



Industrin – nuläge och förutsättningar för omställning

En nulägesanalys inom Industriklivet

ER 2022:13



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

Statens energimyndighet, oktober 2022

ER 2022:13

ISSN 1403-1892

ISBN (pdf) 978-91-7993-084-4

Tryck: Arkitektkopia AB, Bromma

Förord

Sverige är ett innovationsland och svenska industriföretag ligger i framkant i klimatomställningen t.ex. när det gäller fossilfri ståltillverkning, avskiljning och användning av koldioxid (CCU) och avskiljning, transport och lagring av biogen koldioxid (bio-CCS). Företagen med de största utsläppen satsar stort på att utveckla fossilfria tekniker och lösningar och att gå mot ett mer cirkulärt nyttjande av resurser. Detta belyser det faktum att statligt stöd för introduktion av ny teknik, som exempelvis Industriklivet, spelar en avgörande roll för att företag ska våga satsa på innovativa lösningar som initialt involverar hög risk. Företagens drivkraft är dessutom ett tydligt tecken på att det börjar att växa fram företagsmässiga incitament för att ställa om och gå före.

Vid sidan av stöd för teknisk utveckling och en framväxt av marknader för fossilfria produkter behövs insatser längs med hela värdekedjor såsom en utbyggnad av infrastruktur, kompetensförsörjning, nya former av aktörssamverkan samt förändring och utveckling av nationell och europeisk lagstiftning. För att säkerställa att de tekniksprång som är på gång verkligen kommer till stånd krävs därför att det tas ett helhetsgrepp på omställningen i form av långsiktig politisk inriktning med tydliga mål.

Inom ramen för Industriklivet har Energimyndigheten ett årligt uppdrag av regeringen att göra en sammanställning och analys över nuläget och förutsättningar vad gäller industrins olika sektors utsläpp, deras respektive potential till utsläppsreduktion och teknisk utveckling på området. Analysen ska även inkludera nuläge och förutsättningar för negativa utsläpp och strategiskt viktiga insatser som bidrar till klimatomställningen i övriga samhället. Denna rapport är redovisningen för år 2022. I årets upplaga finns ett extra fokus på förutsättningar som behöver komma på plats för att möjliggöra omställningen.

Eskilstuna i oktober 2022

Robert Andrén
Generaldirektör

Innehåll

Förord	1
Sammanfattande slutsatser	3
Executive summary (English)	7
1 Inledning	11
1.1 Metodbeskrivning	12
1.2 Avgränsningar	12
1.3 Rapportens upplägg	12
2 Huvudspår för omställningen	14
2.1 Biomassa	17
2.2 Vätgas	20
2.3 Elektrifiering	23
2.4 Avskiljning, transport och lagring av koldioxid (CCS)	27
2.5 Avskiljning och användning av koldioxid (CCU)	33
2.6 Materialeffektivitet och cirkulära flöden	35
3 Insatser för att nå målet om nettonollutsläpp	39
3.1 Insatser inom industrin för att reducera fossila koldioxidutsläpp	41
3.2 Insatser för att uppnå negativa utsläpp	80
4 Referenser	89
Bilaga 1. Utsläppsdefinitioner	100
Bilaga 2. Bearbetning och tolkning av statistik	103
Bilaga 3. Bransch-, varu-, och produktindelning	105
Bilaga 4. Innovativa lösningar	110

Sammanfattande slutsatser

Sverige har som mål att senast 2045 inte ha några nettoutsläpp av växthusgaser till atmosfären, för att därefter uppnå negativa utsläpp. Enligt målet ska utsläppen reduceras med minst 85 procent jämfört med 1990 medan de resterande 15 procenten kan uppnås genom kompletterande åtgärder såsom negativa utsläpp eller utsläppsminskningar i andra länder. Industrin står för cirka en tredjedel av Sveriges totala territoriella fossila växthusgasutsläpp och majoriteten av utsläppen är tätt förknippade med befintliga processer. Det innebär att det krävs ny teknik och nya lösningar för att minska utsläppen.

I den här nulägesanalysen presenteras industrins väg mot nollutsläpp vilket, förutom forskning och utveckling av nya tekniker, även täcker in frågor kopplade till teknikspridning, systemlösningar och policyutveckling på området. Rapporten är indelad i två delar där den ena delen (kapitel 2) fokuserar på industrins huvudspår för omställningen och de utmaningar som finns för att komma hela vägen fram till en storskalig tillämpning av dem medan den andra delen (kapitel 3) beskriver pågående insatser inom industrin för att nå målet om nettonollutsläpp. Innehållet i rapporten sammanfattats inte utifrån ovan indelning utan i stället i sex mer övergripande slutsatser i ett försök att zooma ut och skapa en bättre överblick av var industrin befinner sig i nuläget och vilka förutsättningar och utmaningar som utmärker vägen framåt mot nettonollutsläpp.

Omställningen har tagit fart inom svensk industri

Inom svensk industri pågår det stora satsningar på forskning och innovation (FoI) för att ställa om till fossilfri produktion. Tekniker och systemlösningar behöver utvecklas och testas för att kunna kommersialiseras (se mer i kap 2 och kap 3). Industrin förbereder olika tekniksprång som, om de landar väl, kan ta industrin och Sverige en bra bit mot nettonollutsläpp. Drivkraften att ställa om märks inte minst inom satsningen Industriklivet som fram till den 1 september 2022 hade beviljat stöd för sammanlagt 124 projekt med innovationshöjd och potential att bidra till att nå klimatmålen. Medan stödet uppgick till 2,1 miljarder kronor motfinansierade industrin och övriga aktörer insatserna till en summa av 5,1 miljarder kronor. Genom Industriklivet och de program som Energimyndigheten driver inom energiforskningsanslaget kan projekt i alla utvecklingsfaser stödjas från grundforskning till investeringar och över hela värdekedjor.

Svenska företag har även varit framgångsrika på EU-nivå där 6 av de 38 projekt som hittills beviljats stöd från EU:s Innovationsfond är svenska. Två av dem avser investeringar i storskaliga anläggningar. Ytterligare två svenska fullskaleanläggningar inom raffinaderi- och kemiindustrin har förutvalts för investeringsstöd i Innovationsfondens andra utlysning (av totalt 17) men har inte ännu skrivit avtal.

En förutsättning för att företag ska vilja investera i nya gröna tekniker är att det finns eller skapas marknader för produkter med högre klimatprestanda. I dagsläget finns tecken på att det för vissa produkter har börjat att växa fram sådana marknader, t.ex. för fossilfritt stål och biodrivmedel (se mer i kap 3).

Svensk industri satsar främst på fem olika teknikspår

Gemensamt för de mest utsläppsintensiva branscherna är att de främst satsar på fem olika tekniska huvudspår för omställningen. Dessa utgörs av:

- **vätgas,**
- **biomassa,**
- **elektrifiering,**
- **avskiljning, transport och lagring av koldioxid (CCS)** tillämpat på både fossila och biogena utsläpp (**bio-CCS**), samt
- **avskiljning och användning av koldioxid (CCU).**

Som ett komplement till de tekniska huvudspåren behövs även en ökad **materialeffektivisering** som kan bidra till att omställningen nås till en lägre kostnad samt till försörjningstrygghet av material, fossilfri energi och fossilfria råvaror. För att kunna återcirkulera material i slutna kretslopp behöver åtgärder sättas in långs med en produkts hela värdekedja.

Omställningen har kommit olika långt i olika branscher

Av de utsläppsintensiva branscherna har **järn- och stålindustrin** kommit längst med åtminstone ett av de teknikspår som branschen fokuserar på, nämligen vätgasbaserad direktreduktion. Medan SSAB, LKAB och Vattenfalls gemensamma satsning HYBRIT planerar att ha en storskalig demonstrationsanläggning färdigställd till 2025 går H2 Green Steel (H2GS) direkt på investering och planerar att ha en fullskalanläggning i gång till 2025. Inom HYBRIT har även ett vätgaslager i pilotskala driftsatts i anslutning till en pilotanläggning för fossilfri ståltillverkning (läs mer om järn- och stålindustrin omställning i avsnitt 3.1.2).

Raffinaderi- och kemiindustrin fokuserar på flera tekniska lösningar för att minimera utsläppen såsom en övergång till fossilfri vätgas, förnybar råvara, elektrobränslen och elektrokemikalier samt kemisk återvinning av plast. Även om det pågår en hel del insatser inom branschen föreligger stora osäkerheter kring tillämpning av samtliga tekniker (t.ex. tillgång till eleffekt i södra Sverige, hållbarhetsbedömningar och reduktionspliktens utveckling). Därför kommer policyutvecklingen på både nationell och EU-nivå de närmaste åren att vara avgörande för branschens omställning (läs mer om raffinaderi- och kemiindustrin omställning i avsnitt 3.1.3).

Inom **mineralindustrin** har Sveriges största cementproducent Cementa annonserat att företaget kommer att vara klimatneutralt till 2030. I brist på alternativa lösningar för att eliminera de fossila utsläpp som härrör från användningen av kalksten i cementtillverkningen planerar Cementa att koppla på CCS på sin fabrik på Gotland, vilken i dagsläget står för cirka 3 procent av Sveriges totala fossila utsläpp. För att CCS-anläggningen ska komma på plats förutsätts både en förbättrad överföringskapacitet av el mellan fastlandet och Gotland samt en fungerande marknad för transport och lagring av koldioxid (läs mer om mineralindustrins omställning i avsnitt 3.1.4).

För **övrig metall** befinner sig de tekniska lösningar som branschen fokuserar på fortfarande på forskningsstadiet och inkluderar bl.a. vätgasbaserad reduktion i smälta och alternativa reduktionsmedel såsom biokol för att ersätta kol- och koksanvändningen i tillverkningsprocesserna. Redan i dag sker en hög grad av återvinning av metaller men även den står inför utmaningar att bli fossilfri till följd av bl.a. svårseparerade plastdelar i elektronikskrot (läs mer om övrig metalls omställning i avsnitt 3.1.5).

Industrin kan bidra till klimatomställningen i övriga samhället

Genom att implementera ny teknik och lösningar inom industrin kan industrin fungera som möjliggörare för klimatomställningen i övriga samhället genom att skapa förutsättningar för utsläppsminskningar i andra delar av värdekedjan. Plastreturaffinaderier är ett exempel på detta där en ny industri håller på att växa fram för att lösa en samhällsutmaning och öka cirkulariteten i Sverige (läs mer om detta i avsnitt 3.1.3). Ett annat exempel är Stena Recycling som ska bygga en återvinningsanläggning för litiumjonbatterier med en tidigare obeprövad teknik som inte bara innebär lägre utsläpp från batteriåtervinningen utan också kan bidra till att minska batteriernas koldioxidintensitet över livscykeln (läs mer om detta och liknande typer av insatser i avsnitt 3.1.6).

Vissa bransch- och teknikövergripande förutsättningar måste komma på plats för att möjliggöra industrins omställning

Tillgång på **biomassa och fossilfri el** är huvudförutsättningar för industrin för att kunna ställa om till fossilfritt. Det innebär att alla de hinder och utmaningar som finns för att möjliggöra en omfattande elektrifiering och för att möta efterfrågan på biomassa även utgör hinder för industrins omställning (läs mer om biomassans och elektrifieringens utmaningar i avsnitt 2.1 och 2.3). Även en säkrad tillgång på kritiska råmaterial såsom jordartsmetaller, litium och bauxit behövs i omställningen (läs mer om varför dessa råmaterial anses vara kritiska i avsnitt 2.6).

På EU-nivå pågår en omarbetning av samtliga regelverk på klimat- och energiområdet inom **Fit for 55-paketet**. När dessa väl är färdigförhandlade och träder i kraft, kommer de att ha stor påverkan på utvecklingen av de olika teknikspåren. Förnybartdirektivet definierar vilken, och under vilka förutsättningar som, energibärare såsom biomassa och el kan anses vara hållbara. Omarbetningen av förnybartdirektivet kommer att förändra förutsättningarna för de olika teknikspåren vilket kan innebära att vissa av de omställningsalternativ som beskrivits ovan inte längre kommer att vara tillgängliga efter att det nya direktivet har trätt i kraft (läs mer om hur pågående policyprocesser kan komma att påverka de olika huvudspåren i kapitel 2).

Samtliga av industrins förutsättningar och utmaningar i omställningen har inte kunnat täckas in i denna rapport. Som exempel behandlas inte frågor om kompetensförsörjning, vilket utgör en kritisk pusselbit i industrins omställning.

Flertalet teknik- och/eller branschspecifika utmaningar föreligger

I övrigt finns ett flertal utmaningar som är specifikt kopplade till teknikspåren och som i vissa fall också berör särskilda branscher specifikt. Dessa kan delas in i utmaningar kopplade till:

- **teknikutveckling:** avser utmaningar kopplade till utveckling av en specifik teknik. Utmaningarna för en och samma teknik kan ibland skilja sig åt mellan tillämpningar både mellan och inom branscher. Som exempel behövs fortsatt FoU/FoI för att omvandla biomassa till produkter med rätt egenskaper och kvalitet för att kunna ersätta olika fossila råvaror. Biomassa är ett teknikspår som utforskas inom stål-, bly- och kopparframställningen samt inom raff- och kemiindustrin (läs mer om biomassa i avsnitt 2.1 och branschspecifika utmaningar i avsnitt 3.1).
- **teknikspridning:** avser utmaningar kopplade till att skala upp en specifik teknik när den har nått en högre mognadsgrad i utvecklingsprocessen. Till följd av skal-fördelar och kunskapsspridning sjunker kostnaderna för en teknik när de första anläggningarna har byggts. Att påskynda teknikspridningen kan därmed göra att nya tekniker snabbare blir konkurrenskraftiga mot fossila alternativ vilket skapar konkurrensfördelar på den internationella marknaden. Exempelvis förutsätter en storskalig vätgasproduktion att det sker en kraftig ökning av produktionskapaciteten för elektrolysörer, vilket innebär att hela försörjningskedjan för råmaterial och komponenter till elektrolysörerna behöver byggas ut i snabb takt (läs mer om vätgas i avsnitt 2.2).
- **policyutveckling:** avser utmaningar kopplade till regelverk, styrmedel och annan styrning på områden som berör en specifik teknik och/eller bransch. Ett exempel är den osäkerhet som råder kring bedömning av klimatnyttan av olika tillämpningar av CCU-tekniken eftersom den inte endast beror på vilka kolatomer som används men också på en rad olika faktorer kopplade till framställningen av de slutprodukter som kolatomerna utgör byggstenar i (läs mer om CCU i avsnitt 2.5).
- **systemlösningar:** avser utmaningar kopplade till att få på plats en fungerande värdekedja för den nya tekniken (eller nya lösningen). Exempelvis utgör olösta systemfrågor, såsom bl.a. hur marknader för negativa utsläpp kan skapas och hur juridiska och acceptansmässiga hinder kan övervinnas, barriärer för en spridning av CCS/bio-CCS (läs mer om CCS/bio-CCS i avsnitt 2.4)

Executive summary (English)

Sweden has set a target to reach net zero emissions of greenhouse gases (GHGs) to the atmosphere by 2045, and to thereafter achieve negative emissions. The target requires an emission reduction by at least 85 percent compared to 1990, while the remaining 15 percent can be achieved through complementary measures such as carbon sequestration and emission reductions in other countries. Swedish industry is currently responsible for about one third of national fossil GHG emissions. A large share of the sector's remaining emissions is closely interlinked with current manufacturing processes, which implies that innovative technologies and solutions are necessary to decrease them.

This report presents the Swedish industry's path towards reaching the net zero emissions target. In addition to research and development of new technologies, the report also covers topics related to technology deployment, system solutions and policy development. The report is divided into two parts where the first part (Chapter 2) focuses on the industry's main transition pathways and key challenges to make it all the way to a large-scale implementation of them. The second part (Chapter 3) describes ongoing initiatives within the industry that are contributing to achieving the net zero target. The content of the report is not summarised according to the structure of the report. Instead, it is summarised in six overarching conclusions intended to provide a zoomed-out overview of where the Swedish industry is currently situated on their transition journey, as well as the conditions and challenges that characterise the path ahead towards reaching net zero emissions.

The climate transition has taken off in Swedish industry

Stakeholders within the industry sector are investing significant amounts of resources into research and innovation (R&I) of fossil-free manufacturing. Technologies and system solutions need to be developed and tested in order to be commercialised. The industry is preparing for various technological leaps that, if they land well, could take the industry and Sweden a long way towards reaching net zero emissions. The impetus to transition is particularly evident within the Swedish funding program called the Industry Leap, which up until 1 September 2022 had granted support to a total of 124 innovative projects with potential to contribute to achieving the climate targets. While the government support amounted to SEK 2.1 billion, the industry and other stakeholders invested SEK 5.1 billion into the projects. Through the Industry Leap and other support programs run by the Swedish Energy Agency under the Energy Research Grant, projects at all stages of development can be supported from early research to investment, as well as across entire value chains.

Swedish firms have also been successful at EU-level, where 6 of the 38 projects that have so-far been granted support from the EU's Innovation fund are Swedish. Out of these, two involve investments in large-scale facilities. Two additional full-scale facilities within the Swedish refinery and chemical industries have been pre-selected for investment support in the fund's second call (out of a total of 17) but have yet to sign contracts.

For companies to want to invest in innovative green technologies and solutions it must be economically viable to do so. Thus, there must either exist, or be established, markets for products with higher climate performance. For some products with lower climate footprint, such as fossil free steel and biofuels, there are signs that such markets are currently evolving.

Swedish industry is mainly focusing on five different technologies

A common denominator among the hard-to-abate industries in Sweden is the focus on mainly five technology pathways to transition. These include:

- **hydrogen,**
- **biomass,**
- **electrification,**
- **carbon capture, transport, and storage (CCS)** applied to both fossil and biogenic emissions (**bio-CCS**), and
- **carbon capture and utilization (CCU).**

As an overarching complement to the technology pathways, it is also necessary with an increased **material efficiency**. This can contribute to lowering the cost of the transition as well as to secure the supply of critical material and fossil-free energy in the transition. For materials to recycle in closed loops, measures need to be implemented along the entire value chain of a product.

The progress is varying across subsectors

Of the hard-to-abate sectors the **iron and steel industry** has come farthest along the path towards climate neutrality with at least one of the technologies on which the industry is focusing, namely direct reduction with hydrogen. While the consortium HYBRIT plans to have a demonstration plant ready for production by 2025, the start-up company H2 Green Steel (H2GS) has headed straight for investment in a commercial scale facility and announced that their production will be up and running by 2025. HYBRIT has also inaugurated a pilot scale hydrogen storage facility next to its (pilot scale) fossil-free steel plant in northern Sweden.

The **refinery- and chemical industries** focus on several technological pathways such as a shift from fossil based to fossil-free hydrogen, e-fuels, e-chemicals and chemical recycling of plastic. Despite many R&I initiatives taking place within these industries, their path ahead is surrounded by several uncertainties linked to the application of the different technologies. This includes access to electricity in the South of Sweden where these industries are primarily located, revisions/development of sustainability assessments on EU-level, and the development of the Swedish GHG reduction mandate. Consequently, policy development in the coming years (at both the national and EU-level) will be crucial for the transition of these industries.

Within the **mineral industry**, Sweden's sole producer of cement (Cementa) has declared to be climate neutral by 2030. In the absence of alternative solutions to eliminate the fossil GHG emissions that stem from using limestone in the production process, Cementa plans to deploy CCS at its factory located on the island of Gotland. The factory produces 75 percent of Swedish cement and is currently responsible for around 3 percent of national fossil GHG emissions. For CCS to be a feasible option, it requires an increased transmission capacity for electricity from the mainland to Gotland as well as an operating market for transport and storage of carbon dioxide.

For the subsector that encompasses all **other metals** than steel, technical solutions are still in the research phase of development. These solutions include hydrogen-based reduction

in smelters and alternative reduction agents (such as biochar) to replace the use of coal and coke in manufacturing processes. Recycling levels within the subsector are high but recycling processes also face challenges to reduce emissions due to i.a. difficulties to separate plastic parts from metal in electronic scrap.

The industry can contribute to the climate transition in other parts of society

By applying new technologies and solutions within its own sector, the industry can contribute to the climate transition in other sectors by creating enabling conditions for emission reductions in other stages of the value chain. Plastic recycling refineries are one example where a new industry is emerging to solve a societal challenge and to increase circularity in Sweden. Another example is the recycling facility for lithium-ion batteries that Stena Recycling is constructing. Within the new facility, a previously untested technology will be applied with the potential to not only lower emissions from the battery recycling process, but also to reduce the carbon footprint of batteries across the entire lifecycle.

Certain cross-sectoral and cross-technological enabling conditions need to be in place

Sufficient supply of **biomass and fossil-free electricity** to enable application of new technologies and solutions is a key prerequisite for the industry's climate transition. Consequently, all challenges and barriers to enable a large-scale electrification and to meet the demand for biomass are therefore also barriers to the industry's transition. The transition also requires secure supply of critical raw materials such as rare earth minerals, lithium, and bauxite.

At EU level, all climate and energy regulatory frameworks are currently under revision within the **Fit-for-55 package** which, once negotiated and in force, will have significant impact on the development of the different technologies. The Renewable Energy Directive (RED) defines which, and under what conditions, energy carriers such as biomass and electricity are considered sustainable. Revisions of the RED will alter the conditions for the different technology pathways, which could imply that some of the alternatives described above will no longer be available once the new directive enters into force.

It should be mentioned that all conditions and challenges necessary for the industry's transition could not be covered in this report. As an example, skills supply is not mentioned in the report, although it is a crucial component in the transition.

Several technology and/or subsector specific challenges exist

In addition, there are several challenges that are specifically linked to the technology pathways and in some cases, also to specific subsectors. The technology and/or subsector specific challenges can be divided into the following categories:

- **Technology development:** refers to challenges related to the development of a specific technology. Challenges for one technology can sometimes differ between applications, both in-between and within sectors. As an example, further R&I is required to convert biomass into products with the right properties and quality to replace the different fossil-based alternatives in use today. Biomass is explored as an alternative within steel, lead and copper manufacturing, as well as in the refinery- and chemical industries.
- **Policy development:** refers to challenges related to regulations, policy instruments and other forms of governance in areas related to a specific technology and/or sector. One example is the uncertainty surrounding the assessment of climate impacts from different applications of CCU technology. Such assessment is complicated since it does not only depend on which carbon atoms that are used, but also on a range of factors related to the manufacturing of the final product of which the carbon atoms become building blocks.
- **Technology deployment:** refers to challenges associated with scaling up a specific technology once it has reached higher levels of maturity in the development process. As a result of economies of scale and knowledge spillovers, the cost of a technology drops once the first facilities are in place. Accelerating the speed of technology deployment can thus advance the timing of when new technologies become competitive to fossil-based alternatives and generate competitive advantages on the international market. As an example, a large-scale production of hydrogen requires a significant increase in the production capacity of electrolyzers. This in turn implies that the entire supply chain for raw materials and components used in electrolyzers needs to be expanded at a rapid pace.
- **System solutions:** refers to challenges linked to the establishment of a functioning value chain for the new technology (or new solution). For example, unresolved system issues, such as how to create markets for negative emissions and overcome legal and acceptance related barriers need to be solved for a large-scale deployment of CCS/bio-CCS.

1 Inledning

I juni 2017 antog riksdagen ett klimatmål att Sverige senast 2045 inte ska ha några netto-utsläpp av växthusgaser till atmosfären för att därefter uppnå negativa utsläpp. I dagsläget står industrin¹ för nästan en tredjedel av Sveriges totala fossila växthusgasutsläpp² vilket innebär att en kraftig minskning av sektorns utsläpp är nödvändig för att nå klimatmålet.³ Majoriteten av kvarvarande utsläpp är tätt förknippade med produktionsprocesser och insatsråvaror vilka kräver innovativ teknik och innovativa lösningar för att ställa om.

Industrin är en sektor med långa investeringscykler som ofta sträcker sig över minst 20 år. För att företag ska våga satsa på innovativ teknik och innovativa lösningar som inledningsvis involverar hög risk krävs politisk långsiktighet och tydliga spelregler för att minska osäkerheter kring den framtida policyutvecklingen, både nationellt och på EU-nivå. Just nu pågår en omarbetning av samtliga EU:s regelverk på klimat- och energiområdet inom det s.k. *Fit for 55*-paketet vilka, när de väl är färdigförhandlade och träder i kraft, kommer att ha stor betydelse för utvecklingen inom industrin. Inom ramarna för omarbetningen sker bl.a. en uppstramning av EU:s system för handel med utsläppsrätter (EU ETS) som är ett viktigt styrmedel för att främja en omställning till fossilfri produktion. Även omarbetningen av hållbarhetskriterierna i förnybartdirektivet kommer att ha stor betydelse för förutsättningarna för svensk industri att tillämpa olika omställningsspår framöver.

För att minska utsläppen krävs även långsiktiga satsningar på forskning och utveckling. Inom ramen för Industriklivet finns möjlighet att få stöd för innovativa åtgärder som minskar de processrelaterade utsläppen och vissa andra typer av växthusgasutsläpp som är kopplade till produktionsprocesserna. Det är också möjligt att få stöd för åtgärder som bidrar till negativa utsläpp och för strategiska insatser inom industrin som bidrar till klimatomställningen i samhället i stort.⁴ Industriklivet är sedan 2021 en del av den gröna återstarten för ett klimatsmart samhälle efter covid-19-pandemin och ingår i *EU:s Facilitet för återhämtning och resiliens* (The Recovery and Resilience Facility, RRF).⁵ RRF är ett inlag i *NextGenerationEU* som bland annat ska bidra till ett mer miljövänligt EU, bättre anpassat till nuvarande och kommande utmaningar.

Enligt regeringsbeslutet om regleringsbrev för budgetåret 2022 avseende anslag 1:19 Industriklivet (M2021/02392) ska Energimyndigheten årligen göra en sammanställning och analys över nuläget och förutsättningar vad gäller olika sektors utsläpp, deras respektive potential till utsläppsreduktion och teknisk utveckling på området. Detsamma

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

³ Naturvårdsverket och SCB, 2022. https://www.statistikdatabasen.scb.se/pxweb/sv/ssd/START_MI_MI0107/MI0107IndustriN/

⁴ Regleringsbrev avseende anslag 1:19 Industriklivet (M2021/02392)

⁵ Europeiska Kommissionens webbsida, *En hörnsten i Sveriges återhämtning*. https://ec.europa.eu/info/sites/default/files/factsheet_se_assessment_final.pdf (Hämtad 2022-09-29)

ska göras för negativa utsläpp och strategiskt viktiga insatser som är viktiga för klimatomställningen. Sammanställningen ska redovisas till Regeringskansliet (Miljödepartementet) senast den 31 oktober 2022.

1.1 Metodbeskrivning

Rapporten bygger på bl.a. 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 och Energimyndigheten. Statistikkällorna beskrivs i bilaga 2 och bilaga 3.

1.2 Avgränsningar

Nulägesanalysen fokuserar främst på de branscher som står för majoriteten av de processrelaterade utsläppen i Sverige, dvs. järn- och stålindustrin, mineralindustrin (cementproduktionen), raffinaderier och kemiindustrin samt övrig metall. I år lyfts även exempel från andra sektorer som avser insatser som bidrar till klimatomställningen i samhället i stort. Vad gäller negativa utsläpp är fokus främst på de branscher/sektorer med stora biogena utsläpp och stora punktkällor, dvs. massa- och pappersindustrin samt el- och värmesektorn.

I rapporten beskrivs utmaningar och förutsättningar för de olika huvudspåren för omställning där även aktuella policyfrågor behandlas. För att begränsa rapportens omfång beskrivs inte all relevant policy på området utan avgränsas till policy som är under utveckling eller omarbetning och därför kan komma att förändra förutsättningarna för de olika huvudspåren. Av samma anledning har inte heller samtliga utmaningar och förutsättningar för industrins omställning kunnat behandlas. Exempelvis har det inte funnits utrymme att beskriva utmaningar kopplade till kompetensförsörjning eller långa miljötillståndprocesser.

1.3 Rapportens upplägg

Rapporten är indelad i två delar där den första utgörs av kapitel 2 som beskriver de huvudsakliga omställningsspåren som industrin satsar på för att nå nettonollutsläpp. Dessa utgörs av tekniskspåren biomassa, vätgas, elektrifiering samt avskiljning, transport och lagring av koldioxid (CCS/bio-CCS) och avskiljning och användning av koldioxid (CCU) samt materialeffektivisering som är ett övergripande komplement till de tekniska huvudspåren. För respektive huvudspår behandlas både tekniska och övriga utmaningar och förutsättningar som föreligger, vilket inkluderar ny policy och förändringar i befintlig policy som kan komma att påverka utvecklingen för respektive huvudspår.

I kapitel 3 återfinns den andra delen av rapporten som presenterar aktuella insatser inom industrin. Fokus ligger på de branscher i Sverige som har stora fossila utsläpp och deras arbete med att reducera utsläppen för att nå nettonollutsläpp. Branscherna i fokus är närmare bestämt järn- och stålindustrin inklusive järnmalmgruvor, mineralindustrin, raffinerier och kemiindustrin (som beskrivs samlat eftersom de har flera gemensamma processer och utmaningar) samt övrig metallindustri inklusive övriga gruvor. Kapitel 3 är i sin tur indelad i två avsnitt, där avsnitt 3.1 fokuserar på insatser för att reducera industrins fossila koldioxidutsläpp. Avsnittet ger en översikt över branscherna och beskriver vägar för att nå nettonollutsläpp i respektive bransch. En överblick ges även över branscherna vad gäller handel och marknad. I avsnitt 3.2 beskrivs potentialen för negativa utsläpp och de sektor med störst potential som i dagsläget utgörs av papper-och massaindustrin samt i kraftvärme- och värmeverk. Avsnittet innehåller också en sammanställning av pågående bio-CCS projekt i Sverige.

I bilaga 1 beskrivs utsläppen och utsläppsdefinitioner som används i rapporten. I bilaga 2 beskrivs statistiken som redogörs för i rapporten och i bilaga 3 beskrivs hur branschindelingen gjorts. Bilaga 4 beskriver innovativa lösningar som industrin kan ersätta nuvarande produktionsprocesser med.

2 Huvudspår för omställningen

För att Sverige ska nå klimatmålen måste industrin ställa om till fossilfria processer, vilket kräver ny teknik och nya lösningar. Hittills har den svenska industrin i huvudsak satsat på fem olika teknikspår för att minska de fossila växthusgasutsläppen. Teknikerna i fråga har kommit olika långt i utvecklingsprocessen och är samtliga i behov av fortsatt forskning och utveckling för att kunna tillämpas i stor skala. Teknikspåren är i lägre eller högre grad gemensamma för de industrier som är tätt sammankopplade med användning av fossil energi och fossila råvaror.

De huvudsakliga teknikspåren som industrin satsar på utgörs av:

- **biomassa,**
- **vätgas,**
- **elektrifiering,**
- **avskiljning, transport och lagring av koldioxid (carbon capture and storage, CCS) där**
 - CCS avser tillämpning på biogena och/eller fossila koldioxidströmmar där fossil tillämpning är ett sistahandsalternativ för att nå nollutsläpp,
 - **bio-CCS⁶** avser tillämpning på biogena koldioxidströmmar och är ett alternativ för att uppnå negativa utsläpp, samt
- **avskiljning och användning av koldioxid (carbon capture and utilisation, CCU) där** avskiljning och infångning av koldioxiden sker med samma teknik som CCS men där koldioxiden, i stället för att lagras, används i nya produkter/tillämpningar.

För att nå klimatmålen krävs en kombination av olika teknikspår. Även inom en och samma bransch kan det finnas anledning att satsa på flera tekniker för att exempelvis sprida risk eller nå upp i tillräckligt stora produktionsvolymmer. Samtliga av ovan nämnda teknikspår har den gemensamma nämnaren att de är beroende av fossilfria energibärare och/eller råvaror. De flesta nya processer är även direkt eller indirekt beroende av tillgång på kritiska råmaterial såsom sällsynta jordartsmetaller, bauxit och litium. Det innebär att tillgången på dessa energibärare/råvaror och material är en viktig förutsättning för industrins omställning oberoende av teknikspår. Teknikerna beskrivs i separata avsnitt i detta kapitel medan exempel på aktuella projekt, där forskning och utveckling pågår, finns i kapitel 3.

Förutom att utveckla och implementera nya gröna tekniker kommer industrin även att behöva vidta åtgärder för en ökad **materialeffektivisering** för att nå målet om netto-nollutsläpp. Att effektivisera de industriella processerna med hänsyn till både material och energi kan innebära att omställningen nås till en lägre kostnad⁷ samtidigt som det kan bidra till försörjningstrygghet av kritiska material och fossilfri energi genom att ta mindre resurser i anspråk. Materialeffektivisering kan ses som ett komplement till nya fossilfria tekniker och beskrivs därför i ett eget avsnitt i detta kapitel.

⁶ Ibland även kallad BECCS (Bio Energy Carbon Capture and Storage).

⁷ Material Economics, 2020.

Försörjningstrygghet av fossilfri el i det nya säkerhetspolitiska läget

Rysslands anfallskrig mot Ukraina har förändrat förutsättningarna på den europeiska energimarknaden genom kraftiga begränsningar i tillförseln av rysk naturgas till följd av ryska åtstramningar och europeiska sanktioner. Sveriges naturgasanvändning utgör en liten del av energianvändningen och uppgick 2020 till cirka 3 procent av den totala energitillförseln. I avsaknad av en inhemsk produktion är Sverige helt beroende av importerad naturgas men jämfört med många andra europeiska länder är det direkta beroendet av ryska gasimporter litet. Sverige påverkas indirekt av högre gaspriser till följd av att många europeiska länder använder naturgas i sin elproduktion vilket har drivit upp de europeiska elpriserna. Eftersom det svenska elnätet är sammanlänkat med det europeiska påverkas Sverige av höga och volatila priser på den europeiska marknaden. I störst utsträckning påverkas södra Sverige som redan innan invasionen hade högre prisnivåer än resterande delar av landet till följd av lägre elproduktion och flaskhalsar i överföringskapaciteten. För att få en uppdaterad lägesbild av situationen, besök Energimyndighetens webbplats⁸.

Möjliga (kortsiktiga) effekter på industrins omställning

En stor andel av den svenska naturgasanvändningen sker inom industrin och raffinaderierna och kemiklustret på västkusten är särskilt beroende av naturgas i sin produktion. Det är samma industrier som på grund av sitt geografiska läge redan har sämre förutsättningar (se stycket ovan) för att övergå till elintensiv teknik och i större utsträckning påverkas av de höga och volatila elpriserna på den europeiska energimarknaden. Med andra ord har förutsättningarna för dessa branscher att elektrifiera (direkt eller indirekt) försämrats samtidigt som det har blivit ännu mer angeläget att substituera bort från naturgas.

Givet elens centrala roll i industrins omställning innebär högre och mer volatila elpriser en risk att fördyra, och eventuellt senarelägga, omställningen. Ju längre tid som företag förväntar sig att de höga priserna kommer att bestå, desto mer ökar risken för att klimatfrämjande investeringar skjuts på framtiden. Priser på samtliga energibärare påverkas av rådande läge på energimarknaden och eventuella förändringar i relativpriser mellan el och de fossila alternativen kan ha stor betydelse för företags investeringsbeslut. Redan innan invasionen förelåg stora osäkerheter kring den långsiktiga politiken och framtida förutsättningar för att ställa om till olika fossilfria tekniker. Nuvarande situation riskerar att ytterligare öka dessa osäkerheter samtidigt som många branscher inom kort behöver ta investeringsbeslut som – givet industrins långa investeringscykler – kommer att vara kritiska för omställningen. Med andra ord är det ännu mer angeläget att etablera stabila och transparanta spelregler för industrin för att dämpa eventuella effekter på klimatomställningen.

De höga energipriserna har även pressat upp inflationen och räntorna vilket gör att Sverige förväntas att träda in i en lågkonjunktur under 2023 med lägre tillväxt, hög inflation och en ökad arbetslöshet.⁹ Industrin är konjunkturkänslig

⁸ Energimyndighetens webbsida, *Så påverkas Rysslands krig mot Ukraina Sveriges energiläge*, <https://www.energimyndigheten.se/om-oss/press/prenumerera/laget-pa-energimarknaderna/sa-paverkar-invasionen-av-ukraina-sveriges-energilage/>

⁹ Konjunkturinstitutet, 2022.

och en nedgång i ekonomin kan därför ytterligare förstärka incitament att senarelägga investeringar. Exempelvis vittnar företag om att inflationsökningen redan har lett till att offerttiden i köpeavtal har gått från tre månader till två veckor och därmed ökat osäkerheterna i kostnadsutvecklingen. Samtidigt kan rådande läge ha vissa positiva effekter på svensk export till följd av konkurrenskraftiga priser på el i jämförelse med många andra europeiska länder och en internationell brist på t.ex. stål från Ukraina och Ryssland.

På EU-nivå finns dock ambitionen att påskynda klimatomställningen för att göra unionen oberoende av ryska gas- och oljeimporter. Kommissionen har i en åtgärdsplan som går under namnet *REPowerEU*¹⁰ förslagit lagstiftningsförslag, avsiktsförklaringar och uppmaningar till medlemsländerna på en lång rad områden. Åtgärdsplanen inkluderar förslag på förändrade rättsakter i *Fit for 55* paketet inklusive förhöjda EU-mål till 2030 inom förnybartdirektivet och energi-effektiviseringsdirektivet.

För att minska efterfrågan på rysk gas har EU-medlemsstaterna, utöver åtgärderna inom REPowerEU, även kommit överens om en 15 procentig minskning i gasanvändning fram till våren 2023.¹¹ I nuläget är en sådan gasminskning frivillig men kan övergå till att bli obligatorisk om EU tillkännager en krisnivåberedskap på unionsnivå. EU-kommissionen har även föreslagit en krisintervention på energimarknaden för att tackla den senaste tidens skenande priser genom att föreslå tillfälliga åtgärder av exceptionell karaktär.¹² De första åtgärderna syftar till att minska efterfrågan på el genom bl.a. frivilliga och obligatoriska minskningsmål av elförbrukningen, ett intäktstak för vissa elproducenter samt ett obligatoriskt tillfälligt solidaritetsbidrag för vinster för företag som är verksamma inom råolje-, naturgas-, kol- och raffinaderisektorerna

¹⁰ Europeiska Kommissionens webbsida, *REPowerEU: affordable, secure and sustainable energy for Europe*. https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal/repowereu-affordable-secure-and-sustainable-energy-europe_en (Hämtad 2022-09-09)

¹¹ Europeiska unionens råds webbsida, *Rådet antar förordning om att minska efterfrågan på gas med 15 procent till vintern* (Pressmeddelande), <https://www.consilium.europa.eu/sv/press/press-releases/2022/08/05/council-adopts-regulation-on-reducing-gas-demand-by-15-this-winter/> (Hämtad 2022-10-05)

¹² Europeiska unionens råd, *Rådet enas om krisåtgärder för att sänka energipriserna* (Pressmeddelande), <https://www.consilium.europa.eu/sv/press/press-releases/2022/09/30/council-agrees-on-emergency-measures-to-reduce-energy-prices/> (Hämtad 2022-10-05)

2.1 Biomassa

Biomassa kan både användas för att ersätta fossil råvara och fossila bränslen (som energibärare) i tillverkningsprocesserna. Tillämpningar som undersöks inom industrin inkluderar möjligheter att använda biomassan för att;

- **ersätta fossila kolväten** utvunna ur råolja med biogena kolväten som byggstenar i produkter. Det gäller främst produkter som kemikalier, plaster och drivmedel inom kemi- och raffinaderindustrin.
- **ersätta fossilt kol och koks** med biokol som råvara i tillverkningsprocesser. Biokol utforskas som ett alternativ för att minska utsläppen i vissa stål-, koppar- och blyframställningsprocesser.
- **ersätta naturgas** med biogas i konventionell vätgasframställning som ett fossilfritt alternativ till elektrolysbaserad vätgas.
- **ersätta fossila energibärare (kol, olja, naturgas m.m.)** med biobaserade alternativ (pellets, ved, biogas m.m.) för förbränning i energi- och uppvärmningssyfte.

Användning av biomassa för förbränning kan i de flesta tillämpningar inom industrin betraktas som en mogen teknik där eventuella begränsningar snarare handlar om ekonomiska, logistiska eller liknande överväganden. Vissa tillämpningar som kräver mycket höga temperaturer, såsom stålindustrins värmningsugnar¹³, där det ställs höga krav på bränslets energitäthet och kvalitet kan fortfarande kräva teknisk utveckling. När det gäller användning av biomassa som råvara för att minska processrelaterade utsläpp är dock behovet av teknisk utveckling större.

2.1.1 Teknisk utveckling krävs för att framställa biogena råvaror med rätt egenskaper

En förutsättning för att biomassa ska kunna användas i existerande processer är att den genom bearbetning kan uppnå liknande kvalitet och egenskaper som den fossila råvara som den ska ersätta. I många fall behöver biomassan genomgå omfattande förbehandling, vilket kan innefatta flera bearbetningssteg. Komplexiteten i bearbetningsstegen beror till stor del på vilken råvara som används samt vilken produkt som ska framställas. För att kunna framställa och implementera biobaserade alternativ krävs stora satsningar på forskning och utveckling, både för process- och produktutveckling.

2.1.2 Förutsättningar för att biomassa ska kunna bidra till industrins omställning

Förutom de tekniska utmaningarna med att omvandla nya bioråvaror till produkter som kan ersätta fossila bränslen finns ett antal andra faktorer som påverkar möjligheten att använda biomassa för att ställa om industrin. En viktig förutsättning är att uttaget av biomassa sker med hänsyn till andra miljö- och samhällsvärden, som exempelvis bevarande av den biologiska mångfalden, för att i ett tidigt skede kunna hantera målkonflikter. Om de bioråvaror som används inom industrin baseras på avfall eller restprodukter som annars skulle gå till spillo är sannolikheten för vissa målkonflikter mindre.

¹³ Inför bearbetning värms stålet upp till temperaturer över 1 000 grader

Biomassan ska räcka till mycket

Biomassa spelar inte bara en viktig roll för att minska de fossila utsläppen inom industrin utan även för andra sektorer med hög energianvändning såsom transportsektorn och energisektorn. Samtidigt som efterfrågan på bioenergi och råvaror förväntas öka är tillgången på hållbart uttagen biomassa begränsad, vilket riskerar att skapa konkurrens mellan sektorerna och högre prisnivåer. Fossilfritt Sverige uppskattar i sin biostrategi¹⁴ att efterfrågan på bioråvaror i oförädlad form år 2045 kommer att överskrida den uppskattade potentialen av hållbart uttagen av inhemsk bioråvara¹⁵ med 56 TWh baserat på vad de olika branscherna har uppgivit i sina färdplaner mot nettonollutsläpp. Enligt strategin kan gapet slutas genom att påskynda elektrifieringen av vägtrafiksektorn och teknikutvecklingen inom värmesektorn (för t.ex. djupgeotermi och solvärme) samt med fler effektiviseringsåtgärder inom värmesektorn och i bostäder. Även en viss del inhemsk produktion baserat på främst bi- och restprodukter från skogsbruket förutsätts för att öka utbudet. I en annan analys gjord av Material Economics¹⁶ uppskattas gapet mellan utbud och efterfrågan¹⁷ på bioråvaror inom Sveriges gränser år 2050 att uppgå till mellan 43–146 TWh¹⁸ omräknat till primärenergi. Även i denna studie föreslås en mer långtgående elektrifiering av vägtransportsektorn och energieffektivisering av byggnadsbeståndet för att sluta gapet men åtgärdslistan inkluderar även insatser inom flyg och sjöfart (batterier och bränsleceller för korta distanser), elektrifiering av arbetsmaskiner samt insatser inom industrin. Enligt analysen skulle mellan 10–45 TWh av efterfrågan på bioråvaror kunna reduceras genom direktelektrifiering inom industrin (av låg- och medeltemperaturvärme samt vissa processer inom massa- och pappersindustrin), vätgas (för högtemperaturvärme tills direktelektrifiering är möjlig) och effektiviseringsåtgärder. För att sluta gapet förutsätts även i denna studie en ökad inhemsk produktion och jämför ett mer restriktivt scenario med ett som antar mer långtgående förändringar av skogs- och jordbruksmarker.

Styrning på EU-nivå sätter ramarna för uttaget av biomassa

Flera av de förslag till regelförändringar som förhandlas inom ramen för *fit for 55*-paketet på EU-nivå påverkar direkt, eller indirekt, användandet av biomassa. Förslagen till förändring av förnybartdirektivet involverar åtstramningar av direktivets hållbarhetskriterier som innebär fler restriktioner för på vilka marker och på vilket sätt som biomassa får tas ut och vad som anses som hållbar bioenergi. I ett förslag anges inte primär skogsbiomassa (rundvirke, grenar och toppar, stubbar) som hållbar om den används för energiändamål, vilket kraftigt påverkar potentialen för hållbar råvara. Europeiska kommissionen har även tagit fram en skogsstrategi¹⁹ som avser att skapa förutsättningar för friska och motstånds-

¹⁴ Fossilfritt Sverige, 2021 a.

¹⁵ Enligt strategin uppfyller en hållbart uttagen råvara kriterier om att användningen måste avse ersättning av en fossil råvara och användas effektivt, hushållning med mark, att kolinbindningen ses i ett systemperspektiv och att bioråvaran tar hänsyn till miljömålen.

¹⁶ Material Economics, 2021.

¹⁷ Efterfrågan baseras på Swecos (2019) summering av transportsektorns och industrins färdplaner, kompletterat med IVA:s (2019) och Svebios (2020) sammanställningar av efterfrågan på bioenergi och Trafikverkets (2020) scenarier över framtida bränslekonsumtion.

¹⁸ Beroende på om IVA:s (2019) eller Svebios (2020) scenarier för efterfrågan av bioenergi används (220 TWh respektive 300 TWh) samt två olika scenarier med mindre eller större förändringar av de svenska skogs- och jordbrukssektorerna för att tillgodose utbudet (154 TWh eller 177 TWh).

¹⁹ Europeiska Kommissionens webbsida, *Skogar - ny EU-strategi*. https://ec.europa.eu/info/law/better-regulation/have-your-say/initiatives/12674-Skogar-ny-EU-strategi_sv (Hämtad 2022-07-05)

kraftiga skogar som bidrar till den biologiska mångfalden, klimatmålen, försörjningstryggheten och bioekonomin. I dagsläget är det fortfarande oklart hur, och till vilken utsträckning som, strategin kommer att få genomslag. Det finns även förslag på förändringar och nya regelverk som kan komma att påverka förutsättningarna för markanvändning i medlemsstaterna, vilket indirekt kan påverka uttaget av biomassa. Exempelvis finns det i omarbetningsförslaget av regelverket för markanvändning, förändrad markanvändning och skogsbrukssektorn (LULUCF) förslag om ambitiösare EU-mål när det gäller storlek på kolinlagring i naturliga kolsänkor såsom skogsmarker samt enskilda mål för varje medlemsstat.²⁰ Utöver dessa regelverk och strategier finns ytterligare förslag på förändringar inom regelverket för handel med utsläppsrätter (EU ETS) samt en ny EU-taxonomi²¹ som kan ha bäring på användning och investering i tekniker för omvandling och användning av biomassa.

Styrning på nationell nivå för att främja användning och produktion av biodrivmedel

Den svenska reduktionsplikten ålägger alla leverantörer av bensin, diesel och flygfotogen att blanda in den andel biodrivmedel som leder till att växthusgasutsläppen per liter minskar med en viss procentsats, jämfört med om drivmedlet hade varit helt fossilt.²² Procentsatsen skiljer sig mellan bränslesorterna och ökar successivt över tid. Eftersom utsläppen beräknas ur ett livscykelperspektiv²³, gynnas biodrivmedel med hög klimatprestanda, dvs. de med låga växthusgasutsläpp över livscykeln. Svenska raffinaderier planerar att markant öka sin produktion av flytande biodrivmedel för att möta efterfrågan från reduktionsplikten, vilket både inkluderar ombyggnad av befintliga anläggningar för att kunna hantera biooljor och nya anläggningar.

I mitten på 2022 tillsatte regeringen en utredning för att ta fram en bioekonomistrategi för Sverige med syfte att åstadkomma en övergång till en resurseffektiv, konkurrenskraftig och växande bioekonomi med fokus på en ökad tillgång på biomassa som ett sätt att stärka det civila försvaret och samtidigt skapa miljö- och klimatvärden och sysselsättning.²⁴ En del av uppdraget innebär att utreda ett långsiktigt produktionsstöd för biodrivmedel från inhemska restprodukter från jord- och skogsbruket i syfte att öka den svenska produktionen av flytande biodrivmedel. Energimyndigheten har tidigare uppskattat att produktionen av biodrivmedel från inhemska lignocellulosarika råvaror skulle kunna uppgå till 10 TWh år 2030 om nya styrmedel införs.²⁵

²⁰ Kommissionen har även föreslagit en ny lag om återställning av ekosystem som inkluderar målsättningar om avsättning av mark för detta syfte, se mer på Kommissionens hemsida: https://environment.ec.europa.eu/topics/nature-and-biodiversity/nature-restoration-law_en

²¹ EU-taxonomin är ett klassificeringssystem för miljömässigt hållbara aktiviteter i syfte att underlätta för investerare att identifiera gröna investeringar. För att en aktivitet ska räknas som miljömässigt hållbar måste den åtminstone uppfylla målet om att inte orsaka signifikant skada ("Do no significant harm", DNSH) på fem ytterligare definierade miljömål, samt uppfylla ett av de andra miljömålen. Kriterier för aktiviteterna definieras i en delegerad akt till direktivet som ska uppdateras vart tredje år. För att läsa mer om EU-taxonomin, se Europeiska kommissionens hemsida: https://ec.europa.eu/info/business-economy-euro/banking-and-finance/sustainable-finance/eu-taxonomy-sustainable-activities_en

²² Energimyndigheten, 2021 a.

²³ Utifrån den metodik som slås fast i förnybartdirektivet.

²⁴ Regeringens webbsida. *Utredning om en nationell bioekonomistrategi*. <https://www.regeringen.se/pressmeddelanden/2022/06/utredning-om-en-nationell-bioekonomistrategi/> (Hämtad 2022-07-04)

²⁵ Energimyndigheten, 2021 a.

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 den fossila vätgas** som används i dag i industrin (cirka 6 TWh), främst som råvara i raffinaderier och i den kemiska industrin. Ett exempel är produktion av biodrivmedel i raffinaderier där behovet av vätgas som insatsvara ökar i och med en ökande andel biogen råvara (se mer i avsnitt 3.1.3)
- **Ersätta andra fossila bränslen och råvaror** i olika industriprocesser (exempelvis naturgas, kol eller olja). Det mest framskridna exemplet är direktreducering med vätgas i järn- och stålproduktionen som kan ersätta kolbaserad stålframställning (se mer i avsnitt 3.1.2).
- **Användas i nya tillämpningar** vid framställning av olika produkter. Vätgas kan t.ex. användas som råvara i framställningen av elektrobränslen och elektrokemikalier. En sådan produktion är inte begränsad till en särskild bransch utan alla aktörer som kan ta vara på större flöden av koldioxid är potentiella producenter (se mer i avsnitt 3.1.3).

2.2.1 Vätgasens klimatnytta beror på tillverkningsprocessen

Även om vätgas också uppkommer som biprodukt i vissa industriella processer är den helt dominerande tillverkningsmetoden i Sverige i dag ångreformerings²⁶ av naturgas, främst vid raffinaderier. Genom att koppla på CCS för att fånga in koldioxiden kan utsläppen reduceras med upp till 90 procent.²⁷ 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 fossilfri el. I länder med mycket kol i elmixen kan elektrolysbaserad vätgas i dagsläget rentav ha sämre klimatprestanda än vätgas från naturgas utan CCS. I Sverige finns, tack vare en elmix med mycket låg fossil andel, möjlighet att producera en renare vätgas genom elektrolys jämfört med att koppla på CCS på befintlig produktion.

Ett annat möjligt alternativ för att producera fossilfri vätgas är att ersätta den naturgas som används i ångreformeringsprocessen med biogas. Hur stor klimatpåverkan blir från ångreformeringsprocessen av biogas beror till stor del på hur biogasen framställs.

Beräkningsmetoder för att bedöma klimatnyttan tas fram inom EU

På EU-nivå förhandlas en omarbetning av förnybartdirektivet²⁸ inom *fit for 55*-paketet. Förnybartdirektivet innehåller hållbarhetskriterier som bl.a. avgör när ett bränsle av icke-biologiskt ursprung, såsom vätgas och elektrobränslen, kan klassas som förnybart,

²⁶ Ångreformeringsprocessen är normalt uppdelad i två processsteg, där den första är energiintensiv och sker vid en hög temperatur (700-1000 grader). För att öka utbytet av metan till vätgas kan kolmonoxid som bildas i det första processsteget skiftas till vätgas genom en efterföljande lågtemperaturprocess.

²⁷ IEA, 2019.

²⁸ Europeiska Kommissionens webbsida. *Renewable energy directive*. https://energy.ec.europa.eu/topics/renewable-energy/renewable-energy-directive-targets-and-rules/renewable-energy-directive_en (Hämtad 2022-08-10)

dvs. som ett RFNBO (*renewable fuel of non-biological origin*). Detaljerade kriterier för när elen som används i framställningen av en RFNBO får som helt förnybar samt metoder för att beräkna växthusgasutsläppsminskningar av en RFNBO jämfört med sin fossila motsvarighet tas fram i två delegerade akter till direktivet. Den första akten förväntas innehålla skarpa och specifika krav såsom att den förnybara elen ska föras via direktelledningar som inte är kopplade till elnätet eller krav på Power Purchase Agreements (PPA:s) där den mängd el som köps via PPA:s hela tiden måste motsvara (minst) den mängd som används till elektrolysörerna. I omarbetningsförslaget finns även ett industrispecifikt mål på medlemsstatsnivå som innebär att minst hälften av vätgasanvändningen år 2030 ska utgöras av RFNBO:s. Användning av RFNBO:s får endast tillgodoräknas i direktivets måluppfyllelse om de medför en växthusgasutsläppsminskning på minst 70 procent jämfört med fossila alternativ. Det är sannolikt att RFNBO:s framställda med el från den svenska elmixen skulle möta ett sådant krav²⁹. När det nya regelverket införs kommer detaljerna att vara avgörande för när vätgasprojekt kan betraktas som hållbara och därmed t.ex. kunna beviljas stöd genom statliga stödprogram. inkluderar energi för icke-energiändamål (såsom råmaterial i industriprocesser).

2.2.2 Betydande kostnadsreduktioner för elektrolysörer möjliga

Vätagasproduktion genom elektrolys är fortfarande dyrare än att producera vätagas från naturgas. Inom EU uppskattas produktionskostnaderna för vätagas, 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 vätagas genom elektrolys.³⁰ Kostnaden för förnybart producerad vätagas minskar dock snabbt. Kostnaden för elektrolysörer 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 vätagas från elektrolys vara konkurrenskraftig mot fossilbaserad vätagas till 2030. Det bör noteras att beräkningarna gjordes innan den ryska invasionen av Ukraina och för att fortfarande vara aktuella förutsätts att rådande höga prisnivåer på el så småningom dämpas. Även volatiliteten på elpriserna har ökat till följd av läget på den europeiska energimarknaden vilket, vid varaktighet, förstärker incitamenten för företag att investera i vätagaslager.

Vätagaslager minskar driftkostnaderna och balanserar elanvändningen

Till följd av att elektrolysbaserad vätagasframställning är elintensiv utgörs en stor del av produktionskostnaden för vätagas av kostnaden för el. Ett sätt att minimera totalkostnaderna är därför att producera vätagas mer intensivt under vissa timmar på dygnet och dagar på året då elpriserna är förmånligare för att sedan lagra vätagasen och nyttja den under tidpunkter med högre elpriser. På så sätt kan driftkostnaderna hållas nere utan att påverka tillgången på vätagas. En sådan lösning förutsätter dock extra investeringar, bl.a. i en större elektrolysrörkapacitet än vad som är nödvändigt för att enbart tillgodose det löpande produktionsbehovet, samt i ett vätagaslager. Utöver kostnadsfördelar för den egna produktionen har vätagaslager även möjlighet att bidra till att skapa flexibilitet i elsystemet vilket är nödvändigt för att trygga elförsörjningen i omställningen (se mer om detta i avsnitt 2.3).

²⁹ Dock räknas då enbart den andel som motsvarar andelen förnybar el med mot målen om förnybar energi.

³⁰ Europeiska Kommissionen, 2020 a.

Storskalig vätgaslagring under jord

Flera industriprojekt planerar för storskalig vätgaslagring under jord där den optimala lagringsformationen utgörs av saltgruvor. I brist på svenska saltgruvor är den mest lovande lösningen för vätgaslagring i Sverige att kapsla in bergrum med metall genom tekniken *Lined Rock Cavern* (LRC). LRC-tekniken har redan demonstrerats för naturgas i gaslagret Skallen på västkusten som har en volym på 40 000 m³. Det krävs dock mer forskning för att bedöma hur väl tekniken fungerar för vätgas, hur stort behovet är och för att identifiera lämpliga lagringsplatser i Sverige. Vätgaslager ska med fördel placeras nära användarna (och producenterna i de fall de inte sammanfaller) eftersom det krävs rörledningar mellan producent, lager och slutanvändare. I juni 2022, invigdes ett vätgaslager i pilotskala för att testa LRC-tekniken inom HYBRIT-projektet. Lagret är placerat i en nedlagd gruva i Svartöberget i anslutning till projektets pilotanläggning för tillverkning av fossilfri järnsvamp i Luleå (se mer i avsnitt 3.1.2).

2.2.3 Systemlösningar för infrastruktur och elförsörjning behövs för en storskalig vätgasanvändning

Framställning av vätgas genom elektrolys är i dag en relativt mogen teknik och där de största utmaningarna för teknikens spridning ligger i att få till systemlösningar för infrastruktur och fossilfri elförsörjning samt i att skala upp produktionen av elektrolysörer för att nå kostnadsänkningar. Eftersom elektrolysbaserad vätgasproduktion är elintensiv är utmaningarna för vätgasens utbyggnad i stor utsträckning desamma som för en omfattande elektrifiering (se mer om elektrifieringen i nästa avsnitt 2.3).

Vätgas kräver stora satsningar i utbyggnad av elproduktion och överföringskapacitet

Enligt scenarier över olika utvecklingsvägar för kraftsystemet som Svenska kraftnät har tagit fram kan elbehovet för vätgas producerad med elektrolys uppgå till 85 TWh 2045 enligt scenariot *Elektrifiering förnybart*.³¹ Elproduktionen uppgick år 2020 till cirka 160 TWh.³² Enligt Svenska kraftnäts ovannämnda scenario skulle elproduktionen behöva uppgå till runt 300 TWh år 2045 för att täcka efterfrågan. Behovet av vätgas står med andra ord för cirka 60 procent av den ökade elproduktionen till 2045. Produktion av fossilfri vätgas i de mängder och den takt som efterfrågas av industrin förutsätter med andra ord en kraftig utbyggnad av både elproduktion och överföringskapacitet.

En vätgasutbyggnad kräver storskalig produktion av elektrolysörer

En förutsättning för att bygga storskalig vätgasproduktion är en kraftig ökning av produktionskapaciteten för elektrolysörer. De europeiska tillverkarna av elektrolysörer har gemensamt satt upp ett mål om att öka produktionskapaciteten till tio gånger dagens kapacitet till 2025.³³ För att det ska vara möjligt behöver hela försörjningskedjan för råmaterial och komponenter till elektrolysörerna byggas ut i snabb takt.

³¹ Svenska kraftnät, 2021.

³² Energimyndigheten och SCB, 2021 a. https://www.statistikdatabasen.scb.se/pxweb/sv/ssd/START__EN__EN0105/ElProdAr/

³³ Europeiska Kommissionen, 2020 b.

Ytterligare utmaningar för en storskalig vätgasutbyggnad

Förutom att garantera eltillförseln finns ett flertal ytterligare utmaningar kopplade till att få till fungerande värdekedjor och en storskalig vätgasutbyggnad. Utmaningarna involverar bl.a. behov av nya och/eller uppdaterade regelverk, samarbets- och koordineringsutmaningar, behov av kunskaps- och kompetenshöjning inom både företag och statliga myndigheter samt ett kostnadsgap mellan fossil och fossilfri vätgas till följd av de höga kostnaderna som är förknippade med spridning av ny teknik. För att läsa mer om utmaningar och förutsättningar för en vätgasutbyggnad se exempelvis IVA:s rapport³⁴, Fossilfritt Sveriges vätgasstrategi³⁵ och Energimyndighetens förslag till vätgasstrategi³⁶ med tillhörande underlagsrapport.

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 till ett sådant skifte tack vare en hög andel fossilfri el. Här har också svensk industri, mycket tack vare de historiskt och 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 i fler processer som kräver mycket höga temperaturer och som i dag förlitar sig på fossila bränslen som värmekälla. Även om det inte är möjligt att använda el för att direkt ersätta fossilbaserade råvaror som används i produktionsprocessen kan fossilfri el möjliggöra nya processer och råvaror som i sin tur minskar de processrelaterade utsläppen.

2.3.1 Fossilfri el möjliggör nya råvaror som kan ersätta fossilbaserade råvaror

Med hjälp av el kan olika råvaror omformas till andra insatsvaror som ersätter fossilbaserade råvaror i vidare processer. 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 s.k. elektrobränslen och elektrokemikalier genom att använda elektrolysisframställd vätgas.

Nya typer av insatsvaror³⁷ framställda med el avser bland annat;

- **fossilfri vätgas** som kan ersätta vätgas producerad från naturgas och kan även användas i en ny process som ersätter den kolbaserade masugnsprocessen i stålframställningen (se föregående avsnitt, 2.2, om vätgas),
- **specialkemikalier** som kan ersätta fossilbaserade kemikalier och framställs genom att kombinera el med olika råvaror, exempelvis alkoholer,
- **elektrobränslen** samt **elektrokemikalier** som framställs genom att vätgas som producerats genom elektrolysis av vatten får reagera med koldioxid (eller kväve) för att bilda exempelvis metanol, bensin, ammoniak eller eten. I sin tur kan de sedan användas för framställning av en mängd olika produkter.

³⁴ IVA, 2022.

³⁵ Fossilfritt Sverige, 2021 b.

³⁶ Energimyndigheten, 2021 b.

³⁷ Där vätgas och elektrobränslen även fungerar som energibärare.

För att producera elektrobränslen och elektrokemikalier behövs både tillgång till förnybar el och en lämplig koldioxidkälla. Ett alternativ som utforskas är att använda infångad koldioxid, vilket innebär att elektrobränslet eller elektrokemikalien framställs genom tillämpning av CCU (se avsnitt 2.5).

2.3.2 Stora utmaningar för en omfattande elektrifiering

För att nå klimatmålen kommer det krävas en omfattande elektrifiering av samtliga samhällssektorer. De utmaningar som en sådan elektrifiering innebär är således inte industrispecifika men är särskilt relevanta för industrins omställning med tanke på sektorns höga energianvändning och att det framtida energibehovet i stor utsträckning ska tillgodoses med fossilfri el.

Nationella utmaningar för en omfattande elektrifiering

För att möta den höga efterfrågan på el som förutspås krävs för att klara klimatomställningen en utbyggnad av både elproduktionen och överföringskapaciteten. Enligt Energimyndighetens analys för en hållbar elektrifiering³⁸ förväntas elanvändningen att fördubblas till 2050 jämfört med 2018 års nivåer till följd av framför allt en ökad elanvändning inom industrin men även transportsektorn. Enligt Klimatpolitiska rådets senaste rapport³⁹ matchar inte dagens investeringar i elproduktion, lagring och elnät det tempo som krävs för att nå klimatmålen. Regeringen har i sin elektrifieringsstrategi⁴⁰ presenterat tolv punkter med en lång rad nödvändiga åtgärder för att möjliggöra en omfattande elektrifiering.

Energimyndigheten har tagit fram åtta fokusområden som anses vara särskilt viktiga för att säkerställa en hållbar elektrifiering och inom vilka det förväntas att uppstå utmaningar. Fokusområdena är;

- **välfungerande marknader och incitament,**
- **miljövärdering i ett systemperspektiv,**
- **markanvändning och samexistens,**
- efterfrågeflexibilitet,
- resurs- och energieffektivisering,
- tillgång till teknik, kompetens och kapital,
- råvaruförsörjning, och
- trygg energiförsörjning.

De tre förstnämnda är centrala för att förbättra förutsättningarna för de övriga fem. För att läsa mer dessa fokusområden och utmaningar för en hållbar elektrifiering hänvisas till Energimyndighetens rapport⁴¹.

³⁸ Energimyndigheten, 2021 c.

³⁹ Klimatpolitiska rådet, 2022.

⁴⁰ Regeringen, 2022.

⁴¹ Energimyndigheten, 2021 c.

Geografiska skillnader i elproduktion och överföringskapacitet

Sveriges elmarknad är indelat i fyra områden med separat prissättning, vilket är tänkt att styra lokalisering av ny elproduktion till områden med lägre kapacitet och samtidigt skapa incitament för hushållning med el i de områden där risken för kapacitetsbrist är större. Till följd av uppdelningen av den svenska elmarknaden kan prisskillnaderna variera kraftigt mellan norra Sveriges där landets elproduktion är centrerad och överföringskapaciteten är god, och södra Sveriges som har en begränsad elproduktion och fler flaskhalsar. Dessutom är befintliga elområden i dagsläget för stora för att korrekt reflektera de mer lokala kapacitets-skillnaderna, vilket skapar skeva prissignaler inom områden.

Ur ett industriperspektiv innebär det geografiska skillnader i förutsättningar för att övergå till direktelektrifiering eller elintensiva processer som exempelvis vätgas eller CCS. Med andra ord har industri lokaliserad i södra Sverige, såsom raffinaderi- och kemiindustrin, sämre förutsättningar att ställa om till elintensiva processer. Även Cementa, vars primära fabrik för cementproduktion är lokaliserad på Gotland, påverkas av begränsningar i överföringskapacitet från fastlandet vilket i dagsläget förhindrar företagets planerade CCS-anläggning.

2.3.3 En effektivare energianvändning kan bidra till försörjningstryggheten i omställningen

Förutom en utbyggnad av elproduktion och överföringskapacitet är insatser som bidrar till att minska och/eller balansera energianvändningen viktiga pusselbitar för att trygga energiförsörjningen i omställningen. Inte bara för den egna sektorn utan även för andra sektorer i samhället där tillgång på fossilfri energi är en förutsättning för att nå klimatmålen.

Insatser för en mer effektiv energianvändning inom industrin inkluderar;

- **energieffektivisering av processer och uppvärmning** i enskilda anläggningar för att producera fler varor per tillförd enhet energi,
- **flexåtgärder** för att optimera uttaget av el baserat på fluktuationer i tillgång på nätet i syfte att hålla ned kostnaderna och undvika toppbelastning,
- **energisamarbeten** mellan aktörer (inom industrin eller mellan sektorer), vilket kan möjliggöra ett bättre nyttjande av energi genom att bl.a. ta vara på fler restströmmar.

Energieffektivisering är en aktuell fråga både för befintlig teknik och för utvecklingen av nya tekniker. Eftersom användningen av ny teknik initialt är begränsad finns stor potential för att optimera och utveckla den i takt med att tekniken sprids och kunskap kring dess tillämpning ökar. Även om de tekniska huvudspåren för omställningen i dagsläget är energiintensiva finns det av ekonomiska skäl ett intresse att effektivisera processerna för att få ner kostnaden för tekniken. Ett exempel är bio-CCS där det pågår forskning och pilottester för att minska energiåtgången vid avskiljningssteget av processen vilket skulle ha en betydande effekt på elförbrukningen och därmed även totalkostnaden av att tillämpa tekniken (läs mer i avsnitt 3.2.2).

Industrin kan bidra med efterfrågaflexibilitet

Elektrifiering leder till en ökad elanvändning inom industrin. Förutsättningarna för att öka effektuttaget för att möjliggöra en ökad elektrifiering ser olika ut i olika delar av landet då flaskhalsar i elnäten begränsar överföringskapaciteten. Att ha viss flexibilitet i sin efterfrågan på el kommer troligtvis att bli en förutsättning för den elintensiva industrin av ekonomiska

skäl, inte minst vid kraftigt fluktuerande elpriser. Industrier som använder vätgas som bränsle eller råvara kan investera i större produktionskapacitet än vad som behövs för att klara sina kortsiktiga behov. Det ger möjlighet att lagra ett överskott av vätgas under perioder då elpriserna är förmånliga för att använda under perioder med högre elpriser. På så sätt kan industrin även bidra till att balansera elnätet och minska risken för effekttoppar i systemet. Ur ett ekonomiskt perspektiv skulle en sådan flexibilitet ha positiva effekter på priselasticiteten på elmarknaden.⁴² 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 sådana investeringar blir bärkraftiga om de inte används frekvent.

Power to X

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 för produktion under perioder med överskottsenergi. Koldioxiden fångas in på kraftvärmeverket och kombineras med vindkraftsel för att tillverka elektrobränsle (läs mer i avsnitt 3.1.3).

Att notera i sammanhanget är dock att verkningsgraden blir lägre när el ska omvandlas t.ex. vätgas i stället för att användas direkt. Direktelektrifiering är därför mer fördelaktigt ur effektivitetssynpunkt medan P2X kan vara ett alternativ för tillvaratagande och lagring av överskottsenergi som annars skulle gå förlorad eller där direktelektrifiering inte är möjligt och andra fossilfria alternativ saknas.

2.3.4 Pågående policyprocesser på EU-nivå

På EU-nivå pågår arbete med att revidera både förnybartdirektivet och energieffektiviseringsdirektivet inom ramen för fit for 55-paketet. I EU-kommissionens omarbetsningsförslag för förnybartdirektivet skärps det övergripande målet för andel förnybar energi inom EU till år 2030 samt inkluderar nya industrispecifika mål. Förutom det vätgasspecifika mål som redan nämnts i vätgasavsnittet (se avsnitt 2.2.1) inkluderas även ett indikativt mål om att andel förnybar energi⁴³ i genomsnitt ska öka med 1,1 procentenheter årligen fram tills 2030. I syfte att undvika dubbelräkning föreslås nya regler för var elen som används i framställningen av RFNBO:s får tillgodoräknas till måluppfyllelse av det övergripande förnybartmålet. Hittills har den förnybara elen tillgodoräknats i den sektor och det land där den produceras medan det nya förslaget i stället innebär att tillgodoräkningen sker där slutprodukten (RFNBO:n) används. I omarbetsningsförslaget ställs även krav på att varje medlemsstat inrättar ett ramverk för att säkerställa tillgång till förnybar el i tillräcklig utsträckning för att nå förnybartmålen på nationell nivå. Ramverket ska särskilt behandla undanröjning av kvarstående hinder för att säkerställa en hög andel förnybar el, såsom långa tillståndsförfaranden. Förslaget innehåller även regler för att främja PPA:s (Power Purchase Agreements) och mellanstatliga samarbeten kring utbyggnad av havsbaserad

⁴² IVA, 2022.

⁴³ Vilket enligt en ny definition inkluderar både energi för energiändamål och icke-energiändamål.

energi. Inom ramen för *REPowerEU* presenterades ytterligare ett omarbetningsförslag av förnybartdirektivet som innebär en ännu hårdare uppstramning av det övergripande förnybartmålet, krav på medlemsstater att utse specifika områden lämpliga för förnybar energiproduktion (s.k. ”go-to-areas”) inom vilka tillståndprocesser för nya projekt ska hanteras i ett särskilt snabbspår, samt ytterligare regler för att snabba upp tillståndprocesser.

När det gäller energieffektiviseringsdirektivet finns förslag på ambitionshöjningar bl.a. när det gäller målet om en effektivare energianvändning och det årliga energibesparingskravet på medlemsstatsnivå. Omarbetningen av direktivet innebär att Sverige med stor sannolikhet kommer att behöva vidta åtgärder inom samtliga sektorer för att nå upp till de nya målen. Inom ramarna för *REPowerEU* har kommissionen föreslagit ytterligare en ambitionshöjning av målet om en effektiv energianvändning i syfte att påskynda utfasningen av ryska olje- och gasimporter. Europeiska parlamentet har därefter lagt fram sitt förslag till omarbetning av direktivet⁴⁴ vilket innebär betydligt striktare krav jämfört med EU-kommissionens ursprungliga förslag.

2.4 Avskiljning, transport och lagring av koldioxid (CCS)

CCS (Carbon Capture and Storage) innebär att koldioxid fångas in för att sedan transporteras till permanent lagring i en speciell typ av geologiska formationer på land eller under havsbotten. CCS-användning på stora punktsläpp har potential att fånga 80–95 procent av koldioxiden men kräver att energi tillförs.⁴⁵ Tekniken pekas ut av både IEA⁴⁶ och FN:s klimatpanel⁴⁷ som en förutsättning för att nå både 2-graders målet och 1,5-graders målet.

2.4.1 CCS tillämpat på fossila och biogena utsläpp är två olika huvudspår för omställningen

CCS kan användas för att fånga in koldioxid från förbränning av fossila såväl som biobaserade bränslen. Även om tekniken är densamma fyller CCS tillämpat på fossila och biogena koldioxidutsläpp olika funktioner i klimatsammanhang och räknas därför som två olika huvudspår för omställningen. Då båda tillämpningarna sker med samma teknik och delar utmaningar när det gäller transport och lagring, kommer de att behandlas tillsammans i detta avsnitt.

CCS tillämpat på fossila källor innebär undvikta utsläpp

När tekniken används på fossila utsläppskällor så fångas koldioxidutsläpp in som annars skulle släppts ut i atmosfären, vilket leder till *undvikta utsläpp*. Enligt det klimatpolitiska ramverket så får CCS tillämpat på fossila koldioxidströmmar endast användas för att bidra till utsläppsminskningar då inga andra rimliga alternativ finns tillgängliga eller förväntas finnas tillgängliga inom det tidsperspektiv som utsläppsminskningen måste ske. För att nå det svenska utsläppsmålet om nettonollutsläpp till 2045 och därefter negativa utsläpp kommer tekniken med stor sannolikhet att behöva användas på fossila utsläpp inom svensk

⁴⁴ 1 september 2022.

⁴⁵ Johnsson, F., m.fl. 2020.

⁴⁶ IEA, 2020.

⁴⁷ IPCC, 2022.

process- och basindustri.^{48,49} Exempelvis bedöms det inte i dagsläget finnas några andra rimliga alternativ för att reducera utsläppen från kalcineringsprocessen vid cementframställning, vilket innebär att CCS är huvudspåret för svensk cementindustri för att nå nollutsläpp.

CCS tillämpat på biogena källor (bio-CCS) leder till negativa utsläpp

När tekniken tillämpas på biogena utsläpp, bio-CCS, kan *negativa utsläpp* skapas. Negativa utsläpp är en kompletterande åtgärd till att reducera de fossila utsläppen och kommer att vara nödvändigt för att Sverige ska uppnå målet om nettonollutsläpp. Enligt det klimatpolitiska ramverket ska utsläppen från verksamheter inom Sveriges gränser reduceras med 85 procent till 2045 jämfört med 1990. De kvarstående 15 procenten kan uppnås genom kompletterande åtgärder såsom negativa utsläpp (naturliga kolsänkor och bio-CCS) eller utsläppsminskningar i andra länder. Det innebär att bio-CCS inte specifikt bidrar till industrins omställning utan till samhällets omställning i stort. Enligt utredningen *Vägen till en klimatpositiv framtid*⁵⁰ uppgår den realistiska potentialen för bio-CCS i Sverige till minst 10 miljoner ton biogen koldioxid per år i ett 2045-perspektiv. Potentialen återfinns främst i massa- och pappersindustrin samt kraftvärme- och värmeverk. Den tekniska potentialen bedöms vara uppemot dubbelt så stor.

CCS kan tillämpas på en blandning av fossila och biogena utsläpp

CCS-tekniken kan även tillämpas på utsläpp som utgörs av en blandning av fossil och biogen koldioxid. Att fånga in koldioxid av blandat ursprung är i dagsläget den enda lösningen för avfallskraftvärmeverk att reducera branschens kvarvarande andel av fossila utsläpp som i huvudsak uppstår till följd av förbränning av plastavfall. Framöver förväntas tillämpning på blandade utsläpp även att bli aktuellt för ett par av de stora utsläpparna, såsom Preem och Cementa, vars utsläpp i dagsläget i huvudsak utgörs av fossil koldioxid men som planerar att ställa om till alltmer biobaserade råvaror och energibärare i sina tillverkningsprocesser. I klimatsammanhang innebär det en blandning av undvikta och negativa utsläpp som står i direkt proportion till andel infångad fossil respektive biogen koldioxid.

2.4.2 Förutsättningar för att tillämpa CCS varierar mellan branscher och anläggningar

CCS-tekniken är förhållandevis kostsam, vilket i praktiken innebär att det i första hand är stora punktoutsläpp som tekniken är aktuell för. I takt med att tekniken utvecklas och kostnaderna minskar för tekniken 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 stora anläggningar.^{51,52}

⁴⁸ Johnsson F. och Kjärstad J., 2019.

⁴⁹ SOU 2020:4

⁵⁰ Ibid.

⁵¹ Ibid.

⁵² Svebios webbsida, *Stor potential för bio-CCS i Sverige – 38 orter med bäst förutsättningar*. <https://www.svebio.se/press/pressmeddelanden/stor-potential-for-bio-ccs-i-sverige-38-orter-med-bast-forutsattningar/> (Hämtad 2021-10-06).

Kostnaderna och förutsättningarna beror dock på anläggningsspecifika faktorer och varierar därför mellan sektorer, branscher och anläggningar. De anläggningsspecifika faktorer som påverkar förutsättningarna för att tillämpa CCS i dagsläget inkluderar;

- **anläggningens placering:** anläggningen behöver vara placerad så att transport till den permanenta lagringsplatsen inte blir för kostsam, vilket i dagsläget innebär att kustnära anläggningar har en fördel då fartyg är det främsta transportmedlet.
- **anläggningsspecifika parametrar:**
 - koncentrationen av koldioxid i rökgasen, där en högre andel gör det enklare och billigare att tillämpa CCS räknat per avskild mängd koldioxid,
 - de årliga utsläppsflödena av koldioxid från punktkällan, där kostnaden per andel infångad koldioxid minskar med storleken på utsläpp (skal fördelar) och ett jämnare flöde,
 - möjlighet att använda överskottsenergi, i form av ånga eller värme, från anläggningens processer vid avskiljningen vilket minskar behovet av ytterligare energitillförsel.
- **utsläppens sammansättning:** hur utsläppen är sammansatta påverkar vilken avskiljningsteknik som kan användas. Avskiljningstekniken och vilka restämnen som finns i den infångade rökgasen påverkar vilka egenskaper den infångade koldioxidströmmen får, vilket i sin tur påverkar transport och slutlagringsmöjlighet.

Det finns således inte en lösning som passar alla utsläpp eller en hel bransch. Teknikens utformning måste utgå från de förutsättningar som finns på varje specifik anläggning, vilket gör att det finns ett behov av fortsatt forskning och utveckling.

För bio-CCS tillkommer ytterligare förutsättningar

För bio-CCS tillkommer att kolatomerna som fångas in måste vara biogena för att uppnå negativa utsläpp. I dagsläget är det främst massa- och pappersindustrin samt kraftvärme- och värmeverk som uppfyller samtliga av de ovan nämnda kriterierna (se mer i 3.2.1). Framöver förutspås även andra branscher inom industrin kunna uppfylla förutsättningarna för bio-CCS. Detta gäller exempelvis vissa av de företag som i dagsläget planerar att investera i CCS med fossil tillämpning men gradvis går över till en allt högre grad bio-baserade insatsvaror och/eller energibärare.

Tekniken är mogen men fortfarande kostsam

Hela CCS-kedjan, dvs. avskiljning, transport och lagring, tillämpas redan i dag, men erfarenheterna är fortfarande begränsade. Möjligheterna till fortsatt teknikutveckling och därigenom lägre kostnader bedöms dock som goda. En första kostnadsreduktion förväntas efter att ett par fullskalanläggningar 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 anläggningar beroende på de faktorer som listats ovan, vilket påverkar totalkostnaden för användning av tekniken.⁵³

⁵³ Roussanaly, S., m.fl. 2021.

2.4.3 Transport och lagring av koldioxid

Oberoende av om den avskilda koldioxiden är av biogent eller fossilt ursprung, ska den, efter eventuell mellanlagring, transporteras till slutlagring. Transporten kommer i huvudsak att ske med rörledningar eller fartyg, även om transport med järnväg och lastbil är möjligt för mindre kvantiteter på kortare sträckor till mellanlager. För svensk del är fartyg det mest realistiska alternativet givet att lagring i Sverige inte är aktuellt i dagsläget.⁵⁴ Transport av koldioxid med fartyg sker redan inom Europa men endast i liten skala. Tekniskt sett finns inga begränsningar för att bygga fartyg med större kapacitet då det redan idag transporteras mängder av olika gaser i flytande form. En studie från 2020 visar att storleken på fartyget har en begränsad påverkan på transportkostnader när fartyget överstiger en transportkapacitet på 10 000 ton koldioxid.⁵⁵

Norge har kommit längst vad gäller lagring

Kunskapen om möjliga lagringsplatser i Sverige är i dag bristfällig och att utveckla inhemsk lagring skulle kosta både mycket tid och pengar.⁵⁶ Potentialen för lagring i Norden är dock sannolikt mycket god. Den teoretiska potentialen har uppskattats vara tillräcklig för att lagra de nordiska utsläppen hundratala år framöver.⁵⁷ Även globalt bedöms lagringspotentialen vara mycket god – IPCC har uppskattat den till minst 1 000 miljarder ton koldioxid men bedömer att den kan vara upp till tio gånger större. För att sätta det i perspektiv kan nämnas att de årliga globala koldioxidutsläppen uppgår till 35–40 miljarder ton.⁵⁸

Norge har kommit längre än resten av Norden med att realisera lagring och satsat på CCS och lagring av koldioxid från andra länder, det grundas på att avskiljning och lagring har skett sedan 1996 (läs mer om Norges fullskaleprojekt Northern Lights i avsnitt 3.2.2). Flera andra länder har initierat stora CCS-projekt med tillhörande lagringsplatser, UK och Nederländerna har hunnit långt och även Danmark har inlett verksamhet. Förutom brist på kunskap om möjliga lagringsplatser i Sverige, finns också risk för uppkomsten av legala hinder, såsom att Östersjön är ett skyddat innanhav och att lagring kan påverka andra länder. Sveriges implementering av CCS-direktivet⁵⁹ begränsar också möjligheterna till lagring på land.

Sammanfattningsvis är lagring i annat land nödvändigt för att Sverige ska komma i gång med koldioxidavskiljning i tid för att uppnå målen till 2045. Norge, Danmark, Storbritannien, Nederländerna och Island har påbörjat arbete för att lagra koldioxid varav Norge har kommit längst. Samtliga av dessa länder har visat intresse för att lagra koldioxid från andra länder. Europeiska kommissionen stöder arbetet och vill se öppna lagringsplatser över hela Europa. I avsaknad av alternativ i södra delarna av Europa har kommissionen identifierat tillgängliga lagringsplatser och deras lokalisering som ett hinder för CCS, likväl som internationella regelverk.

⁵⁴ På sikt är det möjligt att rörtransport kan bli en lösning för att transportera avskild koldioxid från Sverige men fartygstransport kommer troligtvis att vara det dominerande alternativet fram tills 2030 enligt ER 2022:11.

⁵⁵ IEA Greenhouse Gas R&D Programme, 2020.

⁵⁶ 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 havsbotten.

⁵⁷ SGU, 2017.

⁵⁸ SOU 2020:4

⁵⁹ Direktiv 2009/31/EG

2.4.4 Systemfrågor utgör största barriären för teknikspridning

Enligt *Vägen till en klimatpositiv framtid*⁶⁰ 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 fullskaleprojekt som demonstrerar hela kedjan, likt projektet i Norge som beskrivs i avsnitt 3.2.2 och det svenska stödsystemet för bio-CCS, viktiga för att visa på att affärsmodeller och systemet fungerar som helhet.

Ekonomiska incitament viktiga för teknikspridning

Då den relativt höga kostnaden för 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 CCS skiljer sig de ekonomiska incitamenten mellan tillämpningarna;

- För **tillämpning på fossila källor** spelar alternativpriset för att fänga in utsläppen en viktig roll och utgörs av **priset på utsläppsrätter** inom EU ETS eftersom företag inte behöver betala för koldioxidutsläpp som fångas in och lagras⁶¹
- För **tillämpning på biogena utsläpp** är det statliga stödsystemet i form av **omvända auktioner** ett viktigt verktyg för att främja bio-CCS och klara klimatmålen. Första auktionen planeras att utlysas 2023 och omfatta omkring två miljoner ton infångad och lagrad biogen koldioxid. De vinnande aktörerna förväntas påbörja inlagringen under 2026/2027. I dagsläget återfinns det största intresset av att delta i auktionerna hos kraftvärme- och avfallskraftvärmebolagen. Förutom att skapa ekonomiska incitament för bio-CCS har stödsystemet även en positiv bieffekt på utveckling och demonstration av hela värdekedjan för bio-CCS.

Även andra faktorer påverkar ett företags beslut att investera i ny teknik såsom CCS/bio-CCS. En **lagstiftning** som främjar tekniken och en **efterfrågan på produkter** som är framställda fossilfritt/med negativa koldioxidutsläpp kan skapa långsiktiga incitament för investering. Även så kallad ”**goodwill**” kan bidra till att företag investerar i klimatpositiva lösningar för att stärka sitt varumärke. Givet industrins långa investeringscykler finns även en **risk för inlåsnings effekter** av att investera i fossilbaserad teknik om framtiden innebär striktare utsläppskrav och ett stigande koldioxidpris innan investeringen är avskriven.

Lagstiftningen för transport och koldioxid utgör ett mindre hinder

Utöver behovet av ett fortsatt kunskapsuppbyggande och skapande av ekonomiska incitament återstår vissa legala hinder för att CCS-tekniken ska kunna användas fullt ut. Fram till 2019 förbjöd *Londonprotokollets* sjätte artikel helt transport av koldioxid ämnad för lagring under havsbotten hos annan stat. Artikel 6 reviderades redan år 2009⁶², men ändringen har ännu inte vunnit trätt i kraft på grund av att för få stater hittills har godkänt den. År 2019 godkändes dock ett undantag som gör det möjligt att kringgå förbudet genom att provisoriskt tillämpa den reviderade versionen av artikel 6. För detta behöver en deklaration

⁶⁰ Direktiv 2009/31/EG.

⁶¹ Om tekniken i framtiden blir aktuell för företag med mindre utsläppskällor kommer koldioxidpriset att spela en liknande roll.

⁶² Reviderades genom Londonprotokollets resolution LP.3(4)

lämnas in till Internationella sjöfartsorganisationen (IMO) och ett bilateralt avtal upprättas mellan det exporterande och det lagrande landet. Sverige ratificerade ändringen i juni 2020.⁶³ Efter ett möte mellan Sverige och Norges statsministrar i april 2022 så meddelades att ett avtal för export/import av koldioxid mellan länderna skulle tas fram så snart som möjligt.⁶⁴ Energimyndigheten har inom ramen för sitt uppdrag som nationellt centrum för CCS, tagit fram förslag till avtal med Norge för permanent geologisk lagring av koldioxid. Framöver kommer även förslag att tas fram på avtal med fler länder, såsom Storbritannien och Nederländerna. Med fler aktörer på marknaden för slutlagring förbättras möjligheterna att få ner kostnaderna för slutsteget i värdekedjan.

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. På Energimyndigheten utreds exempelvis om det nationella exportförbudet för avfall som finns i miljöbalken utgör ett hinder för koldioxidtransport. Enligt denna paragraf får inte avfall (till vilket avskild koldioxid räknas) föras ut ur landet eller ur den ekonomiska zonen om det är avsett att dumpas eller förbrännas på det fria havet. I det fall att svensk, avskild koldioxid ska exporteras för lagring till havs i ett annat land kan det krävas att regeringen meddelar ett undantag från exportförbudet.

Hur kan marknader skapas för negativa utsläpp?

En aktuell fråga som utreds på Nationellt Centrum för CCS är framväxten av marknader för negativa utsläpp då de utgör en central förutsättning för att skapa incitament att investera i bio-CCS och för att tekniken får spridning. För att en marknad ska komma på plats behöver oklarheter lösas upp kring bland annat certifiering, rapportering och bokföring av negativa utsläpp på internationell nivå. När det gäller industrin regleras i klimatsammanhang de företag med störst potential för bio-CCS inte av EU:s system för handel med utsläppsrätter (EU ETS) som utgör den europeiska marknaden för koldioxidutsläpp, då det endast omfattar fossila utsläpp. Inom ramen för FN:s klimatkonvention (UNFCCC) finns möjlighet för ett land att tillgodoräkna sig negativa utsläpp i klimatrapporeringen. De tillgodoräknas i det land där avskiljningen sker givet att inget bilateralt avtal ingåtts med annat medlemsland om försäljning eller överföring av utsläppsminskningen, vilket är tillåtet under vissa omständigheter. EU-kommissionen arbetar med att ta fram ett certifieringssystem som ett första steg att möjliggöra en marknad och kommer under senare delen av 2022 att presentera ett förslag på ett europeiskt regelverk på området.⁶⁵ Säljare och köpare ska veta vad de handlar med och vilka krav det negativa utsläppet uppfyller i fråga om bland annat hållbarhet och permanens. Det finns idag framväxande frivilliga marknader där utsläppsminskningar kan säljas till företag eller andra aktörer som vill tillgodoräkna sig dem i syfte att uppnå utsläppsneutralitet snarare än för att uppfylla nationella klimatmål. Hittills har det främst handlat om naturliga kolsänkor genom exempelvis träd- eller skogsplantering.

⁶³ Regeringens webbsida, *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 2020-08-25)

⁶⁴ Regeringskansliets webbsida, *Norge och Sverige överens om att intensifiera samarbetet om koldioxidlagring*, <https://www.regeringen.se/pressmeddelanden/2022/04/norge-och-sverige-overens-om-att-intensifiera-samarbetet-om-koldioxidlagring/> (Hämtad 2022-08-02)

⁶⁵ Europeiska Kommissionens webbsida, *Sustainable Carbon Cycles*, https://climate.ec.europa.eu/eu-action/forests-and-agriculture/sustainable-carbon-cycles_sv (Hämtad 2022-08-10)

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 på punktsläpp.⁶⁶ 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 av 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 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 Avskiljning och användning av koldioxid (CCU)

Infångad koldioxid kan användas som råvara i olika processer, vilket kallas för CCU (Carbon Capture and Utilisation) och syftar till att återanvända kolatomer. Eftersom tekniken för att fånga in och avskilja koldioxid är densamma för CCU som för CCS, följer CCU samma teknikutveckling som beskrivits ovan fram tills att koldioxiden är avskild. Detta avsnitt fokuserar därför på efterföljande steg i CCU-processen där koldioxiden används i nya produkter eller applikationer.

2.5.1 Infångade kolatomer kan ersätta de fossila i kemiindustrins produkter

Kol är en byggsten i en rad olika produkter från kemi- och raffinaderiindustrin som i dagsläget huvudsakligen kommer från fossila källor. I stället för att utgå ifrån kolväten som raffinerar ur olja kan infångad koldioxid slås ihop med vätgas till kolväten, eller genom andra reaktioner byggas ihop till önskade ämnen. CCU som omställningsspår är framför allt av intresse för kemiindustrin som ett sätt att ersätta de fossila kolatomer som i dagsläget utgör essentiella byggstenar i många av branschens produkter såsom plast, kemikalier och mediciner. För att förbättra produkternas klimatprestanda är svensk industri i första hand intresserad av att fånga in och använda kolatomer med biogent ursprung.⁶⁷

Det finns även företag inom andra sektorer som avser att återanvända infångade kolatomer för att framställa nya typer av produkter och tjänster som inte primärt innebär en reduktion av de fossila utsläppen inom industrisektorn. I vissa fall har de nya tillämpningarna dock potential att tränga undan fossilbaserade produkter som framställs inom industrisektorn, exempelvis flyg- och fordonsbränsle som produceras av energibolag.

⁶⁶ T.ex. består rökgaserna från ett kraftverk typiskt sett av runt 10-15 % koldioxid jämfört med 410 ppm i atmosfären, dvs. 0,041%.

⁶⁷ Se t.ex. Material Economics rapport framtagen på beställning av IKEM *Vägar till klimatneutral produktion* som är en färdplan för branschen att nå nollutsläpp (<https://www.ikem.se/globalassets/vagar-till-klimatneutral-produktion.pdf>).

2.5.2 Klimatnyttan varierar mellan tillämpningar

Jämfört med CCS, där koldioxiden lagras permanent, beror klimatnyttan av CCU på en rad olika faktorer kopplat till kolatomerna och framställningen av de slutprodukter som kolatomerna utgör byggstenar i. Dessa faktorer inkluderar;

- **Kolatomernas ursprung** (biogena eller fossila) påverkar tillämpningens klimatpåverkan, både om de släpps ut i ett senare skede (inga utsläpp eller fossila utsläpp) eller om de lagras mer permanent.
- **Klimatpåverkan från övriga insatsfaktorer** som exempelvis den el som används i framställningsprocessen och elens alternativa användningsområden, har betydelse för produktens klimatavtryck.
- **Tiden som kolatomerna är lagrade i produkten** är likställt med längden på senareläggning av utsläpp till atmosfären. Om kolatomerna används för att tillverka bränslen som relativt omgående förbränns är resultatet endast en kortare fördröjning av utsläppet. För att koldioxiden mer permanent ska tas 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.
- **Undanträngnings- och/eller substitutionseffekter** som tillämpningen har på produkter på marknaden och i så fall, vilken/vilka typ/-er av kolatomer som sådana produkter är uppbyggda av, samt eventuella rekyleffekter, påverkar på systemnivå klimateffekten av tillämpningen.
- **Vilka alternativ som finns till att använda kolatomerna** påverkar var kolatomerna relativt sett gör mest nytta. Kolatomerna kan lagras, vilket skapar negativa utsläpp eller undvikta utsläpp beroende på kolatomernas ursprung. Alternativt sker ingen infångning, vilket leder till biogena eller fossila koldioxidutsläpp. Kolatomerna skulle även kunna användas i andra tillämpningar.

En slutsats som följer av ovannämnda faktorer är att det krävs en enskild bedömning av klimatnyttan för varje tillämpning. I dagsläget finns inga regelverk eller vedertagna riktlinjer för hur klimateffekten från kolatomer som återanvänds i produkter ska beräknas eller bokföras. Till följd av detta är inte heller CCU:s potential att bidra till klimatomställningen klarlagd.⁶⁸

Lagstiftningsprocesser på EU-nivå kan bidra till att tydliggöra klimatnyttan

På EU-nivå pågår två processer som är relevanta för att fastställa metodik för att bedöma klimatnyttan av CCU-framställda produkter. Europeiska kommissionen kommer i slutet på 2022 att presentera ett förslag till regelverk för certifiering av kolsänkor i handlingsplanen *Sustainable Carbon Cycles*⁶⁹, där även industriella applikationer ingår. Ett delmål med arbetet är att industrin senast 2028 ska rapportera ursprung för varje ton koldioxid som fångas in, transporteras, används eller inlagras och att år 2030 ska minst 20 procent av de kolatomer som används i produkter komma ifrån hållbara icke-fossila källor.

Samtidigt som detta arbete pågår, och parallellt med att en omarbetning av förnybartdirektivet förhandlas inom *fit for 55*-paktet, håller metodik på att fastställas i två av direktivets delegerade akter för att beräkna växthusgasutsläppsminskningar av förnybara bränslen

⁶⁸ IPCC, 2022.

⁶⁹ Europeiska Kommissionens webbsida, *Sustainable Carbon Cycles*. https://ec.europa.eu/clima/eu-action/forests-and-agriculture/sustainable-carbon-cycles_en (Hämtad 2022-08-10).

av icke-biologiskt ursprung jämfört med sina jungfruliga (fossila) motsvarigheter.⁷⁰ I de förslag till omarbetning av direktivet som hittills presenterats inkluderas elektrobränslen och elektrokemikalier i denna kategori, varav båda kan framställas genom CCU.

Båda dessa lagstiftningsprocesser är viktiga pusselbitar för att fastställa gemensamma bedömningskriterier på EU-nivå för CCU-framställda produkters klimatpåverkan och kommer sannolikt att ha en stor påverkan på kriterierna för att CCU ska räknas som hållbart i EU-taxonomin. I dagsläget är det dock ännu inte tydligt hur de olika processerna förhåller sig till varandra.

2.6 Materialeffektivitet och cirkulära flöden

Att industrins omställning sker så resurseffektivt som möjligt är inte ett eget huvudspår utan ett komplement till de tekniska huvudspår som beskrivs ovan. Enligt IPCC:s senaste klimatrappport är materialeffektivitet nödvändigt för att industrin ska lyckas nå målet om nettonollutsläpp i ett globalt perspektiv.⁷¹ Materialeffektivitet kan bidra till att nå klimatmålen genom att tränga undan utvinning av jungfruliga material som är tätt sammankopplat med fossila koldioxidutsläpp, samt få de begränsade kritiska materialresurserna att räcka till mer. Material står globalt för mer än en fjärdedel av utsläppen från industrin och energiproduktionen och genom att applicera cirkulära ekonomiska strategier inom industrin finns potential att uppnå stora utsläppsminskningar.^{72,73}

I syfte att öka materialeffektiviteten kan åtgärder tas i flera olika stadier, eller sektorer, av en produkts livscykel. Dessa åtgärder kan kategoriseras enligt nedan:

- en **mer klimatsmart design** av produkten i avseende på materialval (återvunnet primärt, lättviktsmaterial m.m.) och hållbarhet (ökad livslängd, reparationsmöjligheter m.m.),
- en **mer intensiv användning** av produkten vilket innebär fler användare per produkt och att delar av produkten kan bytas ut för att förlänga livslängden,
- **återanvändning, återbruk eller återvinning av komponenter och material** från produkten när den är utsliten där material används i en kaskadprincip och de delar som inte kan användas bryts ned på atom- eller molekylnivå för att tillverka nya produkter,
- **energi- och askutvinning** från det material som är så pass uttjänt att det inte längre går att nyttja.^{74,75}

En aktörs insats för materialeffektivisering i ett stadie/en sektor av produktens livscykel reducerar materialåtgången och utsläppen i den egna produktionen men har ofta även en positiv klimateffekt på material och produkter tillverkade av andra aktörer och i sektorer längre ned i värdekedjan.

⁷⁰ Europeiska Kommissionens webbsida, *Renewable energy directive*. https://energy.ec.europa.eu/topics/renewable-energy/renewable-energy-directive-targets-and-rules/renewable-energy-directive_en (Hämtad 2022-08-10)

⁷¹ Bashmakov, I.A., m.fl., 2022. In IPCC, *Climate Change 2022*, chapter 11

⁷² McArthur foundation och Material economics, 2019.

⁷³ Naturvårdsverket, 2019 b.

⁷⁴ Hertwich m.fl, 2019.

⁷⁵ RE:Sources webbsida, Materialhjulet. <https://resource-sip.se/materialhjulet/> (Hämtad 2022-06-30)

Inom industrin finns stora möjligheter att materialeffektivisera

Enligt en studie som tittar på materialanvändningen i Sverige leder slutanvändning, nedgradering och kontaminering av materialen stål, plast, aluminium, papper och cement till värdeförluster som motsvarar 42 miljarder kronor per år.⁷⁶ Genom att göra förändringar längs hela värdekedjan uppskattas att 11 miljarder av förlusterna skulle kunna återtas, vilket skulle minska materialens samlade koldioxidutsläpp med 30 procent.

Utmaningar för en materialeffektivisering

För att nå en högre andel materialeffektivisering och gå mot en mer cirkulär ekonomi finns flertalet utmaningar som spänner över hela värdekedjan av en produkt och över hela samhället. Fortfarande är majoriteten av affärsmodeller och tänkandet hos aktörer linjärt, dvs. att varor produceras, förbrukas och blir avfall, och det kommer att krävas innovation och beteendeförändringar för att gå mot mer cirkulära lösningar.⁷⁷ Materialeffektiviseringsåtgärder behöver göras längs hela värdekedjan av en produkts livscykel och involverar många aktörer vilket kan göra det svårt att uppskatta både potentialen för utsläppsminskningarna och kostnaderna.⁷⁸ För att insatser ska komma på plats finns därför ett behov av koordinering av åtgärder över en produkts värdekedja.⁷⁹ Givet att majoriteten av marknaderna för industriella material och produkter är internationella kommer det även att vara nödvändigt med gränsöverskridande samarbeten kring regler och standarder för att täcka in hela värdekedjan.

En utmaning för att öka återanvändning och återvinning av industriella råvaror utgörs av bristen på befintliga marknader för sekundärmaterial. För att skapa en efterfrågan på återvunnen råvara behöver relativpriserna mellan jungfruliga och sekundära råvaror täcka in alla externa effekter av att utvinna och använda de jungfruliga råvarorna, såsom koldioxidutsläpp och avfallshantering. Tvärtom är det idag många gånger billigare med jungfruliga material, exempelvis för plast⁸⁰ och byggnadsmaterial⁸¹, vilket förhindrar att en marknad för återvunnen råvara naturligt växer fram. Det finns även behov av förändrade och/eller nya regelverk för att främja materialeffektivitet och cirkulära lösningar. Som exempel förhindras i dagsläget plastindustrins övergång till alternativa råvaror, såsom återvunna och biobaserade, av en lagstiftning som utgår ifrån en fossil insatsvara.

⁷⁶ Material Economics, årtal saknas.

⁷⁷ Circle Economy, RE:Source och RISE, 2022.

⁷⁸ Bashmakov, I.A., m.fl., 2022. In IPCC, Climate Change 2022, chapter 11

⁷⁹ Material Economics, 2019.

⁸⁰ Naturvårdsverket, 2022.

⁸¹ RE:Source, 2022.

En utmaning att säkerställa tillgången på kritiska råmaterial i omställningen

Flera av de nya tekniska huvudspåren för industrins omställning är direkt eller indirekt beroende av andra sorters metaller och mineral såsom sällsynta jordartsmetaller, bauxit och litium. De utgör oundgängliga komponenter i tillverkningen av bl.a. elmotorer, elgeneratorer (i t.ex. vindkraftverk och motorfordon), batterier och katalysatorer. På EU-nivå klassificeras flera av dessa metaller och mineral som kritiska råmaterial, vilket innebär att de anses vara av avgörande betydelse för den europeiska ekonomin samtidigt som det föreligger stora osäkerheter kopplat till att säkra tillgången på dem.⁸² EU importerar majoriteten av de kritiska råmaterialen och bedömer att importberoendet kommer att kvarstå även på medellång sikt. Exempelvis står Kina i dagsläget nästan uteslutande för tillförseln av sällsynta jordartsmetaller till marknaden medan Chile står för merparten av tillförseln av litium.

För att möta en ökande global efterfråga på kritiska råmaterial behövs en utbyggnad av primärproduktionen vilket förutsätter nya gruvor och processanläggningar. Primärproduktion av kritiska råmaterial är dock många gånger förknippat med stora utmaningar såsom negativa externa miljöeffekter och brott mot mänskliga rättigheter.^{83,84} För att kunna skapa en hållbar och cirkulär värdekedja (när tillräckligt primärmaterial finns i omlopp) behövs forskning och utveckling för att möjliggöra ett mer materialeffektivt användande av de kritiska råmaterialen.⁸⁵ Ett exempel på pågående insats är Stena Recycling som under hösten 2022 påbörjar bygget av en återvinningsanläggning för litiumjonbatterier för elfordon (se mer i 3.1.6).

Ett effektivt nyttjande av material förutsätter även innovation. Enligt RE:Source behövs innovation på områden såsom produktionsprocesser, komponentåteranvändning, funktionell materialåtervinning (mekaniska processer), molekylåtervinning (kemiska, biologiska eller termiska processer) samt för energiåterföring i förbränningsprocesser.⁸⁶ Sådan innovation kräver inte bara forskning och utveckling på området funktion (teknik, process, design) utan även marknad, beteende, policy och system (logistik, systemanalys).

Pågående policyprocesser på EU-nivå och nationellt

På EU-nivå pågår ett flertal processer för att främja en cirkulär ekonomi

På EU-nivå pågår en utveckling inom området för cirkulär ekonomi och produktreglering inom ramen för den uppdaterade strategin för cirkulär ekonomi (CEAP)⁸⁷, vilken är en av grundstenarna för EU:s gröna giv. Förutom att bidra till att uppnå klimatmålen, är syftet med strategin att reducera trycket på naturresurser, skapa arbetstillfällen och stoppa förlusten av biodiversitet. Bland annat föreslås det befintliga Ekodesigndirektivet, som endast

⁸² Europeiska Kommissionen, 2020 c.

⁸³ SGU och Naturvårdsverket, 2017.

⁸⁴ UNCTAD, 2020.

⁸⁵ Energimyndigheten m.fl., 2022.

⁸⁶ RE:Source:s webbsida, Materialhjulet. <https://resource-sip.se/materialhjulet/> (Hämtad 2022-06-30)

⁸⁷ Europeiska Kommissionens webbsida, *Circular economy action plan*. https://environment.ec.europa.eu/strategy/circular-economy-action-plan_en (Hämtad 2022-08-19)

täcker in energirelaterade produkter, att ersättas med en ny förordning (förordningen om Ekodesign för hållbara produkter, ESPR) som täcker in en bred kategori av produktgrupper och ställer nya typer av krav, exempelvis på produktdesign och lättillgänglig och transparent information om produktens miljömässiga hållbarhet genom digitala produktpass.⁸⁸ Europeiska kommissionen har även presenterat en ny strategi för hållbara och cirkulära textilier⁸⁹ samt ett omarbetningsförslag av byggproduktsförordningen⁹⁰. Utöver de ovan nämnda finns ytterligare regelverk och initiativ som direkt eller indirekt påverkar materialanvändningen, såsom exempelvis batteriförordningen och direktivet om uttjänta fordon.

Ekonomiska styrmedel för att främja en cirkulär ekonomi utreds nationellt

Regeringen har beslutat att tillsätta en kommitté som till 2024 ska utreda hur ekonomiska styrmedel kan främja omställningen till en cirkulär ekonomi med utgångspunkt i Sveriges strategi för omställningen till en cirkulär ekonomi och tillhörande handlingsplan.⁹¹ Inom ramen för uppdraget ska kommittén identifiera vilka områden och på vilka sätt som ekonomiska styrmedel kan användas för att uppnå ett sådant främjande.

⁸⁸ Europeiska Kommissionens webbsida, *Sustainable Products Initiative*, https://ec.europa.eu/info/energy-climate-change-environment/standards-tools-and-labels/products-labelling-rules-and-requirements/sustainable-products/ecodesign-sustainable-products_en (Hämtad 2022-08-10)

⁸⁹ Europeiska Kommissionens webbsida, *EU strategy for sustainable and circular textiles*, https://environment.ec.europa.eu/publications/textiles-strategy_en (Hämtad 2022-08-10)

⁹⁰ Europeiska Kommissionens webbsida, *Proposal for a Regulation laying down harmonised conditions for the marketing of construction products*, <https://ec.europa.eu/docsroom/documents/49315> (Hämtad 2022-08-10)

⁹¹ Regeringens webbsida, *Utredning om hur ekonomiska styrmedel kan främja omställningen till en cirkulär ekonomi ska tillsättas*, <https://www.regeringen.se/pressmeddelanden/2022/06/utredning-om-hur-ekonomiska-styrmedel-kan-framja-omstallningen-till-en-cirkular-ekonomi-ska-tillsattas/> (Hämtad 2022-07-01)

3 Insatser för att nå målet om nettonollutsläpp

En förutsättning för att uppnå de svenska klimatmålen är att industrin genom att ställa om sina processer reducerar sektorns fossila utsläpp. På flera fronter är den svenska industrins omställning långt framskriden men det krävs fortfarande stora satsningar på innovation och teknisk utveckling för att utveckla och implementera nya lösningar som kan ta industrin hela vägen i mål med en bibehållen eller stärkt konkurrenskraft. Utöver att minska de egna utsläppen kan industrin även genom åtgärder i den egna sektorn skapa förutsättningar för utsläppsminskningar i andra delar av värdekedjan. Avsnitt 3.1 ger en överblick av nuläget för de mest utsläppsintensiva branscherna inom den svenska industrin med ett särskilt fokus på utveckling av ny teknik och nya lösningar för att reducera de kvarvarande fossila utsläppen inom sektorn. I slutet av avsnittet görs även en ansats att täcka in ett par intressanta insatser i övriga branscher inom industrin som bidrar till klimatomställningen i samhället.

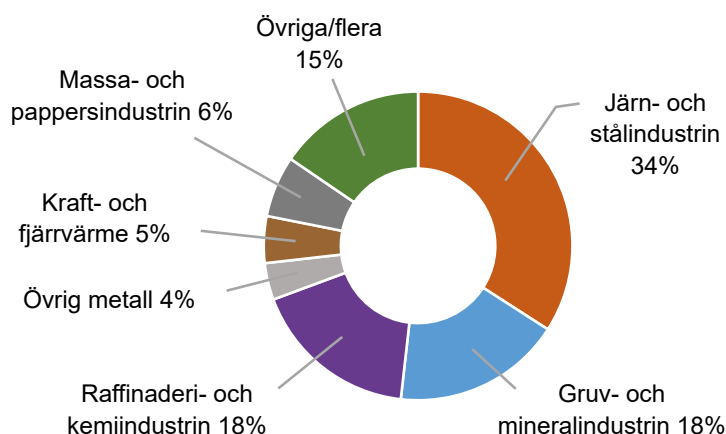
För att nå de svenska klimatmålen kommer det inte att vara tillräckligt att endast minska de fossila koldioxidutsläppen. Det kommer även att krävas kompletterande åtgärder i form av inlagring i kolsänkor för att skapa negativa utsläpp. Störst potential för negativa utsläpp finns genom inlagring av koldioxid i naturliga kolsänkor (som t.ex. i skogs- och våtmarker) men för att komma upp i tillräckligt höga nivåer krävs även inlagring genom avskiljning, transport och lagring av biogen koldioxid (bio-CCS). Tillämpning av bio-CCS inom industrin bidrar inte till sektorns egen omställning eftersom det inte reducerar de fossila utsläppen och de negativa utsläppen tillgodoräknas på nationell nivå. Däremot är det en insats med stor potential inom industrin som är viktig för samhället i stort för att nå de nationella klimatmålen. Av den anledningen inkluderas och beskrivs nya händelser inom teknikutvecklingen för bio-CCS i ett eget avsnitt nedan (se avsnitt 3.2).

Satsningar på stödprogram kan ge en fingervisning om vad som händer inom industrin i stort

Inom det statliga stödprogrammet Industrikivet har hittills stöd om 2,1 miljarder kronor beviljats till 124 projekt medan företag, högskolor och universitet har samfinansierat ytterligare dryga 5 miljarder kronor. Givet omfattningen på Industrikivet kan en fördelning av det stöd som hittills har betalats ut ge en fingervisning om vart och på vad som det satsas mest inom industrin som stort. Det kan även ge en viss indikation på vilka branscher och tekniker som har kommit längst i utvecklingen eftersom stödsumman generellt ökar med en tekniks mognadsgrad även om andra faktorer såsom exempelvis storlek på bransch kan påverka andelen beviljat stöd. Industrikivet hade från början fokus på att minska processindustrins utsläpp men har i två omgångar utvidgats till att även täcka in åtgärder för permanenta negativa utsläpp och strategiskt viktiga insatser inom industrin som på ett väsentligt sätt bidrar till att minska växthusgasutsläppen i övriga samhället. Utvidgningen har inneburit att stödet vidgats från att främst rikta sig mot de mest utsläppsintensiva branscherna till att även omfatta åtgärder inom massa- och pappersindustrin, kraft- och fjärrvärme samt fler åtgärder inom raffinaderi- och kemiindustri.

I diagrammen nedan presenteras fördelningen av beviljat stöd per bransch och respektive huvudspår. I figur 1 framgår att en dryg tredjedel av det beviljade stödet har gått till järn-

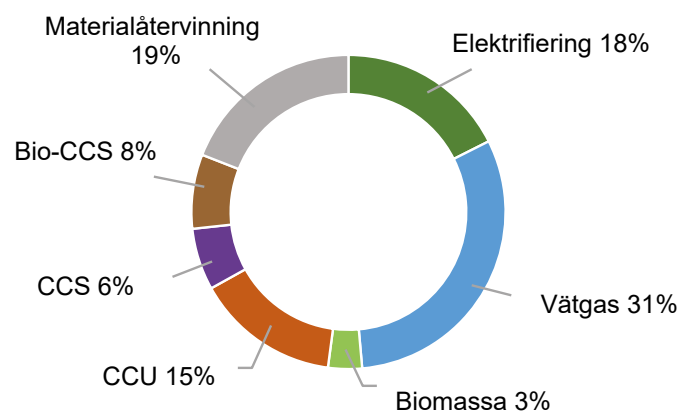
och stålindustrin som är den mest utsläppsintensiva branschen och där omställningen har kommit en bra bit på väg. Fördelningen av stöd mellan de utsläppsintensiva branscherna järn- och stålindustrin (34 procent), mineralindustrin (18 procent), raffinaderi- och kemiindustrin (18 procent) och övrig metall (4 procent) återspeglar till stor del både utsläppsfördelningen och hur långt branscherna har kommit i omställningen (läs mer om branschernas väg mot nettonollutsläpp i avsnitt 3.1). Stödet till övriga branscher uppgår till 15 procent och utgör främst stöd för strategiskt viktiga insatser som bidrar till klimatomställningen i samhället som stort.



Figur 1. Fördelning av beviljat stöd (sett till storlek) från Industrikivet per bransch

Anm.1 Kategorin övrigt/flera omfattar enstaka projekt inom exempelvis återvinningssektorn och fordonsindustrin.

I figur 2 framgår att störst andel stöd har gått till huvudspåret vätgas som återspeglar den satsning som görs inom svensk järn- och stålindustri och Industrikivets ursprungliga omfattning. Stöd för bio-CCS är kopplat till permanenta negativa utsläpp medan huvudspåret materialåtervinning kopplar till strategiskt viktiga insatser. Andel stöd för åtgärder för materialåtervinning utgör den näst största posten trots att stöd för strategiskt viktiga insatser först inkluderades i Industrikivet år 2021.



Figur 2. Fördelning av beviljat stöd från Industrikivet per huvudspår.

På EU-nivå har sex svenska industriprojekt även beviljats stöd från EU:s Innovationsfond utav totalt 38 projekt. Av de svenska projekten avser två investeringar i storskaliga anläggningar.⁹² Det rör sig om samarbetsprojektet HYBRIT:s demonstrationsanläggning av fossilfri ståltillverkning (se avsnitt 3.1.2) och Stockholm Exergis fullskalanläggning för bio-CCS på Värtaverket i Stockholm (se avsnitt 3.2.2). Ytterligare två svenska fullskalanläggningar inom raffinaderi- och kemiindustrin har förutvalts för investeringsstöd i Innovationsfondens andra utlysning (av totalt 17) men har inte ännu skrivit avtal.⁹³ En av dessa är Perstorps ”Project air” som avser framställning av metanol med infångade kolatomer (genom CCU) (se mer i avsnitt 3.1.3).

3.1 Insatser inom industrin för att reducera fossila koldioxidutsläpp

För att industrin ska nå klimatmålen behövs betydande insatser för att reducera de fossila koldioxidutsläppen. Det krävs forskning och utveckling för att utveckla nya tekniker och lösningar som kan ersätta de processer och insatsvaror som ger upphov till de mest svårreducerade utsläppen. I detta avsnitt presenteras först utsläppsutvecklingen inom industrin över tid för att sedan gå över till att presentera aktuella insatser inom industrin för att reducera de fossila koldioxidutsläppen. Avsnittet har ett särskilt fokus på insatser för att minska utsläppen i de mest utsläppsintensiva branscherna järn- och stålindustrin, raffinaderi- och kemiindustrin, mineralindustrin och övrig metall men inkluderar även några exempel på insatser i övriga delar av industrin som bidrar till omställningen i samhället i stort.

3.1.1 Industrins fossila koldioxidutsläpp

Industrins totala utsläpp av fossila växthusgaser minskade med 31 procent mellan åren 1990 och 2020, vilket illustreras i Figur 3.⁹⁴ En tredjedel av denna minskning skedde under 2020 då covid-19 pandemin och oväntade driftstopp ledde till ovanligt låga produktionsnivåer inom vissa branscher.⁹⁵ I absoluta tal släppte industrin ut runt 14,5 miljoner ton koldioxidekvivalenter under 2020 vilket är ungefär 2,5 miljoner ton mindre än föregående år. Industrins utsläpp motsvarade ungefär en tredjedel av Sveriges totala fossila växthusgasutsläpp⁹⁶ under både 2019 och 2020. I figur 3 visas industrins totala utsläpp av fossila växthusgaser fördelat på olika branscher. De mest utsläppsintensiva branscherna utgörs av järn- och stålindustrin, raffinaderi- och kemiindustrin, mineralindustrin och övrig metall som tillsammans stod för 84 procent av industrins totala fossila utsläpp år 2020.

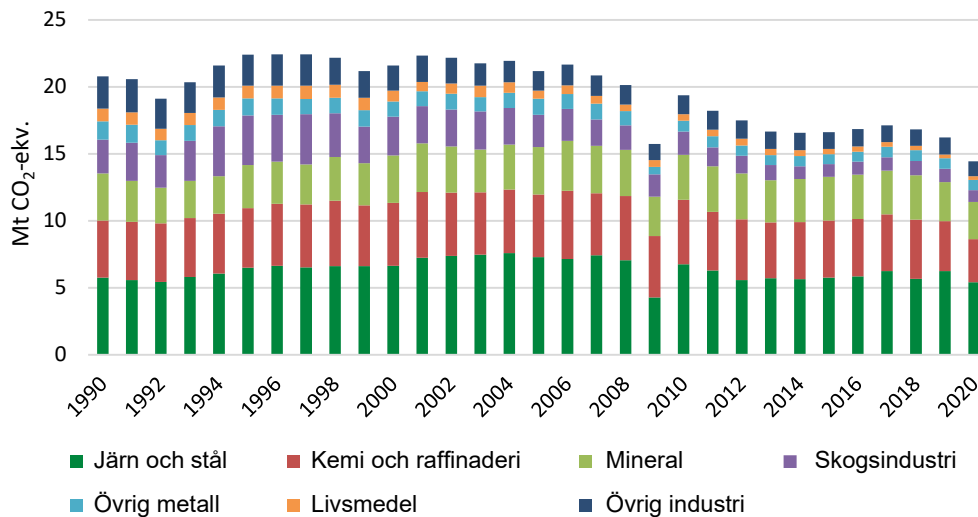
⁹² Europeiska Kommissionens webbsida, *Innovation Fund (INNOVFUND) Projects & Results*, <https://ec.europa.eu/info/funding-tenders/opportunities/portal/screen/opportunities/projects-results;programCode=INNOVFUND> (Hämtad 2022-10-06)

⁹³ Europeiska Kommissionens webbsida, *Climate Action, Large-scale calls*, https://climate.ec.europa.eu/eu-action/funding-climate-action/innovation-fund/large-scale-calls_en#overview-of-the-second-call-for-large-scale-project-proposals (Hämtad 2022-10-06)

⁹⁴ Naturvårdsverket och SCB, 2022. https://www.statistikdatabasen.scb.se/pxweb/sv/ssd/START_MI_MI0107/MI0107IndustriN/

⁹⁵ Naturvårdsverkets webbsida, *Territoriella utsläpp och upptag av växthusgaser*. <https://www.naturvardsverket.se/data-och-statistik/klimat/vaxthusgaser-territoriella-utslapp-och-upptag/> (Hämtad 2022-07-08)

⁹⁶ Dessa uppgick till ungefär 46 miljoner ton koldioxidekvivalenter, exklusive LULUCF och internationella transporter.



Figur 3. Industrins totala utsläpp av fossila växthusgaser fördelat på olika branscher, 1990–2020, miljoner ton koldioxidekvivalenter

Källa: Naturvårdsverket och SCB,⁹⁷ bearbetning av Energimyndigheten

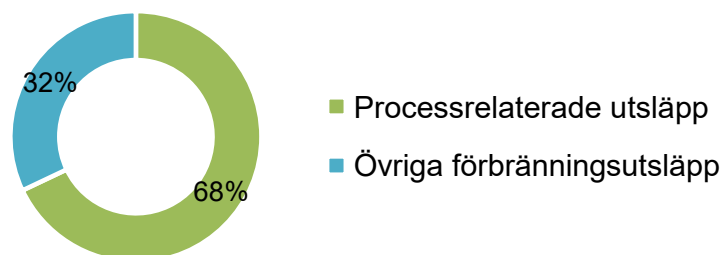
Anm 1: Minskningen 2020 beror på att produktionen inom vissa branscher sjönk under covid-19 pandemin och driftstopp orsakade av tillfälliga händelser.

Anm 2: Minskningen 2009 beror på att produktionen inom vissa branscher sjönk under lågkonjunkturen.

Anm 3: Utsläppen från förbränning av interna bränslen inom raffinaderier bygger på en beräkning som utgår från raffinaderiets energianvändning. På grund av osäkerheter i energistatistiken så har användningen av interna bränslen inom raffinaderier imputerats med föregående års data för år 2018 och 2019.

Den utsläppsminskning som har skett mellan 1990 och 2019 har främst skett i mindre utsläppsintensiva branscher och beror till stor del på en övergång från fossila till förnybara bränslen och el samt energieffektiviseringsåtgärder. Utsläppstrenden har dock avstannat de senaste åren då fortsatta utsläppsminskningar är svåra att åstadkomma med dagens teknik. Majoriteten av kvarvarande utsläpp är s.k. processrelaterade vilket innebär att de är tätt sammankopplade med nuvarande tillverkningsprocesser och insatsråvaror. I figur 4 visas industrins totala fossila koldioxidutsläpp fördelat på andel processrelaterade utsläpp och förbränningsutsläpp där de senare härrör från förbränning av bränslen (se bilaga 1 för en mer detaljerad beskrivning av de två olika utsläppskategorierna). Under år 2020 utgjorde de processrelaterade utsläppen 68 procent av industrins totala utsläpp medan resterande del utgjordes av övriga förbränningsutsläpp

⁹⁷ Naturvårdsverket och SCB, 2022.



Figur 4. Fördelningen av industrins totala fossila växthusgasutsläpp på olika utsläppskategorier, 2020, procent

Källa: Naturvårdsverket och SCB,⁹⁸ bearbetning av Energimyndigheten.

Energianvändningen inom industrin har varit relativt oförändrad sedan 2012⁹⁹ med undantag för 2020 då energianvändningen sjönk till följd av lägre produktionsnivåer. Trots den relativt oförändrade energianvändningen har en successiv övergång från fossila till förnybara bränslen samt effektivisering av tillverkningsprocesser bidragit till att minska de fossila växthusgasutsläppen. För vissa tillverkningsprocesser är det dock inte möjligt att ersätta de fossila energibärarna utan större tekniskiften.

3.1.2 Järn- och stålindustrin

Järn- och stålindustrin stod år 2020 för drygt en tredjedel av industrins totala utsläpp och av dessa är ungefär 80 procent processrelaterade. Branschens största utsläppskälla är reduktionssteget i masugnsprocessen, då kol och koks används för att minska syrehalten i järnmalm. I den så kallade Höganäsprocessen används direktreduktion vilket ger upphov till mindre utsläpp, men även här används fossila råvaror. I Sverige är huvudspåren för att minska dessa utsläpp att ersätta masugnsprocessen med vätgasbaserad direktreduktion och att ersätta de fossila reduktionsämnen i Höganäsprocessen med biobaserade råvaror. Det finns även skrotbaserad stålframställning i Sverige, men utsläppen därifrån är förhållandevis små.

Järn- och stålindustrin omfattar en mängd olika verksamhetsområden och tillverkningsprocesser. Produkterna 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 och antingen exporteras direkt eller vidareförädlas i Sverige till olika järn – och stålprodukter.

⁹⁸ Naturvårdsverket och SCB, 2022. https://www.statistikdatabasen.scb.se/pxweb/sv/ssd/START__MI__MI0107/MI0107IndustriN/

⁹⁹ Industrins utsläppsnivåer är alltså inte proportionella mot energianvändningen. En anledning till detta är att bränslemixen varierar stort mellan olika branscher och olika bränslen har olika emissionsfaktorer. Vissa branscher använder fossila råvaror i tillverkningsprocesserna som ger upphov till stora mängder utsläpp, medan andra branscher främst använder el som är mindre utsläppsintensivt.

Järn- och stålindustrins huvudsakliga processpår

I Sverige finns det tre huvudsakliga konventionella processpår för stål:

- Malmbaserad produktion med masugn (masugnsprocessen),
- Malmbaserad produktion i tunnelugn (Höganäsprocessen),
- Skrotbaserad produktion med ljusbågsugn.

Masugnsprocessen och Höganäsprocessen är malmbaserade tillverkningsmetoder, vilket innebär att järnmalm reduceras till järn som sedan kan förädlas vidare till stål. Reduktion är en utsläppsintensiv process som ger upphov till koldioxid som restprodukt när syre avskiljs från järnmalm med hjälp av kol och koks. Reduktionen kan ske när smältan är flytande eller när smältan är fast, varav det senare kallas direktreduktion. I masugnsprocessen används den mer utsläppsintensiva reduktionstekniken i smälta medan Höganäsprocessen använder sig av direktreduktion. För en mer utförlig genomgång av nuvarande processer inom järn och stålindustrin, se förra årets rapport¹⁰⁰.

Masugnsprocessen är den mest utsläppsintensiv av branschens tre konventionella processpår och står för majoriteten av branschens utsläpp.¹⁰¹ Höganäsprocessen är mindre utsläppsintensiv både totalt sett och i förhållande till produktionsvolymen. Den skrotbaserade produktionen har förhållandevis låga utsläpp på grund av att stål tillverkat från skrot inte behöver genomgå en reduktionsprocess på samma sätt som de andra två processpårerna.

Sveriges järn- och stålindustri

I Sverige finns tre malmbaserade järn- och stålverk varav två använder masugns teknik och ett använder Höganäsprocessen. Det finns också ett tiotal skrotbaserade stålverk och omkring femton anläggningar för olika typer av vidarebearbetning.¹⁰² Det finns två större järnmalmgruvor och tre anläggningar för produktion av järnmalmspellet.¹⁰³

Utsläpp och energianvändning av fossila växthusgaser

Masugnsprocessen står för störst andel utsläpp

I figur 5 visas järn- och stålindustrins utsläpp fördelat på olika utsläppskategorier och över tid. Branschens utsläpp av fossila växthusgaser uppgick till 5,4 miljoner ton koldioxidekvivalenter¹⁰⁴ under 2020, vilket är en minskning med 0,8 miljoner ton koldioxidekvivalenter från föregående år. Utsläppen från järn- och stålindustrin är starkt kopplade till konjunkturen och kan därför variera från år till år beroende på produktionsvolym och fördelningen mellan stålkaliteter. Utsläppsminskningen under 2020 förklaras av den kraftiga nedgången i världsekonomin till följd av Covid-19 pandemin.

¹⁰⁰ Energimyndigheten, 2021 d (Avsnitt 3.1 samt Bilaga 3). <https://energimyndigheten.a-w2m.se/Home.mvc?ResourceId=202874>

¹⁰¹ Jernkontoret, 2018.

¹⁰² Jernkontorets webbsida, *Fakta och nyckeltal*. <https://www.jernkontoret.se/sv/stalindustrin/bransch-fakta-och-statistik/fakta-och-nyckeltal/> (Hämtad 2022-07-29).

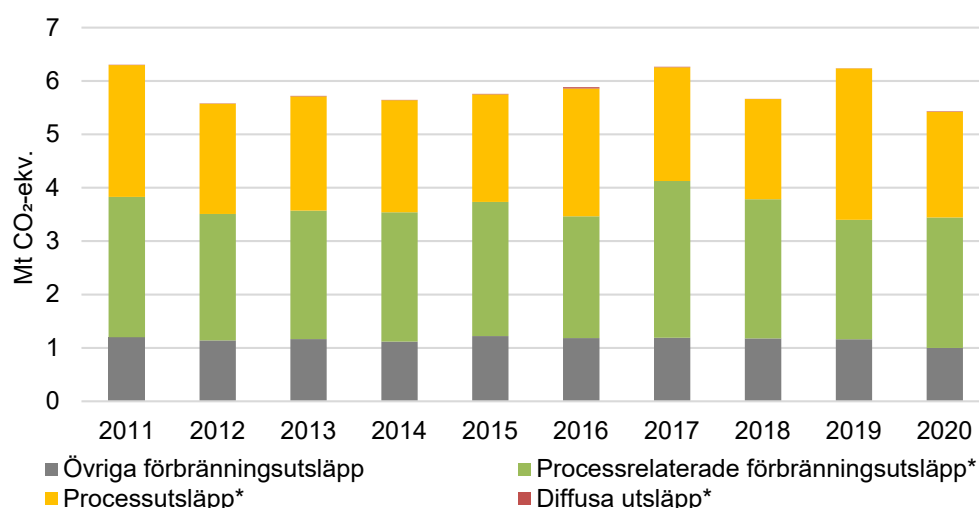
¹⁰³ Naturvårdsverket, 2019 a.

¹⁰⁴ Ibid.

De processrelaterade utsläppen stod för cirka 82 procent av branschens totala fossila utsläpp, medan resterande 18 procent utgjordes av övriga förbränningsutsläpp. Sett till industrins totala fossila växthusgasutsläpp stod järn- och stålindustrin för cirka 38 procent år 2020.¹⁰⁵

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 en stor källa till processrelaterade utsläpp. Även från den s.k. Höganäsprocessen¹⁰⁶ 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.¹⁰⁷



Figur 5. Järn- och stålindustrins utsläpp fördelat på olika utsläppskategorier, 2010–2020, miljoner ton koldioxidekvivalenter (kategorier markerade med * ingår i processrelaterade utsläpp)

Källa: Naturvårdsverket och SCB,¹⁰⁸ bearbetning av Energimyndigheten

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

¹⁰⁵ Vilket är samma procentandel som året innan.

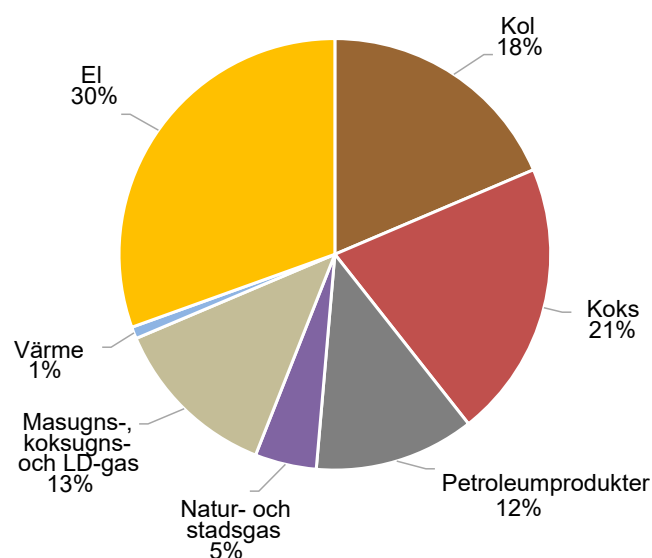
¹⁰⁶ I statistiken anges detta som ”processutsläpp från produktion av direktreducerat järn”, men i praktiken är Höganäsprocessen den enda tillverkningen med direktreduktion i dag.

¹⁰⁷ Jernkontoret, 2018.

¹⁰⁸ Naturvårdsverket och SCB, 2022. https://www.statistikdatabasen.scb.se/pxweb/sv/ssd/START__MI__MI0107/MI0107IndustriN/

Branschen använder nästan uteslutande fossila bränslen och el

Den slutliga energianvändningen i järn- och stålindustrin, inklusive järnmalmshugor och koksverk, uppgick till 22 TWh under 2020, vilket motsvarar 15 procent av industrins totala energianvändning samma år.¹⁰⁹ Figur 6 visar hur energianvändningen var fördelad mellan olika energikällor under 2020. Branschen använder nästan uteslutande utsläppsintensiva fossila bränslen och el. Kol och koks används främst i samband med masugnsprocessen, men även vid tillverkning av järnmalmshugor och som legeringsämne i stål. El används framför allt i den skrotbaserade tillverkningen och i olika bearbetningsprocesser samt de olika malmbaserade processerna.



Figur 6. Järn- och stålindustrins energianvändning, inklusive järnmalmshugor och koksverk, fördelat på olika energikällor, 2020, procent.

Källa: Energimyndigheten.¹¹⁰

Järn- och stålindustrins väg mot nettonoll

I det här avsnittet beskrivs olika möjligheter att minska utsläppen från järn- och stålproduktion med utgångspunkt i den svenska industrins förutsättningar. Den begränsade mängden stålskrot tillgänglig för återvinning i förhållande till den förväntade framtida efterfrågan på stål innebär att det kommer att finnas behov av primärproduktion med järnmalm i framtiden. I dagsläget sker ungefär en tredjedel av ståltillverkningen med skrot som insatsvara.¹¹¹

¹⁰⁹ Energimyndigheten, 2022 b. <https://www.energimyndigheten.se/statistik/den-officiella-statistiken/statistikprodukter/arlig-energibalans>

¹¹⁰ Energimyndigheten, 2022 b. <https://www.energimyndigheten.se/statistik/den-officiella-statistiken/statistikprodukter/arlig-energibalans>

¹¹¹ Jernkontorets webbsida, *Processer*. <https://www.jernkontoret.se/sv/stalindustrin/tillverkning-anvandning-atervinning/processer/> (Hämtad 2022-07-29)

I svensk kontext finns två relevanta teknikspår för att ställa om stålproduktionen:

- Masugnprocessen kan ersättas med **vätgasbaserad direktreduktion**, vilket har potential att eliminera dagens utsläpp givet att vätgasen produceras fossilfritt. Fossilfri vätgas kan även användas för drift av skrotbaserad produktion för att eliminera förbränningsutsläppen.
- Forskningsprojekt och verksförsök för att ersätta fossilt kol och koks med **biobaserade alternativ** pågår, vilket kan vara ett komplement eller alternativ till vätgasbaserad direktreduktion. I dagsläget är biokol det huvudsakliga omställningsspåret för Höganäsprocessen och ett alternativt teknikspår för den skrotbaserad produktionen. Biokol (eller annan biobaserad kolform som t.ex. biogas) kommer även att behövas för att vätgasbaserad ståltillverkning ska bli helt fossilfri.

Om tekniken för vätgasbaserad direktreduktion i masugnprocessen med fossilfri el och/eller biobaserad Höganäsprocess inte lyckas 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 är en teknik som har kommit långt i t.ex. USA men som inte är i fokus för teknikutvecklingen i Sverige. Svenska Swerim driver dock ett projekt som har som mål att utveckla en elektrolysprocess för reduktion av järnmalm.¹¹²

Vätgasbaserad direktreduktion

Fossilfritt stål har producerats i pilotskala

Vätgasbaserad direktreduktion är huvudspåret för att ersätta den utsläppsintensiva masugnstekniken. Den nya tekniken går ut på att järnmalmspelletts direktreduceras i fast form till järnsvamp som sedan smälts i en ljusbågsugn för framställning av stål. Vätgas produceras i en elektrolysör med fossilfri el och ersätter kol som reduktionsmedel, vilket ger vatten som restprodukt i stället för koldioxid. För en mer ingående beskrivning av produktionsprocessen, se bilaga 4. Tekniken är långt framskriden i Sverige och har testats i pilotskala med goda resultat. I juli 2021 producerade HYBRIT:s pilotanläggning järnsvamp som sedan vidarebearbetades till världens första fossilfria stål.¹¹³ Stålet har sedan levererats till en kund och använts till att producera världens första fordon av fossilfritt stål.¹¹⁴ HYBRIT avslutade under sommaren 2022 en förstudie gällande en demonstrationsanläggning som planeras vara färdigställd 2025.^{115,116} Den planerade demonstrationsanläggningen, som kommer att ha en produktionsvolym motsvarande runt 25 procent av Sveriges totalproduktion av råstål, har beviljats finansiellt stöd på 143 miljoner euro från EU:s innovationsfond.¹¹⁷ Ytterligare en stor satsning på vätgasbaserad direktreduktion av stål

¹¹² Energimyndighetens projektdatabas, P51242-1, diarienummer 2020-013682

¹¹³ HYBRIT:s webbsida, *Världens första fossilfria stål färdigt för leverans*. <https://www.hybritdevelopment.se/varldens-forsta-fossilfria-stal-fardigt-for-leverans/> (Hämtad 2021-08-03)

¹¹⁴ Volvo Groups webbsida, *Volvokoncernen lanserar världens första fordon tillverkat av fossilfritt stål*. <https://www.volvogroup.com/se/news-and-media/news/2021/oct/news-4088343.html> (Hämtad 2022-06-22)

¹¹⁵ Energimyndighetens projektdatabas, 51570-1, diarienummer 2020-019555

¹¹⁶ Jernkontorets webbsida, *HYBRIT startar pilotanläggning för fossilfritt stål*. <https://www.jernkontoret.se/sv/publicerat/nytt-fran-jernkontoret/nyheter/2020/hybrit-startar-pilotanlaggning-for-fossilfritt-stal/> (Hämtad 2022-08-16)

¹¹⁷ Europeiska Kommissionens webbsida, *Swedish large-scale demonstration of Hydrogen Breakthrough Iron-making Technology*. <https://ec.europa.eu/info/funding-tenders/opportunities/portal/screen/opportunities/projects-details/43089234/101051316/INNOVFUND> (Hämtad 2022-09-16)

görs av H2 Green Steel (H2GS) som gått direkt på investering i en fullskaleanläggning.¹¹⁸ Under år 2022 planerar H2GS färdigställa ett detaljerat ingenjörsarbete, vilket inkluderar ett inledande tekniskt arbete gällande produktionsanläggningen och ett detaljerat underlag för viss utrustning som anläggningen kräver. H2GS' anläggning planeras att tas i drift 2025 och nå full kapacitet under 2030. Att skala upp produktionen innebär en utmaning för både HYBRIT och H2GS då tekniken hittills endast testats i pilotskala.

Ett vätgaslager i pilotskala har driftsatts i Luleå

Direktreduktion med vätgas producerad genom elektrolys kräver stora mängder el i jämförelse med masugnsprocessen. För att hålla kostnaderna nere finns möjligheten att bygga ett vätgaslager och koncentrera vätgasproduktionen till tidpunkter med lägre elpriser. Läs mer om vätgaslager i avsnitt 2.2.2. HYBRIT har under sommaren 2022 färdigställt och driftsatt världens första vätgaslager i pilotskala.¹¹⁹ Lagret ligger i ett bergrum i direkt anslutning till HYBRIT:s pilotanläggning utanför Luleå. Syftet med piloten är att säkerställa förutsättningarna för tekniken Lined Rock Cavern (som innebär att bergrummet kapslas in med metall) att lagra trycksatt vätgas. Tekniken har tidigare endast testats för naturgas. Pilot-testerna kommer att ske fram tills 2024 och efter att resultaten utvärderas kan ett beslut tas om en eventuell fullskalig anläggning. Medan pilotanläggningen har en storlek på 100 m³ behöver ett fullskaligt lager uppgå till 100 000 – 120 000 m³.

Utmaningar kring elförsörjning

Ytterligare en utmaning kopplad till vätgasbaserade anläggningar är elförsörjningen, eftersom vätgasbaserade anläggningar kommer att kräva stora mängder el. När HYBRIT är fullt etablerat inom både SSAB och LKAB beräknas produktionen av fossilfritt stål att kräva 55 TWh el per år¹²⁰. För en fossilfri efterbehandling kommer ytterligare el att krävas. H2 Green Steel estimerar att deras planerade anläggning kommer att behöva 12 TWh el per år efter 2030, när produktionen är i full gång.

Fossila bränslen och råvaror kan delvis ersättas med biobaserade

Möjligheten att ersätta fossilt kol och koks med biobaserade alternativ undersöks i flertalet projekt världen över. I Sverige är huvudspåret för Höganäsprocessen att ersätta fossila reduktionsämnen med biobaserade reduktionsämnen. SSAB tittar på biokol som ett komplement till vätgasbaserad direktreduktion. De planerar att använda biokol i bl.a. den elektriska ljusbågsugnen. Biokol kan även vara ett alternativ i masugnar om tekniken för vätgasbaserad direktreduktion inte skulle lyckas i stor skala. I ett globalt perspektiv kan både vätgasbaserad direktreduktion och masugnsprocessen behövas. 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.¹²¹ Även i den skrotbaserade stålproduktionen kan biokol användas för att minska utsläppen.

¹¹⁸ Energimyndighetens projektdatabas 52799-1, diarienummer 2021-041907

¹¹⁹ Energimyndighetens projektdatabas 49149-1, diarienummer 2019-014194

¹²⁰ Den storskaliga produktionen av fossilfritt stål beräknas kräva 15 TWh, och 40 TWh beräknas krävas för att tillgodose SSAB:s produktion med fossilfria järnmalmspellets. LKAB:s behov av el kan komma att öka om det finns en efterfrågan på fossilfria järnmalmspellets hos andra kunder.

¹²¹ Swerims webbsida, *Vägen till en grön masugn*. <https://www.swerim.se/cases/vagen-till-en-gron-masugn> (Hämtad 2021-09-02).

Inom ramen för HYBRIT har LKAB producerat fossilfria järnmalmsspellets med bioolja som energikälla i ett bandugnsverk sedan år 2021.¹²² Tillverkningen utvecklades år 2020–2021, då en särskild tank för bioolja med eget rörsystem byggdes vid anläggningen i Malmberget.

Att ersätta kol och koks med biomassa är en utmaning

Biomassa i form av biokol är ett alternativ till kol och koks i flertalet olika processer inom järn- och stålindustrin. Det finns två stora utmaningar kopplade till denna teknikutveckling:

- Biomassan behöver ha rätt egenskaper, dvs. rätt **kvalitet**, för att effektivt omvandlas till alternativa råvaror (t.ex. biokol) som kan ersätta de fossila råvaror som används i dagsläget.
- Det behöver också finnas tillgång på biomassa för användning inom järn- och stålframställningen, dvs. det behövs tillräcklig **kvantitet** av en begränsad tillgång, se avsnitt 2.1.2 för mer information.

Biokol behöver ha hög kvalitet och specifika egenskaper för att kunna ersätta kol och koks i järn- och stålprocesser. Det är viktigt att biokolet har tillräckligt hög densitet, inte är reaktivt, är rent och inte innehåller fosfor eller alkalimetaller. För att ersätta koks måste dessutom en högre hållfasthet uppnås för att undvika att biokoksen krossas i masugnen. Jämfört med kol har biomassa ett lågt värmevärde och behöver därför förbehandlas genom exempelvis pyrolys för att uppnå rätt kvalitet.¹²³ Dessutom varierar den optimala kvaliteten och egenskaperna beroende på vilken process biokolet ska användas i.

Höganäsprocessen i testförsök med biokol

Höganäs har påbörjat pilotförsök som syftar till att besvara frågor kring de långsiktiga effekterna av att använda biokol som reduktionsmedel i Höganäsprocessen.¹²⁴ Frågor som ska besvaras är bland andra vilka egenskaper biokolet behöver, hur järnsvampsprocessen påverkas samt hur teknikvalet kring komprimering och torkning påverkar biokolets kvalitet. Projektet består i huvudsak av tre delar:

1. Ett komprimeringsförsök av biokol
2. Lagring av det komprimerade biokolet
3. Testförsök med komprimerat biokol i Höganäsprocessen

I testförsöket ska 20 procent av koksen ersättas med biokol. Målet är att Höganäsprocessen år 2045 antingen endast ska använda biokol i sin järnsvampsprocess eller kombinera en procentuell användning av biokol med CCS. Inom ramen för projektet ingår även att leverera en layout för en fullskalig komprimeringsanläggning och beslut om lämplig utrustning för denna.

¹²² HYBRIT:s webbsida, *Fossilfri pelletsproduktion*. <https://www.hybritdevelopment.se/en-fossilfri-utveckling/fossilfri-pelletsproduktion/> (Hämtad 2022-06-23)

¹²³ Jernkontoret, 2018.

¹²⁴ Energimyndighetens projektdatabas, P51957-1, diarienummer 2020-025559

Storskalig produktion av biokol testas i kraft- och fjärrvärmepannor

Chalmers tekniska högskola leder ett forskningsförsök där storskalig produktion av biokol integrerad i befintliga kraft- och fjärrvärmepannor av sorten fluidiserad bädd testas.¹²⁵ Vid integreringen delas pannreaktorn till en tvåbäddsreaktor – en del där biokol produceras och flyktiga ämnen används till t.ex. pyrolysolja eller produktgas och en del som fortsätter stå för produktion av värme, ånga eller el. Projektets huvudsyfte är att producera biokol med egenskaper som särskilt lämpar sig för järn- och stålindustrin, men det föreslagna konceptet gör det även möjligt att skräddarsy det producerade biokolet för andra processer. Biokol som produceras i projektet planeras testas som råvara för reduktion av järnmalm i Höganäsprocessen och bildare av skummande slag i ljusbågsugarna på SSAB. Efter projektets slut kan ett reaktorkoncept finnas redo för implementering som kan förse industriparterna med upp till 80 000 ton biokol per år.

Swerim driver projekt kring biokol

Swerim driver två projekt kring biokol – det ena projektet syftar till att visa att det är möjligt att ersätta delar av det fossila kol som i dagsläget används för legering i stålsmältan samt reduktion i chargemixen¹²⁶ med biokol.¹²⁷ Alla Sveriges sju skrotbaserade stålverk deltar i projektet tillsammans med forskningsinstitut och två biokolsproducenter. Målet är att i verksförsök visa att det är möjligt att ersätta upp till 100 procent av det fossila chargekolet med biokol. Chargekolet utgör drygt hälften av kolanvändningen i den skrotbaserad stålframställning. Swerims andra projektet handlar om att utveckla en metod för att delvis ersätta koks med biokol i kupolugnen (ugnen för uppsmältning av gjutjärn) hos Volvo Powertrains.¹²⁸ I ett första steg syftar projektet till att ersätta 10 procent av gjutkoks med biokolbriketter. Tester av biokol som reduktionsmedel i masugnen har gjorts i projektet *BIO4BF*.¹²⁹ I projektet påvisades att en inblandning av 20 procent biokol kan minska utsläppen med 6,2 procent.

Omställningsalternativ för den skrotbaserade ståltillverkningen

Fossilfri drift av ugnar

Stålverk som producerar stål från skrot och restprodukter använder en ljusbågsugn för att smälta ner skrotet och producera stål. Ljusbågsugnar kan vara elektriska, eller gas- och oljeeldade för att få en jämnare värmefördelning. En fördel jämfört med primärproduktion är att skrotet redan har reducerats från syre, vilket innebär att det utsläppsintensiva reduktionssteget av tillverkningsprocessen kan undvikas. Fokus för den skrotbaserade tillverkningens omställning är därför att eliminera förbränningsutsläppen som uppstår vid användning av fossila bränslen. I dagsläget är vätgas, biogas och elektriska ljusbågsugnar aktuella lösningar för svenska sekundärstålproducenter.

Ovako Sweden AB har tidigare utfört världens första fullskaliga demonstration av fossilfri värmning av stål, där vätgas ersatte gasolanvändningen och syrgas användes som oxidant. Nu investerar företaget i en elektrolysör i Hofors för produktion av fossilfri vätgas för

¹²⁵ Energimyndigheten diarienummer 2022-200355

¹²⁶ En charge är en fylld ljusbågsugn och en chargemix är den mix av råvaror som används för just den satsen (chargen).

¹²⁷ Energimyndighetens projektdatabas, P51591-1, diarienummer 2020-020043

¹²⁸ Energimyndighetens projektdatabas, P50878-1, diarienummer 2020-008292

¹²⁹ Energimyndighetens projektdatabas, P44676-1, diarienummer 2017-004945

värmning av stål i tillverkningsprocessen¹³⁰ och på så vis ersätta fossila bränslen.¹³¹ Ett tillhörande vätgaslager är också planerat. Tekniken ska även kunna användas vid värmebehandling i andra stålverk.

SSAB har beslutat att bygga om det nordiska produktionssystemet för tunnplåt för att accelerera sin gröna omställning och i stort sett eliminera sina utsläpp kring år 2030.¹³² Masugnen och koksverket i Oxelösund ska ersättas med en elektrisk ljusbågsugn och valsverk år 2025 då Oxelösunds produktion blir skrotbaserad. Även anläggningen i Luleå ska utrustas med en elektrisk ljusbågsugn och valsverk, och anläggningen i Borlänge vidareutvecklas för de nya processerna. Att byta energikälla till biogas är ett sätt att minimera utsläppen vid skrotbaserad produktion.

Uddeholms AB har genomfört ett lyckat test att under en vecka byta ut naturgas mot biogas för att påvisa att de kan producera klimatneutralt¹³³ verktygsstål om tillgången på biogas hade varit tillräcklig.¹³⁴

Återvinning och framtida marknadslösning

Den svenska skrotbaserade produktionen av stål använder i dagsläget stora mängder tunnplåtsskrot och malmbaserat skrot från SSAB. I och med att SSAB Oxelösund går från masugnsproduktion till skrotbaserad produktion år 2025 kommer tillgången till skrot (restmaterial från masugnsproduktionen) och produktionsförutsättningarna för specialstålsindustrin i norra Europa att ändras kraftigt. Projektet FerroSilva undersöker möjligheten att ersätta skrot från SSAB med järnsvamp i den svenska skrotbaserade produktionen.¹³⁵ I projektet undersöks den tekniska möjligheten att med biogen syntesgas reducera järnmalm till järnsvamp. Då processen skulle vara en stor biogen punktkälla av koldioxid planeras även en CCS anläggning i anslutning till produktionen. Målet är att inom detta decennium bygga en produktionsanläggning. GreenIron H2 AB har en småskalig, modulär och skalbar lösning för att återvinna eller utvinna rena metaller från restprodukter, avfall eller malm.¹³⁶ Tekniken kan användas till att reducera järnmalm till järnpellets (dvs fossilfri reduktion av järnmalm), men produktionen är småskalig och lämpar sig bättre till återvinning av järnhaltiga restprodukter till fossilfritt järn. Insatsmaterialet reduceras i en vätgasbaserad klockugn i en fossilfri produktionsprocess där de enda slutprodukterna är vatten och metallpellets. Företaget har en demonstrationsugn där företaget uppger att de producerat fossilfritt järn sedan april 2020. De letar efter en etableringsort till sin första produktionsanläggning med målet att ha påbörjat produktionen i augusti 2023.

¹³⁰ Detta projekt avser att eliminera utsläpp i en ugn som används för varmvalsning (formning och varmhärdning) av stålet.

¹³¹ Energimyndighetens projektdatabas, P52399-1, diarienummer 2021-013428

¹³² SSAB:s webbsida, *SSAB planerar för nytt produktionssystem i Norden och tidigarelägger den gröna omställningen*. <https://www.ssab.com/sv-se/nyheter/2022/01/ssab-planerar-fr-nytt-produktions-system-i-norden-och-tidigarelgger-den-grna-omstllningen> (Hämtad 2022-06-28)

¹³³ Genom att använda biogas och driva fordon med HVO100 eller fossilfri el kunde Uddeholm minska sina utsläpp med 93 procent, resterande utsläpp kompenserades enligt Gold Standard.

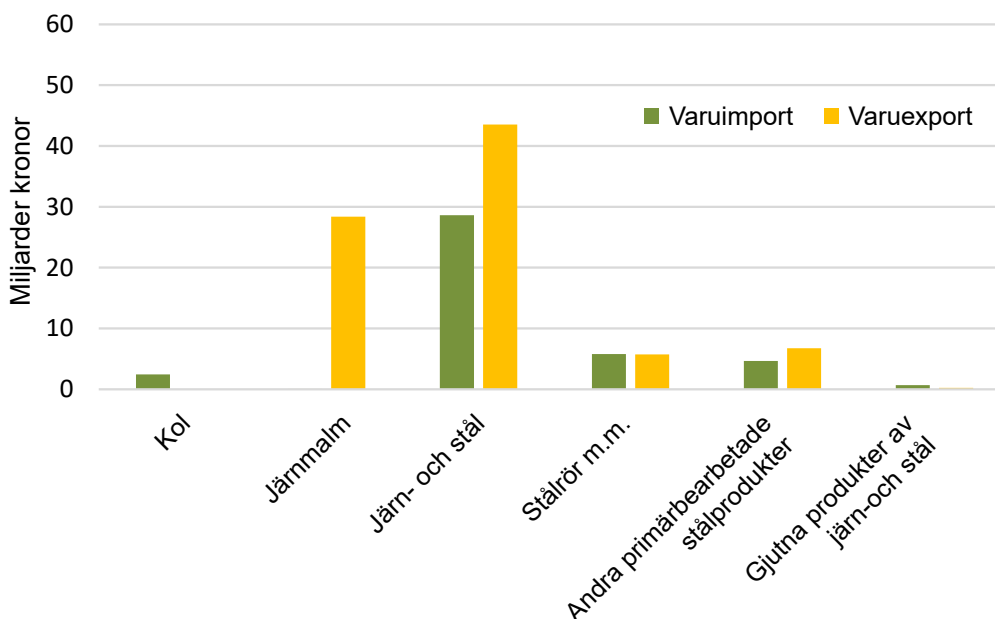
¹³⁴ Jernkontoret, 2022.

¹³⁵ Energimyndighetens projektdatabas 51220-1, diarienummer 2020-013618

¹³⁶ GreenIron:s webbsida, *Vår Produktionsprocess*. <https://greeniron.se/produktionsprocess/> (Hämtad 2022-08-08)

Handel och marknad

Värdet av Sveriges import av järn och stål, järnmalm samt kol uppgick till drygt 42 miljarder kronor år 2020.¹³⁷ Varuexportens värde var cirka 85 miljarder kronor, varav knappt en tredjedel inom järnmalm. Det innebär att handelsnettot (varuexport minus varuimport) för branschen som helhet var positivt, 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. Se Figur 7 för värdet för varuexport samt varuimport per delbransch.



Figur 7. Import- och exportvärde per delbransch (SPIN), 2020, miljarder kronor

Källa: SCB.¹³⁸

Specialiserade svenska stålföretag verkar på fragmenterad global marknad

År 2020 uppgick svensk råstålsproduktion till cirka 4,4 miljoner ton. Detta motsvarar knappt 0,2 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.^{139, 140}

Sveriges stålindustri är alltså liten ur ett globalt perspektiv, men viktig inom de marknadsnischer företagen valt att specialisera sig på.¹⁴¹ De större svenska stålverken är till stor del specialiserade inom sina styrkeområden och har en nischstrategi där de producerar

¹³⁷ SCB, 2022. <https://www.scb.se/hitta-statistik/statistik-efter-amne/handel-med-varor-och-tjanster/utrikeshandel/utrikeshandel-med-varor>

¹³⁸ SCB, 2022. <https://www.scb.se/hitta-statistik/statistik-efter-amne/handel-med-varor-och-tjanster/utrikeshandel/utrikeshandel-med-varor>

¹³⁹ World steel association, 2020.

¹⁴⁰ World steel association, 2021.

¹⁴¹ Jernkontoret, 2018.

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 förädlad stål medan standardstål importeras.¹⁴²

Ett exempel på specialiseringen är den största svenska producenten av råstål, SSAB. SSAB¹⁴³ 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.¹⁴⁴ Dessa fokusmarknader står för cirka 3 procent av den globala marknaden för kolstål.

Sverige är EU:s största producent av järnmalm

Sverige är EU:s största järnmalmsproducent och stod 2020 för drygt 87 procent av järnmalmsproduktionen inom EU. Järnmalmsmarknaden styrs av efterfrågan på stål, som i sin tur beror på världsekonomins utveckling.¹⁴⁵ 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 2020.¹⁴⁶ En viktig drivkraft för metallmarknaderna är infrastrukturutveckling, t.ex. byggande av bostäder, transportleder, fordon och telekommunikation.¹⁴⁷

I Sverige produceras järnmalm främst av LKAB. Europa är LKAB:s största marknad med 55 procent av företagets försäljning av järnmalmsprodukter. Mellanöstern och Nordafrika är den näst största marknaden med 23 procent. Av LKAB:s försäljning under 2020 bestod 87 procent av pelletsprodukter, både masugnspelletts och direktreduktionspellets. Direktreduktionspellets säljs främst till Mellanöstern och Nordafrika. Resten av försäljningen bestod av fines¹⁴⁸ och specialprodukter.¹⁴⁹

Efterfrågan på fossilfritt stål

I en rapport som publicerades år 2022 konstaterar IVA att det finns en premiemarknad för fossilfritt stål och att detta till stor del beror på att det finns en efterfrågan i ekonomiskt hållbara värdekedjor med etablerade intressenter.¹⁵⁰ Exempelvis finns det en stor efterfrågan inom fordonsindustrin där flera aktörer har satt upp mål om att vara klimatneutrala genom hela värdekedjan, vilket förutsätter fossilfritt stål. I IVA:s rapport framgår det även att kostnaden för att framställa fossilfritt stål är 20 procent högre per ton råvara men att en bil i fossilfritt stål endast förväntas kosta en procent mer för slutkonsumenter. Den högre produktionskostnaden för fossilfritt stål jämfört med konventionellt stål förväntas därmed endast att ha en liten påverkan på slutkonsumenter.

¹⁴² Ahnberg, E., m.fl., 2013.

¹⁴³ Hela SSAB, inklusive verksamhet utanför Sverige.

¹⁴⁴ SSAB, 2021.

¹⁴⁵ LKAB, 2021.

¹⁴⁶ World Steel Association, 2021.

¹⁴⁷ Ahnberg, E., m.fl., 2013.

¹⁴⁸ Fines är fint krossad järnmalm som sammanfogas till större stycken (sintras) under hög temperatur

¹⁴⁹ LKAB, 2021.

¹⁵⁰ IVA, 2022.

Enligt företagens nuvarande tidsplan kommer fossilfritt stål från HYBRIT finnas på marknaden i större skala 2026 medan H2 Green Steel har annonserat att de kommer att producera fossilfritt stål från 2025. Båda företagen har skrivit på leveransavtal med flera kunder och H2 Green Steel uppger att de har avtal om leveranser på 1,5 miljoner ton stål per år av deras planerade totala produktion på 2,5 miljoner ton stål per år.¹⁵¹ SSAB gick i januari 2022 ut med att de kommer att ställa om det nordiska produktions-systemet och accelerera omställningen för att kunna möta den ökade efterfrågan på fossilfritt stål.¹⁵² Efterfrågan på fossilfritt stål verkar vara tillräckligt stor för att det ska finnas en marknad för produkten och det verkar även finnas en vilja att betala ett prispremium för fossilfritt stål.

HYBRIT:s pilotanläggning började under år 2021 försöka marknaden med en liten mängd fossilfritt stål. Stålet levererades till Volvokoncernen och användes till att producera världens första fordon tillverkat av fossilfritt stål. Volvo kommer under år 2022 även lansera flera konceptfordon och komponenter med fossilfritt stål samt påbörja en introduktion av fossilfritt stål i rambalkarna i deras tunga elektriska lastbilar¹⁵³. Även dessa produkter verkar det finnas efterfrågan på då Volvo har levererat världens första anläggningsmaskin tillverkad av fossilfritt stål till kund.^{154,155}

¹⁵¹ H2 Green Steels webbsida, *H2 Green Steel has pre-sold over 1.5 million tonnes of green steel to customers*. <https://www.h2greensteel.com/pressreleases/h2-green-steel-has-pre-sold-over-15-million-tonnes-of-green-steel-to-customers> (Hämtad 2022-07-29)

¹⁵² SSAB:s webbsida, *Tidslinje för HYBRIT och fossilfri stålproduktion*. <https://www.ssab.com/sv-se/ssab-koncern/hallbarhet/hallbar-verksamhet/hybrit-phases> (Hämtad 2022-06-13)

¹⁵³ Volvo Groups webbsida, *Volvo Lastvagnar först i världen med fossilfritt stål*. <https://www.volvogroup.com/se/news-and-media/news/2022/may/news-4272500.html> (Hämtad 2022-07-04)

¹⁵⁴ Volvo Groups webbsida, *Volvokoncernen lanserar världens första fordon tillverkat av fossilfritt stål*. <https://www.volvogroup.com/se/news-and-media/news/2021/oct/news-4088343.html> (Hämtad 2022-06-22)

¹⁵⁵ Volvo Groups webbsida, *Volvo CE först ut i världen att leverera anläggningsmaskin tillverkad med fossilfritt stål till kund*. <https://www.volvogroup.com/se/news-and-media/news/2022/jun/news-4278824.html> (Hämtad 2022-06-29)

3.1.3 Raffinaderier och kemiindustrin

Raffinaderier och kemiindustrin står år 2020 för lite mer än en femtedel 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 dagens fossila 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 raffinaderier¹⁵⁶ 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. I oljeraffinaderier tillverkas olika gasformiga, flytande och fasta bränslen samt andra petroleumprodukter såsom icke-energivarorna smörjolja, bitumen och petroleumkoks. 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 förra årets rapport.¹⁵⁶

Utsläpp av fossila växthusgaser och energianvändning

Utsläppen kan till stor del härledas till förbränning av fossila restgaser

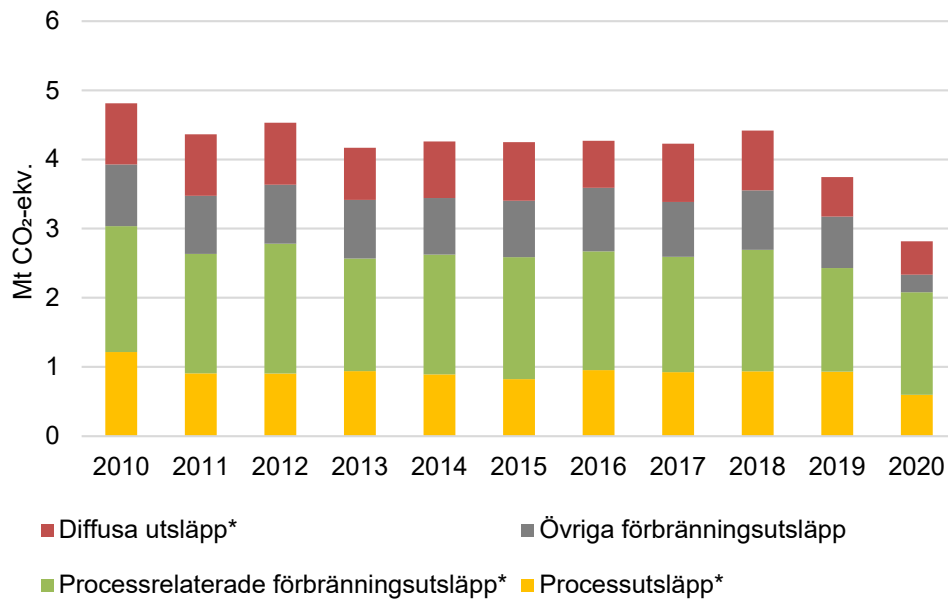
Raffinaderi- och kemiindustrins fossila växthusgasutsläpp uppgick till cirka 3,2 miljoner ton koldioxidekvivalenter under år 2020, vilket är en minskning med drygt 0,5 miljoner ton koldioxidekvivalenter jämfört med föregående år.¹⁵⁷ Under 2020 minskade produktionen inom kemi- och raffinaderiindustrin bl.a. på grund av ett oplanerat driftstopp orsakat av en brand.^{158, 159} Även föregående år minskade utsläppen rejält, främst på grund av att två raffinaderier hade planerade underhållsstopp. Raffinaderi och kemiindustriernas utsläpp motsvarade en dryg femtedel av industrins totala fossila växthusgasutsläpp år 2020. Figur 8 visar fördelningen mellan olika kategorier av fossila växthusgaser.

¹⁵⁶ Energimyndigheten, 2021 d (Bilaga 3). <https://energimyndigheten.a-w2m.se/Home.mvc?ResourceId=202874>

¹⁵⁷ Naturvårdsverket och SCB, 2022. https://www.statistikdatabasen.scb.se/pxweb/sv/ssd/START__MI__MI0107/MI0107IndustriN/

¹⁵⁸ Naturvårdsverkets webbsida, *Territoriella utsläpp och upptag av växthusgaser*. <https://www.naturvardsverket.se/data-och-statistik/klimat/vaxthusgaser-territoriella-utslapp-och-upptag/> (Hämtad 2022-07-08)

¹⁵⁹ Naturvårdsverkets webbsida, *Industri, utsläpp av växthusgaser*. <https://www.naturvardsverket.se/data-och-statistik/klimat/vaxthusgaser-utslapp-fran-industrin/> (Hämtad 2022-07-27)



Figur 8. Raffinaderiers och kemiindustrins utsläpp av fossila växthusgaser fördelat på olika utsläppskategorier, 2010–2020, miljoner ton koldioxidekvivalenter (kategorier markerade med * ingår i processrelaterade utsläpp).

Källa: Naturvårdsverket och SCB¹⁶⁰, bearbetning av Energimyndigheten

Processrelaterade utsläppen utgör 80 procent av branschens totala utsläpp.¹⁶¹ Största utsläppskategorin utgörs av branschens förbränning av interna restgaser. 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, framför allt vid destillering och krackning av nafta, etan, propan och butan.

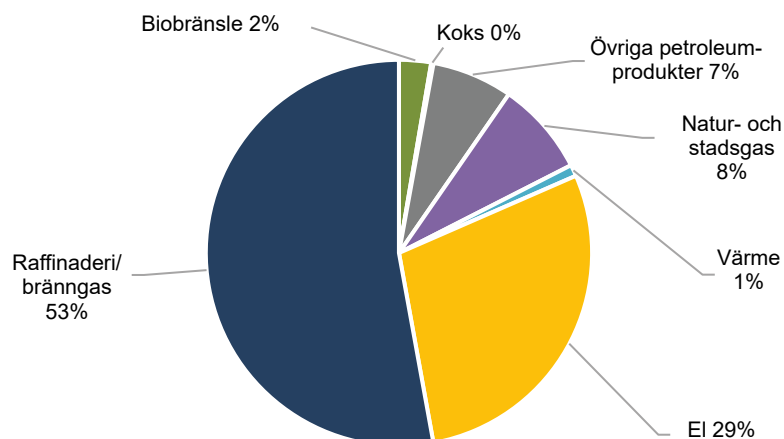
Restgaser stod för hälften av energitillförseln

Raffinaderier och kemiindustrin använde tillsammans ungefär 17 TWh energi år 2020, vilket är cirka 11 procent av energianvändningen inom industrin.¹⁶² I siffran ingår branschernas egenanvändning och fackling av raffinaderi-/brännngas. I figur 9 visas fördelningen mellan olika energibärare år 2020. Energin för att driva processerna består till stor del av interna restgaser (benämnda som raffinaderi-/brännngas i figur 9). Rent generellt kan branschen minska energianvändningen genom att använda värmen från restgaser genom t.ex. värmewäxlare och generering av lågvärdig ånga som kan användas vid torkning eller förvärmning av material.

¹⁶⁰ Naturvårdsverket och SCB, 2022. https://www.statistikdatabasen.scb.se/pxweb/sv/ssd/START_MI_MI0107/MI0107IndustriN/

¹⁶¹ Ibid.

¹⁶² Energimyndigheten, 2022 b. <https://www.energimyndigheten.se/statistik/den-officiella-statistiken/statistikprodukter/arlig-energibalans/>



Figur 9. Raffinaderiers och kemiindustrins (inklusive läkemedelsindustrins) energianvändning fördelat på olika energikällor, 2020, procent.

Källa: Energimyndigheten.¹⁶³

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

Anm. 2: Det finns osäkerheter i energistatistiken gällande raffinaderier för 2020.

Raffinaderi- och kemiindustrins väg mot nettonoll

Centralt för att kunna minska branschens utsläpp är att minska utsläppen från användningen av fossila restgaser. Två tänkbara alternativ är att ersätta de fossila insatsvarorna med biogena insatsvaror eller att fånga in och lagra koldioxiden genom CCS. Omställningen av dagens kemi- och raffinaderiindustri består generellt av fyra delar:

- **återvinning** av material. Den återvinning som främst diskuteras och är volymmässigt störst är plast. Återvinning av plast kan delas upp i två olika metoder – mekanisk och kemisk. För en mer ingående beskrivning av dessa återvinningsmetoder, se bilaga 4.
- byte från fossilbaserad till **biobaserad råvara**,
- **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 2030¹⁶⁴ där flera företag i Stenungssund samarbetar för tillverkning av hållbara produkter inom kemiindustrin, t.ex. kring material- och resursutnyttjande. Ett annat exempel är SusChem Sweden¹⁶⁵ som syftar till att öka samverkan mellan industri och forskning inom svensk kemiindustri för utveckling av hållbara kemikalier, material och processer.

¹⁶³ Energimyndigheten, 2022 b. <https://www.energimyndigheten.se/statistik/den-officiella-statistiken/statistikprodukter/arlrig-energibalans/>

¹⁶⁴ Kemiföretagen Stenungssunds webbsida, *Kemiföretagen Stenungssund*, <http://kemiforetagenistenungssund.se/> (Hämtad 2021-09-04)

¹⁶⁵ SusChem Swedens webbsida, *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)

Förutsättningar för kemisk återvinning utreds i Stenungssund

Borealis¹⁶⁶, Stena Recycling¹⁶⁷ och Fortum Waste Solutions¹⁶⁸ genomför förstudier där möjligheterna utreds för uppförande av en anläggning för kemisk återvinning av plast via pyrolys i Stenungssund. Enligt företagen är detta ett första steg mot att ställa om råvarubasen till återvunnen råvara. Målet med ett plastreturaffinaderi 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. En studie¹⁶⁹ 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 plastreturaffinaderi, vilket skulle vara det första i Sverige¹⁷⁰, vara på plats redan år 2024 om förstudien faller väl ut. Förstudien beräknas att vara klar i slutet av år 2022.

Bioråvaror

Marknaden för biobaserade alternativ till fossila råvaror och/eller produkter växer till följd av 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.

Utmaning att utveckla bioråvaror 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 exempelvis 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 jäsnings, förgasning, pyrolys, ligninseparering och hydrotermisk förvätskning.

¹⁶⁶ Energimyndighetens projektdatabas, P51956-1, diarienummer 2020-025110

¹⁶⁷ Energimyndighetens projektdatabas, P51962-1, diarienummer 2021-000220

¹⁶⁸ Energimyndighetens projektdatabas, P52674-1, diarienummer 2021-036071

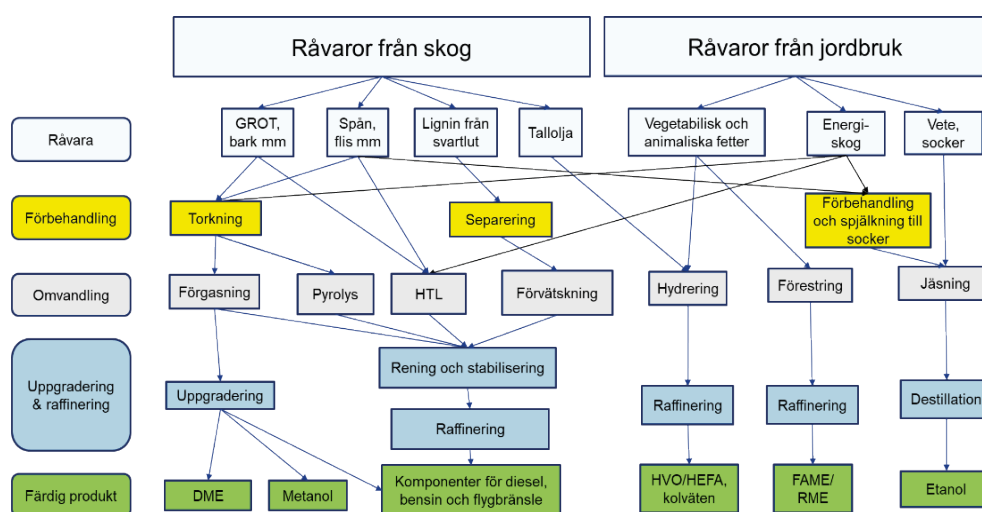
¹⁶⁹ Energimyndigheten diarienummer 2022-200269

¹⁷⁰ 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.

Utveckling 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 i stället 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 att framställa den. Det finns potential för ett ökat hållbart uttag av biomassa i Sverige i enlighet med nuvarande utformning av hållbarhetskriterierna i förnybardirektivet. Potentialen består till största delen av ett ökat uttag av grenar och toppar (grot) samt restprodukter från skogsindustrin (bark, sågspån och lignin).¹⁷¹ Gemensamt för dessa råvaror är att de är rika på lignocellulosa¹⁷². 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 10 nedan visar processvägar som bedöms vara möjliga i perspektivet 2030. Energimyndigheten uppskattar 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.¹⁷³



Figur 10. Processvägar för biodrivmedel från olika typer av råvaror

Källa: Energimyndigheten

¹⁷¹ Förnybardirektivet håller på att revideras där ett av omarbetsförslagen innebär att grot inte ska klassas som hållbar om den används för energändamål. Se avsnitt 2.1.2 för mer information om detta.

¹⁷² lignin, cellulosa och hemicellulosa i varierande proportioner.

¹⁷³ Energimyndigheten, 2021 a.

De tekniker som kommit längst baseras på produktion av biooljor i anslutning till massa-bruk 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*.¹⁷⁴

St1 bygger nytt bioraffinaderi i Göteborg

Drivmedelföretaget St1 är i processen att bygga ett nytt bioraffinaderi i Göteborg.¹⁷⁵ Den nya anläggningen ska producera förnybar diesel och hållbart flygbränsle. Anläggningens årliga kapacitet kommer att uppgå till 200 000 ton förnybara bränslen och planeras tas i bruk 2023. Enligt St1 kommer råvaran bestå av matavfall, såsom olje- och fettavfall, från livmedelindustrin.

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 förra årets rapport¹⁷⁶.

Elektrolys förekommer redan i dag i en mindre skala inom industrin, framför allt 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 raffinaderier

Vätgasanvändningen i raffinaderiprocesserna väntas öka i och med omställningen till biogena råvaror.¹⁷⁷ Uppskattningsvis går det åt 3–4 gånger så mycket vätgas vid förädling av biomassa som vid förädling av fossil råolja. Preem har i en studie kommit fram till att deras raffinaderi i Lysekil har mycket goda förutsättningar för en elektrolysanläggning för vätgasproduktion.¹⁷⁸ Preem och Vattenfall går därför vidare med utredningsarbetet kring en storskalig elektrolysanläggning i storleksordningen 50 MW placerad på raffinaderiet i Lysekil. Företagen går även in i en förstudiefas gällande att utveckla en värdekedja där havsbaserad vindkraft och vätgas kopplas samman med raffinaderiindustrin på Västkusten.¹⁷⁹ Syftet med projektet är att möjliggöra en utfasning av fossila bränslen med start

¹⁷⁴ Energimyndigheten, 2021 a.

¹⁷⁵ St1:s webbsida, *St1 stärker produktionen från avfall genom att förvärva Brocklesby Ltd i Storbritannien*. <https://www.st1.se/st1-brocklesby> (Hämtad 2022-07-05)

¹⁷⁶ Energimyndigheten, 2021 d (Avsnitt 3.2 samt Bilaga 4). <https://energimyndigheten.a-w2m.se/Home.mvc?ResourceId=202874>

¹⁷⁷ Fossilfritt Sverige, 2021 b.

¹⁷⁸ Preems webbsida, *Vattenfall och Preem går vidare med samarbetet kring fossilfri vätgas till bio-bränslen*. <https://news.cision.com/se/preem-ab/t/vattenfall-och-preem-gar-vidare-med-samarbetet-kring-fossilfri-vatgas-till-biobranslen,c3449790> (Hämtad 2022-06-01)

¹⁷⁹ Preems webbsida, *Vattenfall och Preem ska undersöka storskalig utfasning av fossila bränslen med hjälp av havsbaserad vindkraft och vätgas*. <https://news.cision.com/se/preem-ab/t/vattenfall-och-preem-ska-undersoka-storskalig-utfasning-av-fossila-branslen-med-hjalp-av-havsbaserad,c3591957> (Hämtad 2022-06-30)

senast år 2030. Även St1 undersöker möjligheten att installera elektrolysörer på sitt bioraffinaderi i Göteborg för att ersätta produktionen av vätgas från naturgas med elektrolysframställd vätgas.¹⁸⁰

Flera kemiföretag planerar att ersätta fossil vätgas med elektrolysbaserad

Företaget Nouryon undersöker förutsättningarna för att ersätta användningen av fossil vätgas med vätgas framställd genom elektrolys i sin produktion av väteperoxid vid två anläggningar i Sverige. Även Borealis utreder möjligheten att använda elektrolysframställd vätgas i sin process (krackern) i stället för den fossila gas som används i dag.¹⁸¹

CCS – avskiljning, 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 vägen mot Preems mål om netto-noll utsläpp till 2045 är att tillämpa CCS. Preem har avslutat pilottester på sitt raffinaderi i Lysekil, där koldioxidinfångning testades på rökgaserna från vätgasproduktionsanläggningen.¹⁸² Resultaten var positiva, då tekniken fungerade stabilt och lämpade sig väl för de rökgaser som fångats in. I försöken kunde 90 procent av koldioxiden från rökgaserna fångas in, och nya framsteg pekar på att upp till 95 procent av koldioxiden skulle kunna fångas in till en liknande kostnad. Projektet beräknas på sikt ha potential att fånga in 400 000–500 000 ton koldioxid årligen. Preem går vidare med planeringen av en fullskalig CCS-implementering vid någon av deras enheter för vätgasproduktion till år 2026–2027. Därefter kan även infångning av biogena koldioxidkällor vara intressant. Preem är även involverat i infrastrukturprojektet Cinfra-Cap med syfte att skapa förutsättningar för en effektiv distributionskedja, dvs. infångning, transport och lagring av koldioxid, i Göteborgsregionen¹⁸³, vilket finns beskrivet i mer detalj i avsnitt 3.2.2.

Avskild koldioxid kan användas som råvara

Koldioxid kan fångas in, avskiljas och användas som råvara i nya produkter genom s.k. CCU (Carbon Capture and Utilisation), i stället för att direkt släppas ut eller lagras. På detta sätt finns möjlighet att minska både utsläppen och behovet av ny fossil råvara, även om klimateffekterna är komplicerade och svåra att beräkna. Om biogen råvara används kan det finnas möjlighet att uppnå negativa utsläpp men det beror på hur de nya produkterna används, läs mer i avsnitt 2.5.2.

¹⁸⁰ Fossilfritt Sverige, 2021 b.

¹⁸¹ Ibid.

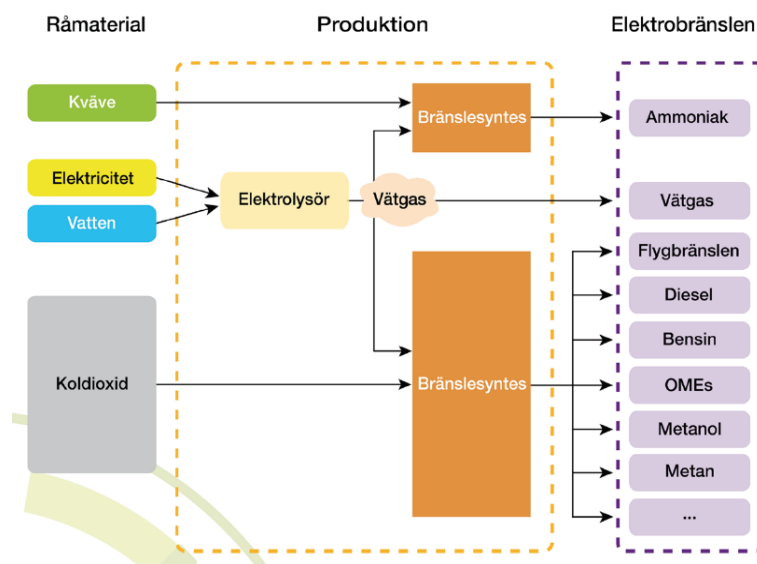
¹⁸² Energimyndighetens projektdatabas, P47607-1, diarienummer 2018-014060

¹⁸³ Energimyndighetens projektdatabas, P 50892-1, diarienummer 2020-008345

Elektrobränslen och elektrokemikalier

Elektrobränslen eller elektrokemikalier är ett samlingsnamn för olika syntetiska bränslen eller kemikalier som 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 fossilfri el och en lämplig koldioxidkälla. Koldioxiden kan vara infångad från exempelvis industrins rökgaser genom tillämpning av CCU.

Elektrobränslen är möjliga att producera utan råvaror av fossilt ursprung och går att använda i flertalet transportslag. De kan dock framför allt vara ett alternativ i de transportsektorer där elektrifiering är svår att genomföra, såsom i flyg och fartyg. De största företagsekonomiska utmaningarna är en låg grad av 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. I figur 11 nedan visas olika processvägar för att producera elektrobränslen.¹⁸⁴



Figur 11. En förenklad bild över möjliga processvägar för produktion av elektrobränslen

Källa: Svenskt kunskapscentrum för förnybara drivmedel, f3

Perstorp planerar att göra hållbar metanol genom CCU

Kemiföretaget Perstorp planerar tillsammans med Fortum och Uniper att investera i en anläggning för produktion av klimatneutral metanol.¹⁸⁵ Projektet går under namn "Project Air" och har som ambition att ersätta den fossila metanolen som Perstorp köper in till produktionen, med egenproducerad klimatneutral metanol som tas fram genom att utnyttja restströmmar och fånga in och använda koldioxid från produktionen. Anläggningen planeras att vara i drift 2025 och kommer då att minska koldioxidutsläppen med ungefär 500 000 ton

¹⁸⁴ Svenskt kunskapscentrum för förnybara drivmedel f3:s webbsida, Faktablad elektrobränslen. <https://f3centre.se/sv/faktablad/elektrobranslen/> (Hämtad 2022-06-08)

¹⁸⁵ Energimyndighetens projektdatabas, P52508-1, diarienummer 2021-019840

per år, vilket motsvarar de årliga utsläppen från Sveriges inrikesflyg. Project Air är ett av 17 som har förutvalts att få investeringsstöd från EU:s innovationsfond i den andra utlysningsskundan för storskaliga projekt.¹⁸⁶

St1 i genomförbarhetsstudie kring elektrobränsle

St1 och Vattenfall har ingått ett samarbete kring att producera elektrobränsle från havsbaserad vindkraft på västkusten.¹⁸⁷ Bränslet planeras främst användas som hållbart flygbränsle. Företagen planerar att undersöka hela värdekedjan för elektrobränslet i en genomförbarhetsstudie. Inom projektet ska Vattenfall arbeta med att utveckla den infrastruktur som kommer att behövas för att försörja St1 med vätgas, medan St1 ansvarar för produktionen av elektrobränsle. Produktionen planeras starta 2029 och successivt öka till en volym av en miljon kubikmeter, vilket motsvarar Arlandas årliga behov av flygbränsle. St1 har även genomfört en genomförbarhetsstudie inför ett pilotprojekt för produktion av elektrometanol i Finland. Ett elektrobränslekoncept kan implementeras på företagets bioraffinaderi i Göteborg tidigast 2025.

Framställning av nya bränslen av nya aktörer och/eller i nya samarbeten

Det pågår flera branschöverskridande samarbeten för att producera elektrobränslen där både energibolag och industri ingår. I dessa fall står kraftvärmeverken för tillförseln av kolatomer medan elektrobränslet tillverkas inom industrin, som i exemplet ovan. I andra fall är det energibolag som av strategiska skäl fångar in kolatomer och själva producerar elektrobränslen. Samtliga av dessa insatser syftar till att ersätta de fossila drivmedel som idag produceras inom industrisektorn. Majoriteten av de direkta utsläppsminskningarna som sker till följd av insatserna förväntas dock ske inom andra sektorer och främst inom transportsektorn. Ett exempel på planerade elektrobränsleprojekt som drivs av aktörer utanför den traditionella industrin Liquid Wind:s planerade anläggning FlagshipONE¹⁸⁸.

Handel och marknad

I Sverige finns det fem raffinaderier.¹⁸⁹ Preem står för cirka 80 procent av raffinaderikapaciteten och äger två av raffinaderierna.¹⁹⁰ Ett viktigt baskemikluster ligger i Stenungssund där flera företag samlats kring en krackieranläggning.¹⁹¹

¹⁸⁶ Project Air:s webbsida, *Project Air selected by EU Innovation Fund as one of 17 project to share funding of EUR 1.8 billion*. <https://projectair.se/en/news/project-air-selected-by-eu-innovation-fund-as-one-of-17-projects-to-share-funding-of-eur-1-8-billion/> (Hämtad 2022-08-16)

¹⁸⁷ St1:s webbsida, *Vattenfall och St1 ingår nytt partnerskap inom fossilfritt e-flygbränsle*. <https://www.st1.se/vattenfall-och-st1-i-nytt-fossilfritt-samarbete> (Hämtad 2022-07-07)

¹⁸⁸ Liquid Wind:s webbsida, *Flagships*. <https://www.liquidwind.se/flagships> (Hämtad 2022-07-07)

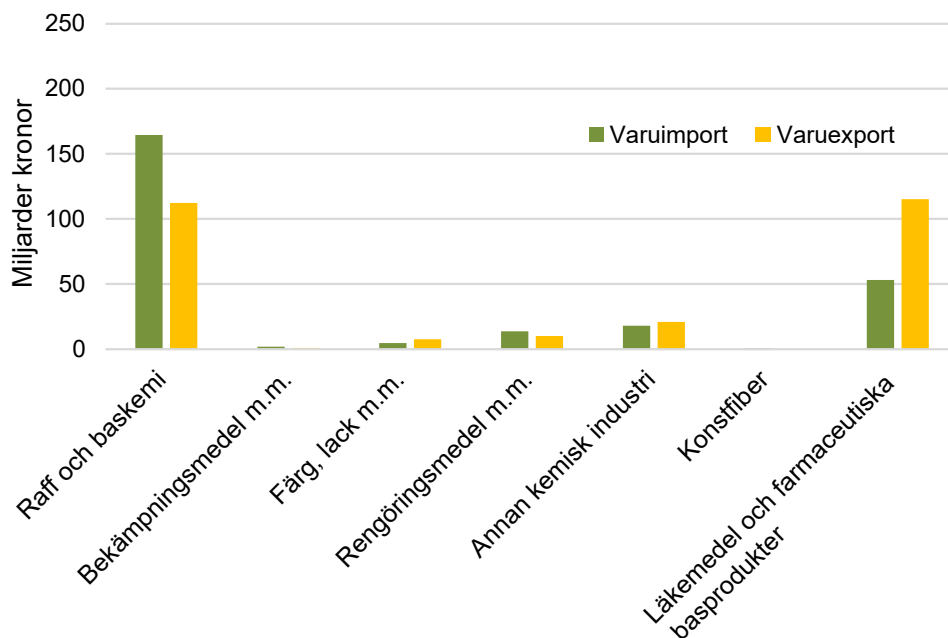
¹⁸⁹ Naturvårdsverket, 2019 b.

¹⁹⁰ Preem, 2019.

¹⁹¹ Profu, 2012.

Stor import av fossila råvaror

Importen i raffinaderi och kemiindustrin var nästan 257 miljarder kronor 2020 och exporten knappt 267 miljarder kronor.¹⁹² Branschen har alltså ett positivt handelsnetto (exportvärdet minus importvärdet). Delbranscherna raffinaderi och baskemi samt läkemedel är störst även när det kommer till handel, se figur 12 där delbranschens import- och exportvärde framgår. De stod tillsammans för 85 procent av både import- och exportvärdet.



Figur 12. Import- och exportvärde per delbransch (SPIN), 2020, miljarder kronor

Källa: SCB.¹⁹³

Efterfrågan på fossilfria raffinaderi- och kemiprodukter

Efterfrågan på förnybara raffinaderiprodukter drivs delvis av ökade kvotnivåer i reduktionsplikten samt skattebefrielsen för rena eller höginblandade biodrivmedel. Biodrivmedel utgjorde cirka 25 procent av de drivmedel som användes i Sverige år 2021. Jämfört med föregående år ökade mängden biodrivmedel totalt med 1,7 TWh – där en ökning med 2 TWh skedde inom och en minskning på 0,3 TWh skedde utanför reduktionsplikten. Den ökade andelen biodrivmedel drevs alltså av höjda kvotnivåer.¹⁹⁴ För mer information om reduktionsplikten, se avsnitt 2.1.2.

Inom flygbranschen har ett antal flygbolag på den svenska marknaden ingått avtal om att köpa förnybart flygbränsle. Några bolag har även skrivit avsiktsförklaringar kring att köpa drivmedel från anläggningar som i dagsläget är i projektstadiet.¹⁹⁵ Styrmedel kring biodrivmedel är främst riktade mot användning och distribution, även om det indirekt kan påverka produktionen.

¹⁹² SCB, 2022. <https://www.scb.se/hitta-statistik/statistik-efter-amne/handel-med-varor-och-tjanster/utrikeshandel/utrikeshandel-med-varor>

¹⁹³ SCB, 2022. <https://www.scb.se/hitta-statistik/statistik-efter-amne/handel-med-varor-och-tjanster/utrikeshandel/utrikeshandel-med-varor>

¹⁹⁴ Energimyndigheten, 2021 e.

¹⁹⁵ Fossilfritt Sverige, 2021 c.

3.1.4 Mineralindustrin

Mineralindustrin stod för en knapp femtedel av industrins totala fossila växthusgasutsläpp under år 2020. Cirka 60 procent av utsläppen var processrelaterade. Utsläppen uppstår framför allt 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 cementproduktionen i Sverige är därför genom CCS.

Mineralindustrin omfattar tillverkning av produkter som baseras på olika mineral som t.ex. kalksten. Från kalksten tillverkas både mellan- och slutprodukter och användningsområdena är många. Ett exempel på en produkt som görs av kalksten är cement. Cement är en viktig beståndsdel i betong som utgör majoriteten av världens byggmaterial.¹⁹⁶ Av kalksten 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 produceras även andra produkter såsom glas, porslin, keramik och gips.

Cementproduktionen är den delbransch som har högst fossila växthusgasutsläpp inom mineralindustrin och är därför i fokus i detta avsnitt. För att se en beskrivning av processerna i cementframställningen, se förra årets rapport¹⁹⁷.

Energianvändning och utsläpp av fossila växthusgaser

Utsläppen från cementproduktion kommer främst från kalcineringsprocessen

Totalt uppgick mineralindustrins utsläpp av fossila växthusgaser till 2,7 miljoner ton koldioxidekvivalenter år 2020, vilket motsvarade en knapp femtedel av industrins totala utsläpp.¹⁹⁸ Detta är en minskning med drygt 4 procent från föregående år. Utsläppen minskade med nästan 13 procent 2019 då Cementa stängde ner en äldre anläggning med sämre klimatprestanda.¹⁹⁹

Av branschens totala fossila koldioxidutsläpp år 2020 var cirka 60 procent processrelaterade och resterande utgjordes av övriga förbränningsutsläpp, se figur 13. De processrelaterade utsläppen kan nästan uteslutande härledas till cement- och kalkproduktionen och uppstår när kalksten hettas upp kraftigt och koldioxid frigörs, dvs. kalcineras²⁰⁰.

¹⁹⁶ Cementa, 2018.

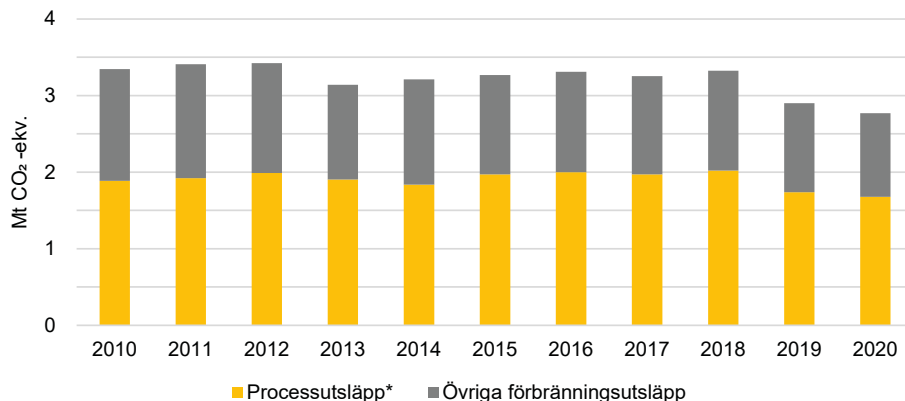
¹⁹⁷ Energimyndigheten, 2021 d (Bilaga 3). <https://energimyndigheten.a-w2m.se/Home.mvc?ResourceId=202874>

¹⁹⁸ Naturvårdsverket och SCB, 2022. https://www.statistikdatabasen.scb.se/pxweb/sv/ssd/START__MI__MI0107/MI0107IndustriN/

¹⁹⁹ Dagens Industris webbsida, *Största utsläppsbovarna ökar utsläppen igen*. <https://www.di.se/hallbart-naringsliv/storsta-utslappsbovarna-okar-utslappen-igen/> (Hämtad 2022-07-28)

²⁰⁰ 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.

Cementproduktion är den mest utsläppsintensiva delbranschen. Två tredjedelar av de fossila växthusgasutsläppen i cementproduktionen kan härledas till kalcineringen.²⁰¹ Den resterande tredjedelen kommer från de bränslen som används för att värma upp cementugnen.



Figur 13. Mineralindustrins utsläpp av fossila växthusgaser fördelat på olika utsläppskategorier, miljoner ton koldioxidekvivalenter, 2010–2020 (kategorier markerade med * ingår i processrelaterade utsläpp).

Källa: Naturvårdsverket och SCB,²⁰² 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, vilket innebär att betongstrukturer tar upp koldioxid i ytskiktet.²⁰³ I dag får koldioxidupptag i betongstrukturer inte tillgodoräknas som negativa utsläpp i klimatrappporteringen.²⁰⁴ 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.

Fossila energibärare står för mer än hälften av energitillförseln

Mineralindustrins energianvändning uppgick till drygt 4,7 TWh under 2020, vilket motsvarar cirka tre procent av industrins totala energianvändning.²⁰⁵ Energianvändningen har minskat med cirka 0,5 TWh jämfört med föregående år, vilket förklaras med en minskad produktion av cement och klinker.²⁰⁶ Främst minskade användningen av kol, men även användningen av petroleumprodukter minskade kraftigt. Figur 14 visar fördelningen mellan olika energibärare.

²⁰¹ Cementas webbsida, *Nollvision för koldioxid*. <https://www.cementa.se/sv/nollvision2030> (Hämtad 2021-08-30)

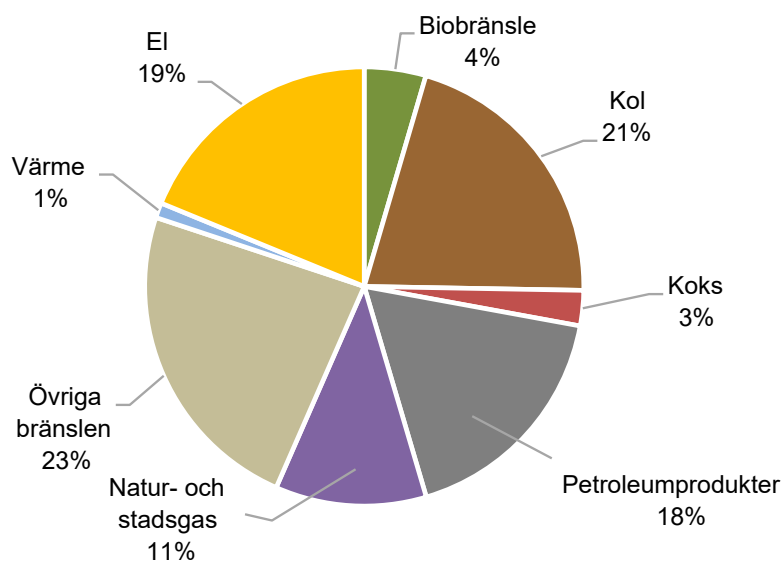
²⁰² Naturvårdsverket och SCB, 2022. https://www.statistikdatabasen.scb.se/pxweb/sv/ssd/START_MI_MI0107/MI0107IndustriN/

²⁰³ Cementa, 2018.

²⁰⁴ IPCC, 2006.

²⁰⁵ Eftersom antalet anläggningar för cementproduktion i Sverige är få kan deras energianvändning inte särredovisas.

²⁰⁶ Cementa stängde cement- och klinkerfabriken i Degerhamn i april 2019 och centrerar i stället produktionen till sina större fabriker.



Figur 14. Mineralindustrins energianvändning fördelat på olika energikällor, 2020, procent

Källa: Energimyndigheten.²⁰⁷

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 2020. 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.²⁰⁸

Mineralindustrins väg mot nettonoll

I Färdplan cement²⁰⁹ presenterar cementindustrin en vision för hur produktionen kan bli utsläppsneutral till 2030. Utsläppen ska enligt färdplanen minskas genom:

- **avskiljning, transport och lagring av koldioxid (CCS),**
- **avskiljning och användning av koldioxid (CCU),**
- ersättning av viss del av den kalkstensbaserade cementklinkern med andra **restmaterial,**
- forskning kring ett **ökat koldioxidupptag** hos befintliga betongstrukturer (karbonatisering).

²⁰⁷ Energimyndigheten, 2022 b. <https://www.energimyndigheten.se/statistik/den-officiella-statistiken/statistikprodukter/arlig-energibalans/>

²⁰⁸ Från mailkontakt med Cementa.

²⁰⁹ Cementa, 2018.

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 ett aktuellt alternativ. Läs mer om tekniken för CCS och CCU i avsnitt 2.4 och 2.5.

Cementa i genomförbarhetsstudie om CCS till 2030

Cementa har genomfört en förstudie om att implementera CCS i sin fabrik i Slite till 2030, och har efter positiva resultat gått vidare med en fördjupad studie. Den planerade anläggningen beräknas fånga in cirka 1,8 miljoner ton koldioxid per år, vilket motsvarar utsläppen från både kalcineringen och de fossila- och biobaserade bränslen som anläggningen använder. Genom att succesivt öka andelen biobränslen som används i produktionen (och därmed skapa negativa utsläpp) förväntas Cementas verksamhet vara klimatpositiv år 2030. Sveriges utsläpp beräknas minska med cirka 3 procent om CCS-anläggningen byggs. Förstudien visade att effektuttaget kommer att öka från 45 MW till 250 MW, vilket innebär att en förutsättning för anläggningen är att elnätet förstärks och att det finns tillgång till fossilfri el.²¹⁰

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 uppger att de kontinuerligt arbetar med att ersätta fossila bränslen i cementproduktionen med bio- och avfallsbaserade bränslen. Inom initiativet CemZero undersöker de även möjligheten att elektrifiera uppvärmningen inom cementproduktionen, vilket vid lyckat resultat skulle eliminera de fossila utsläppen från bränslen.²¹¹ Dessutom skulle det göra avskiljning av koldioxid mer effektivt och därigenom minska kostnaderna för CCS. Även kalkproducenten Nordkalk undersöker möjligheterna att blanda in biobränsle i befintligt system för uppvärmning av ugnarna i sina två fabriker för bränd kalk.²¹²

Effektivisering kan bidra till minskade utsläpp, men inte eliminera dem

Det pågår även projekt för att effektivisera cementtillverkningen, vilket kan ge minskade processutsläpp kopplade till användningen av fossil insatsvara. Ett projekt syftar till att utveckla metoder för bättre mätning av kalcineringsprocessen för att kunna minska oplanerade produktionsstopp och mängden kasserad bränd kalk.²¹³ Vid ett lyckat resultat bedöms projektet kunna minska utsläppen med 9 000 ton koldioxid per år inom den svenska cement- och kalkindustrin²¹⁴. En sådan implementering är ett komplement till storskalig CCS och skulle dels kunna minska utsläppen i väntan på CCS, dels kunna minska mängden koldioxid som behöver fångas in och lagras när CCS är i drift.

²¹⁰ Cementas webbsida, *Cementa och HeidelbergCement ett steg närmare etableringen av klimatpositiv cementfabrik i Sverige*. <https://www.cementa.se/sv/cementa-och-heidelbergcement-ett-steg-narmare-etableringen-av-klimatpositiv-cementfabrik-i-sverige> (Hämtad 2022-05-30)

²¹¹ Energimyndighetens projektdatabas 45367-2, diarienummer 2019-008655.

²¹² Energimyndighetens projektdatabas 47198-1, diarienummer 2018-009037.

²¹³ Energimyndighetens projektdatabas 44643-3, diarienummer 2019-022013

²¹⁴ 5500 ton koldioxid per år för Nordkalks anläggning i Storugns och 3500 ton koldioxid per år för Cementas anläggning i Slite.

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, t.ex. 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 klistre, 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.

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.^{215, 216} Sverige har dock fortfarande en högre andel kalkstensklinker i sin cement än medelvärdet i Europa som är 73 procent.²¹⁷ Forskning pågår för att hitta nya typer av material för att ersätta kalkstensklinkers i cement. Ersättningsmaterialens 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 såsom puzzolaner (vulkanisk aska) samt lera och skiffer.^{218, 219} Det kalla svenska klimatet kan också utgöra en speciell utmaning eftersom det medför högre krav på betongens beständighet.²²⁰ Även regleringar, standarder etc. påverkar användningen av alternativa material i stället för kalkstensklinker.²²¹ RISE undersöker i ett projekt möjligheterna att ta fram en cementsort med lägre klimatpåverkan genom att kombinera aska från havreskal med oreaktiva slaggar från stålindustrin.²²²

Betongbolagen ersätter viss andel cement i betongen med restprodukter

Även betongindustrin utforskar möjligheterna 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 stål-tillverkning.^{223, 224} 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 direkt-reduktion med vätgas implementeras storskaligt inom järn- och stålindustrin, vilket skulle

²¹⁵ 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.

²¹⁶ Från mailkontakt med Cementa.

²¹⁷ Karlsson, I., m.fl., 2020.

²¹⁸ Som kan omvandlas till puzzolaner genom kalificering.

²¹⁹ Material Economics, 2019.

²²⁰ Skanskas websida, *Grön betong för en hållbar framtid*. <https://www.skanska.se/om-skanska/press/nyheter/gron-betong-for-en-hallbar-framtid/> (Hämtad 2020-09-08)

²²¹ Mistra Carbon Exit, årtal saknas. <https://www.mistracarbonexit.org/om-oss/>

²²² Energimyndighetens projektdatabas, 48844-1, diarienummer 2019-008729

²²³ Skanskas websida, *Grön betong för en hållbar framtid*. <https://www.skanska.se/om-skanska/press/nyheter/gron-betong-for-en-hallbar-framtid/> (Hämtad 2020-09-08)

²²⁴ Infrastrukturnyheters webbsida, *Swerock lanserar miljöbetong från nyöppnad fabrik*. <https://www.infrastrukturnyheter.se/20201124/23847/swerock-lanserar-miljobetong-fran-nyoppnad-fabrik> (Hämtad 2021-08-20)

minska tillgången på masugnsslagg.²²⁵ 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.²²⁶

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.²²⁷ 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 fungera även i stor skala.

Elektrisk smältugn minimerar koldioxidutsläpp från produktion av mineralull

Paroc AB planerar att modernisera sin produktion av mineralull i Hällekis.²²⁸ Traditionellt används koks som bränsle i en kupolugn vid smältning av mineralull, vilket genererar huvuddelen av koldioxidutsläppen. I anläggningen finns två produktionslinjer, varav den ena kommer att uppdateras genom att kupolugnen ersätts med en elektrisk smältugn driven av 100 procent förnybar el. Utsläppen beräknas minska med 80 procent per kilo producerad mineralull jämfört med den gamla produktionslinjen, samtidigt som produktionskapaciteten fördubblas och energiintensiteten minskar med 35 procent. Den nya tekniken förväntas även öka resurseffektiviteten internt och öka återvinningen av avfall. Anläggningens totala utsläpp beräknas minska med cirka 60 procent per kilo producerad mineralull.

Handel och marknad

Cementa är det enda företaget som tillverkar cement i Sverige.²²⁹ Cementa ingår i koncernen HeidelbergCement som är den näst största cementproducenten i världen.^{230,231} Den svensk-producerade cementen står för cirka 85 procent av den svenska marknaden för cement.²³² 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.²³³

Utrikeshandeln är störst för produkter med låga utsläpp

Importvärdet inom mineralindustrin var cirka 20 miljarder kronor och exporten var cirka 9 miljarder kronor under 2020, se figur 15.²³⁴ Detta innebär att handelsnettot

²²⁵ Karlsson, I., m.fl., 2020.

²²⁶ Cementas webbsida, *Klimatanpassad betong här är listan*. <https://www.cementa.se/sv/klimatanpassad-betong-har-ar-listan> (Hämtad 2020-08-20)

²²⁷ Plusquellec, G., m.fl., 2021.

²²⁸ Energimyndighetens projektdatabas, 52773-1, diarienummer 2021-038013

²²⁹ Cementa, 2018.

²³⁰ Ibid.

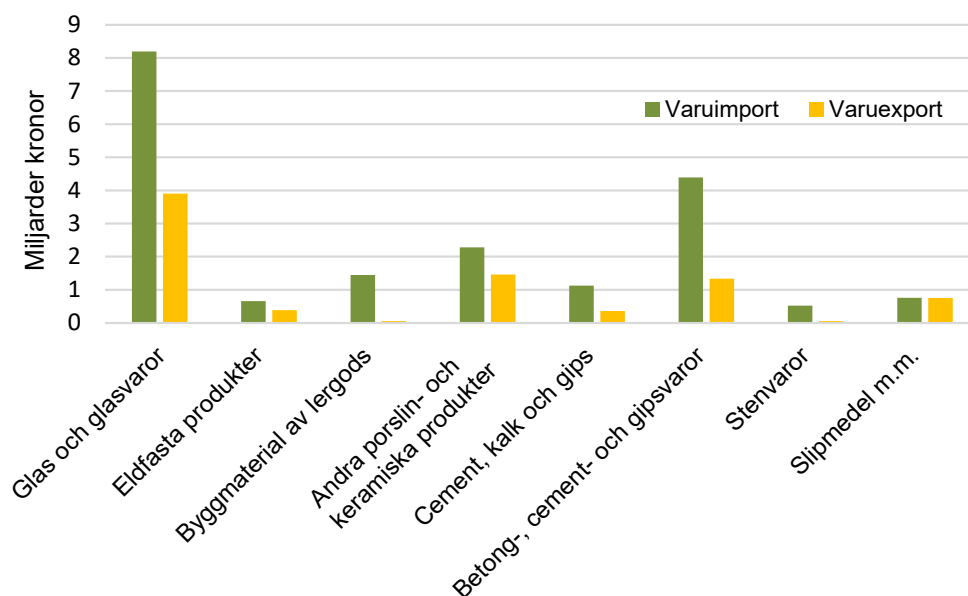
²³¹ Heidelberg Cements webbsida. *HeidelbergCement*. <https://www.heidelbergcement.com/en/company> (Hämtad 2020-08-04)

²³² Seminarium, Klimatneutral processindustri, 2017-05-03

²³³ Karltorp, K., m.fl., 2019.

²³⁴ SCB, 2022. <https://www.scb.se/hitta-statistik/statistik-efter-amne/handel-med-varor-och-tjanster/utrikeshandel/utrikeshandel-med-varor>

(exportvärdet minus importvärdet) var negativt, vilket gäller för samtliga delbranscher. I figur 15 framgår det att glas och glasvaror står för den största andelen import och export. Sverige importerar även en del betong-, cement- och gipsvaror. Delbranschen cement, kalk och gips, som är den delbransch där flest processrelaterade utsläpp finns, står endast för 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.



Figur 15. Import- och exportvärde per delbransch (SPIN), 2020, miljarder kronor

Källa: SCB.²³⁵

Efterfrågan på fossilfri cement

Varken fossilfri cement eller betong finns i produktion i dagsläget, däremot finns det mindre utsläppsintensiva varianter av båda produkterna. Trafikverket står indirekt för ungefär en tredjedel av den cement som handlas inom Sverige, vilket innebär att ungefär 30 procent av den cement som efterfrågas på den svenska marknaden upphandlas i enlighet med Trafikverkets upphandlingskrav.²³⁶ I Trafikverkets riktlinje för klimatkrav presenteras krav för storskaliga²³⁷ och småskaliga²³⁸ upphandlingar.²³⁹ Vid småskaliga upphandlingar ska ett reduktionskrav ställas på hela projektet i samband med upphandlingen, medan det vid en storskalig upphandling finns en övre utsläppsgräns för cement och betong som entreprenörer måste förhålla sig till. Kraven skärps över tid med syfte att driva på utvecklingen. Till exempel vid utbyggnaden av Södra stambanan ledde Trafikverkets hårdare klimatkrav till ett byte från konventionell cement till en mindre utsläppsintensiv

²³⁵ SCB, 2022. <https://www.scb.se/hitta-statistik/statistik-efter-amne/handel-med-varor-och-tjanster/utrikeshandel/utrikeshandel-med-varor>

²³⁶ Fossilfritt Sverige, 2020.

²³⁷ Över 50 miljoner kronor.

²³⁸ 50 miljoner kronor eller mindre.

²³⁹ Trafikverket, 2022.

variant.²⁴⁰ Att den offentliga upphandlingen har börjat ställa krav på klimatavtrycket från cement och betong har drivit på efterfrågan på cement och betong med lägre klimatavtryck. Ett nytt lagförslag som är på lagrådsremiss skulle kunna leda till en större efterfrågan på dessa produkter.²⁴¹ I lagförslaget föreslås det att upphandlande myndigheter eller enheter alltid ska beakta klimatet vid offentlig upphandling vilket bör leda till ökad efterfrågan på bl.a. cement och betong som har producerats med lägre klimatavtryck.

3.1.5 Övrig metall inklusive övriga gruvor

Övrig metall stod under 2020 för drygt 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 och 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.

Övrig metalls huvudsakliga processpår

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 framför allt framställning av koppar, bly, zink, ädelmetaller och aluminium. Även om utsläppen är mindre jämfört med de andra branscherna som rapporten fokuserar på så är majoriteten av övrig metalls utsläpp processrelaterade, vilka inte går att komma åt genom att byta ut fossila bränslen. Framställning av koppar och bly²⁴² samt aluminium står 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. komplexmalm), 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 stålproduktion i Sverige som sedan skickas till Norge för vidareförädling. De flesta basmetaller som produceras säljs vidare till andra industrikunder för vidareförädling till slutprodukter. Koppar används främst för att producera och leda elektricitet. Bly används framför allt 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 Kubikenborg Aluminium och det finns ytterligare ett antal företag som tillverkar aluminium från skrot. Aluminium har många olika användningsområden, exempelvis till burkar, bilar och flygplan.

²⁴⁰ Cementa, 2020.

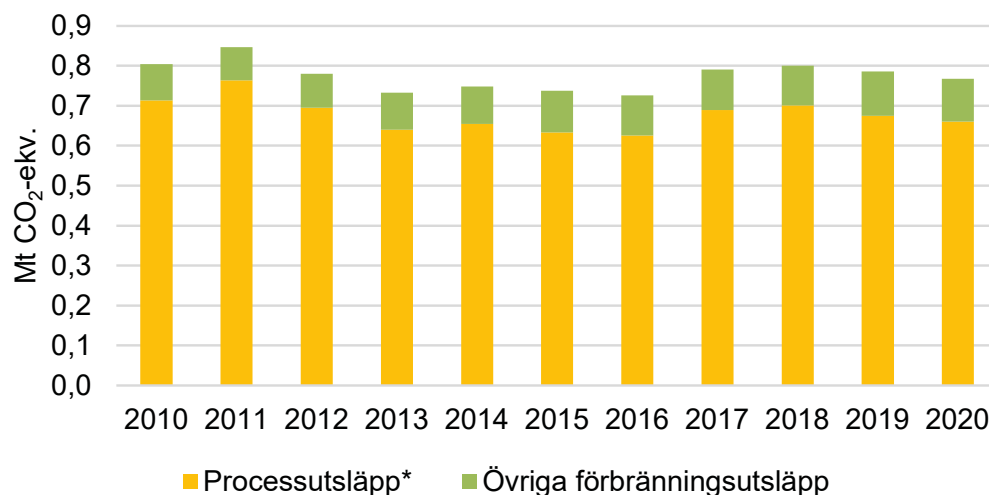
²⁴¹ Regeringskansliet, 2021.

²⁴² Flera andra metaller framställs i delbranschen, men koppar och bly är de huvudsakliga. Läs mer i förra året rapport (Bilaga 3). <https://energimyndigheten.a-w2m.se/Home.mvc?ResourceId=202874>

Utsläpp av fossila växthusgaser och energianvändning

Hög andel av utsläppen inom branschen är processrelaterade

Branschens totala utsläpp av fossila växthusgaser uppgick till knappt 0,8 miljoner ton koldioxidekvivalenter under 2020, vilket motsvarar drygt 5 procent av industrins totala utsläpp. Av branschens totala fossila växthusgasutsläpp var 86 procent processrelaterade och resten utgjordes av övriga förbränningsutsläpp, se figur 16.



Figur 16. Övrig metalls utsläpp av fossila växthusgaser fördelat på olika utsläppskategorier, miljoner ton koldioxidekvivalenter, 2010–2020 (kategorier markerade med * ingår i processrelaterade utsläpp).

Källa: Naturvårdsverket och SCB,²⁴³ 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 såsom kol och koks som reagerar med syret och binder det till sig, vilket resulterar i koldioxidutsläpp. För primärframställning av koppar härrör koldioxidutsläppen från när kolet i kopparkoncentratet oxideras i den initiala delen av processen. Se förra årets rapport²⁴⁴ 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 järnlegeringar²⁴⁵ och i magnesiumgjutier.

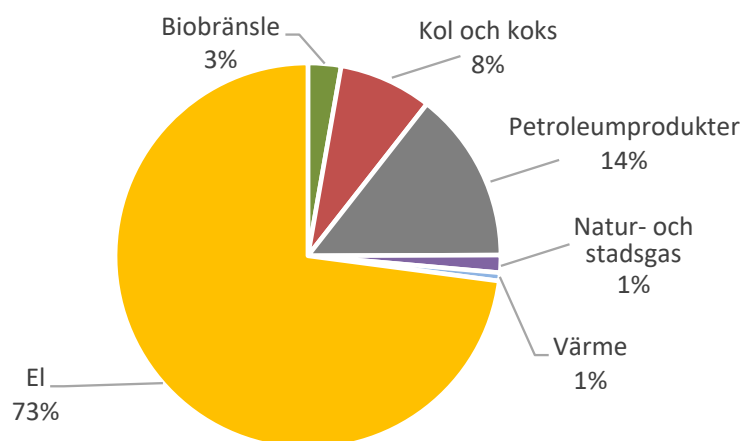
²⁴³ Naturvårdsverket och SCB, 2022. https://www.statistikdatabasen.scb.se/pxweb/sv/ssd/START__MI__MI0107/MI0107IndustriN/

²⁴⁴ Energimyndigheten, 2021 d (Bilaga 3). <https://energimyndigheten.a-w2m.se/Home.mvc?ResourceId=202874>

²⁴⁵ 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.

El står för nästan tre fjärdedelar av energianvändningen

Branschens energianvändning uppgick till cirka 5,7 TWh under 2020.²⁴⁶ Figur 17 visar fördelningen mellan olika energibärare. Elanvändningen utgör nästan tre fjärdedelar av branschens totala energianvändning. El används bl.a. i elektrolysprozesserna vid aluminium- och kopparframställning. Gasol används för malmbaserad aluminium- och kopparframställning och andra petroleumprodukter används bl.a. för blyframställning. Kol och koks är viktiga energibärare i övrig metall och används t.ex. i elektrolys av aluminiumoxid.



Figur 17. Energianvändningen i övrig metall fördelat på olika energikällor, 2020, procent

Källa: Energimyndigheten.²⁴⁷

Återvinning innebär inte nödvändigtvis mindre utsläpp

Även om återvinning av aluminium innebär betydligt lägre utsläpp av koldioxid än vid primärframställning 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 förbränns²⁴⁸ 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.²⁴⁹ Detta gör att koldioxidavtrycket för primär- och sekundärkoppar ur ett livscykelperspektiv uppskattas vara lika stora vid Bolidens anläggning i Rönnskär.²⁵⁰ 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 (stoff från ståltillverkningen) har högre koldioxidavtryck än primärframställning. Detta då det krävs reduktion vid användningen av zinkrika stoffer medan tillverkning från primär råvara inte kräver reduktion.^{251,252}

²⁴⁶ Energimyndigheten, 2022 b. <https://www.energimyndigheten.se/statistik/den-officiella-statistiken/statistikprodukter/arlig-energibalans>

²⁴⁷ Energimyndigheten, 2022 b. <https://www.energimyndigheten.se/statistik/den-officiella-statistiken/statistikprodukter/arlig-energibalans>

²⁴⁸ Delvis återvunnet som bränsle och delvis i rökgaserna.

²⁴⁹ Naturvårdsverket, 2019 a.

²⁵⁰ Räknat från gruva till att Boliden säljer det vidare ("from cradle-to-Boliden-gate").

²⁵¹ Bolidens webbsida, *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)

²⁵² Från samtal med Boliden.

Övrig metalls väg mot nettonoll

Övrig metallindustri består av tillverkning av en rad olika metaller såsom 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. De mest svårreducerade utsläppen inom metallframställningen härrör från den kol eller koks som används i processerna, vilket innebär att byta ut dessa mot mer hållbara reduktionsmedel och råvaror utgör den främsta potentialen till utsläppsreduktion.

De främsta teknikspåren, varav merparten befinner sig på forskningsstadiet, utgörs av att:

- ersätta kol och koks i tillverkningsprocessen med **biokol**,
- använda **fossilfri vätgasbaserad** reduktion i stället för kol- eller koksbaserad,
- ersätta kol och koks med **andra alternativa reduktionsmedel** som exempelvis svavel.

Ett sistahandsalternativ om inte ovanstående teknikspår slår väl ut är att koldioxiden avskiljs och lagras genom CCS. Även en ökad återvinning av aluminium kan bidra till att undvika processrelaterade utsläpp från aluminiumframställningen eftersom det utsläppsintensiva reduktionssteget då helt uteblir.²⁵³ För bly och zink föreligger i dagsläget inte samma vinster i utsläppsminskning vid återvinning. För koppar skulle dock utsläppen från återvinningsprocesserna dock kunna minskas markant om plast och metall gick att separera helt innan nedsmältning.²⁵⁴

Alternativa reduktionsmedel och insatsråvaror kan minska utsläppen

De alternativa metoder som utreds för bly och koppartillverkningen är främst att ersätta kol och koks 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).²⁵⁵

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.

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

Förutom att separera plasthöljen från blybatterier 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

²⁵³ SGU:s webbsida, *Metall- och mineralåtervinning*. <https://www.sgu.se/mineralnaring/metall--och-mineralatervinning/> (Hämtad 2021-09-23)

²⁵⁴ IVA, 2019.

²⁵⁵ Från samtal med Boliden.

koppar ligger utmaningen i att en stor del av det skrot som återvinns är plastskrot som inte går att skilja från metallen, i t.ex. kretskort. För att minska utsläppen från kopparåtervinningen 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.²⁵⁶ Boliden invigde år 2021 ett lakverk i Rönnskär. Lakverket utvinner värdemetaller ur restavfall, vilket minskar andelen avfall som deponeras samtidigt som mer metall kan utvinnas.²⁵⁷ Ur restavfallet utvinns blyulfat och koppar/zinksulfat.²⁵⁸

Boliden har lanserat zink och koppar med lägre utsläpp samt återvunna produkter

Boliden producerar zink och koppar som enligt företaget är framställda med lägre utsläpp än det globala genomsnittet, vilket har kunnat uppnås genom användning av förnybar energi vid malmbrytningen.^{259, 260} De har även lanserat zink och koppar som består av återvunnet material. Medan Bolidens återvunna koppar har ett lägre koldioxidutsläpp än det globala genomsnittet^{261, 262} har deras återvunna zink ett högre utsläpp²⁶³ än det globala genomsnittet till följd av att återvinningsprocessen involverar ett reduktionssteg som inte är nödvändigt i primärproduktionen.

Fossilfri gruva planeras i Rävliiden

Boliden planerar att mellan 2021–2025 skapa en fossilfri underjordsgruva i Rävliiden. I moderna gruvor är det främst diesel som behöver elimineras för att skapa en fossilfri gruva, vilket historiskt sett har varit svårt att ersätta. Boliden planerar att implementera ett produktionssystem med en fordonsflotta bestående av elektrifierade fordon och maskiner. Användningen av diesel planeras vara mycket låg eller icke-existerande – åtminstone 80 procent lägre. Boliden Mineral vill sätta en ny standard för hur små och medelstora gruvor kan byggas och drivas, både inom det egna företaget och för andra företag och länder.²⁶⁴

Handel och marknad

Företagen inom aluminiumindustrin är framför allt koncentrerade till Östergötland och Småland, vilket troligtvis beror på företagarkulturen och närhet till kunder och leverantörer. Produktionen av primäraluminium, där processutsläppen inom aluminiumframställningen

²⁵⁶ Från samtal med Boliden.

²⁵⁷ Hifab, 2018.

²⁵⁸ Boliden, 2021.

²⁵⁹ Van Genderen, E., m.fl., 2016.

²⁶⁰ Ibid.

²⁶¹ Boliden, 2022.

²⁶² Boliden, årtal saknas a.

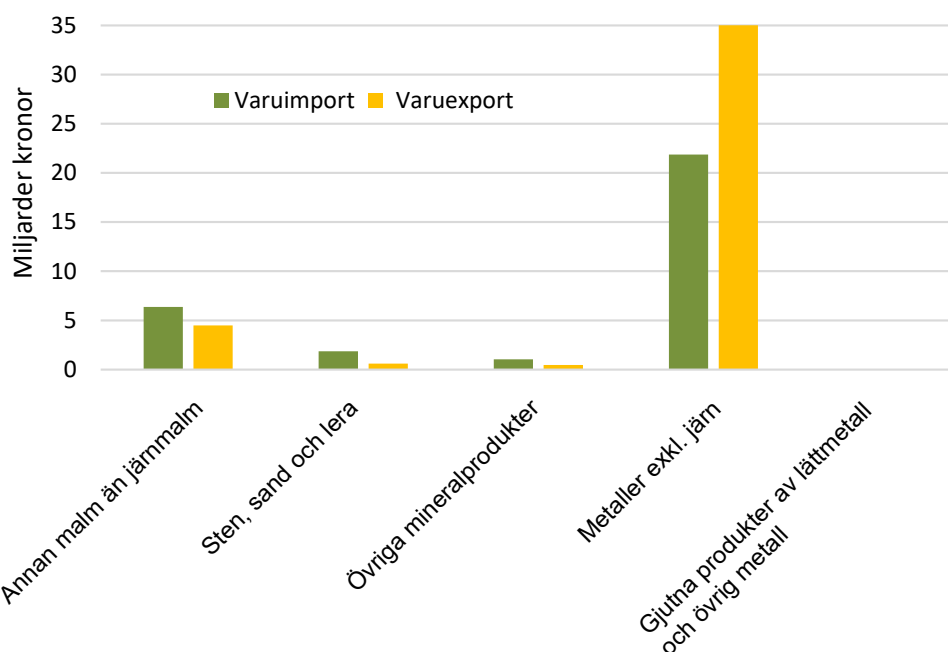
²⁶³ Boliden, årtal saknas b.

²⁶⁴ Energimyndighetens projektdatabas, 52708-1, diariennr 2021-037060

sker, ligger i Sundsvall. Stenbrott och sand-, grus-, berg-, och lertäkter drivs av ett stort antal företag som är spridda över stora delar av Sverige. Produkter från dessa verksamheter 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.²⁶⁵

Stor nettoexport av förädlade metaller

Importvärdet för övrig metall år 2020 var runt 34 miljarder kronor och exportvärdet var drygt 39 miljarder, se figur 18.²⁶⁶ Detta ger ett positivt handelsnetto, (exportvärdet minus importvärdet), vilket främst beror på det stora handelsnettot av metaller exklusive järn som var drygt 15 miljarder kronor. År 2019 uppgick handelsnettot av metaller exklusive järn till ungefär 8 miljarder. Priset på guld och silver steg relativt mycket under 2020, samtidigt som större volymer av både guld och silver exporterades. Detta skulle kunna ligga bakom den stora skillnaden i handelsnettot av metaller exklusive järn år 2019 och 2020. Metaller exklusive järn stod för branschens största internationella handel med en majoritet av både import och export.



Figur 18. Import- och exportvärde per delbransch (SPIN), 2020, miljarder kronor

Källa: SCB.²⁶⁷

I figur 18 framgår det att den absolut största handeln (både import och export) sker med metaller men det förekommer även en del handel med övrig metallmalm.

²⁶⁵ Ahnberg, E., m.fl., 2013.

²⁶⁶ SCB, 2022. <https://www.scb.se/hitta-statistik/statistik-efter-amne/handel-med-varor-och-tjanster/utrikeshandel/utrikeshandel-med-varor>

²⁶⁷ SCB, 2022. <https://www.scb.se/hitta-statistik/statistik-efter-amne/handel-med-varor-och-tjanster/utrikeshandel/utrikeshandel-med-varor>

3.1.6 Övrig industri

Branscherna som har beskrivits ovan har fortfarande stora utsläpp som är tätt förknippade med tillverkningsprocesserna och det huvudsakliga fokuset ligger därför på att minska de egna utsläppen för att bidra till klimatomställningen. I detta avsnitt beskrivs några exempel på insatser inom andra industribranscher som har potential att bidra till klimatomställningen i övriga samhället. Genom införande av ny teknik eller andra innovativa lösningar inom den egna branschen skapas förutsättningar för minskade utsläpp längre ner i värdekedjan, vilket ofta innebär i andra branscher och/eller samhällssektorer. Insatserna som beskrivs har exempelvis potential att bidra till en ökad återvinning av material, lösningar för en fossilfri transportsektor eller till att skapa förutsättningar för elektrifiering i andra sektorer.

Fordonsindustrin

Elektrifierade transporter är en viktig pusselbit för att minimera utsläppen i transportsektorn. För personbilar har övergången till elfordon tagit fart medan utvecklingen för tunga fordon inte har kommit lika långt. Till följd av tekniska skillnader går det inte att direkt applicera samma teknik som används för personfordon på tunga fordon utan det krävs en helt ny teknikutveckling. Företaget Dana TM4 planerar en storskalig produktion av en elektrifierad drivlina (komponenterna som driver ett fordon framåt) för tunga fordon i Sverige.²⁶⁸ Projektet är viktigt för att driva utvecklingen av tunga fordon framåt och därigenom minska transportsektorns utsläpp. Utveckling av el-drivlinor är på gång i Europa men det finns ännu inte någon storskalig produktion. Dana TM4 planerar framöver att utveckla elmotorer till den nya generationens drivlina samt en produktionsmetod för storskalig tillverkning av dem. Projektet inkluderar konstruktion, driftsättning och test av en pilotlinje för att utveckla ett storskaligt och konkurrenskraftigt tillverkningskoncept av elmotorer i Europa.

Materialåtervinning

Materialeffektivisering är en viktig del i industrins omställning som bidrar med att minska användningen av jungfruligt material och de koldioxidutsläpp som är nära förknippade med utvinningen, men kan även bidra till försörjningstryggheten av kritiska material i omställningen. Ett sätt att öka materialeffektiviteten är genom materialåtervinning, vilket är en åtgärd som kan sättas in när en produkt är så pass utsliten att den inte längre kan återanvändas.

Unik återvinning av vätskekartong

I dagsläget är det komplicerat att återvinna vätskekartong (som bl.a. används för dryckesförpackningar) till följd av innehåll av plast och i vissa fall aluminium. I Norden innehåller vätskekartongen dessutom våtstyrkemedel vilket försvårar processen att återvinna kartongfibern. I syfte att öka materialåtervinningen planerar Fiskeby Board att bygga en fiberlinje för återvinning av vätskekartong där fibrerna separeras från skräp, plast och aluminium.²⁶⁹ Tekniken möjliggör därmed inte bara återvinning av fibrer utan även av plast och aluminium. Vätskekartong återvinns redan hos Fiskeby Board men med nuvarande teknik går det inte att ta emot mer vätskekartong då plastandelen i fiberlinjen blir för hög och plasten kan

²⁶⁸ Energimyndighetens projektdatabas, 52796-1, diarienummer 2021-041450

²⁶⁹ Energimyndigheten projektdatabas, 52798-1, diarienummer 2021-041785

i sin tur inte heller återvinnas då det förutsätter att den i princip är fri från fiber. Den nya tekniken skulle därmed kunna öka andelen återvunnen vätskekartong och minska andelen avfall som går till förbränning.

Återvinning av litiumjonbatterier

Litium är en metall som används till att tillverka batterier som i sin tur används i bl.a. elbilar, elcyklar och mobiltelefoner. Användningen förväntas att öka markant i framtiden samtidigt som tillförseln till marknaden i huvudsak sker från icke-Europeiska länder och utvinningen är förknippad med både miljömässigt och socialt negativa konsekvenser. Samtidigt är batterier viktiga för omställningen då de utgör en förutsättning för att minska utsläppen i transportsektorn och för att kunna lagra energi. Att återvinna litiumjonbatterier kan därmed bidra till att bl.a. minska batteriernas livscykelutsläpp och till att öka motståndskraften i EU:s batterileveranskedja. Stena Recycling kommer under hösten 2022 att påbörja bygget av en återvinningsanläggning i Halmstad för att testa en obeprövad teknik för klimateffektiv återvinning av litiumjonbatterier.²⁷⁰ Medan dagens återvinningsanläggningar använder smältugnar (vilket resulterar i stora mängder koldioxidutsläpp) kommer battericellerna i den nya anläggningen i stället malas ner till små bitar i en syrefri miljö, därefter torkas och slutligen sorteras beståndsdelarna ut för återvinning.

Ny industri

För att industrin ska klara omställningen behövs innovation, ny teknik och nya lösningar. Befintlig industri behöver ställa om sina processer för att möta klimatmålen men i omställningen kan det även finnas behov av nya företag för att främja nytänkande och innovation. På både nationell och EU-nivå lyfts s.k. Deeptech-företag fram som viktiga katalysatorer för klimatomställningen inom industrin och för resten av näringslivet.^{271, 272} Dessa företag utgörs av unga forskningsintensiva startupföretag som utvecklar avancerade innovativa lösningar inom områden som artificiell intelligens, blockkedjor, nya material och kvantumteknik för att lösa stora samhällsutmaningar, som exempelvis klimatkrisen. Ofta involverar lösningarna långa investeringscykler och hög risk men med chans till banbrytande innovationer om det faller väl ut.

Än så länge finns begränsad information tillgänglig om de svenska Deeptech-företagen men Vinnova kommer inom ramarna för ett större regeringsuppdrag att göra en kartläggning av dem i syfte att skapa bättre förutsättningar för att stödja deras utveckling och tillväxt.²⁷³ Enligt en EU-finansierad databas som drivs genom initiativet *European Startups*²⁷⁴ finns 77 företag inom energiområdet i Sverige som kan klassas som deeptech, däribland Nort-hvolt och H2GS. Enligt initiativets definition av Deeptech-företag behöver det finnas

²⁷⁰ Energimyndighetens projektdatabas, 52729-1, diarienummer 2021-037211

²⁷¹ Regeringens webbsida, *Stärkta finansieringsförutsättningar till startup-företag*. <https://www.regeringen.se/pressmeddelanden/2021/10/starkta-finansieringsforutsattningar-till-startup-foretag/> (Hämtad 2022-08-15)

²⁷² Europeiska Kommissionens webbsida, *Commission presents new European Innovation Agenda to spearhead the new innovation wave*. https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/IP_22_4273 (Hämtad 2022-08-15)

²⁷³ Regeringens webbsida, *Uppdrag att stärka tillväxten i forskningsintensiva startup-företag*. <https://www.regeringen.se/regeringsuppdrag/2021/10/uppdag-att-starka-tillvaxten-i-forskningsintensiva-startup-foretag/> (Hämtad 2022-08-15)

²⁷⁴ European Startups webbsida, *Dashboard*. <https://app.europeanstartups.co/dashboard> (Hämtad 2022-08-30)

hög risk både vad gäller sannolikheten att idén fungerar i praktiken (FoU-risk) och vad gäller sannolikheten att hitta en marknad för produkten (produktmarknadsrisk) samt en utdragen initial FoU-fas.²⁷⁵

3.2 Insatser för att uppnå negativa utsläpp

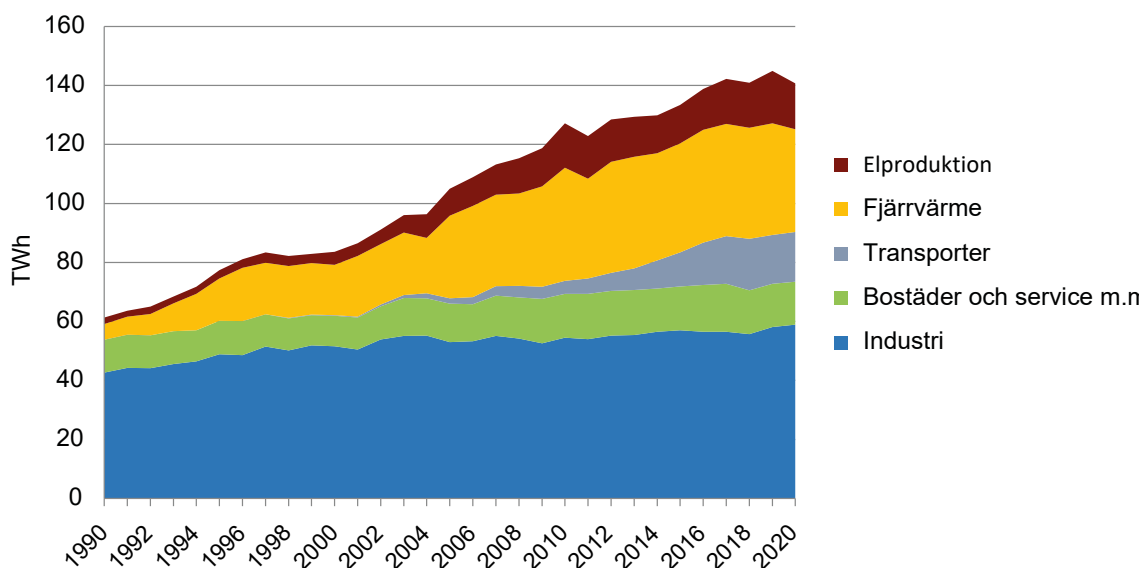
Utöver att reducera utsläpp kan industrin bidra till att uppfylla klimatmålen genom att fånga in och lagra koldioxid, vilket räknas som en kompletterande åtgärd. I Sverige finns en stor potential för negativa utsläpp inom energisektorn (kraftvärme- och värmeverk) samt inom massa- och pappersindustrin eftersom deras koldioxidutsläpp huvudsakligen är biogena. I takt med att fler branscher går över till en större andel förnybara insatsvaror och/eller energibärare kan bio-CCS även bli aktuellt för företag inom andra branscher. Detta avsnitt ger en internationell utblick över koldioxidinfångningsprojekt och en överblick av aktuella projekt som tillämpar, eller planerar att tillämpa, bio-CCS på sina anläggningar i Sverige. Avsnittet täcker förutom industrin även in kraftvärme- och värmeverk eftersom det hittills finns mest erfarenhet av tillämpning av bio-CCS inom energisektorn. Eftersom bio-CCS är en typ av CCS applicerad på biogena utsläpp är den tekniska utvecklingen tätt sammankopplad för båda tillämpningarna, inte minst när det gäller de sista stegen i värdekedjan (förvätskning, transport och lagring). För att ge en mer komplett bild av den tekniska utvecklingsprocessen inkluderas därför, i de fall det anses motiverat, även CCS-projekt med fossil tillämpning.

3.2.1 Potential för negativa utsläpp

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 (biobränslen samt el utgjorde drygt 43 procent), och under 2020 var motsvarande siffra 43 procent (biobränslen samt el utgjorde drygt 78 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 2020. Styrmedel som energi- och koldioxidskatt och till viss del handeln med utsläppsrätter har gett industrin ökade incitament att minska användningen av fossila bränslen. De höjda ambitionerna på EU-nivå förväntas ytterligare öka incitamenten för industrin att gå över till fossilfria bränslen och insatsråvaror, vilket i kombination med en fortsatt teknikutveckling kan innebära att fler branscher inom industrin kommer att ha potential att tillämpa bio-CCS eller CCS på blandade utsläpp i framtiden.

I fjärrvärmeproduktionen har en markant ökning i användningen av biobränslen skett sedan 1990, vilket kan ses figur 19 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 dominerades av kärnkraft och vattenkraft. I avfallsförbränningen har dock andelen biobaserade bränslen minskat under senare år till följd av en växande import av avfall från Europa som jämfört med det svenska avfallet innehåller en högre andel plast. I dagsläget består ungefär hälften av det avfall som förbränns av förnybart material medan resterande andel huvudsakligen utgörs av plastavfall.

²⁷⁵ European Startups, 2021.



Figur 19. Användning av biobränsle per sektor, 1990–2020, TWh

Källa: Energimyndigheten.²⁷⁶

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

Tillämpning av tekniken på få anläggningar ger stora effekter på utsläppen

I avsnitt 2.4.2 diskuteras under vilka förutsättningar som en anläggning kan vara aktuell för att implementera CCS-teknik. I dagsläget är främst anläggningar med stora punktsläpp aktuella för tillämpning av CCS, även om mindre anläggningar kan bli intressanta i framtiden. En fingervisning av vilka anläggningar som kan bedömas ha potential att tillämpa CCS-tekniken i nuläget utgår ifrån anläggningar med utsläpp som överstiger 300 000-500 000 ton koldioxid per år.^{277,278} För att uppnå negativa utsläpp måste utsläppen dessutom vara av biogent ursprung.

Under 2020 fanns det enligt Naturvårdsverkets utsläppsregister²⁷⁹ 30 anläggningar i Sverige som hade biogena koldioxidutsläpp som översteg 300 000 ton, se tabell 1 nedan. Jämfört med föregående år är det en minskning med fyra anläggningar, vilket troligtvis beror på följd effekter av Coronapandemin. De utsläppsmässigt större anläggningarna återfinns nästan uteslutande inom massa- och pappersindustrin eller utgörs av kraftvärme- och värmeverk. De sammanlagda utsläppen av biogen koldioxid från dessa anläggningar var drygt 25 miljoner ton under 2020.²⁸⁰

²⁷⁶ Energimyndigheten, 2022 c.

²⁷⁷ SOU 2020:4.

²⁷⁸ Svebios webbsida, *Stor potential för bio-CCS i Sverige – 38 orter med bäst förutsättningar*. <https://www.svebio.se/press/pressmeddelanden/stor-potential-for-bio-ccs-i-sverige-38-orter-med-bast-forutsattningar/> (Hämtad 2021-10-06).

²⁷⁹ Naturvårdsverket, årtal saknas. <https://utslappisiffror.naturvardsverket.se/>

²⁸⁰ 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 biogena koldioxidutsläpp från stora punktkällor i Sverige 2020

Totala biogena koldioxidutsläpp i intervall, ton	Antal anläggningar	Totala biogena koldioxidutsläpp, ton	Andel utsläpp inom massa- och pappersindustrin	Andel utsläpp inom el- och värmesektorn
> 100 000	60	30 918 293	73%	26%
> 300 000	30	25 338 584	85%	15%
> 500 000	22	21 980 622	94%	6%

Källa: Utsläppsregistret, Naturvårdsverket²⁸¹

Det fanns samma år 22 anläggningar som hade biogena koldioxidutsläpp som översteg 500 000 ton, vilket är en anläggning mindre jämfört med 2019. Tillsammans skulle dessa anläggningar kunna bidra med negativa utsläpp om knappt 22 miljoner ton

3.2.2 Forskning och projekt

I dagsläget finns 29 storskaliga anläggningar för koldioxidinfångning i drift i världen, samt sju under konstruktion. Majoriteten av anläggningarna i drift är anläggningar med Enhanced Hydrocarbon Recovery (EHR)²⁸² medan lite mindre än en tredjedel avser geologisk lagring av koldioxid eller en kombination. När det gäller geografisk spridning är runt hälften av anläggningarna belägna i Nordamerika (USA och Kanada) medan resten är utspridda över resterande delar av världen. Av anläggningarna i drift finns endast en anläggning i Kanada där koldioxid avskiljs från ett kraftverk²⁸³

Projekt som ämnar implementera hela värdekedjan för CCS i Europa

Det finns ett antal projekt för att implementera hela värdekedjan av CCS på gång i Europa, varav norska Longship har nått längst. Nedan beskrivs Longship men även det gränsöverskridande projektet Porthos i Nederländerna (och Belgien) samt den stora bio-CCS satsningen Drax i Storbritannien.

Fullskaleprojektet Longship i Norge

Sedan några år tillbaka har Norge planerat för ett stort demonstrationsprojekt, ett s.k. fullskaleprojektet, som ska täcka hela CCS- kedjan. Detta skulle innefatta avskiljning vid Norcems Cementfabrik i Brevik, avfallsförbränningsanläggningen Hafslund Oslo Celsio (tidigare Fortum Oslo Värme), samt transport- och lagring genom det s.k. de Northern Lights-projektet²⁸⁴. Koldioxiden kommer att fraktas med båt från respektive avskiljningsplats till en mottagningscentral i anslutning till en naturgasanläggning i Nordsjön. Därifrån kommer koldioxiden att transporteras vidare genom rörledningar ner till uttömda olje- och naturgasfält under havsbotten för permanent lagring. Projektets första fas, som beräknas vara klar i mitten på 2024, involverar färdigställandet av ett lager med kapacitet för

²⁸¹ Naturvårdsverket, årtal saknas.

²⁸² EHR 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 (se kap 2).

²⁸³ Anläggningen Petra Nova i USA som tillfälligt är tagen ur drift p.g.a. ekonomiska skäl avskiljer koldioxid från ett kraftvärmeverk.

²⁸⁴ Northern Lights är ett samarbetsprojekt mellan Equinor, Shell och Total.

1,5 miljoner ton koldioxid per år. Fas två har redan påbörjats och kommer efter färdigställandet att erbjuda en lagringskapacitet om 5 miljoner ton koldioxid per år.²⁸⁵ Den norska regeringen har beviljat finansieringsstöd av projektet till en summa av runt 16,8 miljarder norska kronor, vilket motsvarar runt två tredjedelar av totalkostnaden.²⁸⁶ Även EU har beviljat finansieringsstöd för en detaljerad teknisk studie (en s.k. FEED-studie) av fas två genom Fonden för ett sammanlänkat Europa som ett projekt av gemensamt intresse (PCI).²⁸⁷

Som en del av det norska fullskaleprojektet planerar Hafslund Oslo Celsio att fånga in runt 400 000 ton koldioxid från sitt avfallskraftvärmeverk i Oslo. Av detta är runt hälften av biogent ursprung och kan därmed bidra till negativa utsläpp.²⁸⁸ Den första piloten visade en effektiv infångning om 90-95 procent av utsläppen.²⁸⁹ Företaget deltar nu i projektet ACCSESS som finansieras genom EU:s stödprogram Horisont 2020 och testar inom ramarna för projektet en ny typ av avskiljningsteknik som har potential att reducera energiåtgången genom att möjliggöra tillvaratagandet av låggradig överskottsenergi.²⁹⁰ Även svenska Stora Enso deltar i detta projekt (se mer nedan). Hafslund Oslo Celsio (då fortfarande Fortum Oslo Värme) gick vidare i första uttagningen för stöd genom EU:s innovationsfond för stora projekt men blev inte beviljad stöd i den slutliga uttagningen.²⁹¹

Northern Lights samarbetar även med aktörer från andra länder

I maj 2022 ingick Northern Lights ett partnerskap med brittiska Cory om transport och lagring av koldioxid från företagets och Storbritanniens största avfallskraftvärmeanläggning. Cory planerar att installera en CCS-anläggning för att fånga in koldioxid som sedan ska skeppas via Themsen till Nordsjön för permanent lagring. Enligt företagen själva skulle det kunna skapa en första modell av en internationell koldioxidmarknad.²⁹² I november 2021 beviljades även fyra av projektets potentiella kunder finansieringsstöd genom EU:s innovationsfond,²⁹³ däribland svenska Stockholm Exergi (se mer nedan).

²⁸⁵ Northern Lights webbsida, *What we do*. <https://norlights.com/what-we-do/> (Hämtad 2021-09-20)

²⁸⁶ Norska regeringens webbsida, *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)

²⁸⁷ Europeiska Kommissionens webbsida, *Northern lights project – a commercial CO2 cross-border transport connection project between several European capture initiatives* https://ec.europa.eu/energy/maps/pci_fiches/PciFiche_12.4.pdf (Hämtad 2022-06-27)

²⁸⁸ CCS Norways webbsida, Carbon capture: *Hafslund Oslo Celsio*. <https://ccsnorway.com/capture-hafslund-oslo-celsio/> (Hämtad 2022-06-28)

²⁸⁹ Fortum Oslo Värms webbsida, *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)

²⁹⁰ ACCSESS webbsida, *Innovation 1 - Piloting of environmentally benign enzymatic solvent combined with a RPB absorber*. <https://www.projectaccess.eu/piloting-of-environmentally-benign-enzymatic-solvent-combined-with-an-rpb-absorber/> (Hämtad 2022-06-28)

²⁹¹ Fortum Norges webbsida, *Fortum Oslo Värme's CCS projects did not receive support from the EU Innovation Fund for the first round of applications*. <https://www.fortum.com/media/2021/11/fortum-oslo-varmes-ccs-project-did-not-receive-support-eu-innovation-fund-first-round-applications> (Hämtad 2022-06-28)

²⁹² Northern Lights webbsida, *Cory and Northern Lights announce pioneering international carbon partnership*. <https://norlights.com/news/cory-and-northern-lights-announce-pioneering-international-carbon-partnership%ef%bf%bc/> (Hämtad 2022-07-27)

²⁹³ Northern Lights, 2021.

Även i Nederländerna och Storbritannien utforskas lösningar för hela värdekedjan

Det pågår även andra projekt i Europa som inte nått lika långt som det norska, 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 Rotterdam²⁹⁴. Systemet ska fånga in koldioxid från industrier runt Rotterdams hamn som sedan förs genom rörledningar ut i Nordsjön för att pumpas ned i tomma gasfält under havsbotten för lagring. Under de första åren förväntas projektet kunna lagra 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 Europeiska kommissionen som också delfinansierar projektet med 102 miljoner euro.^{295,296} Inför investeringsbeslutet, som planeras att tas i slutet på 2022, fokuserar projektdeltagarna på att lösa kvarstående frågor kopplade till den tekniska utvecklingen av infrastrukturen, att upprätta en miljökonsekvensbeskrivning och tillståndsansökningar samt att ingå avtal med den holländska regeringen och företag om bl.a. koldioxidtillförsel. Systemet förväntas vara operativt till 2024/2025.²⁹⁷

Drax i Storbritannien har som ambition att bygga världens största anläggning för negativa utsläpp från ett kraftvärmeverk. Projektet har testat en bio-CCS-anläggning på en anläggning i North Yorkshire och ingår i ett större CCS-samarbete med Mitsubishi Heavy Industries Group vars patenterade teknik kommer att användas för koldioxidinfångning och inlagring i Nordsjön. Drax förväntas bidra till negativa utsläpp år 2030 med en första enhet installerad år 2027.²⁹⁸ Inom projektet undersöks även möjligheter till att använda koldioxiden i olika tillämpningar (dvs. CCU). I en studie²⁹⁹ undersöks möjligheten att använda koldioxiden för att förbättra skördar i närbelägna växthus medan en annan studie som utförs i samarbete med ett biotechstartup-företag³⁰⁰, undersöker möjligheter att använda den infångade koldioxiden för att producera ett protein som kan ersätta soja och fiskmjöl i djurfoder.

Bio-CCS- projekt i Sverige

Även i Sverige finns det ett antal projekt där företag undersöker de tekniska och ekonomiska möjligheterna att införa bio-CCS på sina anläggningar. Majoriteten av projekten

²⁹⁴ Porthos webbsida, *Project*. <https://www.porthosco2.nl/en/project/> (Hämtad 2021-07-13)

²⁹⁵ Porthos webbsida, *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)

²⁹⁶ Europeiska Kommissionens webbsida, *CO2 TransPorts aims to establish infrastructure to facilitate large-scale capture, transport and storage of CO2 from Rotterdam, Antwerp and the North Sea Port*. https://ec.europa.eu/energy/maps/pci_fiches/PciFiche_12.3.pdf (Hämtad 2021-07-13)

²⁹⁷ Porthos webbsida, *Project*. <https://www.porthosco2.nl/en/project/> (Hämtad 2021-07-13)

²⁹⁸ Drax, 2021, *Drax and Mitsubishi Heavy Industries sign pioneering deal to deliver the worlds largest carbon capture 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)

²⁹⁹ Drax, 2019 a, *Drax secures £500,000 for innovative fuel cell carbon capture study*. https://www.drax.com/press_release/drax-secures-500000-innovative-fuel-cell-carbon-capture-study/ (Hämtad 2022-06-28)

³⁰⁰ Drax, 2019 b, *New carbon capture technology could help industry and agricultural sector decarbonise*. https://www.drax.com/press_release/new-carbon-capture-technology-help-industry-agricultural-sector-decarbonise/ (Hämtad 2022-06-28)

rör kraftvärme- och värmeverk som vill införa bio-CCS och en stor andel får finansieringsstöd genom Industriklivet och ett par projekt genom EU:s Innovationsfond eller Horisont 2020/Horisont Europa. Även om det finns intresse inom massa- och pappersindustrin så har bruken andra förutsättningar jämfört med kraftvärme- och värmeverk vilket gör bio-CCS mindre lönsamt (se avsnitt 2.4.2). Till följd av detta finns inte heller lika många studier på tillämpningar inom massa- och pappersindustrin. Det finns dock potential till synergier av att tekniken testas i större utsträckning i andra sektorer, inte minst när det gäller förvätskning, transport och lagringsstegen av CCS/bio-CCS-kedjan. Nedan kommer därför projekt tillämpade på kraftvärme- och värmeverk att presenteras även om industrin är i fokus för denna rapport. Aktuella forsknings- och innovationsprojekt (FoI-projekt) har kategoriserats in i de tekniska utvecklingsstadierna forskningsprojekt, förstudie och pilot- och fullskaleanläggning.

Forskningsprojekt

Det pågår ett flertal forskningsprojekt kopplade till CCS och bio-CCS där fokus ligger på att undersöka och utveckla olika typer av avskiljningstekniker. Anledningen är att den största potentialen till kostnadsreducering bedöms finnas i avskiljningssteget genom effektivisering av processen samt att minska energibehovet.³⁰¹ 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 i stället undersöks.³⁰²

Förstudier

Även om utvecklingen av avskiljningstekniker har kommit långt krävs att den anpassas till enskilda anläggningars specifika förutsättningar, som exempelvis rökgasflöde och koldioxidhalt i rökgasen (se mer i kap 2). Flertalet aktörer utreder därför i förstudier de tekniska och ekonomiska förutsättningarna för olika tekniker på sina enskilda anläggningar, bl.a. Boden Energi, Gävle Kraftvärme, Skellefteå Kraftaktiebolag och Växjö Energi. Även Söderenergi utför en fördjupad studie där de i samarbete med Södertälje hamn och Klimpo³⁰³ undersöker möjligheter till en fullskaleanläggning vid Igelstaverket i Södertälje³⁰⁴. Cementa kommer att genomföra en fördjupad studie för CCS på sin cementfabrik i Slite som primärt avser infångning av fossil koldioxid och som därför presenteras i avsnitt 3.1.4. På sikt avser dock företaget att även fånga in biogena koldioxidutsläpp genom att gå över till en större andel biobränslen, vilket skulle kunna bidra till negativa utsläpp.

Som ett sätt att sänka kostnaderna för tekniken undersöks även *möjligheter till energiintegration*, dvs. att utnyttja överskottsenergi mellan tillverknings- och avskiljningsprocesserna. Eftersom förutsättningarna skiljer sig åt mellan anläggningar måste möjligheterna till energiintegration utvärderas för varje enskild anläggning.³⁰⁵ Stora Enso har i en förstudie³⁰⁶

³⁰¹ SOU 2020:4

³⁰² Luleå tekniska universitets webbsida, *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)

³⁰³ Klimpo är ett forum för kolsänkor där aktörer från olika samhällsgrenar möts. Läs mer på deras hemsida (<https://www.klimpo.se/om-klimpo/>)

³⁰⁴ Söderenergis webbsida, *Bio-CCS lämpar sig mycket bra på Igelstaverket*. <https://www.soderenergi.se/nyheter/bio-ccs-lampar-sig-mycket-bra-pa-igelstaverket/> (Hämtad 2022-06-28)

³⁰⁵ Energimyndigheten, 2022 d.

³⁰⁶ Energimyndighetens projektdatabas, P49897-2, diarienummer 2020-020034

utrett möjligheter till energiintegration för sina svenska sulfatbruk genom att analysera fyra olika avskiljningstekniker för ett modellbruk. Resultatet visar att det finns begränsad möjlighet till energiintegration (och därmed inga energibesparingar) för samtliga avskiljningstekniker till följd av att det inte finns tillgänglig överskottsenergi att nyttja mellan de två processerna³⁰⁷. För många bruk kommer det att krävas ytterligare energitillförsel för att täcka energibehovet av en bio-CCS anläggning. Till följd av detta dras slutsatsen att det är nödvändigt att utveckla nya avskiljningstekniker som kräver mindre energi och som kan använda värme vid lägre temperaturer eftersom det innebär större möjligheter att nyttja överskottsenergi från tillverkningsprocessen. En ny avskiljningsteknik med sådan potential ska testas vid Stora Enso:s sulfatbruk Skutskär inom ramen för ett större EU-projekt (se nedan om pilotprojekt).

I flertalet av de förstudier som skett inom ramen för Industriklivet framgår även att en viktig förutsättning för bio-CCS är att tidigt förbereda *tillstånds- och samrådsprocesser* för att undvika långa ledtider samt att en *affärsmodell* bör tas fram utifrån olika scenarier om möjliga intäktsströmmar givet osäkerheter i olika potentiella finansieringslösningar.³⁰⁸

Infrastrukturprojekt

I ett par förstudier undersöks även de logistiska förutsättningarna för *transport och lagring av koldioxid*. 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 tillämpat på både fossila och biogena utsläpp och där erfarenheter av tillämpning av hela värdekedjan fortfarande är begränsade. I en utvärdering av de förstudier som fått stöd genom Industriklivet³⁰⁹ konstateras att när det gäller kostnadsuppskattning för värdekedjan i stort verkar det generellt finnas en större osäkerhet i kostnadsuppskattningarna för transport och lagring än i kostnaden för koldioxidavskiljning.

I Sydsverige och på västkusten pågår regionala samarbeten för att undersöka de logistiska förutsättningarna för transport och lagring av koldioxid. I det sydsvenska projektet som går under namnet Carbon Network South Sweden (CNetSS)³¹⁰ utreds kostnadseffektiva systemlösningar för koldioxidinfrastruktur inför slutlagring. Projektet drivs i samverkan av aktörer längs med hela infrastrukturkedjan (bland andra Växjö Energi, Öresundskraft, Stora Enso, Höganäs och Copenhagen Malmö Port), vilket har potential att minska kostnaderna för CCS-kedjan. Tillsammans bedöms potentialen för de anläggningar som ingår i projektet att uppgå till minst 1,5 miljoner ton biogen koldioxid per år³¹¹. Enligt företagen ska infrastrukturen även vara öppen för tredje part.

På västkusten har energi-, avfallshanterings- och raffinaderiföretag³¹² gått samman med Göteborgs hamn i ett tvärssektoriellt samarbete (CinfraCap)³¹³ för att utveckla och etablera en kostnadseffektiv logistik och infrastruktur för förvätskning, transport och mellanlagring av infångad koldioxid. Från CinfraCaps parter verksamheter finns potential att lagra runt

³⁰⁷ För ett verkligt bruk kan det dock finnas större möjligheter att använda överskottsvärme för värmeintegration av koldioxidavskiljningsanläggningen.

³⁰⁸ Energimyndigheten, 2022 d.

³⁰⁹ Energimyndigheten, 2022 d.

³¹⁰ Energimyndigheten diarienummer 2022-200898

³¹¹ Samt runt 500 000 ton fossil koldioxid per år. Potentialen för negativa utsläpp bedöms även kunna öka i takt med att fossila bränslen och råvaror ersätts med förnybara samt plaståtervinning.

³¹² Göteborgs Energi, Nordion Energi, Preem AB, St1 och Renova.

³¹³ Energimyndighetens projektdatabas, P50892-2, diarienummer 2021-043868

två miljoner ton koldioxid per år och även denna infrastruktur är tänkt att vara öppen för tredjepartsanslutning vilket innebär en ännu större potential. Efter att ha genomfört en första förstudie som avslutades 2021 och visade på goda förutsättningar att etablera en effektiv och fungerande infrastruktur i Göteborgs hamn, går CinfraCap nu vidare för att i mer detalj planera den tekniska utformningen av projektet och undersöka olika möjligheter för slutlagring, ta fram en affärsmodell samt en miljökonsekvensbeskrivning till miljö-tillståndsansökan för efterföljande projektfas.

Fullskale- och pilotanläggningar

Ett antal projekt har kommit lite längre i processen att hitta rätt teknik för bio-CCS för sina anläggningar och gått vidare för att testa tekniken i pilotanläggningar. Det företag som har kommit längst i utvecklingsprocessen är Stockholm Exergi som nu planerar en fullskalig kommersiell anläggning vid Värtaverket i Stockholm efter att ha testat och utvecklat en avskiljningsteknik i en pilotanläggning som togs i drift 2019. Väl på plats kommer den nya anläggningen att vara Europas första storskaliga anläggning för negativa utsläpp. EU:s innovationsfond har beviljat projektet 180 miljoner euro i stöd och för att finansiera anläggningen kommer företaget även att delta i de omvända auktionerna och sälja utsläpp på en frivillig marknad.³¹⁴

Ytterligare pilotstudier är på gång i Sverige där åtminstone två avser tester av CCS tillämpat på avfallsförbränningsanläggningar vilket är ett relativt outforskat område. Öresundskraft³¹⁵ planerar att testa samma teknik vid sin avfallsförbränningsanläggning i Helsingborg som används av Stockholm Exergi på sitt kraftvärmeverk. Företaget vill sen dela med sig av resultaten i syfte att sprida kunskap till andra avfallsförbränningsföretag. Pilotanläggningen planeras att tas i drift under hösten 2022 med målet om en fullskaleanläggning till 2027. Resultaten från studien kommer dessutom att ligga till grund för ett beslut om investering i en fullständig CCS-kedja från infångning till slutlagring.

Åtminstone två ytterligare pilotstudier avser att testa nya avskiljningstekniker med huvudsyftet att minska energianvändningen och därmed kostnaden för att tillämpa tekniken. Ena pilotstudien utförs av forskare på Lunds universitet³¹⁶ i samarbete med fyra företag³¹⁷ och involverar tester på tre olika kraftvärmeverk med både biogena och fossila utsläpp. Projektet kommer att använda sig av en avskiljningsteknik vars process kan drivas vid lägre temperaturer än konventionell teknik. Det öppnar upp för möjligheten att använda överskottsvärme i stället för att tillföra ny energi. Målet med projektet är att uppnå en minskad energianvändning på 70 procent jämfört med konventionell avskiljningsteknik. Den nya avskiljningstekniken som tidigare endast har testats i laboratoriemiljö, testas nu i stor skala på Växjö Energis bioeldade kraftvärmeverk för att så småningom även testas på Öresundskraft och SYSAB:s avfallskraftvärmeverk.

³¹⁴ Stockholm Exergis webbsida, *Bio-CCS – Fångar in och lagrar koldioxid*. <https://www.stockholmexergi.se/minusutslapp/bio-ccs/> (Hämtad 2022-06-27)

³¹⁵ Energimyndighetens projektdatabas, P52664-1, diarienummer 2021-030050

³¹⁶ Energimyndighetens projektdatabas, P52609-1, diarienummer 2021-028266

³¹⁷ SYSAB, Granitor Systems, Växjö Energi och Öresundskraft

Den hittills enda pilotstudien av bio-CCS inom den svenska industrin, närmare bestämt massa- och pappersindustrin, genomförs inom ramarna för EU-projektet ACCSESS³¹⁸ som drivs av norska Sintef. Projektet har som delmål att utveckla nya infångningstekniker för bio-CCS och tester av en ytterligare en avskiljningsteknik kommer att ske bl.a. på Stora Ensos massabruk i Skutskär³¹⁹. Även denna avskiljningsteknik förväntas öppna upp möjligheter att använda lågtempererad industriell restvärme i avskiljningsprocessen och till följd av detta (samt andra tekniska förutsättningar) resultera i en kostnadssänkning för avskiljningssteget.

³¹⁸ ACCSESS webbsida, *Innovation 1 - Piloting of environmentally benign enzymatic solvent combined with a RPB absorber*. <https://www.projectaccess.eu/piloting-of-environmentally-benign-enzymatic-solvent-combined-with-an-rpb-absorber/> (Hämtad 2022-06-28)

³¹⁹ Tekniken kommer även testas för infångning från en cementugn i Polen.

4 Referenser

ACCSESS webbsida, *Innovation 1 - Piloting of environmentally benign enzymatic solvent combined with a RPB absorber*. <https://www.projectaccess.eu/piloting-of-environmentally-benign-enzymatic-solvent-combined-with-an-rpb-absorber/> (Hämtad 2022-06-28)

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

Bashmakov, I.A., L.J. Nilsson, A. Acquaye, C. Bataille, J.M. Cullen, S. de la Rue du Can, M. Fischedick, Y. Geng, K. Tanaka, 2022: Industry. In IPCC, 2022: *Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [P.R. Shukla, J. Skea, R. Slade, A. Al Khourdajie, R. van Diemen, D. McCollum, M. Pathak, S. Some, P. Vyas, R. Fradera, M. Belkacemi, A. Hasija, G. Lisboa, S. Luz, J. Malley, (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA. doi: 10.1017/9781009157926.013

Boliden, 2022. *Annual and sustainability report 2021*. <https://vp217.alertir.com/afw/files/press/boliden/202203086784-1.pdf>

Boliden, 2021. *Lakverk Rönnskär*. <https://www.boliden.com/globalassets/operations/smelters/ronnskar/leach-plant-2021/facts-sheet/faktablad-lakverk.pdf>

Boliden, 2020. *Års- och hållbarhetsredovisning 2019*, <https://www.boliden.com/globalassets/about-boliden/corporate-governance/general-meetings/2020/sv/ars--och-hallbarhetsredovisning-2019.pdf>

Boliden, årtal saknas a. *Low carbon and recycled Copper*. <https://www.boliden.com/globalassets/operations/products/copper/green-copper/a5-produktblad-20220121.pdf>

Boliden, årtal saknas b. *Low-carbon SHG Zinc*. <https://www.boliden.com/globalassets/operations/products/zinc/low-carbon-shg-zinc.pdf>

Bolidens webbsida, *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)

CCS Norways webbsida, *Carbon capture: Hafslund Oslo Celsio*. <https://ccsnorway.com/capture-fortum-oslo-varme/> (Hämtad 2022-06-28)

Cementa, 2021. *Nu börjar man äntligen diskutera CCS på allvar i Sverige*. <https://www.cementa.se/sv/nu-borjar-man-antligen-diskutera-ccs-pa-allvar-i-sverige> (Hämtad 2022-06-27)

Cementa, 2020. *Södra stambanan: Trafikverket byter till klimatförbättrat cement*. <https://www.cementa.se/sv/sodra-stambanan-trafikverket-byter-till-klimatforbattrat-cement> (Hämtad 2022-09-06)

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

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

Cementas webbsida, *Cementa och HeidelbergCement ett steg närmare etableringen av klimatpositiv cementfabrik i Sverige*. <https://www.cementa.se/sv/cementa-och-heidelbergcement-ett-steg-narmare-etableringen-av-klimatpositiv-cementfabrik-i-sverige> (Hämtad 2022-05-30)

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

Circle Economy, Re:Source och RISE, 2022. *Circularity gap report*. <https://resource-sip.se/content/uploads/2022/04/circularity-gap-report-sweden-1.pdf>

Dagens Industris webbsida, *Största utsläppsbovarna ökar utsläppen igen*. <https://www.di.se/hallbart-naringsliv/storsta-utslappsbovarna-okar-utslappen-igen/> (Hämtad 2022-07-28)

Direktiv 2009/31/EG

Drax:s webbsida, *Drax and Mitsubishi Heavy Industries sign pioneering deal to deliver the worlds largest carbon capture 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)

Drax:s webbsida, *Drax secures £500,000 for innovative fuel cell carbon capture study*. https://www.drax.com/press_release/drax-secures-500000-innovative-fuel-cell-carbon-capture-study/ (Hämtad 2022-06-28)

Drax:s webbsida, *New carbon capture technology could help industry and agricultural sector decarbonise*. https://www.drax.com/press_release/new-carbon-capture-technology-help-industry-agricultural-sector-decarbonise/ (Hämtad 2022-06-28)

ENET-Steel, 2007. *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).

Energimyndigheten, Naturvårdsverket och SGU, 2022. *Utveckla myndighetssamverkan för Sveriges delar av en hållbar europeisk värdekedja för batterier*. ER 2022:14

Energimyndigheten, 2022 b. *Årlig energibalans*. <https://www.energimyndigheten.se/statistik/den-officiella-statistiken/statistikprodukter/arl原因-energibalans/> (hämtad 2022-07-08)

Energimyndigheten, 2022 c. *Energiläget i siffror 2022*. https://view.officeapps.live.com/op/view.aspx?src=https%3A%2F%2Fwww.energimyndigheten.se%2F495a34%2Fglobalassets%2Fstatistik%2Fenergilaget%2Fenergilaget-i-siffror-2022_220329.xlsx&wdOrigin=BROWSELINK (Hämtad 2022-07-26)

Energimyndigheten, 2022 d. *Från små steg till stora kliv*. ER 2022:11

Energimyndigheten, 2021 a. *Styrmedel för nya biodrivmedel – Behov och utformning av styrmedel för att främja biodrivmedel med nya tekniker*. ER 2021:22

Energimyndigheten, 2021 b. *Förslag till Sveriges nationella strategi för vätgas, elektrobränslen och ammoniak*. ER 2021:34.

Energimyndigheten, 2021 c. *Framtidens elektrifierade samhälle – Analys för en hållbar elektrifiering*. ER 2021:28.

Energimyndigheten, 2021 d. *Industrin – nuläge och förutsättningar för omställning*. ER 2021:27.

Energimyndigheten, 2021 e. *Drivmedel 2020 – Redovisning av rapporterade uppgifter enligt drivmedelslagen, hållbarhetslagen och reduktionsplikten*. ER 2021:29.

Energimyndigheten, 2021 f. *Första, andra, tredje... - Förslag på utformning av ett stödsystem för bio-CCS*. ER 2021:31

Energimyndighetens webbsida, *Fortsatt hög elproduktion och elexport under 2021*. <https://www.energimyndigheten.se/nyhetsarkiv/2022/fortsatt-hog-elproduktion-och-elexport-under-2021/> (Hämtad 2022-08-22)

Energimyndighetens webbsida, *Sveriges energiläge*. <https://www.energimyndigheten.se/om-oss/press/prenumerera/laget-pa-energimarknaderna/sa-paverkar-invasionen-av-ukraina-sveriges-energilage/> (Hämtad 2022-09-21)

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/EIProdAr/ (hämtad 2022-07-04).

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

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

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

European Startups, 2021. *2021: The year of Deep Tech*. <https://europeanstartups.co/reports/2021-the-year-of-deep-tech>

European Startups webbsida, *Dashboard*. <https://app.europeanstartups.co/dashboard> (Hämtad 2022-08-30)

Europeiska Kommissionen, 2020 a. *A hydrogen strategy for a climate-neutral Europe, COM (2020) 301 final*. https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/hydrogen_strategy.pdf

Europeiska Kommissionen, 2020 b. Arbetsdokument från kommissionens avdelningar SWD (2022) 230, *Implementing the REPower EU Action Plan: Investment needs, hydrogen accelerator and achieving the bio-methane targets*, <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:52022SC0230&from=EN>

Europeiska Kommissionen, 2020 c. *Resiliens för råvaror av avgörande betydelse: Att staka ut vägen mot ökad trygghet och hållbarhet, COM (2020) 474 final*. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/SV/TXT/PDF/?uri=CELEX:52020DC0474&from=EN>

Europeiska Kommissionens webbsida, *Circular economy action plan*. https://environment.ec.europa.eu/strategy/circular-economy-action-plan_en (Hämtad 2022-08-19)

Europeiska Kommissionens webbsida, *Climate Action, Large-scale calls*, https://climate.ec.europa.eu/eu-action/funding-climate-action/innovation-fund/large-scale-calls_en#overview-of-the-second-call-for-large-scale-project-proposals (Hämtad 2022-10-06)

Europeiska Kommissionens webbsida, *CO2 TransPorts aims to establish infrastructure to facilitate large-scale capture, transport and storage of CO2 from Rotterdam, Antwerp and the North Sea Port*. https://ec.europa.eu/energy/maps/pci_fiches/Pci-Fiche_12.3.pdf (Hämtad 2021-07-13)

Europeiska Kommissionens webbsida, *Commission presents new European Innovation Agenda to spearhead the new innovation wave* (Pressmeddelande), https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/IP_22_4273 (Hämtad 2022-08-15)

Europeiska Kommissionens webbsida, *En Hörnsten i Sveriges återhämtning*. https://ec.europa.eu/info/sites/default/files/factsheet_se_assessment_final.pdf (Hämtad 2022-09-29)

Europeiska Kommissionens webbsida, *EU strategy for sustainable and circular textiles*. https://environment.ec.europa.eu/publications/textiles-strategy_en (Hämtad 2022-08-10)

Europeiska Kommissionens webbsida, *Innovation Fund (INNOVFUND) Projects & Results*, <https://ec.europa.eu/info/funding-tenders/opportunities/portal/screen/opportunities/projects-results;programCode=INNOVFUND> (Hämtad 2022-10-06)

Europeiska Kommissionens webbsida, *Northern lights project – a commercial CO2 cross-border transport connection project between several European capture initiatives (United Kingdom, Ireland, Belgium, the Netherlands, France, Sweden) and the transport of captured CO2 by ship to a storage site on the Norwegian continental shelf*. https://ec.europa.eu/energy/maps/pci_fiches/PciFiche_12.4.pdf (Hämtad 2022-06-27)

Europeiska Kommissionens webbsida, *Proposal for a Regulation laying down harmonised conditions for the marketing of construction products*, <https://ec.europa.eu/docs-room/documents/49315> (Hämtad 2022-08-10)

Europeiska Kommissionens webbsida, *Renewable energy directive*, https://energy.ec.europa.eu/topics/renewable-energy/renewable-energy-directive-targets-and-rules/renewable-energy-directive_en (Hämtad 2022-08-10)

Europeiska Kommissionens webbsida, *REPowerEU: affordable, secure and sustainable energy for Europe*. https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal/repowereu-affordable-secure-and-sustainable-energy-europe_en (Hämtad 2022-09-09)

Europeiska Kommissionens webbsida, *Sustainable carbon cycles*. https://ec.europa.eu/clima/eu-action/forests-and-agriculture/sustainable-carbon-cycles_en (Hämtad 2022-08-10)

Europeiska Kommissionens webbsida, *Sustainable Products Initiative*, https://ec.europa.eu/info/energy-climate-change-environment/standards-tools-and-labels/products-labelling-rules-and-requirements/sustainable-products/ecodesign-sustainable-products_en (Hämtad 2022-08-10)

Europeiska Kommissionens webbsida, *Swedish large-scale steel value chain demonstration of Hydrogen Breakthrough Iron-making Technology*. <https://ec.europa.eu/info/funding-tenders/opportunities/portal/screen/opportunities/projects-details/43089234/101051316/INNOVFUND> (Hämtad 2022-09-16)

Europeiska Kommissionens webbsida, *Skogar – ny EU-strategi*. https://ec.europa.eu/info/law/better-regulation/have-your-say/initiatives/12674-Skogar-ny-EU-strategi_sv (Hämtad 2022-07-05)

Europeiska unionens råds webbsida, *Rådet antar förordning om att minska efterfrågan på gas med 15 procent till vintern* (Pressmeddelande), <https://www.consilium.europa.eu/sv/press/press-releases/2022/08/05/council-adopts-regulation-on-reducing-gas-demand-by-15-this-winter/> (Hämtad 2022-10-05)

Europeiska unionens råds webbsida, *Rådet enas om krisåtgärder för att sänka energipriserna* (Pressmeddelande), <https://www.consilium.europa.eu/sv/press/press-releases/2022/09/30/council-agrees-on-emergency-measures-to-reduce-energy-prices/> (Hämtad 2022-10-05)

Fortum Norges webbsida, *Fortum Oslo Varme's CCS projects did not receive support from the EU Innovation Fund for the first round of applications*. <https://www.fortum.com/media/2021/11/fortum-oslo-varmes-ccs-project-did-not-receive-support-eu-innovation-fund-first-round-applications> (Hämtad 2022-06-28)

Fortum Oslo Värme's webbsida, *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, 2021 a. *Biostrategi för fossilfri konkurrenskraft*. <https://fossilfrittssverige.se/wp-content/uploads/2021/11/Fossilfritt-Sveriges-biostrategi.pdf> (Hämtad 2022-07-04)

Fossilfritt Sverige, 2021 b. *Strategi för fossilfri konkurrenskraft - Vätgas*. <https://fossilfrittssverige.se/wp-content/uploads/2021/01/Vatgasstrategi-for-fossilfri-konkurrenskraft-1.pdf>

Fossilfritt Sverige, 2021 c. *Färdplaner för fossilfri konkurrenskraft – Uppföljning 2021. Bilaga 2: Uppföljning av branschernas åtgärder i färdplanerna*. https://fossilfrittssverige.se/wp-content/uploads/2021/10/Uppfo%CC%88ljningsrapport_2021_Bilaga_2.pdf

Fossilfritt Sverige, 2020. *Färdplan cement – för ett klimatneutralt betongbyggande*. https://fossilfrittssverige.se/wp-content/uploads/2020/10/ffs_cementbranschen.pdf

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

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

Global CCS Institute, 2019. *Facilities Database*. <https://co2re.co/FacilityData#tabeight> (Hämtad 2022-08-01)

GreenIron:s webbsida, *Vår produktionsprocess*. <https://greeniron.se/produktionsprocess/> (Hämtad 2022-08-08)

H2 Green Steels webbsida, *H2 Green Steel has pre-sold over 1.5 million tonnes of green steel to customers*. <https://www.h2greensteel.com/pressreleases/h2-green-steel-has-pre-sold-over-15-million-tonnes-of-green-steel-to-customers> (Hämtad 2022-07-29)

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

Hertwich m. fl, 2019. *Material efficiency strategies to reducing greenhouse gas emissions associated with buildings, vehicles, and electronics – a review*. Environmental Research, Letters 14 043004

Hifab, 2018. *Miljökonsekvensbeskrivning (MKB) – avseende lakverk för F1/K1-stoft m.m. vid Boliden Rönnskärs industriområde*. https://www.boliden.com/globalassets/operations/smelters/ronnskar/miljotillstand/bilaga-d_mkb_lakverket-ronnskar_180219.pdf

HYBRIT:s webbsida, *Fossilfri pelletsproduktion*, <https://www.hybritdevelopment.se/en-fossilfri-utveckling/fossilfri-pelletsproduktion/> (Hämtad 2022-06-23)

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

- IEA, 2020. *Energy Technology Perspectives, 2020 edition* (revised version February 2021). https://iea.blob.core.windows.net/assets/7f8aed40-89af-4348-be19-c8a67df-0b9ea/Energy_Technology_Perspectives_2020_PDF.pdf
- IEA, 2019. *The Future of Hydrogen - Seizing today's opportunities*. https://iea.blob.core.windows.net/assets/9e3a3493-b9a6-4b7d-b499-7ca48e357561/The_Future_of_Hydrogen.pdf
- IEA Greenhouse Gas R&D Programme, 2020. *The status and Challenge of CO2 Shipping Infrastructures*. <https://ieaghg.org/ccs-resources/blog/new-ieaghg-report-the-status-and-challenges-of-co2-shipping-infrastructures>
- Infrastrukturnyheters webbsida, *Swerock lanserar miljöbetong från nyöppnad fabrik*, <https://www.infrastrukturnyheter.se/20201124/23847/swerock-lanserar-miljobetong-fran-nyoppnad-fabrik> (Hämtad 2021-08-20)
- IPCC, 2022: *Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [P.R. Shukla, J. Skea, R. Slade, A. Al Khourdajie, R. van Diemen, D. McCollum, M. Pathak, S. Some, P. Vyas, R. Fradera, M. Belkacemi, A. Hasija, G. Lisboa, S. Luz, J. Malley, (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA. doi: 10.1017/9781009157926
- 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, 2022. *Om vätgas och dess roll i elsystemet*. <https://www.iva.se/globalassets/bilder/projekt/vatgasprojektet/202205-iva-vatgasprojektet-syntesrapport-m.pdf> (Hämtad 2022-08-15)
- 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
- Jernkontoret, 2022. *Stålåret 2021*. <https://www.jernkontoret.se/globalassets/publicerat/stal-stalind/stalaret-2021---en-sammanstallning-fran-jernkontoret.pdf> (hämtad 2022-05-30)
- Jernkontoret, 2018. *Klimatfärdplan – För en fossilfri och konkurrenskraftig stålindustri i Sverige*. Jernkontoret: Fossilfritt Sverige.
- Jernkontorets webbsida, *Fakta och nyckeltal om stålindustrin*. <https://www.jernkontoret.se/sv/stalindustrin/branschfakta-och-statistik/fakta-och-nyckeltal/> (hämtad 2022-07-29).
- Jernkontorets webbsida, *HYBRIT startar pilotanläggning för fossilfritt stål*. <https://www.jernkontoret.se/sv/publicerat/nytt-fran-jernkontoret/nyheter/2020/hybrit-startar-pilotanlaggning-for-fossilfritt-stal/> (Hämtad 2022-08-16)
- Jernkontorets webbsida, *Processer*. <https://www.jernkontoret.se/sv/stalindustrin/tillverkning-anvandning-atervinning/processer/> (hämtad 2022-07-29)
- Johnsson F. och Kjärstad J., 2019. *Avskiljning, transport och lagring av koldioxid i Sverige – Behov av forskning och demonstration*
- 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

- 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, K., Bergek, A., Fahnestock, J., Hellsmark, H., och Ulmanen, J., 2019, *Statens roll för klimatomställningen i processindustrin*. RISE rapport 2019:15, https://www.ri.se/sites/default/files/2019-09/Statens%20roll%20i%20processindustrin_RISE%20rapport%202019_15.pdf
- Kemiföretagen Stenungssunds webbsida. *Kemiföretagen Stenungssund*, <http://kemiforetagenstenungssund.se/> (Hämtad 2021-09-04)
- Klimatpolitiska rådet, 2022. *Klimatpolitiska rådets rapport 2022*. <https://www.klimatpolitiskaradet.se/wp-content/uploads/2022/03/klimatpolitiskaradetrappor2022.pdf> (Hämtad 2022-09-09)
- Konjunkturinstitutet, 2022. *Prognoser i Konjunkturläget*. <https://www.konj.se/publikationer/konjunkturlaget.html>
- Liquid Wind:s webbsida, *Flagships*. <https://www.liquidwind.se/flagships> (Hämtad 2022-07-07)
- LKAB, 2021. *2020 Års- och hållbarhetsredovisning*.
- Luleå tekniska universitets webbsida, *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, 2021. *Den svenska ekvationen för bioresurser, annex till Klimatagenda för Sverige*, <https://materialeconomics.com/publications/ekvationen-bioresurser>
- Material Economics, 2020. *Preserving value in EU industrial materials – A value perspective on the use of steel, plastics and aluminium*. <https://materialeconomics.com/publications/preserving-value-eu>
- Material Economics, 2019. *Industrial Transformation 2050 - Pathways to Net-Zero Emissions from EU Heavy Industry*. <https://materialeconomics.com/publications/industrial-transformation-2050>
- Material Economics, årtal saknas. *Ett värdebeständigt svenskt materielsystem – En rapport om materialanvändning ur ett värdeperspektiv*. <https://materialeconomics.com/new-publications/ett-vardebestandigt-svenskt-materialsystem> (Hämtad 2022-08-02)
- McArthur foundation och Material economics, 2019. *Completing the picture – How the circular economy tackles climate change*.
- Mistra Carbon Exit, årtal saknas. *Om oss*. <https://www.mistracarbonexit.org/om-oss/> (Hämtad 2020-08-40).
- Naturvårdsverket, 2022. *Klimatomställning av fossil plast – Underlagsrapport till regeringsuppdraget om Näringslivets klimatomställning*.
- Naturvårdsverket, 2021. *Kemisk återvinning av plast – Teknik, flöden och miljöaspekter*, rapport 6990
- Naturvårdsverket, 2019 a. *National Inventory report Sweden 2019 (NIR 2019)*.

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

Naturvårdsverket, årtal saknas. *Utsläppsregistret, utdrag avseende referensår 2020*, <https://utslappisiffror.naturvardsverket.se/>

Naturvårdsverkets webbsida, *Elektrobränsle för flyg i kommersiell skala får stöd från Klimatklivet*. <https://www.naturvardsverket.se/om-oss/aktuellt/nyheter-och-pessmedelanden/elektrobransle-for-flyg> (Hämtad 2022-09-20)

Naturvårdsverkets webbsida, *Industri, utsläpp av växthusgaser*. <https://www.naturvardsverket.se/data-och-statistik/klimat/vaxthusgaser-utslapp-fran-industrin/> (Hämtad 2022-07-27)

Naturvårdsverkets webbsida, *Territoriella utsläpp och upptag av växthusgaser*. <https://www.naturvardsverket.se/data-och-statistik/klimat/vaxthusgaser-territoriella-utslapp-och-upptag/> (Hämtad 2022-07-08)

Naturvårdsverket och SCB, 2022. Utsläpp av växthusgaser från industrin efter växthusgas, bransch och år. *Statistikdatabasen*. https://www.statistikdatabasen.scb.se/pxweb/sv/ssd/START__MI__MI0107/MI0107IndustriN/ (hämtad 2022-07-07).

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

Northern Lights, 2021. *Annual report 2021*. <https://norlights.com/wp-content/uploads/2022/04/Northern-Lights-Annual-report-2021.pdf> (Hämtad 2022-06-27)

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

Northern Lights webbsida, *Cory and Northern lights announce pioneering international carbon partnership*. <https://norlights.com/news/cory-and-northern-lights-announce-pioneering-international-carbon-partnership%ef%bf%bc/> (Hämtad 2022-07-27)

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

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

Porthos webbsida, *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)

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

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

Preems webbsida, *Vattenfall och Preem går vidare med samarbetet kring fossilfri vätgas till biobränslen*. <https://news.cision.com/se/preem-ab/r/vattenfall-och-preem-gar-vidare-med-samarbetet-kring-fossilfri-vatgas-till-biobranslen,c3449790> (Hämtad 2022-06-01)

Preems webbsida, *Vattenfall och Preem ska undersöka storskalig utfasning av fossila bränslen med hjälp av havsbaserad vindkraft och vätgas*. <https://news.cision.com/se/preem-ab/r/vattenfall-och-preem-ska-undersoka-storskalig-utfasning-av-fossila-branslen-med-hjalp-av-havsbaserad,c3591957> (Hämtad 2022-06-30)

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

Project Air:s webbsida, *Project Air selected by EU Innovation Fund as one of 17 projects to share funding of EUR 1.8 billion*. <https://projectair.se/en/news/project-air-selected-by-eu-innovation-fund-as-one-of-17-projects-to-share-funding-of-eur-1-8-billion/> (Hämtad 2022-08-16)

Regeringen, 2022. *Nationell strategi för elektrifiering*. https://www.regeringen.se/4999ce/contentassets/8761973413204121b91d01089fbd1e91/nationell-strategi-for-elektrifiering_2022_webb.pdf

Regeringens webbsida, *Stärkta finansieringsförutsättningar till startup-företag*. <https://www.regeringen.se/pressmeddelanden/2021/10/starkta-finansieringsforutsattningar-till-startup-foretag/> (Hämtad 2022-08-15)

Regeringens webbsida, *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 2020-08-25)

Regeringens webbsida, *Uppdrag att stärka tillväxten i forskningsintensiva startup-företag*. (Pressmeddelande). <https://www.regeringen.se/regeringsuppdrag/2021/10/uppdrag-att-starka-tillvaxten-i-forskningsintensiva-startup-foretag/> (Hämtad 2022-08-15)

Regeringens webbsida, *Utredning om en nationell bioekonomistrategi*. <https://www.regeringen.se/pressmeddelanden/2022/06/utredning-om-en-nationell-bioekonomistrategi/> (Hämtad 2022-07-04)

Regeringens webbsida, *Utredning om hur ekonomiska styrmedel kan främja omställningen till en cirkulär ekonomi ska tillsättas* (Pressmeddelande). <https://www.regeringen.se/pressmeddelanden/2022/06/utredning-om-hur-ekonomiska-styrmedel-kan-framja-omstallningen-till-en-cirkular-ekonomi-ska-tillsattas/> (Hämtad 2022-07-01)

Regeringskansliet, 2021. *En skyldighet att beakta vissa samhällsintressen vid offentlig upphandling*. Ds 2021:31. <https://www.regeringen.se/49daaa/contentassets/16c58fc-78c254dd3a40a9998088fb384/en-skyldighet-att-beakta-vissa-samhallsintressen-vid-offentlig-upphandling.pdf>

Regeringskansliet, 2017. *Bakgrundpromemoria om Industriklivet* <https://www.regeringen.se/4a4d01/globalassets/regeringen/dokument/miljodepartementet/arkiv/journalist-pm---industriklivet.pdf> (Hämtad 2017-08-22)

Regeringskansliets webbsida, *Norge och Sverige överens om att intensifiera samarbetet kring koldioxidlagring*. <https://www.regeringen.se/pressmeddelanden/2022/04/norge-och-sverige-overens-om-att-intensifiera-samarbetet-om-koldioxidlagring/> (Hämtad 2022-08-02)

RE:Source, 2022. *Circularity gap report*. [circularity-gap-report-sweden-1.pdf](https://www.resource-sip.se/circularity-gap-report-sweden-1.pdf) (resource-sip.se)

Re:Source:s webbsida, *Materialhjulet*. <https://resource-sip.se/materialhjulet/> (2022-06-30)

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

SCB, 2022. 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 2022-07-08).

Seminarium, Klimatneutral processindustri, 2017-05-03.

SGU, 2017. *Geologisk lagring av koldioxid i Sverige – Lägesbeskrivning avseende förutsättningar, lagstiftning och forskning samt olje- och gasverksamhet i Östersjöregionen*, Rapporter och meddelanden 142. <http://resource.sgu.se/produkter/rm/rm142-rapport.pdf>

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

SGU och Naturvårdsverket, 2017. *Förslag till strategi för hantering av gruvavfall*. <https://www.regeringen.se/49f090/contentassets/c94f6fcc46654c37bf32a414ce042dc6/forslag-till-strategi-for-hantering-av-gruvavfall.pdf>

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

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

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

SSAB, 2021. *Årsredovisning 2020*. <https://mb.cision.com/Main/980/3526014/1549214.pdf>

SSAB:s webbsida, *SSAB planerar för nytt produktionssystem i Norden och tidigare lägger den gröna omställningen*. <https://www.ssab.com/sv-se/nyheter/2022/01/ssab-planerar-fi-nytt-produktionssystem-i-norden-och-tidigare-lagger-den-grna-omstllningen> (Hämtad 2022-06-28)

SSAB:s webbsida, *Tidslinje för HYBRIT och fossilfri stålproduktion*. <https://www.ssab.com/sv-se/ssab-koncern/hallbarhet/hallbar-verksamhet/hybrit-phases> (Hämtad 2022-06-13)

St1:s webbsida, *St1 stärker produktionen från avfall genom att förvärva Brocklesby Ltd i Storbritannien*. <https://www.st1.se/st1-brocklesby> (Hämtad 2022-07-05)

St1:s webbsida, *Vattenfall och St1 ingår nytt partnerskap inom fossilfritt e-flygbränsle*. <https://www.st1.se/vattenfall-och-st1-i-nytt-fossifritt-samarbete> (Hämtad 2022-07-07)

Stockholm Exergis webbsida, *Bio-CCS – Fångar in och lagrar koldioxid*. <https://www.stockholmexergi.se/minusutslapp/bio-ccs/> (Hämtad 2022-06-27)

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

SusChem Swedens webbsida, *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, 2020. *Färdplan Bioenergi – så möter vi behovet av bioenergi för fossilfritt Sverige*. <https://www.svebio.se/wp-content/uploads/2020/03/Svebio-Fa%CC%88rdplan-Bioenergi-2020.pdf>

Svebios webbsida, *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).

Svenska kraftnät, 2021. *Långsiktig marknadsanalys 2021 – Scenarier för elsystemets utveckling fram till 2050*. <https://www.svk.se/siteassets/om-oss/rapporter/2021/langsiktig-marknadsanalys-2021.pdf>

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

Sweco, 2019. *Klimatneutral konkurrenskraft – kvantifiering av åtgärder i klimatfärdplaner*. https://www.svensktnaringsliv.se/bilder_och_dokument/6b1sj7_klimatneutral-konkurrenskraft-kvantifiering-av-atgarder-i-klimatf_1132043.html/Klimatneutral+konkurrenskraft+-+kvantifiering+av+atgrder+i+klimatfrdplaner.pdf

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

Söderenergis webbsida, *Bio-CCS lämpar sig mycket bra på Igelstaverket*. <https://www.soderenergi.se/nyheter/bio-ccs-lampar-sig-mycket-bra-pa-igelstaverket/> (Hämtad 2022-06-28)

Trafikverket, 2022. *Klimatkrav i planläggning byggskede underhåll och på tekniskt godkänt järnvägsmateriel*. Ver. 6.0. <https://trvdokument.trafikverket.se/Versioner.aspx?spid=5481&dokumentId=TDOK%202015%3A0480>

Trafikverket, 2020. *Scenarier för att nå klimatmålet för inrikes transporter*. <https://trafikverket.diva-portal.org/smash/get/diva2:1414820/FULLTEXT01.pdf>

UNCTAD, 2020. *Commodities at a glance – Special issue on strategic battery raw materials*. No. 13. https://unctad.org/system/files/official-document/ditcom2019d5_en.pdf

Van Genderen, E., Wildnauer, M., Santero, N. et al. A global life cycle assessment for primary zinc production. *Int J Life Cycle Assess* 21, 1580–1593 (2016). <https://doi.org/10.1007/s11367-016-1131-8>

Volvo Groups webbsida, *Volvo CE först ut i världen att leverera anläggningsmaskin tillverkad med fossilfritt stål till kund*. <https://www.volvogroup.com/se/news-and-media/news/2022/jun/news-4278824.html> (Hämtad 2022-06-29)

Volvo Groups webbsida, *Volvo Lastvagnar först i världen med fossilfritt stål*. <https://www.volvogroup.com/se/news-and-media/news/2022/may/news-4272500.html> (Hämtad 2022-07-04)

Volvo Groups webbsida, *Volvokoncernen lanserar världens första fordon tillverkat av fossilfritt stål*. <https://www.volvogroup.com/se/news-and-media/news/2021/oct/news-4088343.html> (Hämtad 2022-06-22)

World Steel Association, 2021. *World steel in figures2021*. <https://worldsteel.org/wp-content/uploads/2021-World-Steel-in-Figures.pdf?x25904>

World Steel Association, 2020. *World steel in figures2020*. <https://worldsteel.org/wp-content/uploads/2020-World-Steel-in-Figures.pdf?x25904>

Bilaga 1. 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 riktlinjer³²⁰ som används vid klimatrappporteringen.

Förbränningsutsläpp

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

Förbränningsutsläppen kan delas upp i *processrelaterade förbränningsutsläpp* och *övriga förbränningsutsläpp* 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 bränslen³²¹ och biobränslen.

Processrelaterade utsläpp

Begreppet processrelaterade utsläpp saknar en allmänt erkänd definition. I Bakgrundspromemorian om Industriklivet³²² 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.

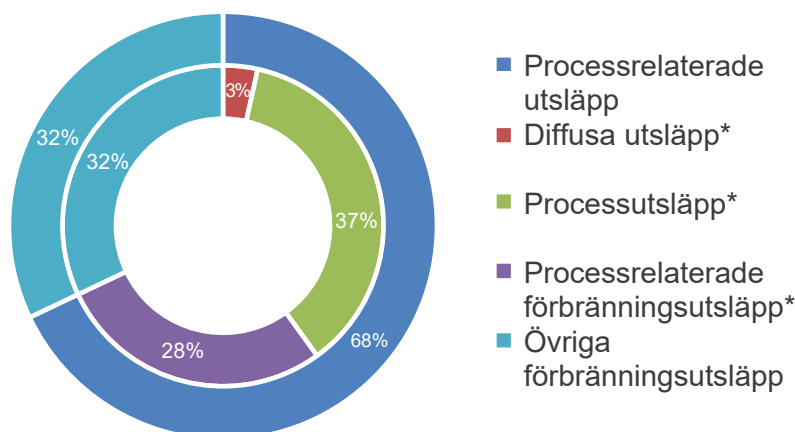
³²⁰ IPCC, 2006.

³²¹ Externa fossila bränslen, dvs. inte restprodukter.

³²² Regeringskansliet, 2017.

2. *Diffusa utsläpp* som uppstår vid hantering och produktion av fossila bränslen, t.ex. 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.³²³
3. *Processrelaterade förbränningsutsläpp* vilka uppstår vid förbränning av restprodukter från fossila råvaror i tillverkningsprocesser. Med en restprodukt avses ett ämne som uppstår i processen när råvaran omvandlas, utöver den avsedda slutprodukten. Om en sådan restprodukt förbränns för energiändamål ger det upphov till processrelaterade förbränningsutsläpp. Råvaran ska vara fossil och får inte enbart användas för energiändamål i processen för att restprodukten ska kunna ge upphov till processrelaterade förbränningsutsläpp.

Figur B1.1. visar hur industrins utsläpp var fördelade mellan processrelaterade utsläpp (och dess underkategorier) samt övriga förbränningsutsläpp under 2020.



Figur B1.1. Fördelningen av industrins totala fossila växthusgasutsläpp på olika utsläppskategorier, 2020, procent (kategorier markerade med * ingår i processrelaterade utsläpp)

Källa: Naturvårdsverket och SCB,³²⁴ bearbetning av Energimyndigheten.

³²³ Diffusa utsläpp som inte ingår i processrelaterade utsläpp är framförallt läckage från rörledningar,

³²⁴ Naturvårdsverket och SCB, 2022. https://www.statistikdatabasen.scb.se/pxweb/sv/ssd/START__MI__MI0107/MI0107IndustriN/

Negativa utsläpp

I utredningen Vägen till en klimatpositiv framtid³²⁵ 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, s.k. 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 mark³²⁶ såsom återvätning av dränerad torvmark, (2) avskiljning, transport och lagring³²⁷ av biogen koldioxid³²⁸ (bio-CCS³²⁹) 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 Industriklivet³³⁰. Dessa åtgärder utgörs av t.ex. av bio-CCS men även direktinfångning, avskiljning och lagring av koldioxid som tagits ut ur atmosfären, även kallat DACCS (Direct Air Carbon Capture and Storage). Vidare kan förbränning av biomassa anses vara utsläppsneutral om den biomassa som förbränns produceras på ett sådant sätt att återväxten medför (minst) nettonoll upptag av koldioxid. Om koldioxiden vid förbränning i stället 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.

³²⁵ SOU 2020:4

³²⁶ Även tillförsel av biokol för långsiktig inlagring av kol med samtidig jordförbättring skulle kunna ingå.

³²⁷ Europaparlamentets och rådets direktiv 2009/31/EG av den 23 april 2009 om geologisk lagring av koldioxid

³²⁸ 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.

³²⁹ Tekniken kallas även BECCS (Bio Energy CCS). Då detta begrepp endast täcker förbränningsutsläpp och inte alla biogena utsläpp (t.ex. vid etanol- och biogasproduktion) används i denna rapport det något bredare begreppet bio-CCS.

³³⁰ Förordning (2017:1319) om statligt stöd till åtgärder för att minska industrins processrelaterade utsläpp av växthusgaser och för negativa utsläpp.

Bilaga 2. Bearbetning och tolkning av statistik

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

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 branschkapiteln.

Förutom branschindeld statistik används även varuindeld 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-/varukategori³³¹ finns i bilaga 3.

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 klimatrapporeringen 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

³³¹ 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.

stålindustri. Se också figuren i slutet av bilaga 3 för mer information om skillnaderna i branschuppdelning.

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

Vad gäller utsläpp av biogen koldioxid har inte den officiella statistiken över territoriella utsläpp fullt ut kunnat användas i denna rapport. Detta då processutsläpp av biogen koldioxid inte redovisas för massa- och pappersindustrin, vilket innebär att de biogena utsläpp som genereras från användningen av avlutar inom papper- och massaindustrin inte inkluderas. Därför har Naturvårdsverkets utsläppsregister använts för beräkning av potentialer för negativa utsläpp. I detta register ingår de verksamheter som är ålagda att rapportera sina utsläpp på anläggningsnivå i enlighet med Förordning (EG) 166/2006³³². 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, t.ex. ton. Inom varje bransch handlas en mängd olika varor av olika värde. Inom t.ex. 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.

³³² 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

Bilaga 3. Bransch-, varu-, och produktindelning

Branschuppdeleningen har gjorts med avsikt att fånga hela kedjan från råvara till slutprodukt. I tabell 1, 2 och 3 beskrivs vilka SNI-koder och SPIN-koder som ingår i respektive bransch, vilka varu- och produktkategorier dessa motsvarar samt CRF-kodernas branschindelning³³³. I slutet av bilagan finns en schematisk bild (Figur B3.1) över hur branschindelningen i CRF och SNI hänger ihop.

Tabell B3.1. Branschuppdelening 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 järnmalmgruvor och ferrolegeringar	05.1, 07.1, 24.1–24.3, 24.51-24.52
Stenkolsgruvor/Kol	05.1
Järnmalmgruvor/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

³³³ 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.

Rapportnamn	SNI/SPIN-kod
Raffinaderier och kemiindustri	06, 19–21
Raffinaderi och baskemi /raffinaderi och baskemikalier	06, 19.1–20.1 ³³⁴
- Raffinaderi	19.2
- Baskemikalier mm	20.1
- Råpetroleum och naturgas	
Bekämpningsmedel mm	20.2
Färg, lack mm	20.3
Rengöringsmedel mm	20.4
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

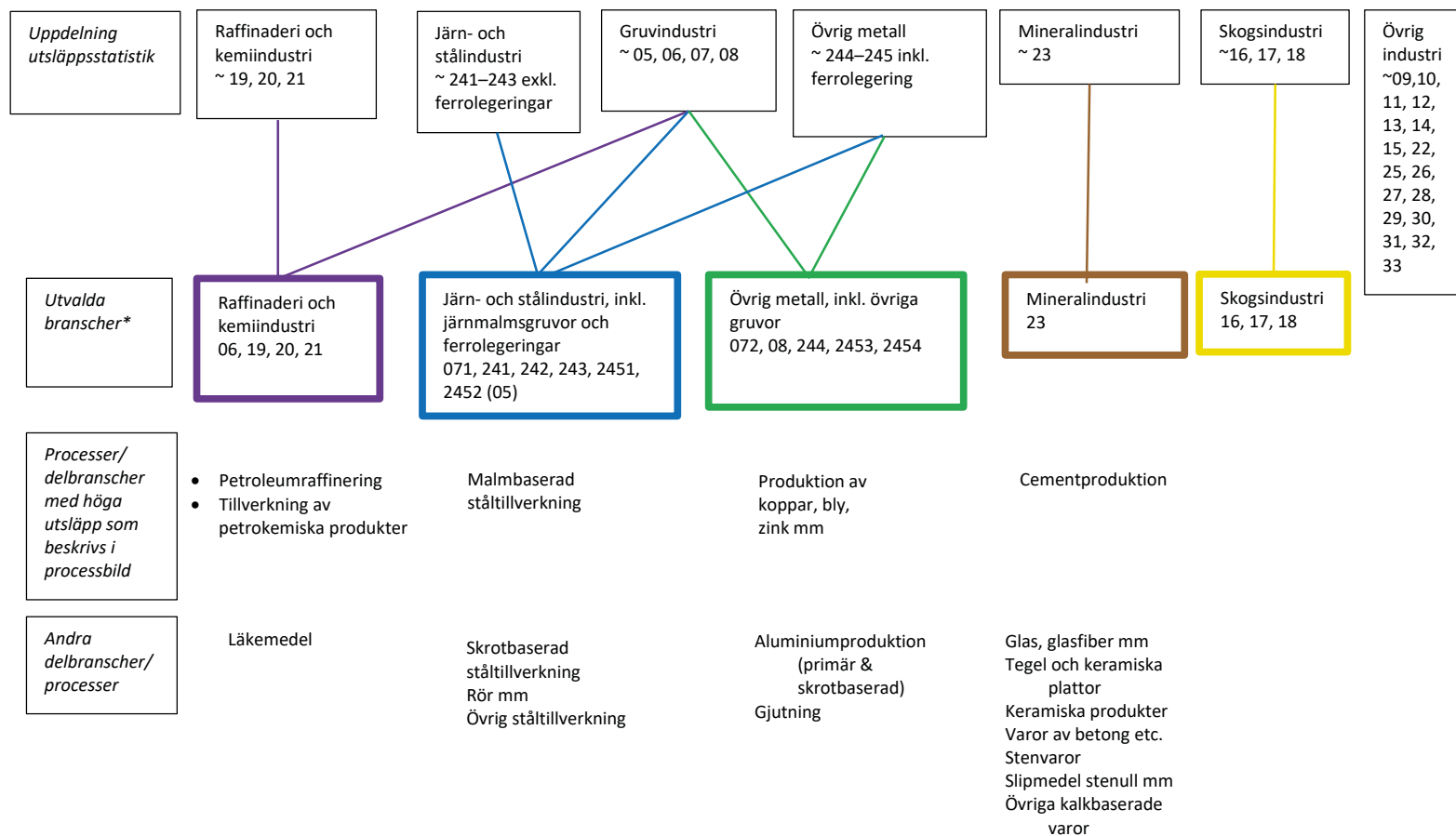
³³⁴ 06 är främst relevant för handel eftersom det inte finns någon produktion av råolja eller naturgas i Sverige utan det importeras.

Tabell B3.2. Varu- och produktkategorier enligt HS/Kn och vilken bransch respektive produktkod antas tillhöra i rapporten. 2-siffrig HS/Kn kallas i rapporten för varukategori och 4-siffrig för produktkategori.

"Bransch"	HS/KN	Rapportnamn
Järn- och stålindustrin	2601, 2701,2704, 2705, 72, 73	
Järn- och stålindustri	2601	Järnmalmsprodukter
Järn- och stålindustri	2701+2704+2705	Kolprodukter
Järn- och stålindustri	72	Järn och stål
Järn- och stålindustri	7210	Platta valsade produkter av järn eller olegerat stål.
Järn- och stålindustri	7219	Platta valsade produkter av rostfritt stål
Järn- och stålindustri	7225	Platta valsade produkter av legerat stål
Järn- och stålindustri	73	Varor av järn och stål
Järn- och stålindustri	7308	Konstruktioner och konstruktionsdelar
Övrig metall	26 (exklusive 2601), 74–76, 78–81	
Övrig metall	2603	Kopparmalm och kopparkoncentrat
Övrig metall	2608	Zinkmalm och -koncentrat
Övrig metall	7403	Raffinerad obearbetad koppar & kopparlegeringar
Övrig metall	7404	Kopparskrot
Övrig metall	7408	Koppartråd
Övrig metall	7601	Obearbetad aluminium
Övrig metall	7606	Plåt och band av aluminium
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 B3.3. 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



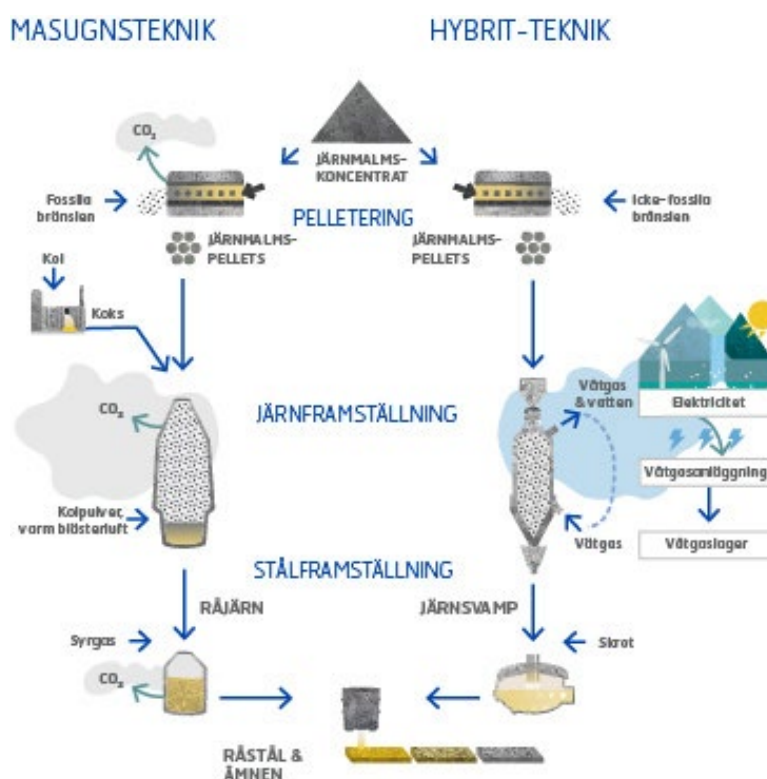
Figur B3.1. Illustration av hur SNI 2007-koder delas upp samt varifrån de utvalda branschernas data kommer. Även branschernas processer och/eller delbranscher med höga utsläpp specificeras i figuren.

Bilaga 4. Innovativa lösningar

I denna bilaga beskrivs de innovativa och nya processerna som utvecklas som ett alternativ till traditionella utsläppsintensiva processer inom industrin.

Vätgasbaserad direktreduktion kan ersätta masugnsprocessen

Reduktion med vätgas går i korta drag ut på att järnmalmspelletts direktreduceras (d.v.s. reduktion sker i fast form i stället 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 järnmalmspelletts till råjärn som visas nedan i figur B4.1. 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. 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, såsom naturgasproducerad vätgas kombinerat med infångning av koldioxiden genom CCS. I figur B4.1 nedan visas en översikt av vätgasreduktionsprocessen som används i det svenska initiativet HYBRIT, (läs mer i avsnitt 3.1.2) samt dess skillnader mot dagens masugnsprocess.



Figur B4.1. 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.

Återvinning av material är ett alternativ för kemi- och raffinaderiindustrin

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.³³⁵

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.³³⁶ Därför går endast den kvalitetsmässigt bästa delen av det insamlade materialet till återvinning i dag, då marknaden efterfrågar den typen av råvara.³³⁷

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 kvalitet), 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.³³⁸

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 användas 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.

³³⁵ Naturvårdsverket, 2021.

³³⁶ 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.

³³⁷ Naturvårdsverket, 2021.

³³⁸ Ibid.

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, för-gasning 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.³³⁹

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 fasta och rörliga kostnader.³⁴⁰ 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, i stället för som nu mot fossila råvaror och förbränning.³⁴¹

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.³⁴²

³³⁹ Naturvårdsverket, 2021.

³⁴⁰ SOU 2018:84.

³⁴¹ Naturvårdsverket, 2021.

³⁴² Ibid.



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