten, Saudiarabien och Qatar. Tillsammans har de en kapacitet att fånga och permanent lagra cirka 40 miljoner ton koldioxid årligen. Av anläggningarna i drift finns endast en anläggning (Boundary Dam CCS i Kanada) där koldioxid avskiljs från ett kraftverk[239]. Det första drifttagna stora anläggningarna med bio-CCS återfinns inom den kemiska industrin i USA (Illinois Industrial), där ungefär en miljon ton lagras årligen från etanolproduktion från majs.[240]

4.3.1 Fullskaleprojekt för CCS i Europa

Det finns ett antal fullskaleprojekt som är på gång i Europa, varav det norska fullskaleprojektet Longship har nått längst. Nedan beskrivs Longship och det gränsöverskridande projektet Porthos i Nederländerna (och Belgien) samt den stora bio-CCS satsningen Drax i Storbritannien.

Fullskaleprojektet Longship i Norge har fått statligt finansieringsstöd beviljat

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 rörledningar 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. I första fasen som beräknas vara klar i mitten på 2024, kommer det att byggas en lagringskapacitet om 1,5 miljoner ton per år. Fas två, som redan påbörjats kommer när den är färdig att erbjuda en lagringskapacitet om 5 miljoner ton koldioxid per år.[241] Den norska regeringen beviljade i december 2020 finansieringsstöd av fullskaleprojektet till en summa av cirka 16,8 miljarder norska kronor, vilket motsvarar runt två tredjedelar av totalkostnaden.[242]

---

[238] Det bör noteras att klassificeringen av CCS anläggningar har ändrats sen förra året i *Global Status Report of CCS* vilket medför att sex anläggningar som tidigare klassats som pilot- och demoanläggningar nu klassificeras som fullskaleanläggningar. Det innebär att jämfört med förra årets 19 anläggningar så har det tillkommit en anläggning medan sex har omklassificerats.

[239] Anläggningen Petra Nova i USA som tillfälligt är tagen ur drift p.g.a. ekonomiska skäl avskiljer koldioxid från ett kraftvärmeverk.

[240] Global CCS Institute, 2020. *The Global Status of CCS*

[241] Northern Lights, *What we do,* https://northernlightsccs.com/what-we-do/ (Hämtad 2021-09-20)

[242] Norska regeringen, *Funding for Longship and Northern Lights approved,* https://www.regjeringen.no/en/aktuelt/funding-for-longship-and-northern-lights-approved/id2791729/ (Hämtad 2021-07-12)

Som en del av det norska fullskaleprojektet har infångning av koldioxid testats vid kraftvärmeverket Fortum Oslo Värme (FOV). Värmekraftverket drivs med avfallsförbränning och förväntad infångning uppgår till omkring 400 000 ton koldioxid årligen, varav cirka 58 procent med biogent ursprung.[243] Piloten har visat en effektiv infångning om 90–95 procent av utsläppen. Anläggningen beräknas vara i bruk någon gång mellan 2023 och 2027.[244] Det statliga finansieringsstödet är för FOV villkorad av att det får tillräcklig delfinansiering av EU eller annan part. FOV har gått vidare i uttagningen till EU:s innovationsfond där vinnarna presenteras under slutet på 2021.

Fullskaleprojekt i Nederländerna och Storbritannien på god väg

Det pågår även andra projekt i Europa som inte nått lika långt men som är påbörjade fullskaleprojekt, närmare bestämt i Nederländerna och Storbritannien. Nederländska Porthos är det projekt som bedöms ha kommit längst vid sidan av det norska fullskaleprojektet. Det drivs av EBN, Gasuine och Hamnmyndigheten i Rotterdam[245]. Systemet ska fånga in koldioxid från industrier runt Rotterdams hamn med hjälp av CCS som sedan förs genom rörledningar ut i Nordsjön för att pumpas ned i tomma gasfält under havsbotten för förvaring. Under sina första år förväntas projektet förvara runt 2,5 miljoner ton koldioxid årligen. Då Porthos involverar ett samarbete med belgiska myndigheter så klassificeras det som ett projekt av gemensamt intresse (Projects of Common Interest) av EU-kommissionen som också delfinansierar projektet med 102 miljoner euro. [246,247] Systemet förväntas vara operativt till 2024.

Drax i Storbritannien har som ambition att bygga världens största anläggning för negativa utsläpp från ett kraftvärmeverk. En bio-CCS anläggning har testkörts på en anläggning i North Yorkshire och ingår i ett större CCU-samarbete med Mitsubishi Heavy Industries Group där deras patenterade teknik kommer att användas för infångning och inlagring i Nordsjön. Drax förväntas producera negativa utsläpp till 2030 med en första enhet installerad år 2027.[248]

4.3.2 Bio-CCS- projekt i Sverige

Även i Sverige så finns det ett antal projekt där företag undersöker de tekniska och ekonomiska möjligheterna att införa CCS på sina anläggningar. Majoriteten av projekten rör kraftvärme- och värmeverk som vill införa bio-CCS och många delfinansieras genom

---

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

[244] Fortum Oslo Värme, *Fortum Oslo Värme and our Carbon Capture Project,* https://www.fortum.com/about-us/newsroom/press-kits/carbon-removal/fortum-oslo-varme-and-our-carbon-capture-project (Hämtad 2021-07-12)

[245] Porthos, *Project,* https://www.porthosco2.nl/en/project/ (Hämtad 2021-07-13)

[246] Porthos, *102 million euros in funding on the horizon for Porthos,* https://www.porthosco2.nl/en/102-million-euros-in-funding-on-the-horizon-for-porthos/ (Hämtad 2021-07-13)

[247] EU-kommissionen, *PCI Fiche*, https://ec.europa.eu/energy/maps/pci_fiches/PciFiche_12.3.pdf (Hämtad 2021-07-13) Projektet delfinansieras genom Connecting Europe Facility som främjar gränsöverskridande projekt då Porthos innebär ett avtal mellan Nederländerna och Belgien gällande CCS.

[248] Drax, *Drax and Mitsubishi Heavy Industries sign pioneering deal to deliver the worlds largest carbon caputre power project,* https://www.drax.com/press_release/drax-and-mitsubishi-heavy-industries-sign-pioneering-deal-to-deliver-the-worlds-largest-carbon-capture-power-project/ (Hämtad 2021-07-13)

Industriklivet och/eller har sökt EU-finansiering. Trots att ett stort antal studier finns om CCS för kondenskraftverk, är CCS på kraftvärmeprocesser ett relativt outforskat område. Från ett kraftvärmeverk går det att återvinna lågvärdig värme (som fjärrvärme), vilket möjliggör helt andra tekniker jämfört med kondensanläggningar där endast el produceras.[249]

Nedan beskrivs ett urval av projekten i de tekniska utvecklingsstadierna forskningsprojekt samt förstudie och pilotanläggning. Under en egen rubrik redogörs infrastrukturprojekt för (även om dessa också är förstudier), vilka teoretiskt tar sig logistiska utmaningar kopplade till transport och mellanlagring av koldioxid.

Forskningsprojekt

Det pågår ett flertal forskningsprojekt kopplade till CCS och bio-CCS där fokus ligger på att undersöka olika typer av avskiljningstekniker för CCS. Anledningen är att den största potentialen till kostnadsreducering bedöms finnas i avskiljningssteget genom effektivisering av processen samt minskning av energibehovet.[250] Ytterligare ett spår som börjar intressera fler aktörer är att hitta alternativ till att permanent lagra koldioxid under havsbotten i geologisk formation och där lagring i berggrunden istället undersöks.[251] Då det i dagsläget inte föreligger incitament att investera i bio-CCS utan driftstöd pågår också forskning som undersöker förutsättningarna för omvända auktioner att skapa verkningsfulla och effektiva incitament för bio-CCS i Sverige.[252]

Förstudier och pilotanläggningar

Som redan beskrivits i avsnitt 2.4.4 är CCS inte en universalteknik som fungerar desamma på alla anläggningar, vilket innebär att varje anläggning måste justera tekniken efter anläggningsspecifika parametrar så som t.ex. rökgasflöde och koldioxidhalten i rökgasen. Det finns därför ett flertal aktörer (främst inom kraftvärme- och värmeverk) som i förstudier utreder tekniska och ekonomiska möjligheter samt logistiken kring att införa bio-CCS på sina anläggningar.[253] Om förstudien, eller förstudierna, leder fram till en infångningsteknik som bedöms som ekonomiskt och tekniskt möjlig kan en pilotanläggning, demonstrationsanläggning eller fullskaleanläggning vara aktuell.[254] I Sverige

---

[249] Energimyndighetens projektdatabas P49101-1, diarienummer 2019-013114 (första studien) samt P49101-2, diarienummer 2020-012179 (andra studien)

[250] SOU 2020:4

[251] Luleå tekniska universitet, *Koldioxid fångas in för lagring i berggrunden,* https://www.ltu.se/research/subjects/Malmgeologi/nyheter/Koldioxid-fangas-in-for-lagring-i-berggrunden-1.204713 (Hämtad 2021-09-17)

[252] Energimyndighetens projektdatabas 51569-1, diarienummer 2020-019455

[253] Vattenfall AB (EM projektdatabas 49869-1, diarienummer 2019-022504), Söderenergi AB (EM projektdatabas P51409-1, diarienummer 2020-014986), Mälarenergi AB (EM projektdatabas P51478-1, diarienummer 2020-016498) har avslutat förstudier medan Stockholm Exergi (se nedan), Växjö Energi (EM projektdatabas P52031-1, diarienummer 2021-003167), SYSAV AB (EM projektdatabas P52606-1, diarienummer 2021-026274), Sundsvalls Energi AB (EM projektdatabas P52471-1, diarienummer 2021-018442), Söderenergi AB (se nedan), Stora Enso AB (se nedan), Öresundskraft AB (EM projektdatabas 52664-1 1, diarienummer 2021-030050)och Boden Energi AB (EM projektdatabas 52774-1, diarienummer 2021-038016) har påbörjat/ska påbörja/gör fortsatta förstudier för att utreda möjligheter till CCS eller bio-CCS på deras anläggningar.

[254] Där en pilotanläggning testar tekniken i mindre skala och en demonstrationsanläggning i närmre industriell skala.

finns dock i dagsläget endast en pilotanläggning för bio-CCS (läs nedan om Värtaverket) och hittills ingen demonstrationsanläggning. Preem har dock en demonstrationsanläggning för CCS som fångar in både fossila och biogena utsläpp, vilket därmed är det projekt som har kommit längst i Sverige när det gäller CCS (läs mer om detta på sidan 53). Inom Industriklivet finns för närvarande elva företag[255] som har avslutat eller har pågående förstudier eller en pilotanläggning för bio-CCS. Dessa har tillsammans en potential att leda till negativa utsläpp om cirka 4 miljoner ton biogen koldioxid per år[256] givet att samtliga leder till fullskaliga anläggningar.[257]

Det finns ett antal projekt som kommit lite längre i processen att hitta rätt teknik för bio-CCS för sina anläggningar. Dessa är Sveriges hittills enda pilotanläggning (för bio-CCS) vid Värtaverket i Stockholm samt två anläggningar för vilka en andra förstudie har påbörjats, nämligen Stora Enso AB och Söderenergi AB. Stora Enso AB:s förstudie och planerade pilotstudie samt pilotstudien på Värtaverket beskrivs mer nedan.

Stora Enso planerar en pilotanläggning för bio-CCS

Trots att de flesta förstudier om bio-CCS i Sverige rör kraftvärme- och värmeverk finns även intresse inom massa- och pappersindustrin för tekniken. Stora Enso har i en andra förstudie utrönt möjligheterna att installera en fullskalig bio-CCS-anläggning inom den svenska delen av Stora Ensos sulfatfabriker. Projektet har även haft som effektmål att vägleda den svenska skogsindustrin i vilka tekniker för bio-CCS som lämpar sig bäst för branschen då dess erfarenhet av tekniken fortfarande är begränsad.[258] Stora Ensos bruk i Skutskär ska under 2021 inleda ett pilotprojekt som innefattar infångning av koldioxid och lagring i berggrunden. Projektet kommer under pilotfasen att fånga in 2 ton per dygn medan målet är att i full skala kunna fånga in 3000 ton koldioxid per dygn, vilket motsvarar runt 1 miljon ton koldioxid per år. EU finansierar en stor del av projektet genom sitt forskningsprogram EU Horizon.[259]

Utbyggd testanläggning av bio-CCS i kraftvärmeverket Värtan

Stockholm Exergi håller på att bygga ut sin befintliga testanläggning, i vilken långtidstester med avskiljningstekniken Hot Potassium Carbonate (HPC) utförs på en del av rökgasflödet från det fliseldade kraftvärmeverket KVV8 vid Värtaverket. Tillägg till den befintliga anläggningen kommer göras under 2021 genom att utöka höjden på anläggningen samt att tillföra möjligheten att simulera rökgaser från andra anläggningar som t.ex. avfallsbaserade kraftvärmeverk och andra processer. Syftet är att

---

255 Tre av dessa har fått stöd till två förstudier, potentialen räknas dock endast en gång.

256 Vattenfall AB 200 000 ton per år, Stockholm Exirgi AB 750- 850 000 ton per år, Söderenergi AB 650 000 ton per år, Mälarenergi AB 550 000 ton per år (plus 150 000 ton per år från återvunna bränslen), Växjö Energi AB 180 000 ton per år, SYSAV AB 300 000 ton per år, Stora Enso AB 1 miljon ton per år, Sundsvall Energi AB 120 000 ton per år, Boden Energi AB 100 000 ton per år och Öresundskraft AB 120 000 ton per år i biogena utsläpp. Energiforsk har även genomfört en förstudie men utan någon potential till utsläppsminskning.

257 Här exkluderas Preem AB:s infrastrukturprojekt (se nedan) vars potential uppgår till 2,1 miljomer ton infångad koldioxid per år av både fossilt och biogent ursprung men där en uppdelning inte kan göras mellan fossila och biogena utsläpp.

258 Energimyndighetens projektdatabas P49897-1, diarienummer 2019-022605 (första studien) samt P49897-2, diarienummer 2020-020034 (andra studien).

259 Skogsnäringens mediarevy, 2021 (Nr.29), *Nyhetsbrevet.*

kunna expandera forsknings- och försöksverksamheten för att ytterligare minska energiförluster och kostnaden för en fullskalig anläggning samt att göra försöken relevanta för andra anläggningstyper. Ifall tekniken visar sig lyckad och leder till en fullskaleanläggning på KVV8, skulle det resultera i negativa utsläpp i storleksordningen 800 000 ton koldioxid per år.[260]

Infrastrukturprojekt

Det finns också förstudier som studerar logistiken kring transport och mellanlagring av koldioxid i s.k. infrastrukturprojekt. Dessa projekt är inte specifika för bio-CCS men är viktiga för att lösa hela kedjan från infångning till slutlagring, vilket är en förutsättning för CCS av både fossila och biogena utsläpp. Utöver de två projekt som presenteras nedan så undersöker även Sundsvall Energi AB möjligheten för Sundsvall att bli en nod för koldioxidinfångning.[261]

Preem undersöker alternativa metoder för transport och mellanlagring

Preem AB har tillsammans med ett antal andra lokala aktörer slutfört en förstudie som utforskar möjligheterna till transport och mellanlagring av CCS i Göteborgs hamn. Inom studien har koncept för utformning av CCS-värdekedjan studerats där olika mycket av systemets anläggningsdelar och transportsystem samordnas. Projektet utreder var förvätskning av koldioxiden ska ske i processen, antingen separat av enskilda aktörer direkt på infångande anläggning eller gemensamt vid mellanlagret. Resultatet visar att båda alternativ är möjliga att genomföra och att det fortfarande föreligger för stora osäkerheter för att kunna utesluta någon av dem. Resultaten kommer bland annat att ligga till grund för fortsatta studier gällande teknisk optimering, ekonomi, risk och tillståndsfrågor samt för dialog med myndigheter och beslutsfattare gällande finansiering av fortsatta studier.[262]

Växjö Energi ska inlands fånga in koldioxid för förvaring i Nordsjön

Med slutdestination Nordsjön planerar Växjö Energi AB att fånga in koldioxid från sitt kraftvärmeverk Sandviksverket i Växjö. Den största skillnaden mot andra infrastrukturprojekt som är under utredning är att Sandviksverket ligger i inlandet och med tåg planerar att frakta koldioxiden ut till kusten för vidare transport med båt till lagringsplatsen i havet. Växjö Energi samarbetar med Trafikverket för att lösa de logistiska frågorna kring transport av koldioxid på räls. Projektet har en potential att fånga in och lagra cirka 180 000 ton koldioxid per år.[263,264]

---

[260] Energimyndighetens projektdatabas P49101-1, diarienummer 2019-013114 (första studien) samt P49101-2, diarienummer 2020-012179 (andra studien)

[261] Energimyndighetens projektdatabas P52471-1, diarienummer 2021-018442.

[262] Energimyndighetens projektdatabas P50892-1, diarienummer 2020-008345

[263] Växjö Energi, *Växjö Energi vill fånga in koldioxid för att hjälpa klimatet,* https://www.veab.se/om-oss/press/pressmeddelanden/2021/v%C3%A4xj%C3%B6-energi-vill-f%C3%A5nga-in-koldioxid-f%C3%B6r-att-hj%C3%A4lpa-klimatet/ (Hämtad 2021-09-21)

[264] Energimyndighetens projektdatabas 52031-1, diarienummer 2021-003167

5 Referenser

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

Boliden 2020, *Carbon footprint of Boliden main metals*, https://www.boliden.com/globalassets/operations/products/copper/green-copper/carbon-footprint-of-boliden-main-metals-2020_2021.pdf (Hämtad 2021-09-10)

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

Boliden, *Blyåtervinning,* https://www.boliden.com/sv/nyheter/blyatervinning (Hämtad 2021-08-12)

Boliden, *Plaståtervinning Bergsoe.* https://www.boliden.com/sv/verksamhet/smaltverk/boliden-bergsoe (Hämtad 2021-08-12)

Boliden, *Produktblad Grön koppar,* https://www.boliden.com/globalassets/operations/products/copper/green-copper/a5-produktblad-21-05-18.pdf

Carbon Capture Oslo, 2020. *FEED-Study-Report*, https://ccsnorway.com/wp-content/uploads/sites/6/2020/07/FEED-Study-Report-DG3_redacted_version_03-2.pdf

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

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

Cementa, *Klimatanpassad betong här är listan,* https://www.cementa.se/sv/klimatanpassad-betong-har-ar-listan (Hämtad 2020-08-20)

Cementa, *Nollvision för koldioxid,* https://www.cementa.se/sv/nollvision2030 (Hämtad 2021-08-30)

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

Drax, *Drax and Mitsubishi Heavy Industries sign pioneering deal to deliver the worlds largest carbon caputre power project,* https://www.drax.com/press_release/drax-and-mitsubishi-heavy-industries-sign-pioneering-deal-to-deliver-the-worlds-largest-carbon-capture-power-project/ (Hämtad 2021-07-13)

Energimyndigheten, 2021a. *Energibalans*. https://www.energimyndigheten.se/statistik/den-officiella-statistiken/statistikprodukter/arlig-energibalans/ (hämtad 2021-05-30)

Energimyndigheten, 2021b. *Förslag på utformning av ett system för driftstöd, i form av omvänd auktionering eller fast lagringspeng, för avskiljning, infångning och lagring av koldioxid från förnybara källor (bio-CCS)* – Delredovisning, https://www.energimyndigheten.se/globalassets/nyheter/2021/dnr-2020-23877_forslag-pa-utformning-av-ett-system-for-driftstod_delredovisning-till-rk-15-april-2021_reviderad-23-april-2021.pdf

Energimyndigheten, 2021c, *Styrmedel för nya biodrivmedel – Behov av utformning av styrmedel för att främja biodrivmedel med nya tekniker*, ER2021:22

Energimyndigheten och SCB, 2021a. Årlig energistatistik (el, gas och fjärrvärme), Eltillförsel i Sverige efter produktionsslag och år, Statistikdatabasen. https://www.statistikdatabasen.scb.se/pxweb/sv/ssd/START__EN__EN0105/ElProdAr/ (hämtad 2021-09-20).

Energimyndigheten och SCB, 2021b. Årlig energistatistik (el, gas och fjärrvärme), tabell 4A2, https://www.scb.se/contentassets/f3fea1fd8f6040e8b78b9408f49adbc8/en0105_2019a01_sm_en11sm2001.pdf

Energinyheter, *Vattenfall och Preem fortsätter samarbete kring fossilfri vätgas till biobränslen,* https://www.energinyheter.se/20210713/24467/vattenfall-och-preem-fortsatter-samarbete-kring-fossilfri-vatgas-till-biobranslen (2021-09-04)

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).

EU-kommissionen, *PCI Fiche*, https://ec.europa.eu/energy/maps/pci_fiches/Pci-Fiche_12.3.pdf (Hämtad 2021-07-13)

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

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

Eurostat 2021, 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 2021-09-15).

Fortum Oslo Värme, *Fortum Oslo Värme and our Carbon Capture Project,* https://www.fortum.com/about-us/newsroom/press-kits/carbon-removal/fortum-oslo-varme-and-our-carbon-capture-project (Hämtad 2021-07-12)

Fossilfritt Sverige (2020), *Strategi för fossilfri konkurrenskraft- Vätgas*, https://fossilfrittsverige.se/wp-content/uploads/2021/01/Vatgasstrategi-for-fossilfri-konkurrenskraft-1.pdf

Global CCS Institute, 2020. *The Global Status of CCS.* https://www.globalccsinstitute.com/wp-content/uploads/2021/03/Global-Status-of-CCS-Report-English.pdf

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

Heidelberg Cement, *Storskalig satsning på koldioxidavskiljning i Norden blir verklighet ett stort steg närmare klimatneutreal,* https://www.heidelbergcement.se/sv/storskalig-satsning-pa-koldioxidavskiljning-i-norden-blir-verklighet-ett-stort-steg-narmare-klimatneutral-betong (Hämtad 2021-08-19)

HYBRIT, *En fossilfri utveckling*, https://www.hybritdevelopment.se/en-fossilfri-utveckling/, (hämtad 2021-08-03)

HYBRIT, *Världens första fossilfria stål färdigt för leverans*, https://www.hybritdevelopment.se/varldens-forsta-fossilfria-stal-fardigt-for-leverans/, (hämtad 2021-08-03)

HYBRIT, *Vätgaslagring*, https://www.hybritdevelopment.se/en-fossilfri-utveckling/vatgaslagring/, (hämtad 2021-08-03)

IEA Greenhouse Gas R&D Programme, 2020. *The status and Challenge of CO2 Shipping Infrastructures*

IEA, 2019. The Future of Hydrogen – Seizing today's opportunities. International Energy Agency.

IEA , 2017. Energy Technology Perspectives, 2017 edition.

Infrastrukturnyheter, 2020-11-24, *Swerock lanserar miljöbetong från nyöppnad fabrik,* https://www.infrastrukturnyheter.se/20201124/23847/swerock-lanserar-miljobetong-fran-nyoppnad-fabrik (Hämtad 2021-08-20)

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*.

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

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

IVA, 2019, *Så klarar svensk industri klimatmålen, en delrapport från IVA-projektet Vägval för klimatet,* https://www.iva.se/globalassets/bilder/projekt/vagval-klimat/201904-iva-vag-val-for-klimatet-delrapport1-n_ver2.pdf

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

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

Jernkontoret, *Tillverkning, användning och återvinningsprocesser i Stålindustrin* https://www.jernkontoret.se/sv/stalindustrin/tillverkning-anvandning-atervinning/processer/ (hämtad 2020-09-09)

Johnsson F., Normann F. och Svensson E., 2020. *Marginal Abatement Cost Curve of Industrial CO2 Capture and Storage – A Swedish Case Study,* Chalmers Tekniska Högskola

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

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 I., Toktarova A., Rootzén, J. och Odenberger, M., 2020. *Technical Roadmap – Cement industry*. Mistra Carbon Exit

Karltorp, Bergek, Fahnestock, Hellsmark och Ulman, 2019, *Statens roll för klimatomställningen i processindustrin.* RISE rapport 2019:15, https://www.ri.se/sites/default/files/2019-09/Statens%20roll%20f%C3%B6r%20klimatomst%C3%A4llning%20i%20processindustrin_RISE%20rapport%202019_15.pdf

Kemiföretagen Stenungssund, *Kemiföretagen Stenungssund,* http://kemiforetagenistenungsund.se/ (Hämtad 2021-09-04)

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

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

Luleå tekniska universitet, *Koldioxid fångas in för lagring i berggrunden,* https://www.ltu.se/research/subjects/Malmgeologi/nyheter/Koldioxid-fangas-in-for-lagring-i-berggrunden-1.204713 (Hämtad 2021-09-17)

Material Economics, 2020. *Preserving value in EU industrial materials – A value perspective on the use of steel, plastics and aluminium*. https://materialeconomics.com/latest-updates/preserving-value-in-eu-industrial-materials

Material Economics, 2018. *Industrial Transformation 2050 – Pathways to Net-Zero Emissions from EU Heavy Industry*. https://materialeconomics.com/publications/industrial-transformation-2050

Material Economics, *Ett värdebeständigt svenskt materielsystem – En rapport om materialanvändning ur ett värdeperspektiv.* https://materialeconomics.com/new-publications/ett-vardebestandigt-svenskt-materialsystem

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, 2021. *Kemisk återvinning av plast – Teknik, flöden och miljöaspekter*, rapport 6990.

Naturvårdsverket, 2019. *Fördjupad analys av den svenska klimatomställningen – Industrin i fokus*, Rapport 6911. http://naturvardsverket.diva-portal.org/smash/get/diva2:1450282/FULLTEXT01.pdf

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

Naturvårdsverket, Utsläppsregistret, utdrag avseende referensår 2019, https://utslappisiffror.naturvardsverket.se/

Naturvårdsverket och SCB, 2021. Utsläpp av växthusgaser från industrin efter växthusgas, bransch och år. *Statistikdatabasen.* https://www.statistikdatabasen.scb.se/pxweb/sv/ssd/START__MI__MI0107/MI0107IndustriN/ (hämtad 2021-05-30).

Norcem, *CCS Brevik,* https://www.norcem.no/no/CCS_Brevik (Hämtad 2021-08-19)

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

Norska regeringen, *Funding for Longship and Northern Lights approved,* https://www.regjeringen.no/en/aktuelt/funding-for-longship-and-northern-lights-approved/id2791729/ (Hämtad 2021-07-12)

Northern Lights, *What we do,* https://northernlightsccs.com/what-we-do/ (Hämtad 2021-09-20)

Plusquellec, G., Babaahmadi, A., L'Hopital, E. och Mueller, U., 2021. *Activated clays as supplementary cementitious material,* RISE Report 2021:25, ActivatedclaysasS-CM-Slutrapport.pdf

Porthos, *Project,* https://www.porthosco2.nl/en/project/ (Hämtad 2021-07-13)

Porthos, *102 million euros in funding on the horizon for Porthos,* https://www.porthosco2.nl/en/102-million-euros-in-funding-on-the-horizon-for-porthos/ (Hämtad 2021-07-13)

Preem, 2020. *Hållbarhetsredovisning 2020, https://www.preem.se/globalassets/om-preem/hallbarhet/preem_hallbarhetsredovisning_2020_sve.pdf*

Preem, 2019. *Årsredovisning 2019, https://www.preem.se/globalassets/om-preem/finansiell-info/arsredovisningar/2019/preem_arsredovisning_2019_sve.pdf*

Preem, *Case: CCS minskar co2-utsläppen.* https://www.preem.se/om-preem/hallbarhet/stabil-ekonomi/CCS-minskar-CO2-utslappen/ (Hämtad 2019-07-31)

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

Regeringskansliet, 2020. *Cirkulär ekonomi – strategi för omställningen i Sverige.* https://www.regeringen.se/4a3baa/contentassets/619d1bb3588446deb6dac198f2fe4120/200814_ce_webb.pdf

Regeringskansliet, 2020. *Cirkulär ekonomi – Handlingsplan för omställningen av Sverige.* https://www.regeringen.se/48f821/contentassets/561eea8cac114172b993c1f916e86a9b/cirkular-ekonomi-handlingsplan-for-omstallning-av-sverige.pdf

Regeringen, 2020. *Sverige godkänner regler som möjliggör export av koldioxid avsedd för lagring under havsbotten* https://www.regeringen.se/pressmeddelanden/2020/06/sverige-godkanner-regler-som-mojliggor-export-av-koldioxid-avsedd-for-lagring-under-havsbotten/ (Hämtad: 25 augusti 2020.)

Regeringens Prop. 2021/22:1, *Budgetproposition för 2022*, https://www.regeringen.se/4a6970/contentassets/cdd922ce835e4da0a87edcb38aafef65/utgiftsomrade-20-allman-miljo--och-naturvard.pdf

Roussanaly, S., Berghout, N., Fout, T., Garcia, M., Gardarsdottir, S., Mohd Nazir, S., Ramirez, A. och Rubin, E.S., 2021. *Towards improved guidelines for cost evaluation of carbon capture and storage for industry.* International Journal of Greenhouse Gas Control.Vol.106, nr. 103263

Rusal, 2020. *Transforming the vision, Sustainability Report 2020,* https://rusal.ru/upload/iblock/e34/e3474184f80194b484cd848b7048b0f8.pdf

SCB, 2021. 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 2021-09-15).

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

SGU, *Metall och mineralåtervinning,* https://www.sgu.se/mineralnaring/metall--och-mineralatervinning/ (Hämtad 2021-09-23)

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)

Skogsnäringens mediarevy, 2021 (Nr.29), *Nyhetsbrevet.*

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

SOU 2018:84. *Det går om vi vill. Förslag till en hållbar plastanvändning,* Stockholm 2020

SSAB, 2020. *Årsredovisning 2019*.

SSAB, Fossilfritt stål en viktig möjlighet för Sörmland, http://www.ssab.se/nyheter/2020/06/fossilfritt-stal-en-viktig-möjlighet-for-sormland, , (hämtad 2021-09-02)

SSAB, *Tidslinje för HYBRIT och fossilfritt stål*. https://www.ssab.se/ssab-koncern/hallbarhet/hallbar-verksamhet/hybrit-phases (hämtad 2021-08-03).

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

SusChem Sweden, *Plattformen för hållbar kemikalieindustri, https://www.ivl.se/vart-erbjudande/forskning/kemikalier/suschem-sweden---plattformen-for-hallbar-kemikalieindustri.html* (Hämtad 2021-09-04)

Svebio 2019, *Stor källor för biogen CO2 lista,* https://www.svebio.se/press/press-meddelanden/stor-potential-for-bio-ccs-i-sverige-38-orter-med-bast-forutsattningar/ (Hämtad 2021-10-06).

Svenska kraftnät, 2021. *Långsiktig marknadsanalys 2021 – Scenarier för elsystemets utveckling fram till 2050*

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).

Svenskt kunskapscentrum för förnybara drivmedel f3, *Faktablad elektrobränslen,* https://f3centre.se/sv/faktablad/elektrobranslen/ (Hämtad 2021-09-04)

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

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

Swerea, *Vägen till en grön masugn.* https://www.swerim.se/cases/vagen-till-en-gron-masugn (hämtad 2021-09-02).

Växjö Energi, *Växjö Energi vill fånga in koldioxid för att hjälpa klimatet,* https://www.veab.se/om-oss/press/pressmeddelanden/2021/v%C3%A4xj%C3%B6-energi-vill-f%C3%A5n-ga-in-koldioxid-f%C3%B6r-att-hj%C3%A4lpa-klimatet/ (Hämtad 2021-09-21)

World Steel Association. 2021. *World steel in figures2021*

World%20Steel%20in%20Figures%202021.pdf (worldsteel.org)

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

World%20Steel%20in%20Figures%202020i.pdf (worldsteel.org)

Övik Energi, Övik Energi inleder samarbete med Liquid Wind, https://www.mynewsdesk.com/se/oevik-energi/pressreleases/oevik-energi-inleder-samarbete-med-liquid-wind-2877584 (Hämtad 2021-09-06)

Bilaga 1. 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 vart 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 2 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[265].

[265] 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.

Bilaga 2. Bransch-, varu-, och produktindelning

Branschuppdelningen har gjorts med avsikt att fånga hela kedjan från råvara till slutprodukt. I tabell B2.1, B2.2 och B2.3 beskrivs vilka SNI-koder och SPIN-koder som ingår i respektive bransch, vilka varu- och produktkategorier dessa motsvarar samt CRF-kodernas branschindelning.[266] I slutet av bilagan finns en schematisk bild över hur branschindelningen i CRF och SNI hänger ihop.

Tabell B2.1 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[267]
• Raffinaderi	19.2
• Baskemikalier mm	20.1
• Råpetroleum och naturgas	
Bekämpningsmedel mm	20.2
Färg, lack mm	20.3
Rengöringsmedel mm	20.4

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

[267] 06 är främst relevant för handel eftersom det inte finns någon produktion av råolja eller naturgas i Sverige utan det importeras.

Rapportnamn	SNI/SPIN-kod
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

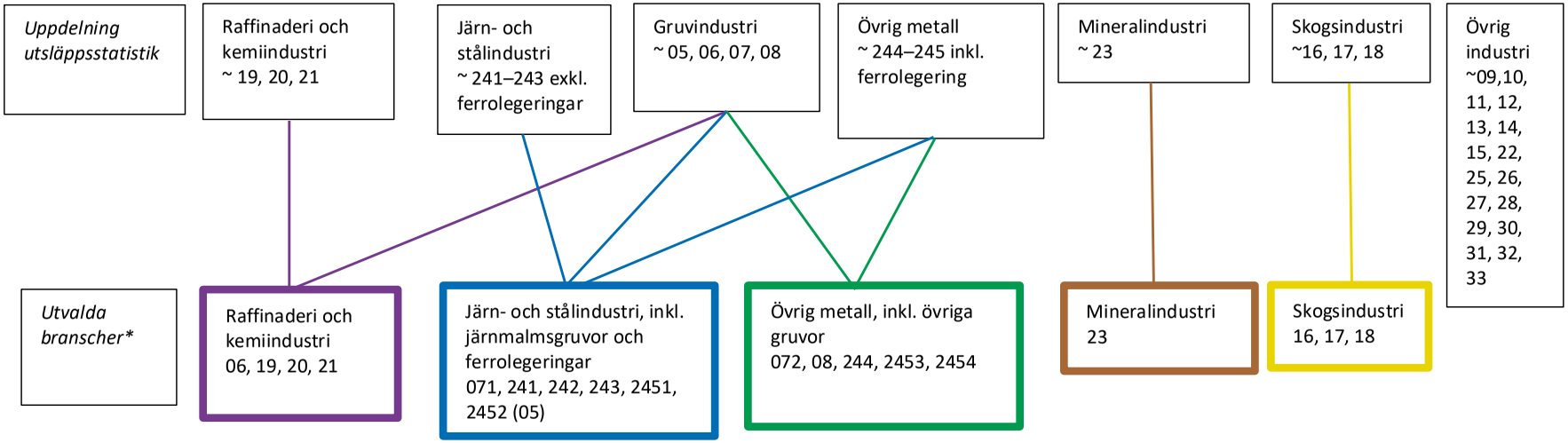
Tabell B2.2. Varu- och produktkategorier enligt HS/Kn och vilken bransch respektive produktkod antas tillhöra i rapporten. 2-siffrig HS/Kn kallas i rapporten för varukategori och 4-siffrig för produktkategori.

”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

”Bransch”	HS/KN	Rapportnamn
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
Raffinaderi 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
Skogsindustrin	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 B2.3. 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 petrokemiska produkter
Malmbaserad ståltillverkning
Produktion av koppar, bly, zink mm
Cementproduktion
Andra delbranscher/ processer
Läkemedel
Skrotbaserad ståltillverkning
Rör mm
Övrig ståltillverkning
Aluminiumproduktion (primär & skrotbaserad)
Gjutning
Glas, glasfiber mm
Tegel och keramiska plattor
Keramiska produkter
Varor av betong etc.
Stenvaror
Slipmedel stenull mm
Övriga kalkbaserade varor

Bilaga 3. Nuvarande processer inom industrin

Processer i järn och stålindustrin

Masugnsbaserad ståltillverkning står 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.

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[268]. I pelletsverken blandas sedan malmkoncentratet med olika tillsats- och bindemedel innan den rullas och bränns till pellets.[269]

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

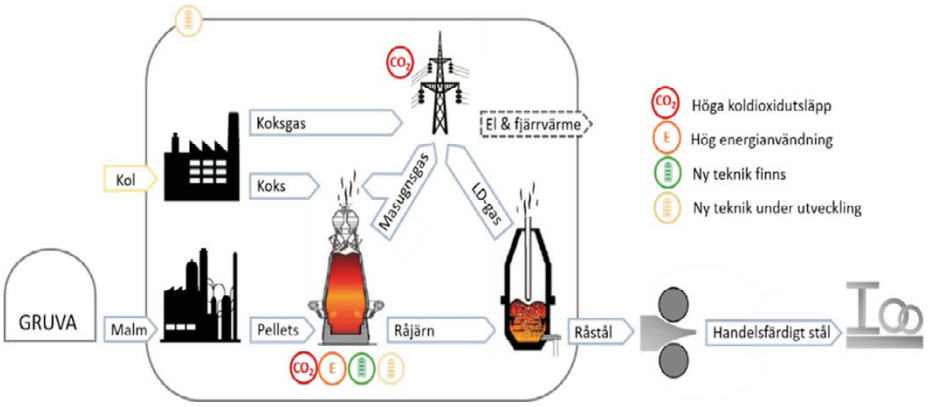
Masugnsbaserad tillverkning av råstål

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 B3.1 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.

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

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



Figur B3.1. 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 tekniskspår med potentialen att i stort sett eliminera utsläppen från den malmbaserade stålproduktionen. Läs mer i avsnitten 2.2.2 och 3.1.3.

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.[270] 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.[271,272]

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.[273,274] 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

[270] Jernkontoret, *Tillverkning, användning och återvinningsprocesser i Stålindustrin* https://www.jernkontoret.se/sv/stalindustrin/tillverkning-anvandning-atervinning/processer/ (hämtad 2020-09-09)

[271] Ibid.

[272] 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).

[273] Jernkontoret, 2018.

[274] 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).

i kraftvärmeverk. Om restgaserna inte används måste de facklas bort.[275] 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[276] 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.[277]

Skrotbaserad ståltillverkning

I skrotbaserad ståltillverkning smälts stålskrot i en elektrisk ljusbågsugn. I ljusbågsugnen alstras elektriska ljusbågar genom grafitelektroder[278]. 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.[279,280] De processutsläpp som genereras kommer bland annat från elektroderna och från det tillsatta kolet.[281] 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 snabbt komma upp i temperatur.[282] Vid förbränning av fossila bränslen uppkommer här förbränningsutsläpp.[283]

---

[275] 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.

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

[277] Jernkontoret, 2018.

[278] 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.

[279] Jernkontoret, 2018

[280] Jernkontoret, *Tillverkning, användning och återvinningsprocesser i Stålindustrin* https://www.jernkontoret.se/sv/stalindustrin/tillverkning-anvandning-atervinning/processer/ (hämtad 2020-09-09)

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

[282] Jernkontoret, 2018.

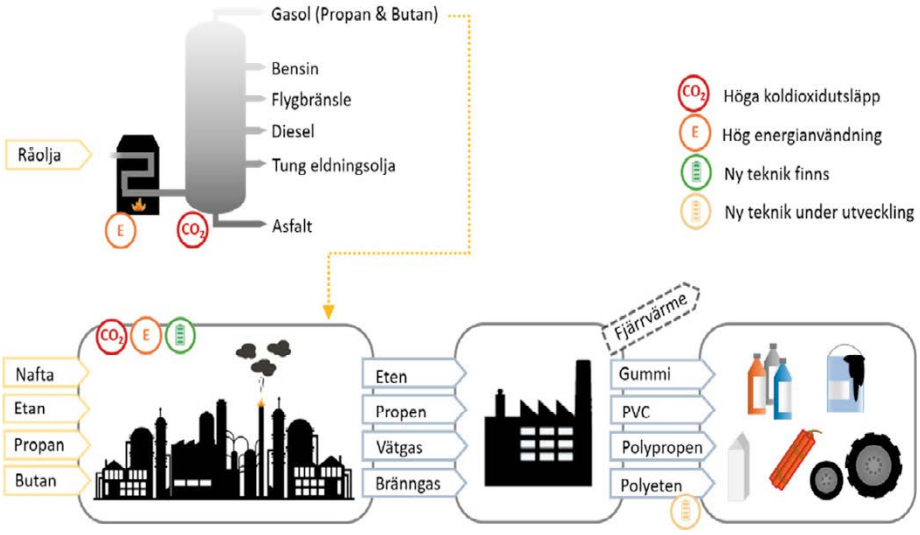
[283] Med undantag för när processgaserna som beskrivs under 3.1.2 används i dessa processer eftersom förbränning av processgaserna ger upphov till processrelaterade utsläpp.

Processer i raffinaderi – och kemiindustrin

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 för 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 B3.2 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 B3.2 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 B3.2. 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.

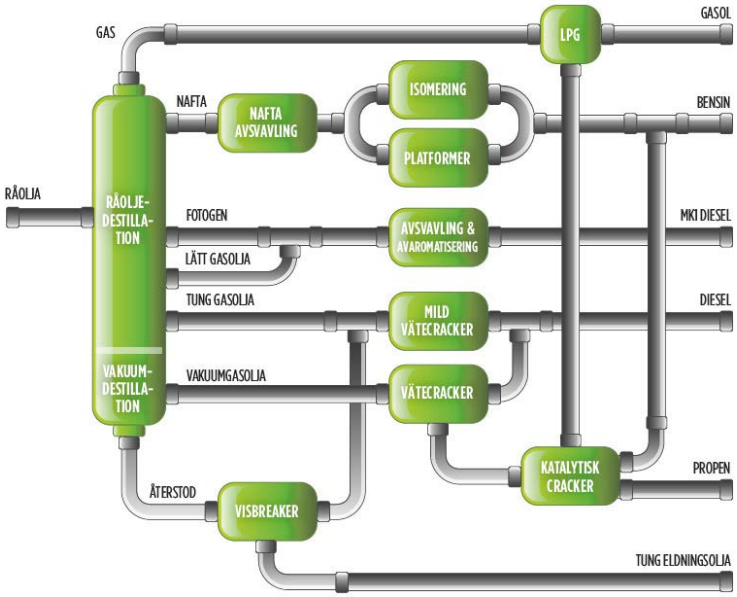
Processer i raffinaderier

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. Det 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 B3.3. Av de fem anläggningarna har en anläggning katalytisk kracker, två har vätgasanläggningar och fyra har svavelåtervinningsanläggningar.[284]



Figur B3.3. Exempel på en produktionsprocess för ett raffinaderi (Preemraff Lysekil).
Källa: Preem.

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

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).[285] 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).[286]

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 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[287] vid polyetentillverkningen. Olja förekommer också som stödbränsle men kvantiteterna är begränsade.

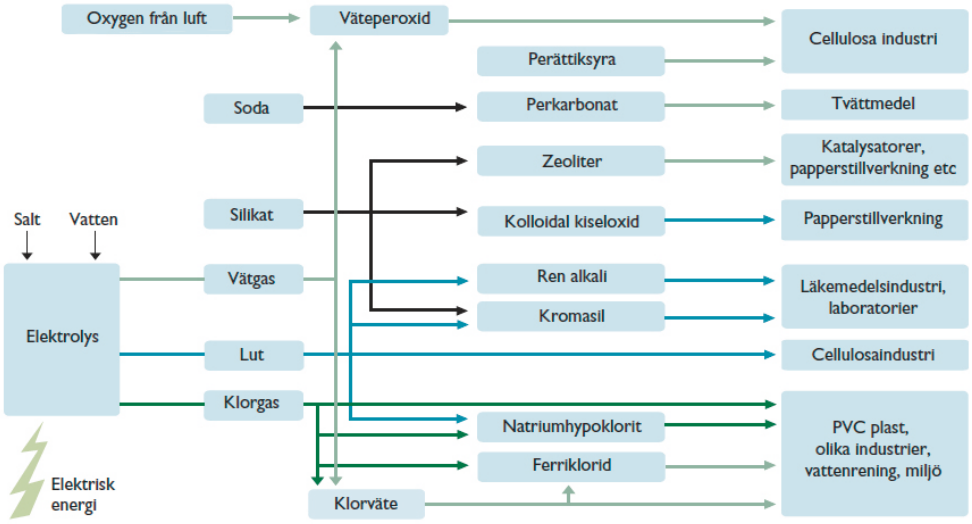
Eten och/eller propen används också vid tillverkning av etenoxid för produktion av etylenaminer, etanolaminer och olika tensider, samt för tillverkning av mjukgörare för PVC (polyvinylklorid), olika lack- och färgapplikationer och som insatsvara för tillverkning av PVC.

Inom den elektrokemiska industrin tillverkas en mängd olika kemikalier där elektrolys är den stora grundstenen, se Figur B3.4 t.ex. väteperoxid, natriumklorat, natrium-perkarbonat, saltsyra och natriumhypoklorit, samt klor för tillverkning av PVC.

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

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

[287] Maskiner där materialet pressas genom en form.



Figur B3.4. Exempel på elektrokemiska processer och produkter de genererar (Eka Chemicals, Bohus plants).

Källa: Sundelöf.[288]

Processer i cementproduktionen

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 B3.5. 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[289] och en roterugn[290]. 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.[291] 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.[292]

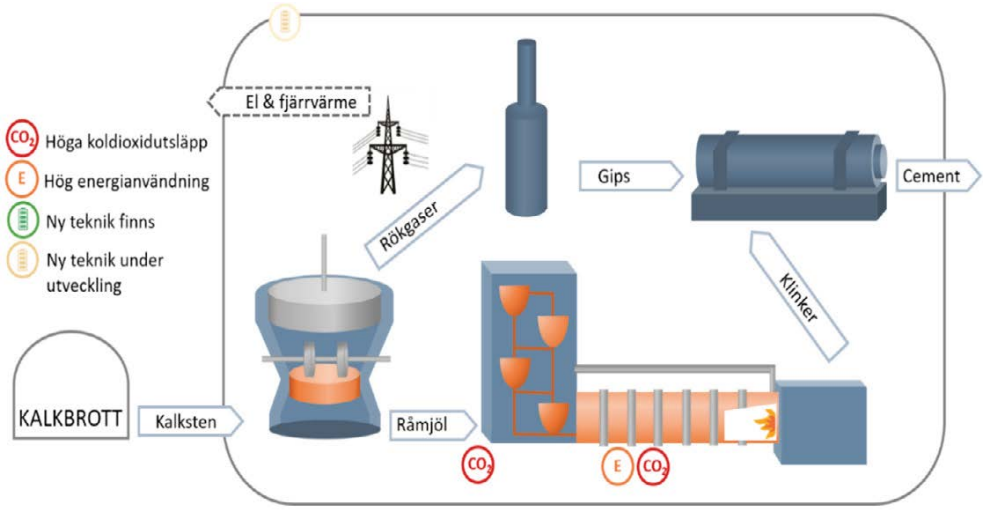
[288] Sundelöf, C., 2002.

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

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

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

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



Figur B3.5. 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 cementproduktionen. 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.[293] Tillverkningen av bränd och släckt kalk står därför också för en stor del av branschens fossila utsläpp.

Processer i framställning av koppar, bly och aluminium

Koppar- och blyframställning

Koppar och bly framställs antingen från metallkoncentrat (anrikad malm) eller från återvunnen metall. Den återvunna metallen består bland annat av elektronikskrot och restprodukter från tidigare processteg.

Malm 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.[294] 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 till olika smältverk. Bolidens smältverk i Sverige producerar i huvudsak koppar och blylegeringar, men materialflöden

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

[294] Flotation är en kemisk process för att separera olika metaller genom att förändra deras ytskikt till att bli hydrofob (vattenavvisande) eller hydrofil (attraheras av vatten) vilket gör att de flyter upp eller sjunker ned i vatten. Detta möjliggör separation av olika typer av malmer.

sker mellan företagets samtliga smältverk i Sverige, Norge och Finland för att optimera värdet från material och avfall.[295]

Kopparframställning

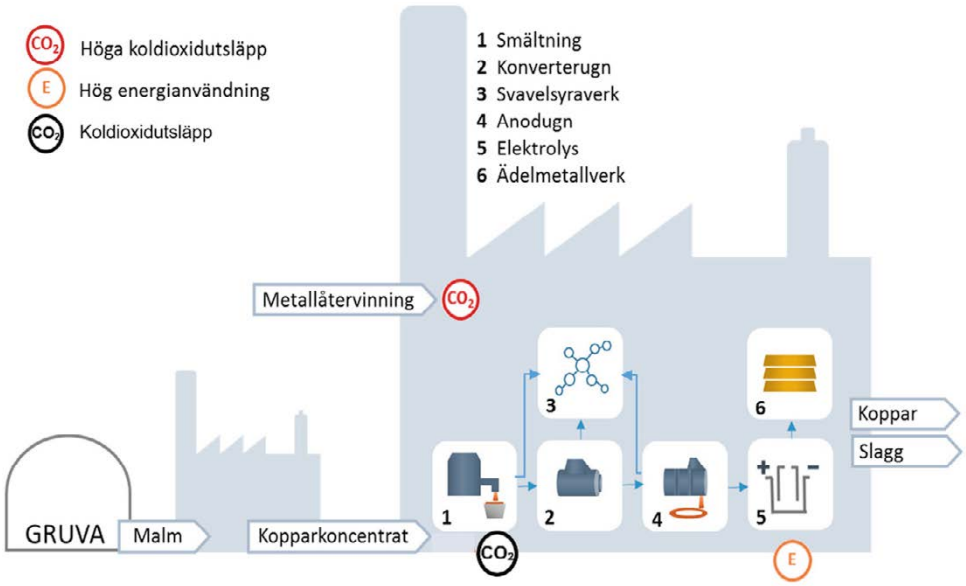
I Figur B3.6 illustreras kopparframställningen, med fokus på processerna som sker i smältverket. Först smälts koncentratet i en flamsmältningsugn, koncentratets svavel, järn och kol oxideras med syreberikad luft, vilket genererar tillräcklig värme för att smälta koncentratet till kopparsten (nummer 1 i Figur B3.6 nedan) samt koldioxidutsläpp. Värmen från processgaserna återvinns och används i produktionen. Den svavelhaltiga gasen från processen omvandlas till svavelsyra (nummer 3), vilket också genererar värme, som används till fjärrvärme. Kopparstenen förs vidare från flamsmältningsugnen till en konverterugn, (nummer 2) där syreberikad luft blåses in i smältan för att oxidera återstående svavel och järn och med tillsats av sand bildas slagg. Efter konvertering reduceras och raffineras råkopparn i en anodugn med hjälp av ammoniak (nummer 4). Anodkoppar, som innehåller ca 98% koppar, raffineras genom elektrolys till rena kopparkatoder (nummer 5). Ur elektrolysslammet utvinns ädelmetaller såsom guld, silver, platina och palladium (nr 6).

I kopparns tillverkningsprocesser tas allt värdefullt innehåll tillvara. För att utnyttja materialet optimalt och för att öka utbytet återvinns många mellanprodukter internt eller skickas till andra metallförädlingsföretag för återanvändning. På Boliden Rönnskär tillverkas zinkklinkers (som består av 70–75% zink) som återvinns ur slagg från kopparproduktionen och zinkrika restmaterial (stoft) från stålverk med hjälp av s.k. ”fumingteknik”. Zinkklinkers skickas sedan till zinksmältverket i Norge för vidareförädling till ren zink. För fuming så krävs kol för att reducera och utvinna metallen och det är den stora källan till processrelaterade utsläpp i framställningsprocessen.

Bolidens smältverk Rönnskär är en av världens största återvinnare av metall från elektronikmaterial. Elektronikmaterialet smälts i en kaldougn och det smälta materialet, kallat svartkoppar, sammanförs med smältverkets huvudflöde för vidareförädling och utvinning av koppar och ädelmetaller. Elektronikmaterial innehåller plast, en del av plasten används som energi i processen och en del resulterar i koldioxidutsläpp.

Fumingtekniken och återvinning av elektronikskrot är de två största källor till koldioxidutsläpp på Boliden Rönnskär.

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



Figur B3.6. Kopparframställning – från gruva till slutprodukt.
Källa: Energimyndigheten/Boliden.

Blyframställning

I Sverige produceras både primär- och sekundärbly. Cirka 60 procent av Bolidens bly kommer från återvinning, och resterande 40 procent från malm. Processen för framställning av primärbly liknar den för koppar, även om vissa skillnader finns, så som vilka typer av ugnar som används. Förutom den bly som kommer direkt ifrån malmen så tillvaratas blyrester från slaggen som blir över vid kopparframställningen.

Framställningen av primärbly sker i två steg där blykoncentrat, (även kallat blyslinger,) först smälts i en kaldougn. Råblyet förs sedan över till raffineringsverket, där det förädlas till rent bly och gjuts till tackor. Boliden Bergsöe i Landskrona är Nordens enda sekundära blysmältverk. Sekundärbly framställs från återvunnen metall, vilken främst utgörs av kasserade blybatterier. Vid återvinning separeras först plast och bly från batterierna i en plastseparationsanläggning. Återvunnen plast kan säljas vidare medan blyet smälts i en schaktugn och därefter raffineras och legeras innan det gjuts till tackor. Det är reduktionen i schaktugnen och kaldougnen som är de stora källorna till processrelaterade utsläpp eftersom fossila reduktionsmedel som koks och kol används. En stor andel av det bly som produceras används för tillverkning av nya bilbatterier. Överskottsvärmen från processerna täcker det årliga fjärrvärmebehovet för hela Landskrona kommun.

Aluminiumframställning

Aluminium tillverkas från skrot eller malm. Bauxitmalm innehåller 50–65 procent aluminiumoxid och är den vanligaste råvaran i malmbaserad aluminiumproduktion (primäraluminium).[296] Medan övrig malmbaserad metallproduktion utgår från råvaror som bryts i Sverige behöver bauxiten för produktion av aluminium importeras från andra länder. Primäraluminium tillverkas bara i Kubals smältverk i Sundsvall. Det sker genom elektrolys av aluminiumoxid i en saltsmälta. För elektrolysen används en

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

kolbaserad anod som förbrukas vid användning. Det förbrukas cirka 45 kilo kolanod för 100 kg primäraluminium.[297] Vid reaktionen bildas perfluorklorväten (PFC) och koldioxid och det är här de största processrelaterade utsläppen sker. Trots att utsläppen har minskat genom ett teknikskifte runt slutet på 00-talet så 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.

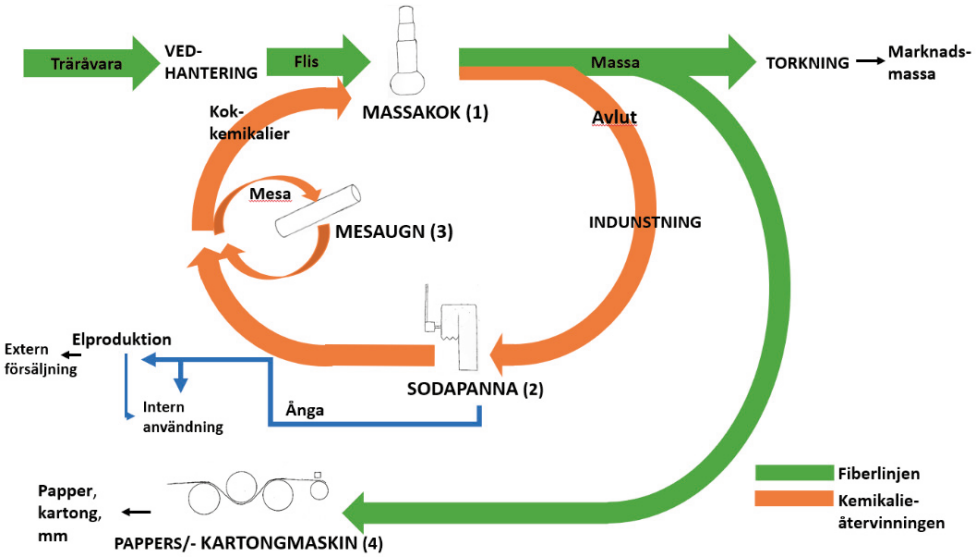
Zinkframställning

Produktion av zink görs i Bolidens anläggning i Finland och Norge där primärråvara i form av zinksliger och sekundär råvara i form av zinkklinker och zinkoxider används som råmaterial. Vid framställning av zink används mest el eftersom processen består av rostning av malmen till zinkoxid följt av lakning och elektrolys.

Processer i massa- och pappertillverkningen

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.[298]

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 B3.7 Principskiss över processerna för produktion av papper/kartong i ett integrerat kemiskt massabruk.

Källa: Energimyndigheten

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

[298] Kemisk massa kan också produceras genom sulfitprocessen.

Produktionen startar med att ved och flis kommer in till fabriken och förbereds för massakoket (nr 1 i Figur B3.7.) 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.

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.

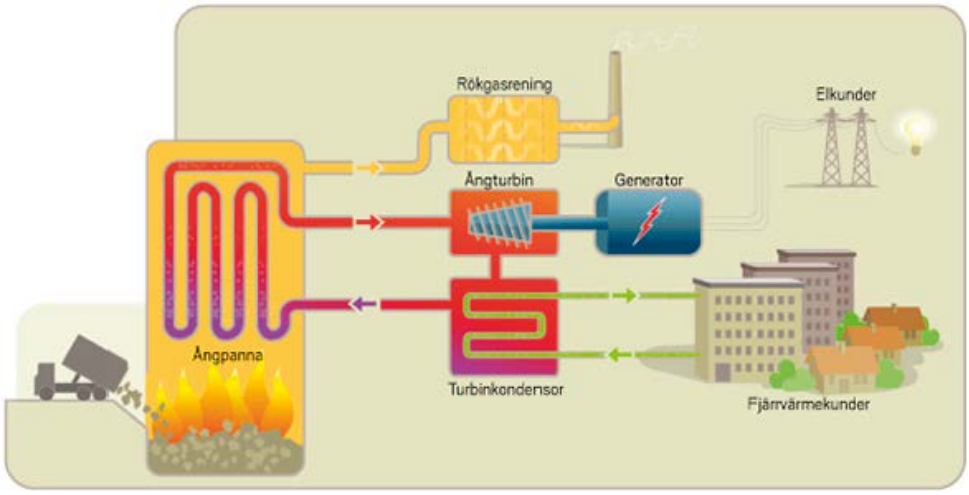
Ångan som bildas i sodapannan används dels för brukets interna värmebehov, t.ex. för torkning och indunstning. Den används också för att producera el som nyttjas internt men som också kan säljas externt. Vid behov kan det också finnas en separat ångpanna som kan elda t.ex. bark, flis, olja eller gas.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

Vid papperstillverkningen (nr 4 i Figur B3.7) 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.

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 B3.8. 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.[299]



Figur B3.8. Översiktsbild av processen i ett kraftvärmeverk.
Källa: Energiföretagen Sverige.

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.

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.[300]

[299] Energimyndigheten och SCB, 2021b. Årlig energistatistik (el, gas och fjärrvärme), tabell 4B, https://www.scb.se/publikation/37671

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

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