

Industrin – nuläge och förutsättningar för omställning

En nulägesanalys av svensk industris
klimatomställning för år 2024

Energimyndighetens publikationer kan laddas ner
eller beställas via energimyndigheten.se

Statens energimyndighet, november 2024
ER 2024:23
ISSN 1403-1892
ISBN (pdf) 978-91-7993-191-9

Grafisk form: Energimyndigheten (omslag),
Arkitektkopia AB (inläga)

Förord

Svensk industri har länge legat i framkant när det gäller utvecklingen av fossilfria lösningar. Under senare år har stora politiska satsningar i andra länder för att gynna inhemsk industri kraftigt förändrat spelplanen och ökat osäkerheterna för svenska företag. Industrin är en motor i klimatomställningen vilket gör det viktigt att fortsätta skapa bra förutsättningar för företag att ställa om. Den driver även den kraftiga elektrifiering som vi ser i våra långsiktiga scenarier för de kommande 20–25 åren. En övergång till fossilfrihet inom industrin är nödvändigt för att Sverige ska nå sina energi- och klimatmål.

Statligt stöd till forskning och innovation, så som Industriklivet, har en avgörande betydelse för att företag ska kunna ta fram och utveckla nya lösningar eftersom det involverar hög risk. Flera av de tekniska lösningar som aktörerna satsar på börjar nu nå högre mognadsgrad vilket gör att främjande åtgärder är viktiga för att snabba på en teknikspridning. Utöver innovations- och teknikrisker finns även risk att investeringar inte blir av till följd av utmaningar så som till exempel bristande kapacitet i elnätet, konkurrens om bioråvaror och kortsiktiga förändringar av styrmedel. För att investeringar ska komma till stånd krävs ett helhetsgrepp på omställningen och långsiktighet i styrningen då det minskar riskerna för aktörerna och samtidigt gör det möjligt att övervinna framtida utmaningar.

Denna rapport utgör årets redovisning av Energimyndighetens årliga uppdrag från regeringen om att ta fram en sammanställning och analys över nuläge och förutsättningar vad gäller olika industrisektors utsläppsutveckling, potential till utsläppsreduktion och bidrag till negativa utsläpp samt den tekniska utvecklingen inom sektorn. Det är glädjande att se att svenska företag fortsätter att satsa på forskning, utveckling och implementering av fossilfria lösningar trots stora utmaningar. Det är viktigt både för klimatomställningen och för svensk industris konkurrenskraft.

Caroline Asserup
T.f. generaldirektör

Innehåll

Förord	1
Sammanfattande slutsatser	3
Executive summary	8
1 Inledning	13
1.1 Bakgrund	13
1.2 Uppdraget	14
1.3 Avgränsningar	15
1.4 Rapportens upplägg	15
2 Huvudspår för omställning	16
2.1 Energi- och materialeffektivitet	17
2.2 Biomassa	25
2.3 Elektrifiering	28
2.4 Vätgas	31
2.5 Avskiljning, transport och lagring av koldioxid (CCS)	36
2.6 Avskiljning och användning av koldioxid (CCU)	43
3 Insatser för att nå målet om nettonollutsläpp	45
3.1 Insatser för att reducera fossila koldioxidutsläpp	46
3.2 Insatser för att uppnå negativa utsläpp	72
Referenser	79
Bilaga 1. Utsläppsdefinitioner	91
Bilaga 2. Bearbetning och tolkning av statistik	94
Bilaga 3. Bransch-, varu-, och produktindelning	96

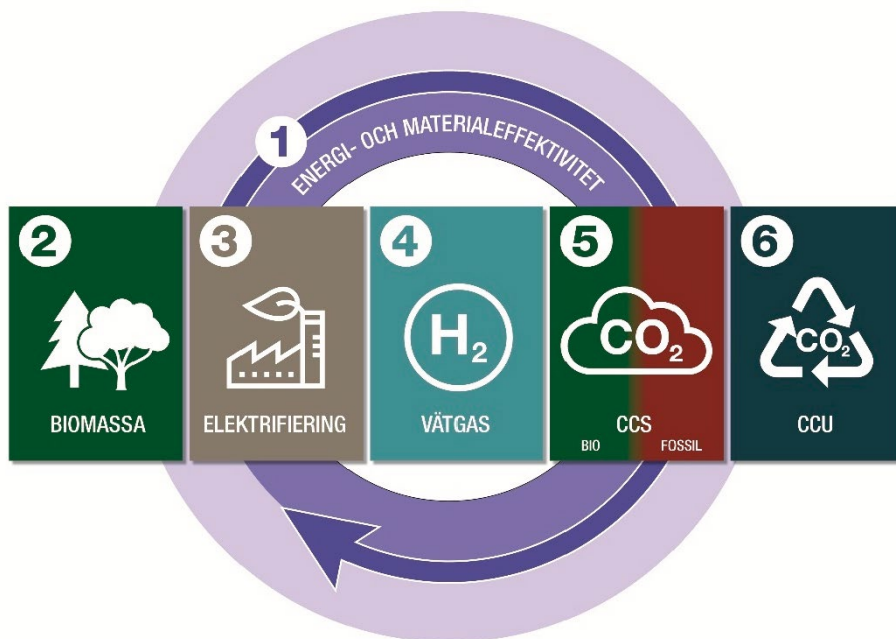
Sammanfattande slutsatser

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 nettonollutsläpp, vilket, förutom forskning och utveckling av nya tekniker, även täcker in frågor kopplade till teknikspridning, systemlösningar och policyutveckling på området. Årets rapport är indelad i två delar där en del (kapitel 2) beskriver industrins huvudspår för omställningen och de tekniska och systemrelaterade utmaningar som finns för att komma hela vägen fram till en storskalig tillämpning av dem. Den andra delen (kapitel 3) beskriver pågående insatser inom industrin för att nå målet om nettonollutsläpp med ett fokus på de mest utsläppsintensiva branscherna.

Industrin satsar på en kombination av olika tekniker och systemlösningar för att ställa om till fossilfritt

Gemensamt för de mest utsläppsintensiva branscherna är att de främst satsar på sex huvudspår för omställning som illustreras i bilden nedan. Dessa illustreras i figuren nedan och utgörs av **energi- och materialeffektivitet**, **biomassa**, **elektrifiering**, **vätgas**, **avskiljning, transport och lagring av koldioxid (CCS)** tillämpat på både fossila och biogena utsläpp (**bio-CCS**), samt **avskiljning och användning av koldioxid (CCU)**.



Figur S1. Huvudspår för omställning för svensk industri.

Källa: Energimyndighetens egen illustration

Medan de fem senare utgörs av nya tekniker och systemlösningar för att ställa om till fossilfrihet kan en ökad energi- och materialeffektivitet bidra till att omställningen nås till en lägre kostnad samt till försörjningstrygghet av material, fossilfri energi och fossilfria insatsråvaror (läs mer om de olika huvudspåren i kapitel 2). En kombination av huvudspår är nödvändigt för att nå klimatmålen. I tabellen nedan illustreras vilka huvudspår som de mest utsläppstunga branscherna satsar på.

Tabell S1. Aktuella huvudspår för omställning för industrins mest utsläppstunga branscher.

	1 ENERGI- OCH MATERIALEFFektivITET	2 BIOMASSA	3 ELEKTRIFIERING	4 VÄTGAS H ₂	5 CCS CO ₂	6 CCU CO ₂
Järn- och stålindustrin	●	●	●	●	●	●
Raffinaderi- och kemiindustrin	●	●	●	●	●	●
Mineralindustrin	●	●	●	●	●	●
Övrig metall	●	●	●	●	●	●

Inom samtliga branscher satsas det på mer än en teknik, vilket kan bidra till att sprida risker och/eller nå tillräckligt stora produktionsvolymmer. Ibland behövs flera tekniker för att ställa om en tillverkningsprocess, så som t.ex. är fallet för svensk cementindustri som satsar på en kombination av CCS, elektrifiering av termiska processer och en övergång till förnybara bränslen för att minska sina utsläpp (läs mer om de utsläppsintensiva branschernas omställning i kapitel 3).

De utsläppsintensiva branscherna fortsätter att satsa på fossilfria lösningar

Inom samtliga av de mest utsläppsintensiva branscherna pågår satsningar för att ställa om till fossilfritt. Industrin är en heterogen sektor där produktionsprocesser och förutsättningar skiljer sig kraftigt åt mellan olika branscher och ibland även mellan aktörer inom samma bransch när det gäller specialprodukter och/eller specifika processer. Utvecklingen har därför nått olika långt i olika branscher.

Järn- och stålindustrin har kommit en bra bit på väg med vätgasbaserad järn- och stålframställning, som är ett av de huvudspår som branschen satsar på. Det finns framskridna planer på två större investeringar i storskaliga anläggningar med förväntad produktionsstart runt 2030. Det pågår även satsningar för att ersätta fossilt kol med biokol vid produktion av järnsvamp. Trots lyckade försök i mindre skala finns ännu ingen kostnadseffektiv lösning för storskalig produktion (läs mer om järn- och stålindustrin omställning i avsnitt 3.1.2.).

Raffinaderi och kemiindustrin satsar på flera tekniska lösningar för att eliminera utsläppen så som en övergång till fossilfri vätgas och förnybara råvaror, elektrobränslen och elektrokemikalier samt kemisk återvinning av plast. En starkare styrning för att fasa ut fossila drivmedel driver på utvecklingen av biodrivmedel och elektrobränslen, speciellt för sjö- och flygsektorn. Även om det finns planer på flera storskaliga anläggningar för produktion av bio- eller elektrobränslen har dock ett par annonserade satsningar nyligen dragits tillbaka till följd av förändrade marknadsförutsättningar. För kemiindustrin ligger fokus på lösningar för att ersätta fossila insatsråvaror med biobaserade eller återvunna råvaror. För att möjliggöra en övergång till biobaserad plast och biobaserade kemikalier krävs dock ytterligare satsning

på FoU, både vad gäller process- och produktutveckling (läs mer om raffinaderi- och kemiindustrins omställning i avsnitt 3.1.3 och insatser för återvinning av plast i avsnitt 3.1.6).

Inom **mineralindustrin** tas fortsatta steg mot bygget av en storskalig anläggning för klimatneutral cementtillverkning som planeras stå klar 2030 och täcka majoriteten av Sveriges cementbehov. I brist på alternativa lösningar för att eliminera de fossila utsläpp som härrör från användning av kalksten i cementtillverkningen planeras en tillämpning av CCS. Det pågår även satsningar för att framställa koldioxidneutral kalk genom elektrifiering och koldioxidavskiljning samt att minska klimatavtrycket av betong genom att ersätta en andel av cementen med andra bindemedel, t.ex. slagg som är en restprodukt från järn- och stålframställningen (läs mer om mineralindustrins omställning i avsnitt 3.1.4).

Övrig metallindustri undersöker lösningar för att kunna ersätta kol och koks i tillverkningsprocesser med mer klimatsmarta alternativ så som biokol, vätgas och svavel. Redan idag 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 och att vissa metaller så som bly behöver reduceras även vid återvinning. Förutom nya tillverkningsprocesser undersöks även möjligheter att övergå från fossilt bränsle till fossilfria alternativ (läs mer om övrig metallindustrins omställning i avsnitt 3.1.5).

Föränderliga spelregler för industrin i omställningen

Senaste årens omvärldshändelser har lett till en kraftigt förändrad spelplan för svensk industri. I länder så som USA, Kina och inom EU har frågan om försörjningstrygghet av nyckeltekniker för omställningen hamnat högt upp på den politiska agendan. Det har lett till en upptrappning av politiska satsningar i form av ansemliga statsstöd och regelförändringar för att gynna inhemsk industri. En minskad tro på frihandel och en ökad protektionism förändrar spelreglerna för svensk industri och skapar osäkerheter kring lönsamheten av investeringar i fossilfria lösningar, vilket kan förhindra att de blir av eller skjuta dem på framtiden.

Den utsläppstunga industrin har långa investeringscykler som ofta sträcker sig över minst 20 år. För att företag ska våga satsa på innovativ teknik och innovativa lösningar som involverar hög risk krävs långsiktighet och tydliga spelregler i form av mål, regelverk och andra styrmedel. Antagandet av nya klimatmål på EU-nivå har inneburit en starkare styrning mot klimatneutralitet som generellt främjar omställningen inom industrin¹, bland annat genom fastställande av nya och förändrade regelverk för att uppnå 2030-målet. Samtidigt skapar otydliga, försenade och ändrade regler – så som lagstiftning som påverkar möjlighet till skeppning av koldioxid och den svenska reduktionsplikten – osäkerheter som kan fördröja, förhindra eller avbryta redan påbörjade investeringar i nya fossilfria lösningar (läs mer om lagstiftning för transport och lagring av koldioxid i avsnitt 2.5.4 och styrmedel på biomassaområdet i avsnitt 2.2.2). En kortsiktig förändring av en policy som endast påverkar en bransch kan signalera osäkerheter kring varaktigheten av policy även i övriga branscher. EU har ännu inte heller fastställt regelverk som sträcker sig bortom 2030 vilket bidrar med osäkerheter på längre sikt. Inte minst då det har skett ett skifte i parlamentet och en ny kommission ska tillträda till följd av årets EU-val.

Senaste årens höga inflationsnivåer och osäkerheter kopplat till den ekonomiska utvecklingen har inneburit sämre förutsättningar för att investera i nya lösningar. Sämre marknadsförutsättningar har bland annat angivits som skäl för avbrutna storskaliga satsningar på tillverkning av hållbara bränslen (se ovan och avsnitt 3.1.3).

¹ Se förra årets rapport (ER 2023:22) för en översikt över policyförändringar på EU-nivå som annonserats innan oktober 2023 och som kan förväntas påverka industrins omställning.

Flera teknikrelaterade utmaningar behöver övervinnas för att ställa om den utsläppstunga industrin

För att en ny teknik eller systemlösning ska nå hela vägen fram till kommersiell tillämpning finns flera olika typer av teknik- eller lösningsrelaterade utmaningar som behöver övervinnas. Flera av dessa utmaningar gäller för varje enskild tillämpning av en teknik eller lösning, även om det kan finnas synergieffekter mellan olika tillämpningar av samma huvudspår.

Utmaningar kopplade till teknikutveckling

Framtagandet av en ny teknik eller lösning involverar både tekniska och ekonomiska osäkerheter. Utmaningar med att utveckla och skala upp tillämpningar av ett och samma huvudspår kan skilja sig åt både mellan och inom branscher till följd av produkt- och/eller processspecifika skillnader. Som exempel behövs fortsatt forskning och utveckling (FoU) 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 2.2 och branschspecifika utmaningar i avsnitt 3.1).

Utmaningar kopplat till teknikspridning

När en teknik eller lösning nått högre mognadsgrad finns även utmaningar med att få till en spridning av den. Till följd av skalfördelar och kunskapsspridning sjunker kostnaderna för en teknik när det första anläggningarna har tagits i drift. Att påskynda teknikspridning kan därmed göra att nya tekniker snabbare blir konkurrenskraftiga jämfört med deras fossila alternativ. Det finns dock risker och osäkerheter som kan fördröja en sådan utveckling. Ett exempel är elektrolysbaserad vätgasframställning vars produktion fortfarande är dyrare än vätgas via ångreforming av naturgas och där stora insatser nu görs på EU-nivå för att främja framväxandet av en marknad för förnybar vätgas (läs mer om vätgas i avsnitt 2.4).

Utmaningar kopplat till systemlösningar

För att en ny teknik eller lösning ska kunna skalas upp och spridas krävs att det finns en fungerande värdekedja på plats för den nya tekniken eller lösningen. Exempelvis utgör olösta systemfrågor, så som hur juridiska och acceptansmässiga hinder kan övervinnas, barriärer för en spridning av CCS/bio-CCS medan en storskalig fossilfri vätgasproduktion förutsätter att hela försörjningskedjan för råmaterial och komponenter till elektrolysörer behöver byggas ut i snabb takt (läs mer om CCS/bio-CCS i avsnitt 2.6 och vätgas i avsnitt 2.4).

Samtliga av de tekniska huvudspår som svensk industri satsar på förutsätter god tillgång på biomassa och fossilfri el. Det innebär att 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 i avsnitt 2.2 och 2.3). Flera av de nya teknikerna är även beroende av en tillgång på kritiska råmaterial såsom jordartsmetaller, litium och bauxit (läs mer om varför dessa råmaterial anses vara kritiska i avsnitt 2.1).

Utmaningar kopplat till policyutveckling

För att företag ska våga satsa på en ny teknik eller lösning behöver det finnas tydlig styrning (inklusive styrmedel) som främjar en ändamålsenlig tillämpning. Ett exempel är den rådande osäkerheten kring bedömning av klimatnyttan av olika tillämpningar av CCU-tekniken. Sen 2023 finns det i förnybartdirektivet regler för att bedöma under vilka förutsättningar som elektrobränslen anses vara förnybara. För övriga produkter framställda via CCU saknas ännu tydliga riktlinjer (läs mer om CCU i avsnitt 2.6).

Skillnader i förutsättningar och utmaningar för att ställa om spänner över flera dimensioner

Baserat på ovan slutsatser går det att konstatera att förutsättningar och utmaningar för ett industriföretag att ställa om spänner över flertalet dimensioner:

- bransch (och ibland även aktör)
- teknik (och ibland även tillämpning)
- tillgång till infrastruktur
- tillgång till eleffekt och bioråvaror
- tillgång till kritiska råmaterial
- styrning (mål och styrmedel, både generell och specifik för bransch och/eller teknik)
- konkurrenssituationen (nationellt och internationellt) inklusive styrning i andra länder
- det ekonomiska läget (och förväntad utveckling)

Utöver ovan finns ytterligare dimensioner som inte berörs närmre i rapporten så som:

- huruvida satsningen avser omställning av befintlig produktion eller ny produktion.
Exempelvis behöver ett företag med befintlig produktion ta hänsyn till redan gjorda investeringar medan en satsning på ny produktion kan ha större flexibilitet när det gäller val av lokalisering men kan möta utmaningar kopplat till att slå sig in på en ny marknad.
- kompetensförsörjning
- miljö- och koncessionstillstånd där långa och/eller oförutsägbara processer kan fördröja eller förhindra investeringar

Sammanfattningsvis är det en komplex och ständigt föränderlig verklighet som en heterogen grupp av aktörer som eftersträvar långsiktighet behöver navigera för att lyckas ta satsningar på fossilfri produktion hela vägen från plan till verklighet.

Executive summary

Sweden has set a target to reach net zero emissions of greenhouse gases (GHGs) to the atmosphere by 2045, and thereafter achieve negative emissions. The target requires an emission reduction of 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 are closely interlinked with current manufacturing processes, which implies that innovation is necessary to decrease them.

This report presents 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 industry's main transition pathways and the key challenges to the large-scale implementation of them. The second part (Chapter 3) describes ongoing initiatives within industry that are contributing to achieving the net zero target.

Swedish industry focusses on a combination of different technologies and system solutions to transition to climate neutrality

A common denominator among the hard-to-abate industries in Sweden is the focus on six pathways to transition. These are illustrated in the figure below and include **energy- and material efficiency**, **hydrogen**, **biomass**, **electrification**, **carbon capture**, **transport and storage (CCS)** applied to both fossil and biogenic emissions (**bio-CCS**), and **carbon capture and utilisation (CCU)**.

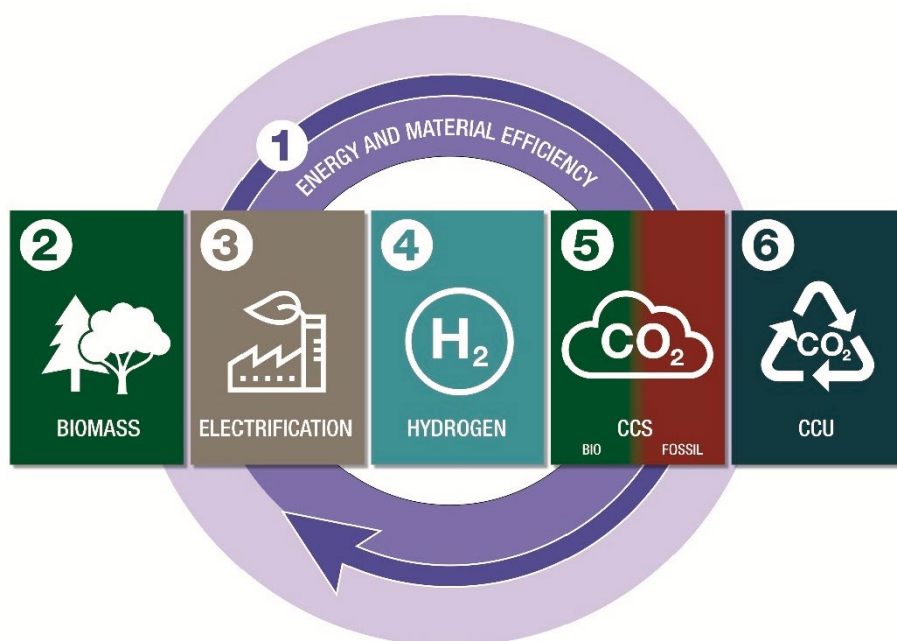


Figure S2. Main transition pathways for Swedish industry.

Source: Swedish Energy Agency's own illustration

While the five latter are technologies or system solutions to transition to climate neutrality, an increased energy- and material efficiency may contribute to lowering the cost for the climate transition as well as securing the supply of critical materials and fossil-free energy. The table below illustrates which transition pathways hard-to-abate industries are investing in.

Table S2. Main transition pathways for the hard-to-abate sectors within industry.

	1 ENERGI- OCH MATERIALEFFEKTIVITET	2 BIOMASSA	3 ELEKTRIFIERING	4 VÄTGAS	5 CCS	6 CCU
Iron and steel industry	●	●	●	●	●	●
Refinery and chemical industry	●	●	●	●	●	●
Mineral industry	●	●	●	●	●	●
Other metals	●	●	●	●	●	●

All subsectors are exploring more than one technology pathway, which may contribute to spreading risks as well achieving sufficiently large production volumes. Sometimes several technologies are needed to convert one production process into climate neutral. For example, to reduce its emissions the Swedish cement industry is investing in a combination of CCS, an electrification of thermal processes and a transition to renewable fuels.

Hard-to-abate industries continue to invest in fossil free solutions

Within all hard-to-abate industries there are ongoing initiatives to transition to fossil-free solutions. Swedish industry is a heterogeneous sector where production processes and conditions differ widely between subsectors and sometimes even between actors within the same subsector. The development has therefore reached different stages in different subsectors.

The iron and steel industry is advanced with hydrogen-based iron and steel production, which is one of the pathways on which the industry is focusing. There are far advanced plans for two substantial investments in large-scale plants with expected production start around 2030. There are also ongoing initiatives to replace fossil coal with biochar in the production of sponge iron. Despite successful small-scale trials, there is not yet a cost-effective solution for large-scale production.

The **refinery and chemical industry** focusses on several technical solutions to minimize emissions, such as fossil-free hydrogen, renewable raw materials, e-fuels and e-chemicals, and chemical recycling of plastics. Stricter policies to phase out fossil fuels is spurring the development of biofuels and electrofuels, especially for the maritime and aviation sectors. Several companies have advanced plans for large-scale production plants for biofuels or electrofuels. However, a few announced initiatives were recently withdrawn due to changing market conditions. The chemical industry focusses on solutions to replace fossil raw materials with bio-based or recycled materials. Enabling a transition to bio-based plastics and chemicals requires further investment in R&D, with regards to both process and product development.

Within **the minerals industry**, additional steps are being taken towards construction of a large-scale plant for climate-neutral cement production. The plant is scheduled for completion in 2030 and will cover the majority of Sweden's cement demand. In the absence of alternative

solutions to eliminate GHG emissions resulting from the use of limestone in cement production, the plan is to deploy CCS. There are also ongoing initiatives to produce carbon-neutral lime through electrification and carbon capture, and to reduce the carbon footprint of concrete by replacing part of the cement with other binders, such as slag – a residue from iron and steel production.

The subsector that encompasses all **other metals** than steel is exploring solutions to replace coal and coke in manufacturing processes with more climate-friendly alternatives such as biochar, hydrogen and sulphur. Recycling levels are already high within the subsector; however, recycling processes also face challenges to reduce emissions, among other things due to difficulties in separating plastics from metals in electronic waste and that some metals, such as lead, need to go through the emission intensive reduction step even when recycled. In addition to new production processes, opportunities to switch from fossil fuels to climate neutral alternatives are also explored.

Industry faces changing ‘rules of play’ in the transition

Global events in recent years have dramatically altered the playing field for Swedish industry. In countries such as the United States, China and the EU, the security of supply of key technologies for the transition is now a top priority on the political agenda. This has resulted in an escalation of political initiatives in the form of substantial State aid and regulatory changes benefitting the domestic industry. The declining faith in free trade and heightened protectionism is changing the ‘rules of play’ for Swedish industry and increases uncertainty regarding profitability of investments in climate neutral solutions. This may subsequently prevent investments from happening or postpone them.

The hard-to-abate industries have long investment cycles that often extend over at least 20 years. Long-term stability and transparent rules in the form of targets, regulations and other policies are needed for companies to dare to invest in innovative technologies and solutions that involve high risk. The EU's adoption of new climate targets has resulted in a stronger governance towards climate neutrality that generally favours industry's transition², not least through the implementation of new and amended regulations to achieve the 2030 target. At the same time, unclear, delayed and changing rules – such as legislation affecting the possibility to transport carbon dioxide and the Swedish reduction obligation – create uncertainties that can delay or prevent investments in climate neutral solutions. A short-term policy change that affects only one subsector may signal uncertainties about the permanency of policies also in other subsectors. The EU has not yet adopted an emission reduction framework that extends beyond 2030, which adds to the uncertainty in the longer term. Especially considering the recent change in Parliament and upcoming new Commission following this year's EU elections.

Recent years' high inflation rates and uncertainties regarding the economic development have provided unfavourable conditions for investing in innovative technology and solutions. Unfavourable market conditions have been cited as one of the main reasons for cancelling large-scale investments in production plants for sustainable fuels (see above).

Several technology-related challenges to overcome in the transition

For a new technology or system solution to make it all the way to commercial deployment, the hard-to-abate industry must overcome several different types of technology or solution-

² See last year's report (ER 2023:22) for an overview of policy changes at EU level announced before October 2023 that can be expected to affect industry's transition.

related challenges. Many of them apply to each individual application of a technology or solution, although synergies may exist between different applications of the same technology or solution.

Challenges linked to technology deployment

Development of a new technology or solution involves both technical and economic uncertainties. Challenges in developing and scaling up different applications of the same technology or solution may differ both between and within subsectors due to product and/or process specific differences. For example, further research and development (R&D) is needed to convert biomass into products with the right properties and quality to replace the different fossil-based alternatives. Biomass is explored as an alternative within the steel, lead and copper manufacturing, refinery- and chemical industries.

Challenges linked to technology diffusion

Challenges related to diffusion arise once a technology or system solution reaches a higher level of maturity. The cost of a technology drops once the first facilities are operational due to economies of scale and knowledge spillovers. Accelerating the speed of technology deployment can thus advance the timing of when new technologies become competitive compared to their fossil alternatives. Such developments could, however, be delayed due to risks and uncertainties. One example is electrolysis-based hydrogen production, which is still more expensive than hydrogen production from natural gas, which is why the EU now is carrying out large initiatives to promote the development of a market for renewable hydrogen.

Challenges linked to system solutions

For a new technology or solution to be scaled up and diffused, it requires the existence of a functioning value chain for that specific technology or solution. For example, unresolved system issues, such as how to overcome legal and acceptance barriers, prevents diffusion of CCS/bio-CCS technologies, while large-scale fossil-free hydrogen production requires a rapid expansion of the entire supply chain of raw materials and components for electrolyzers.

All technologies and solutions that Swedish industry focusses on require good access to biomass and fossil-free electricity. This means that all existing barriers and challenges to enable an extensive electrification and meet the demand for biomass also constitute barriers to the transition. Several of the new technologies also rely on an availability of critical raw materials such as rare-earth metals, lithium and bauxite.

Challenges linked to policy development

For companies to be willing to take on risk associated with an investment in a new technology or solution, it requires clear governance (including policies) that promotes applications aligned with the climate objective. One example is the uncertainty surrounding the assessment of climate benefits of different applications of CCU. Since 2023, the EU Renewable Energy Directive includes rules for assessing the conditions under which electrofuels are considered renewable. For other products produced via CCU, clear guidelines are not yet available.

Swedish industry faces more challenges in their transition than are covered in this report. For example, issues related to skills supply or lengthy and/or unpredictable environmental permit processes, that are both important pieces of the transition puzzle, are not addressed.

Differences in conditions and challenges to transition span several dimensions

Based on above, it can be concluded that the conditions and challenges for the industry to transition to climate neutrality span several dimensions:

- subsector (and sometimes even actor)
- technology (and sometimes even application)
- access to infrastructure
- access to electric effect and biomass
- access to critical raw materials
- governance (objectives and policies, both general and subsector and/or technology specific)
- the competition situation (nationally and internationally) including governance in other countries
- the economic situation (and expected development)

Besides the above, there are additional dimensions not discussed in detail in this report, such as:

- whether the initiative regards a transition of existing production or new production. For example, a company with existing production needs to consider investments already made while an initiative for new production may imply flexibility regarding choice of location but might face challenges linked to breaking into a new market.
- skills supply
- environmental and concession permits where prolonged and/or unpredictable processes might postpone or prevent investments

Conclusively, it is a complex and ever-changing reality that a heterogenous group of actors, who request long term and stable conditions, must navigate to take investments in climate neutral production all the way from plan to reality.

1 Inledning

1.1 Bakgrund

Svensk industris omställning till fossilfritt är en förutsättning för att nå det svenska klimatmålet om nettonollutsläpp till 2045³ samt EU:s klimatmål. I dagsläget står industrin⁴ för nästan en tredjedel av Sveriges totala fossila växthusgasutsläpp.^{5,6} Majoriteten av kvarvarande utsläpp inom industrin är tätt förknippade med produktionsprocesser och insatsråvaror, vilka kräver innovativ teknik och innovativa lösningar för att ställa om. Innovation är dock förknippat med stora risker, inte minst när det gäller teknikutveckling. Att ta en ny teknik eller lösning från forskningsstadiet och hela vägen till fullskalig anläggning involverar ofta långa tidshorisonter och flertalet försök med mer eller mindre lyckade resultat. Förutom teknikutveckling finns även stora osäkerheter såsom högre kostnader för nya processer, osäkerhet kring råvarutillgång och marknaden för de nya produkterna. Industrins omställning är även högst sammankopplad med energisystemets omställning då nya industriella satsningar förutsätter tillgång till fossilfri energi och nödvändig infrastruktur samtidigt som industrin har potential att bidra med flexibilitetsåtgärder för att balansera effektuttag av el. Den utsläppstunga processindustrin har långa investeringscykler som ofta sträcker sig över minst 20 år. För att företag ska våga satsa på innovativ teknik och innovativa lösningar som involverar hög risk krävs därför politisk långsiktighet och tydliga spelregler för att minska osäkerheter, både nationellt och på EU-nivå.

Under senaste åren har EU:s styrning på klimat- och energiområdet blivit allt starkare, dels som en följd av att unionens klimatmål stramades upp i en ny klimatlag från 2020, dels som ett svar på omvärldshändelser. I den nya klimatlagen åtar sig medlemsstaterna att uppnå klimatneutralitet till 2050 samt att minska utsläppen med minst 55 procent till 2030, jämfört med 1990 års nivåer. Den tillträdande EU-kommissionen står även inför uppgiften att ta fram ett lagförslag på delmål för 2040.⁷ För att nå 2030-målet har det varit nödvändigt att omarbete flera rättsakter på energi- och klimatområdet samt upprätta nya kompletterande regelverk, vilket har gjorts inom det så kallade *fit for 55-paketet*. För industrins del innebär det betydligt starkare styrning på flera olika fronter. En av de viktigaste förändringarna för utsläppstung industri är ambitionshöjningen inom EU:s utsläppsrättshandelssystem (EU ETS) i kombination med införslan av en ny gränsjusteringsmekanism (CBAM) som gradvis kommer att göra det dyrare att släppa ut växthusgaser. EU-kommissionen antog i början av 2024 även en strategi för industriell koldioxidhantering i EU⁸ som syftar till att främja tillämpningar av tekniker för koldioxidavskiljning och lagring (CCS) och användning (CCU) som bidrar till att

³ Nettonollmålet innebär att Sverige senast 2045 inte ska ha några nettoutsläpp av växthusgaser till atmosfären för att därefter uppnå negativa utsläpp.

⁴ ”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.

⁵ I de totala utsläppen ingår inte LULUCF (markanvändning, förändrad markanvändning och skogsbruk) eller utrikes transporter.

⁶ Naturvårdsverket och SCB, 2024. https://www.statistikdatabasen.scb.se/pxweb/sv/ssd/START__MI__MI0107/MI0107Industrin/

⁷ EU-kommissionen har lagt fram förslag om att utsläppen ska minska med 90 procent jämfört med 1990 års nivåer.

⁸ EU-kommissionens meddelande, 2024, *Towards an ambitious Industrial Carbon Management for the EU*, COM/2024/62 final. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=COM:2024:62:FIN>

uppnå klimatmålen genom att bl.a. skapa ett ramverk och främja transnationella samarbeten och infrastruktur.

Samtidigt har covid 19-pandemin och Rysslands anfallskrig i Ukraina skiftat den geopolitiska spelplanen genom att synliggöra behovet av försörjningstrygghet av energi och värdekedjor för samhällsviktiga varor. I resursstarka länder såsom USA, Kina och EU-länderna har försörjningstrygghet av nyckeltekniker för omställningen blivit en viktig politisk prioritering. Stora upprustningar har påbörjats för att främja inhemsk produktion av nyckeltekniker, många gånger i form av ansevärda statsstöd. EU har även antagit två nya regelverk – rättsakten om nettonollindustrin (NZIA)⁹ och rättsakten om kritiska råmaterial (CRMA)¹⁰ – som syftar till att stärka EU:s ställning inom industrier och sektorer som bedöms vara särskilt viktiga i energi- och klimatomställningen. En konkurrenskraftig fossilfri industri fortsätter att vara en viktig fråga även för den tillträdande EU-kommissionen. En av ordförande von der Leyens politiska prioriteringarna för den nya mandatperioden är en ny plan för *Europas hållbara välstånd och konkurrenskraft*¹¹ vilket omfattar att ta fram förslag på en ny rättsakt – en ren industriell giv – med syfte att påskynda utfasningen av fossila bränslen inom industrin samt en ”turboladdning av investeringar” genom bl.a. en ny europeisk konkurrenskraftsfond samt riskabsorberande åtgärder för att förenkla för banker och investerare att finansiera snabbväxande företag och innovation.

Mitt i alla dessa stora samhällsförändringar och osäkerheter har svensk industri påbörjat en resa mot nettonollutsläpp. Trots stora utmaningar har svensk industri goda förutsättningar för att nå målet, så som Sveriges fördelaktiga innovationsklimat, goda förutsättningar för att producera fossilfri el och god tillgång till biomassa. Många pusselbitar behöver fortfarande falla på plats men under rätt förhållanden kan omställningen till fossilfritt inte bara bli ett verktyg för att nå klimatmålen utan även för att stärka svensk industris konkurrenskraft.

1.2 Uppdraget

Enligt regleringsbrevet för budgetåret 2024¹² ska Energimyndigheten årligen göra en sammanställning och analys över nuläget och förutsättningar vad gäller olika industrisektorsers utsläppsutveckling, deras respektive potential till utsläppsreduktion och bidrag till negativa utsläpp samt den tekniska utvecklingen inom industrin. Sammanställningen ska redovisas till Regeringskansliet (Klimat- och näringsdepartementet) senast den 31 oktober 2024.

⁹ Förordningen om inrättande av en åtgärdsram för att stärka Europas ekosystem för tillverkning av nettonollteknik (rättsakten om nettonollindustrin) (EU) 2018/1724. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A32024R1735>

¹⁰ Förordningen om inrättande av en ram för säkerställande av trygg och hållbar försörjning av kritiska råmaterial (akten om kritiska råmaterial) (EU) 2024/1252. <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2024/1252/oj>

¹¹ Von der Leyen, U., 2024. *Political guidelines for the next European Commission 2024–2029*. https://commission.europa.eu/document/e6cd4328-673c-4e7a-8683-f63ffb2cf648_en

¹² Regleringsbrev för budgetåret 2024 avseende Statens energimyndighet (KN2023/04611 KN2023/04580(delvis) KN2023/02473), kapitel 3, uppdragspunkt 11.

1.3 Avgränsningar

Denna nulägesanalys 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 metallindustri. I rapporten lyfts även exempel från andra sektorer. Vad gäller negativa utsläpp är fokus främst på branscher med stora biogena utsläpp och stora punktkällor, dvs. massa- och pappersindustrin. Då teknikutvecklingen för att uppnå negativa utsläpp kommit längst i el- och värmesektorn inkluderas även exempel från denna sektor.

I rapporten beskrivs utmaningar och förutsättningar för de olika huvudspåren för omställning. För att begränsa rapportens omfång har inte samtliga utmaningar och förutsättningar för industrins omställning kunnat behandlas. Exempelvis har det inte funnits utrymme att beskriva utmaningar kopplade till kompetensförsörjning eller långa och/eller oförutsägbara miljötillståndprocesser.

1.4 Rapportens upplägg

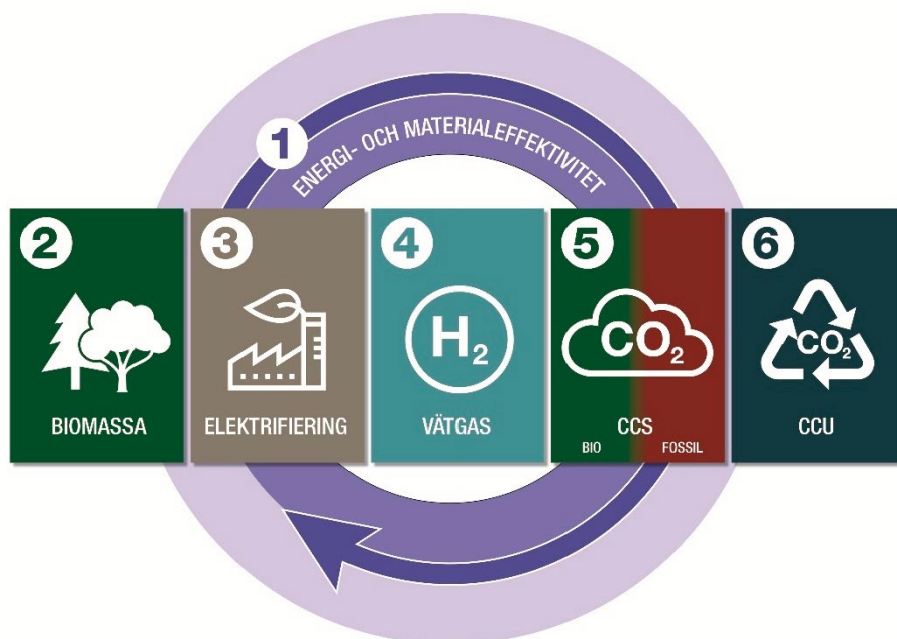
Rapporten är indelad i två delar, där den första utgörs av kapitel 2 som beskriver de huvudsakliga omställningsspåren som industrin satsar på för att nå nettonollutsläpp. De huvudsakliga omställningsspåren utgörs av tekniskspåren biomassa, elektrifiering, vätgas samt avskiljning, transport och lagring av koldioxid (CCS/bio-CCS) och avskiljning och användning av koldioxid (CCU). De omfattar även energi- och materialeffektivitet som är ett övergripande komplement till de tekniska huvudspåren. För respektive huvudspår diskuteras branschövergripande utmaningar för tillämpning samt förutsättningar som påverkar utvecklingen för respektive huvudspår kopplat till teknikutveckling, teknikspridning, systemlösningar och policy.

I kapitel 3 återfinns den andra delen av rapporten som presenterar aktuella insatser inom industrin för att uppnå målet om nettonollutsläpp. Fokus ligger på de branscher i Sverige som har stora fossila utsläpp och deras arbete med att reducera utsläppen för att nå nettonollutsläpp. Närmare bestämt omfattas järn- och stålindustrin inklusive järnmalmsgruvor, mineralindustrin, raffinaderier och kemiindustrin (som beskrivs samlat eftersom de har flera gemensamma processer och utmaningar) samt övrig metallindustri inklusive övriga gruvor. 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 och avslutas med ett branschövergripande avsnitt som presenterar insatser för en ökad energi- och materialeffektivitet. I avsnitt 3.2 beskrivs potentialen för negativa utsläpp i Sverige och en sammanställning av pågående bio-CCS projekt inom industrin och el- och fjärrvärmesektorn 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 branschindelningen gjorts.

2 Huvudspår för omställning

För att Sverige ska nå klimatmålen måste industrin ställa om till fossilfrihet, vilket ofta kräver ny teknik och nya lösningar. Hittills har den svenska utsläppstunga industrin i huvudsak satsat på sex olika huvudspår för omställning. Med huvudspår avses nya tekniker och systemlösningar som identifierats som avgörande för en övergång till fossilfritt. Dessa illustreras nedan i figur 2.



Figur 2. Huvudspår för omställningen för svensk industri.

Källa: Energimyndighetens egen illustration.

För att möjliggöra tillämpning och skapa utrymme för omställningen krävs en ökad **energi- och materialeffektivisering** av industriella processer. Förutom att det kan leda till att omställningen nås till en lägre kostnad¹³ kan det bidra till försörjningstrygghet av kritiska material och fossilfri energi genom att ta mindre resurser i anspråk. Det utgör därmed ett övergripande huvudspår och ett nödvändigt komplement till de övriga.

Övriga fem huvudspår utgörs av nya tekniker och systemlösningar för att minska de fossila växthusgasutsläppen. Dessa tekniska huvudspår (teknikspår) 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 industribranscher som är tätt sammankopplade med användning av fossil energi och fossila råvaror. En tillämpning behöver dock ofta anpassas till produktspecifika förutsättningar och kan därför skilja sig mellan branscher.

¹³ Material Economics, 2020. *Preserving value in EU industrial materials – A value perspective on the use of steel, plastics and aluminium*. <https://materialeconomics.com/node/15>

De huvudsakliga teknikspåren som industrin satsar på utgörs av:

- **biomassa,**
- **elektrifiering,**
- **vätgas,**
- **avskiljning, transport och lagring av koldioxid (carbon capture and storage, CCS)** där
 - CCS avser tillämpning på koldioxidströmmar av biogent och/eller fossilt ursprung, där fossil tillämpning är ett sistahandsalternativ för att nå nollutsläpp,
 - **bio-CCS**¹⁴ 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 motsvarande teknik som CCS och bio-CCS, men där kolatomerna, 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 risker eller nå tillräckligt stora produktionsvolym. Samtliga teknikspår har den gemensamma nämnaren att de är beroende av fossilfria energibärare och/eller insatsråvaror. 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 val av teknikspår.

I detta kapitel beskrivs huvudspåren för omställning och branschöverskridande förutsättningar och utmaningar för tillämpning av dem. Sammanfattningsvis kan dessa utmaningar delas in i utmaningar kopplade till *teknikutveckling*, att få till en *teknikspridning* när tekniken nått tillräckligt hög mognadsgrad och att ta fram *systemlösningar* som möjliggör att hela värdekedjan för tekniken kommer på plats. *Styrning* i form av mål, styrmedel och åtgärder på nationell och EU-nivå spelar en avgörande roll för att främja goda förutsättningar för teknikutveckling, teknikspridning och för att åstadkomma systemlösningar. I förra årets rapport¹⁵ fanns ett fokuskapitel med en kartläggning av policyförändringar på EU-nivå som förväntades påverka industrins omställning mer generellt samt tillämpning av respektive huvudspår för omställning. I år lyfts relevant policy i mer begränsad utsträckning i avsnitten nedan.

2.1 Energi- och materialeffektivitet

Att industrins omställning sker så resurseffektivt som möjligt med avseende på både energi- och material bidrar till att möjliggöra klimatomställningen. Genom att minska utsläppen längs med värdekedjan av en industriprodukt, bidrar till en ökad energi- och materialeffektivitet inte bara till industrins egen omställning utan även till omställningen i andra sektorer i samhället.

¹⁴ Ibland även kallad BECCS (Bio Energy Carbon Capture and Storage).

¹⁵ Energimyndigheten, 2023. *Industrin – nuläge och förutsättningar för omställning*. ER 2023:22. <https://energimyndigheten.a-w2m.se/System/TemplateView.aspx?p=Arkitektkopia&id=11bdec99e-8047d1a28a11f93452d19e&q=2023%3A22&lstqty=1>

2.1.1 Materialeffektivitet

I EU:s klimatvetenskapliga råds lägesrapport för 2024 lyfts en ökad materialeffektivitet inom industrin fram som en viktig faktor för att EU ska kunna nå målet om klimatneutralitet till 2050.¹⁶ Det utpekas som ett område inom vilket det fortfarande finns stor potential till minskade växthusgasutsläpp och där avsaknaden av heltäckande policy ger utrymme för en starkare styrning. Enligt IPPC:s senaste klimatrappport är materialeffektivitet även nödvändig för att industrin ska lyckas nå målet om nettonollutsläpp i ett globalt perspektiv.¹⁷ Materialeffektivitet innebär en begränsning i användning av materialresurser och därmed utvinning av jungfruliga material, vilket i sin tur leder till minskade fossila koldioxidutsläpp. Utsläpp relaterade till materialanvändning står för mer än en fjärdedel av de totala utsläppen från den globala industrin och energiproduktionen. Genom att applicera cirkulära ekonomiska strategier inom industrin finns potential att uppnå stora utsläppsminskningar.^{18,19}

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

- en **mer klimatsmart design** av produkten med avseende på materialval (återvunnet, lättviktsmaterial m.m.) och hållbarhet (ökad livslängd, reparationsmöjligheter m.m.),
- en **mer intensiv användning** av produkten, vilket innebär fler användare per produkt, bättre underhåll och digital övervakning så att delar av produkten kan renoveras eller 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 på nytt (genom t.ex. återtillverkning) kan brytas 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 eller att teknik/ekonomiska incitament för återvinning saknas, såsom svårseparerad plast i elektronikavfall.^{20,21}

En aktörs insats för materialeffektivisering i en del 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.

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

¹⁶ EU:s klimatvetenskapliga råd, 2024. *Towards EU climate neutrality*. https://climate-advisory-board.europa.eu/reports-and-publications/towards-eu-climate-neutrality-progress-policy-gaps-and-opportunities/esabcc_report_towards-eu-climate-neutrality.pdf/@/download/file

¹⁷ Bashmakov m.fl., 2022. In IPCC 2022: *Climate Change 2022, chapter 11 Industry*. https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg3/downloads/report/IPCC_AR6_WGIII_Chapter11.pdf

¹⁸ McArthur foundation och Material Economics, 2019. *Completing the Picture – How the Circular Economy Tackles Climate Change*. <https://ellenmacarthurfoundation.org/completing-the-picture>

¹⁹ Naturvårdsverket, 2019. *Fördjupad analys av den svenska klimatomställningen – Industrin i fokus*, Rapport 6911. <http://naturvardsverket.diva-portal.org/smash/get/diva2:1450282/FULLTEXT01.pdf>

²⁰ Hertwich m.fl., 2019. *Material efficiency strategies to reducing greenhouse gas emissions associated with buildings, vehicles, and electronics – a review*. <https://www.scholars.northwestern.edu/en/publications/material-efficiency-strategies-to-reducing-greenhouse-gas-emissio>

²¹ RE:Sources webbplats, *Materialhjulet*. <https://resource-sip.se/materialhjulet/> (Hämtad 2024-10-02)

värdeförluster som motsvarar 42 miljarder kronor per år.²² Genom att göra förändringar längs hela värdekedjan uppskattas att 11 miljarder av förlusterna skulle kunna återtä. Utan systemförändringar beräknas användandet av dessa material år 2040 ge upphov till 13 miljoner ton koldioxidutsläpp årligen. Med ett mer cirkulärt materielsystem skulle materialens samlade utsläpp minska med 4 miljoner ton, d.v.s. 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 mot mer cirkulära lösningar.²³ Materialeffektiviseringsåtgärder behöver göras längs hela värdekedjan av en produkts livscykel och involverar många aktörer, vilket kan göra det svårt att uppskatta både potentialen för utsläppsminskningar och kostnaderna.²⁴ För att insatser ska komma på plats finns därför ett behov av koordinering av åtgärder över en produkts värdekedja.²⁵ 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 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 plast²⁶ och byggnadsmaterial,²⁷ vilket förhindrar att en marknad för återvunnen råvara naturligt växer fram. Vidare finns utmaningar att kunna avgöra kvaliteten och tillsatserna i material som ska återvinnas, t.ex. produceras plast i olika kvaliteter och kan innehålla olika tillsatssämnen.²⁸ Det finns även behov av förändrade och/eller nya regelverk för att främja materialeffektivitet och cirkulära lösningar.

Ett effektivt nyttjande av material förutsätter även forskning och innovation. Enligt det strategiska innovationsprogrammet²⁹ för hållbar resursanvändning *RE:Source* behövs innovation på områden såsom produktionsprocesser, komponentåteranvändning, funktionell materialåtervinning (mekaniska processer), molekylåtervinning (kemiska, biologiska eller termiska processer) samt för energiåterföring i förbränningsprocesser.³⁰ Sådan innovation

²² Material Economics, 2018. *Ett värdebeständigt svenskt materielsystem – En rapport om materialanvändning ur ett värdeperspektiv*. <https://materialeconomics.com/node/38>

²³ RE:Source m.fl., 2022. *Circularity gap report*. <https://resource-sip.se/content/uploads/2022/04/circularity-gap-report-sweden-1.pdf>

²⁴ Bashmakov m.fl. 2022.

²⁵ Material Economics, 2018.

²⁶ Naturvårdsverket, 2022.

²⁷ RE:Source m.fl., 2022.

²⁸ Naturvårdsverket, 2022. *Klimatomställning av fossil plast – Underlagsrapport till regeringsuppdraget om Näringslivets klimatomställning*. <https://www.naturvardsverket.se/49f038/globalassets/media/publikationer-pdf/7000/978-91-620-7057-1.pdf>

²⁹ Strategiska innovationsprogram är en satsning som stöds av Energimyndigheten, Vinnova och Formas där ledande aktörer från näringsliv, akademi och offentlig sektor själva pekar ut och definierar områden där de ser behov av en svensk kraftsamling och gemensamma insatser. Läs mer på Energimyndighetens webbplats, <https://www.energimyndigheten.se/forskning-och-innovation/forskning/strategiska-innovationsomraden/>

³⁰ RE:Source:s webbplats, *Materialhjulet*.

kräver inte bara forskning och utveckling på området funktion (teknik, process, design) utan även marknad, beteende, policy och system (logistik, systemanalys).

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 mineraler 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 mineraler som kritiska råmaterial, vilket innebär att de anses vara av avgörande betydelse för den europeiska ekonomin, samtidigt som det föreligger stora osäkerheter kopplade till att säkra tillgången på dem.³¹ 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.^{32,33} 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.³⁴

Enligt SGU finns det i Sverige en samhällsekonomisk potential för sekundär utvinning av (kritiska) metaller och mineraler ur gruvavfall.³⁵ För att nå dit behöver dock hinder överkommas, såsom för låga marknadspriser, brist på etablerade marknader och tillgång till infrastruktur. Det finns ett stort behov av ny kunskap och ny teknik, men även forskning kring hur befintlig kunskap och teknik ska tillämpas. Även styrningen (regler och styrmedel) spelar stor roll för möjligheten att utnyttja materialet. Exempel på pågående insatser är Stena Recycling som i mars 2023 invigde en av Europas första återvinningsanläggningar för litiumjonbatterier för elfordon utanför Halmstad (se mer i avsnitt 3.1.6).

Starkare styrning på EU-nivå för att främja cirkularitet

Som en del av den gröna given antog EU under 2020 en ny handlingsplan för den cirkulära ekonomin med 35 åtgärder som syftar till att främja en hållbar tillväxt och bidra till att nå målet om nettonollutsläpp och bevarandet av biodiversitet. Som en del av åtgärderna har ett mer heltäckande regelverk för ekodesign tagits fram. Den nya förordningen om ekodesign för hållbara produkter (ESPR)³⁶ trädde i kraft i juli 2024 och utgör ett ramverk för utformning av krav på specifika produktgrupper för att främja en cirkulär användning av resurser längs med

³¹ EU-kommissionens meddelande, 2020. *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/EN/TXT/?uri=CELEX%3A52020DC0474>

³² SGU och Naturvårdsverket, 2017. *Förslag till strategi för hantering av gruvavfall*. <https://www.naturvardsverket.se/contentassets/6104a3383a9949e99f8ee28d94f2375c/strategi-forslag-hantering-gruvavfall-20170913.pdf>

³³ UNCTAD, 2020. *Commodities at a glance – Special issue on strategic battery raw materials*. No. 13. https://unctad.org/system/files/official-document/ditccom2019d5_en.pdf

³⁴ Energimyndigheten m.fl., 2022. *Utveckla myndighetssamverkan för Sveriges delar av en hållbar europeisk värdekedja för batterier*. ER 2022:14. <https://www.energimyndigheten.se/4a9ad0/globalassets/forskning--innovation/overgripande/slutrapport-av-uppdraget-utveckla-myndighetssamverkan-for-sveriges-delar-av-en-hallbar-europeisk-vardekedja-for-batterier-6.pdf>

³⁵ SGU och Naturvårdsverket, 2023. *Hållbar utvinning och återvinning av metaller och mineral från sekundära resurser*. SGU RR 2023:01. <https://resource.sgu.se/dokument/publikation/rr/rr202301rapport/RR2301.pdf>

³⁶ Förordningen om Ekodesign för hållbara produkter (EU) 2024/1781. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A32024R1781&qid=1719580391746>

hela värdekedjorna. ESPR ersätter och utvidgar Ekodesigndirektivet, som enbart reglerade energirelaterade produkter. Omfattningen är i princip alla produkter förutom mat, medicin, växter, och djur. Fordon undantas i den utsträckning det finns annan unionslagstiftning som ställer krav som motsvarar de som skulle kunna regleras under ESPR. Jämfört med det tidigare direktivet införs även nya typer av prestanda- och informationskrav och krav på att produkter ska ha ett s.k. digitalt produktpass som syftar till att göra produktinformationen standardiserad och transparent. Kraven kommer att vara produktspecifika och gälla avgränsade produktgrupper eller intermediära produkter (t.ex. stål, plast, glas). I förordningen sätts ramarna för hur EU-kommissionen ska välja vilka produktgrupper och intermediära produkter som ska prioriteras. I artikel 18 i förordningen anges en preliminär lista över prioriterade produkter innefattande bl.a. järn, stål, aluminium och kemikalier som prioriterade produkter. Det anges även att cement kan komma att bli föremål för ekodesignkrav under ESPR i det fall Byggproduktförordningen inte reglerar cements miljö- och koldioxidavtryck tillräckligt. En förstudie för järn och stål är påbörjad. De nya kraven kommer att kräva insatser från hela industrin för att säkerställa att tillverkare har den informationen som krävs för deras produkter samt att deras produkter uppfyller prestanda- och informationskraven som ställs i de produktspecifika förordningarna. Aktörer som släpper ut produkter på EU-marknaden kommer att behöva ha mer kontroll över (och mer information om) tillverkningsprocessen.

EU har även antagit en ny batteriförordning³⁷ som trädde i kraft i augusti 2023 och som stegvis ska ersätta det befintliga batteridirektivet.³⁸ Batteriförordningen tar hänsyn till den tekniska utvecklingen och framtida utmaningar inom batteriområdet och täcker hela batteriets livscykel, från design till slutet av livslängden. Även i batteriförordningen införs bland annat märknings- och informationskrav och krav på produktpass.

I syfte att förhindra ”greenwashing” och skydda konsumenter så att de kan göra mer miljövänliga val har EU-kommissionen lagt fram förslag på ett nytt direktiv om miljöpåståenden (”Green claims”)³⁹ som ännu inte har beslutats. Det föreslagna direktivet innebär att samtliga aktörer som marknadsför sina produkter mot konsumenter med påståenden om miljöprestanda eller miljöpåverkan måste erhålla certifiering av ett ackrediterat organ på medlemsstatsnivå för varje enskilt miljöpåstående.⁴⁰ Certifieringen innebär att aktörerna får ett intyg om att påståendet stämmer och får användas i marknadsföring i hela EU. Kraven ställs på säljare av slutprodukter, men innebär också högre krav på spårbarhet för att kunna underbygga miljöpåståenden, vilket troligtvis innebär att säljaren i sin tur ställer krav på sina underleverantörer. Sannolikt kommer det att leda till effekter även längre upp i värdekedjorna och till att även processindustrin kommer att behöva ta fram underlag på sina produkters hållbarhet. I Sverige ställer Konsumentverket redan krav på verifierbarhet och tydlighet för miljöpåståenden i marknadsföring, men dessa är mindre betungande än i det föreslagna direktivet.

³⁷ Batteriförordningen (EU) 2023/1542, EUR-Lex - 02023R1542-20240718 - EN - EUR-Lex (europa.eu)

³⁸ Batteridirektivet 2006/66/EG. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A02006L0066-20180704>

³⁹ EU-kommissionens webbplats, *Green claims*. https://environment.ec.europa.eu/topics/circular-economy/green-claims_en (Hämtad 2023-09-25)

⁴⁰ Direktivet är ett komplement till förslaget om ett direktiv för stärkt konsumentmakt i den gröna omställningen som presenterades samtidigt. Båda härrör från den nya strategin för konsumentpolitiken (”New Consumer Agenda”) och en ny handlingsplan för den cirkulära ekonomin (”Circular Economy Action Plan”).

2.1.2 En effektiv energianvändning

En effektiv energianvändning är ett viktigt övergripande huvudspår i arbetet med att nå en hållbar utveckling för klimatet, stärka industrins konkurrenskraft och skapa utrymme för samhällets omställning och elektrifiering. En effektiv energianvändning omfattar:

- **effektivisering** av exempelvis processer eller uppvärmning i en industrianläggning,
- **flexibel användning** som innebär att elanvändningen förflyttas i tid för att anpassas efter pris och effekttillgång (se avsnitt 4.3.2) och
- **energisamarbeten** mellan aktörer (inom industrin eller mellan sektorer) som kan möjliggöra ett bättre nyttjande av energi genom att bland annat ta vara på fler restströmmar och frigöra större mängder primärenergi inom alla energislag.

Ett framgångsrikt arbete med energieffektivisering kan bidra till att skapa utrymme för att tillgodose behov av energi redan på kort sikt. Att effektivisera användningen av energi eller att flytta elanvändningen i tid är relativt snabba och lättillgängliga metoder för att optimera energianvändningen. Om användningen effektiviseras kan utbyggnadsbehovet av elproduktion och elnät bli lägre liksom resursanvändning och negativa miljöeffekter.

På EU nivå har omarbetningen av direktivet om energieffektivitet (EED)⁴¹ inom ramarna för lagstiftningspaketet *fit for 55* inneburit kraftiga ambitionshöjningar för att medlemsstaterna ska minska energianvändningen och därmed bidra till att uppnå klimatmålen. Det omarbetade EED innehåller bland annat ett betydligt mer ambitiöst EU-mål för slutlig energianvändning till 2030 som innebär att medlemsstaterna tillsammans ska säkerställa att energianvändningen i unionen år 2030 minskas med 11,7 procent jämfört med ett referensscenario.⁴²

I EU:s referensscenario har Sverige en betydligt lägre energianvändning än vad som ses i Energimyndighetens långsiktiga scenarier⁴³, vilket huvudsakligen förklaras av att ett par stora industrisatsningar räknas med i den senare men inte i den förstnämnda. Medlemsstaternas bidrag till unionsmålet bestäms i stor utsträckning av nivån på energianvändning år 2030 i EU:s referensscenario vilket innebär att den absoluta nivån som behöver uppnås beror på hur korrekt antaganden i referensscenariot överensstämmer med verkligheten. Det innebär också att Sveriges bidrag till unionsmålet kommer att bli svårt, om inte omöjligt, att uppnå om nyetableringar inom industrin som inte fångats upp i referensscenariot realiserar. Vid sidan av det övergripande målet sker även en ambitionshöjning av målet för ackumulerade årliga energibesparingar på medlemsstatsnivå. För att Sverige ska uppfylla kraven i direktivet kommer det att krävas stora insatser inom alla sektorer. Energieffektivisering är därmed en aktuell fråga både för befintlig teknik och för utvecklingen av nya tekniker.

I Energimyndighetens utredning om effektiv användning av energi, effekt och resurser⁴⁴ konstateras att om den stora omställningen som väntas ske inom industrin förvaltas väl finns möjligheter till effektiviseringar i samband med de nyinvesteringar i produktionskapacitet

⁴¹ Energieffektiviseringsdirektivet (EU) 2023/1791. https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=OJ%3AJOL_2023_231_R_0001

⁴² Målet uttrycks som ett fast tak för EU:s energianvändning till 2030 och uppgår till 763 Mtoe för slutlig energianvändning och 992,5 Mtoe för primär (tillförd) energi. För slutlig energianvändning är målet bindande på unionsnivå medan det är indikativt för primär energi.

⁴³ Baserat på ER 2023:07 som uppdaterats under 2023 för att bl.a. användas som underlag till uppdateringen av den nationella energi- och klimatplanen som rapporterades i juni 2024.

⁴⁴ Energimyndigheten 2024. *Effektiv användning av energi, effekt och resurser*. ER 2024:03. <https://www.energimyndigheten.se/4afa39/globalassets/klimat--miljo/elektrifiering/effektiv-anvandning-av-energi-effekt-och-resurser.pdf>

och teknikuppggraderingar som behöver göras. Nyetableringar kan också skapa förutsättningar för industriella samarbeten kring energiflöden (läs mer nedan om energisamarbeten).

Samtidigt som flera delar av industrisektorn genomgår en omställning finns det fortsatt många branscher, processer och tekniker som inte står inför fullt så omfattande förändringar. Även här är energieffektivisering viktigt och kan i större utsträckning bygga på tidigare erfarenheter av energieffektivisering inom industrin. Energieffektiviseringsinsatser behöver därför göras både i befintliga verksamheter och processer samt vid omställning och nyetablering.

Värt att nämna är även att användningen av ny teknik ofta är begränsad initialt och att det finns stor potential att optimera och utveckla i takt med att tekniken sprids och kunskap kring dess tillämpning ökar. Där de tekniska huvudspåren är energiintensiva finns det av ekonomiska skäl ett intresse av att effektivisera processerna för att få ned 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 elanvändningen och därmed även totalkostnaden av att tillämpa tekniken (läs mer i avsnitt 3.2.2).

Styrmedel för energieffektivisering

I dagsläget finns inga ekonomiska stöd att söka för att göra energieffektiviserande åtgärder i industrin. EU:s utsläppsrättshandel (EU ETS) skapar vissa incitament att hushålla med fossila resurser till följd av kostnader för att släppa ut. De styrmedel som direkt syftar till att uppnå en mer effektiv energianvändning i företag är lagen om energikartläggning i stora företag⁴⁵ och lagen om vissa kostnads-nyttoanalyser på energiområdet⁴⁶. Båda lagstiftningarna är en svensk implementering av EU:s energieffektiviseringsdirektiv⁴⁷ och de står nu inför en revidering då direktivet omarbetats.

Lagen om energikartläggning i stora företag omfattar i dagsläget ca 1 200 verksamheter och ställer krav på genomförande av energikartläggningar. Lagen omfattar företag som sysselsätter minst 250 personer och har en årsomsättning som överstiger 50 miljoner EUR eller en balansomsättning som överstiger 43 miljoner EUR per år. Utifrån kraven i det omarbetade direktivet kommer denna företagsdefinition tas bort i den nya lagstiftningen och ersättas av energianvändningsgränser. Företag med en årlig energianvändning mellan 2,8 GWh och 23,6 GWh kommer omfattas av krav på att göra en energikartläggning. Företag med en energianvändning över 23,6 GWh ska, när den nya lagstiftningen trätt i kraft, införa energiledningssystem alternativt miljöledningssystem med ett tillägg för energikartläggning.

Lagen om vissa kostnads-nyttoanalyser innehåller bestämmelser om att analyser ska genomföras för att utreda potentialen för användning av restvärme. När ett fjärrvärme- eller ett industriföretag söker tillstånd för att uppföra en ny anläggning eller göra en omfattande uppggradering av en anläggning ska företaget göra en kostnads-nyttoanalys för att se över möjligheten att ta in och/eller leverera spillvärme. Lagkravet gäller under förutsättning att aktörerna befinner sig inom vissa avstånd, kan tillhandahålla vissa leveranser med tillräcklig temperatur och att anläggningens tillförda effekt uppgår till mer än 20 megawatt (MW), så kallade tröskelvärden. I dagsläget är det ett fåtal företag som omfattas av kravet och hittills genomfört kostnads-nyttoanalyser men med nya tröskelvärden kommer omfattningen att öka framöver.

⁴⁵ SFS 2014:266

⁴⁶ SFS 2014:268

⁴⁷ Energieffektiviseringsdirektivet (EU) 2023/1791.

Energisamarbeten

För att kunna hantera utmaningarna med att ställa om till ett hållbart samhälle som håller sig inom planetens gränser, behövs ett nytt perspektiv på vilka resurser som kan utnyttjas. Nuvarande affärsmodeller står inför utmaningar, vilket skapar möjligheter att omdefiniera vad som är möjligt. Samarbete genom industriell och urban symbios är ett sätt att omvandla restflöden inom energi, vatten och material till värdefulla resurser. Detta samarbete kan också utvidgas till områden som infrastruktur, logistik och kompetensutveckling. En symbios kan beskrivas som en samling av verksamheter som använder varandras bi- och restprodukter, vilket är ett effektivt sätt att förbättra resursutnyttjandet. Grundtanken är att skapa samarbeten över organisations- och sektorsgränser på lokal nivå.

Industriell och urban symbios ger kommuner möjlighet till utveckling, och underlättar både industriell expansion och nyetablering av verksamheter i områden där resurser och råvaror är knappa. På så sätt kan industriell och urban symbios bli en del av både stads- och landsbygdsutveckling.

Ett av de första och mest omfattande exemplen på symbios i Sverige är kemiklustret i Stenungsund. Inom den svenska skogsindustrin finns också flera exempel på integrerad produktion med produkt- och biproduktflöden mellan massa- och pappersindustrin, sågverk, kemiindustrin och energisektorn. Andra initiativ inkluderar Sotenäs Symbioscentrum, Händelö Eco Industrial Park, High Coast Innovation Park och Umeå Eco Industrial Park, som alla har en tydlig vision om ökad cirkularitet genom industriell och urban symbios.

Idag ser vi ett växande intresse för att etablera symbioser, där både nya och etablerade aktörer söker specifika restprodukter, såsom lågvärdig restvärme, för att driva hållbara och cirkulära verksamheter. Detta skapar goda möjligheter för ökad inhemsk matproduktion i växthus som kan dra nytta av lågvärdig restvärme från processindustrier och datacenter. Ett annat exempel är etablering av vätgasanläggningar kräver både vatten och energi, samtidigt som de producerar stora mängder syrgas som kan användas i till exempel avloppsreningsverk både på kommunal och regional nivå, om de placeras strategiskt. För produktion av elektrobränsle behövs tillgång till biogent kol, som finns i rökgaser från massa- och pappersindustrin eller biokraftvärmeverk. Industriell symbios ger också möjligheter till etableringar i områden där det råder brist på resurser. Vi ser idag flera exempel på återanvändning av tekniskt vatten (renat avloppsvatten) mellan olika sektorer, där kyl- och processvatten efterfrågas. Detta gäller särskilt nyetableringar som är nödvändiga för den gröna omställningen, som batterifabriker och vätgasanläggningar.

En avgörande faktor för att cirkulära initiativ och symbioser ska kunna etableras och utvecklas är att flera aktörer är involverade och kan stötta vid rätt tidpunkt. Engagemang från kommuner, företag, näringslivskluster, institut, akademi och andra företagsstödjande aktörer är nödvändigt. När symbiosarbetet väl har etablerats inom ett projekt eller nätverk, blir det tydligt att utvecklingen och viljan att hitta nya samarbeten fortsätter. Dessa forum blir viktiga för att kontinuerligt utveckla samarbeten och hitta nya förbättringsmöjligheter. Framåt finns ett behov av systematisk kartläggning av resurser för att skapa möjligheten för aktörer att lokalisera och påbörja fler symbiosprojekt och på så vis standardisera en effektivare användning av våra resurser.

2.2 Biomassa

Biomassa kan både användas för att ersätta fossil råvara och fossila bränslen (som energibärare). 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 fossila energibärare (kol, olja, naturgas m.m.)** med biobaserade alternativ (pellets, ved, biogas m.m.) som råvara eller 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, såsom konkurrens om biogena kolatomer. Vissa tillämpningar som kräver mycket höga temperaturer, såsom stålindustrins värmningsugnar⁴⁸, 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.

2.2.1 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 fortsatt stora satsningar på forskning och utveckling, både för process- och produktutveckling.

2.2.2 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 är risken för vissa målkonflikter mindre.

⁴⁸ 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 biostrategi⁴⁹ att efterfrågan på bioråvaror i oförädlad form år 2045 kommer att överskrida den uppskattade potentialen av hållbart uttagen inhemsk bioråvara⁵⁰ med 56 TWh baserat på vad de olika branscherna har uppgett 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 baserad på främst bi- och restprodukter från skogsbruket förutsätts för att öka utbudet.

I en annan analys gjord av Material Economics⁵¹ uppskattas gapet mellan utbud och efterfrågan på bioråvaror inom Sveriges gränser år 2050 att uppgå till mellan 43–146 TWh⁵² 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. Studien jämför ett mer restriktivt scenario med ett som antar mer långtgående förändringar av skogs- och jordbruksmarker.

Lagstiftning och styrmedel påverkar förutsättningarna för biomassaanvändning

På EU-nivå har flera förändrade eller nya lagstiftningar införts för att bidra till att uppnå unionens klimatomställning. Flera av dessa regelförändringar eller nya regler avser att främja användning av hållbara biobränslen, så som mer ambitiösa målnivåer för andel förnybar energi i slutanvändningsledet år 2030 i det omarbetade förnybardirektivet⁵³ vad gäller både det övergripande EU-målet⁵⁴ samt redan tidigare befintliga sektorsspecifika mål så som transportsektorsmålet⁵⁵. För industrin införs även nya sektorsspecifika målsättningar i form av ett indikativt mål om en ökande årlig andel förnybar energi i slutanvändningsledet

⁴⁹ Fossilfritt Sverige, 2021 a. *Biostrategi för fossilfri konkurrenskraft*. <https://fossilfritt Sverige.se/wp-content/uploads/2021/11/Fossilfritt-Sveriges-biostrategi.pdf>

⁵⁰ 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.

⁵¹ Material Economics, 2021. *Den svenska ekvationen för bioresurser, annex till Klimatagenda för Sverige*, <https://materialeconomics.com/node/11>

⁵² Storleken beror på vilka scenarier för efterfrågan av bioenergi som 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).

⁵³ Förnybardirektivet (EU) 2023/2413. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A32023L2413&qid=1699364355105>

⁵⁴ Från 32 till 42,5 procent år 2030.

⁵⁵ Från 14 till 29 procent, och det införs en alternativ målformulering om en 14,5 procent minskning av växthusgasintensiteten av energin som används i sektorn till 2030.

samt bindande mål om andel förnybar vätgas inom industrin.⁵⁶ Under andra halvan av 2023 trädde även två nya förordningar i kraft – *FuelEU Maritime*⁵⁷ och *ReFuelEU Aviation*⁵⁸ – som syftar till att fasa ut fossila bränslen ur flyg- och fartygssektorn. För flygsektorn införs gradvis ökande minimikvoter för andel hållbart flygbränsle (SAF) och syntetiska flygbränslen från 2025 medan fartygssektorn blir ålagda att från 2025 årligen minska den genomsnittliga koldioxidintensiteten på sitt bränsle med en gradvis ökande nivå. I samband med omarbetningen av gasmarknadspaketet⁵⁹ har rättsakterna breddats från att tidigare endast omfattat naturgas till att nu även omfatta vätgas, förnybara gaser (så som biogas) och koldioxidsnåla gaser i syfte att främja upptag och spridning av dem i energisystemet.

På hemmaplan har regeringen annonserat förändringar för den svenska reduktionsplikten. Efter att inblandningskvoten år 2024 sänktes från 12,5 procent för bensen och 50 procent för diesel till 6 procent för båda har regeringen i budgetpropositionen för 2025⁶⁰ föreslagits en höjning av båda nivåer till 10 procent. Drivmedelsleverantörer får i det nya förslaget även tillgodoräkna sig el från publika laddstolpar för att uppfylla kvoten. Samtidigt som reduktionsplikten höjs föreslås en sänkning av energi- och koldioxidskatten på fossila drivmedel.

Vid sidan av regelverk som främjar hållbarhetsklassad bibränsleanvändning har det på EU-nivå även införts regelförändringar som kan komma att påverka möjligheten till uttag av biomassa för energiändamål. Detta involverar ambitionshöjningen i LULUCF-förordningen⁶¹ som innebär att medlemsstaterna ska öka nettoupptaget av växthusgaser i markanvändningssektorn. För Sveriges del innebär det att det årliga nettoupptaget ska vara 4 miljoner ton högre år 2030 jämfört med dagens nettoupptag. Regeringen har gett Miljömålsberedningen ett tilläggsdirektiv⁶² om att senast 2 december 2024 ta fram ett förslag på en strategi för hur Sverige ska leva upp till EU:s åtaganden inom biologisk mångfald respektive LULUCF. I augusti 2024 trädde även EU:s omdebatterade naturrestaureringslag⁶³ i kraft som syftar till att bevara och restaurera EU:s ekosystem. Lagen innehåller bindande mål för restaurering av specifika ekosystem, levnadsmiljöer och arter som ska täcka minst 20 procent av EU:s mark-, havs- och vattenytor till 2030 och alla sådana ytor i behov av restauration till 2050. Inom två år från det att förordningen trädde i kraft ska varje medlemsstat rapportera en nationell restaureringsplan som beskriver planerade åtgärder för att nå målet.

⁵⁶ Dels ett indikativt mål om en årlig ökning av andel förnybar energi med 1,6 procent, dels ett bindande mål om att minst 42 procent av all vätgas som användas inom industrin ska uppfylla kraven för att få klassas som ett bränsle av icke-biologiskt ursprung, ett s.k. RNBO, till 2030 och 60 procent till 2035. I det omarbetade direktivet omfattas för första gången även bränslen för användning för ”icke-energiändamål”.

⁵⁷ Förordningen om användning av förnybara och koldioxidsnåla bränslen för sjötransport (*FuelEU Maritime*) (EU) 2023/1805. <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2023/1805>

⁵⁸ Förordningen om säkerställande av lika villkor för hållbar lufttransport (*ReFuelEU Aviation*) (EU) 2023/2405. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A02023R2405-20231031>

⁵⁹ Omfattar förordningen om de inre marknaderna för förnybar gas, naturgas och vätgas (EU) 2024/1789, https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=OJ:L_202401789, samt direktivet om gemensamma regler för de inre marknaderna för förnybar gas, naturgas och vätgas (EU) 2024/1788, https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=OJ:L_202401788.

⁶⁰ Regeringens webbplats, *Sänkt skatt på bensen och diesel och reformerad reduktionsplikt*. <https://www.regeringen.se/pressmeddelanden/2024/08/sankt-skatt-pa-bensen-och-diesel-och-reformerad-reduktionsplikt/> (Hämtad 2024-10-15)

⁶¹ LULUCF-förordningen (EU) 2018/841. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A02018R0841-20230511>

⁶² *Tilläggsdirektiv till miljömålsberedningen (M2010:04)*. Dir. 2022:126. <https://www.regeringen.se/rattsliga-dokument/kommittedirektiv/2022/08/dir.-2022126> (Hämtad 2024-09-28)

⁶³ Förordningen om restaurering av natur (EU) 2024/1991. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A32024R1991&qid=1722240349976>

2.3 Elektrifiering

El är inte en råvara utan en energibärare, vilket innebär att dess 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 idag 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 produktionsprocesser kan fossilfri el möjliggöra nya processer och råvaror som i sin tur minskar de processrelaterade utsläppen så som elektrometanol som har samma egenskaper som fossil metanol men framställs genom att kombinera fossilfri vätgas genom elektrolys med infångad koldioxid.

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 elektrolysframställd vätgas.

Nya typer av insatsvaror framställda med el avser bland annat;

- **fossilfri vätgas** som kan ersätta vätgas producerad från naturgas och användas i nya processer så som att ersätta den kolbaserade masugnsprocessen i stålframställningen (se avsnitt 2.4 om vätgas),
- **specialkemikalier** som kan ersätta fossilbaserade kemikalier och som framställs genom att kombinera el med olika råvaror, exempelvis alkoholer,
- **elektrobränslen** samt **elektrokemikalier** som framställs genom att vätgas som producerats genom elektrolys 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.

För att producera elektrobränslen och elektrokemikalier behövs både tillgång till fossilfri el och en lämplig koldioxidkälla. Ett alternativ som utforskas är att använda infångad koldioxid genom s.k. CCU (se avsnitt 2.6).

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).

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 kan komma att behöva tillgodoses med fossilfri el.

Nationella utmaningar för en omfattande elektrifiering

För att möta den höga efterfrågan på el som förutspås för att klara klimatomställningen behövs en utbyggnad av både elproduktionen och överföringskapaciteten. Enligt Energimyndighetens scenarier som publicerades i mars 2023 kan elanvändningen komma att öka från 135 TWh 2020 till mellan 228 och 349 TWh 2050 till följd av framför allt en ökad elanvändning inom industrin, men även inom transportsektorn.⁶⁴ Enligt Klimatpolitiska rådets rapport 2022⁶⁵ matchar inte dagens investeringar i elproduktion, lagring och elnät det tempo som krävs för att nå klimatmålen.

I mars 2024 la regeringen fram en proposition om energipolitikens långsiktiga inriktning⁶⁶ som syftar till att möta ett ökande elbehov på kort, medellång och lång sikt, samt till att säkra en trygg energiförsörjning och en effektiv klimatomställning. I propositionen föreslås införandet av två nya energipolitiska mål i form av ett planeringsmål och ett leveranssäkerhetsmål för elsystemet samt en översyn av det nationella energieffektiviseringsmålet. Målen syftar till att skapa långsiktighet och tydlighet för aktörer att fatta beslut som går i linje med de övergripande energi- och klimatpolitiska målen. Den förra regeringen presenterade i en elektrifieringsstrategi⁶⁷ tolv övergripande punkter med en lång rad nödvändiga åtgärder för att möjliggöra en omfattande elektrifiering. Energimyndigheten har till följd av strategin bland annat fått i uppdrag att samordna en nationell kraftsamling kring kompetensförsörjningen för elektrifieringen och att analysera effektivare användning av energi, effekt och resurser för att underlätta elektrifieringen.⁶⁸ I kompetensuppdraget har en första kartläggning av elektrifieringens sysselsättningseffekter gjorts, där bland annat 35 bristyrken som bedöms som kritiska för elektrifieringen identifieras.⁶⁹ Det senare uppdraget inbegriper att ta fram samhällets energieffektiviseringspotential där industrin utgör en viktig sektor. I uppdraget konstateras att det finns utmaningar i att fastställa en mer exakt framtida energieffektiviseringspotential i industrisektorn. Detta beror bland annat på sektorns heterogenitet och på den omfattande omställningen av flera branscher.

⁶⁴ Energimyndigheten, 2023. *Långsiktiga scenarier 2023* (uppdaterade december 2023). ER 2023:07. <https://www.energimyndigheten.se/energisystem-och-analys/framtidens-energisystem/langsiktiga-scenarier/>

⁶⁵ Klimatpolitiska rådet, 2022. *Klimatpolitiska rådets rapport 2022*. <https://www.klimatpolitiskaradet.se/wp-content/uploads/2022/03/klimatpolitiskaradetrappport2022.pdf>

⁶⁶ Regeringen, 2023. *Energipolitikens långsiktiga inriktning*. Prop.2023/24:105. <https://www.regeringen.se/rattsliga-dokument/proposition/2024/03/prop.-202324105>

⁶⁷ Regeringen, 2022. *Nationell strategi för elektrifiering– en trygg, konkurrenskraftig och hållbar elförsörjning för en historisk klimatomställning*.

⁶⁸ Energimyndighetens webbplats, *Kompetensförsörjning för elektrifiering*, <https://www.energimyndigheten.se/klimat/sveriges-elektrifiering/uppdrag-inom-elektrifieringen/kompetensforsorjning-for-elektrifiering/> (Hämtad 2024-10-11)

⁶⁹ Energimyndigheten, 2024. *Myndighetsgemensam uppföljning av samhällets elektrifiering*, ER 2023:28. <https://energimyndigheten.a-w2m.se/System/TemplateView.aspx?p=Arkitektkopia&id=7e03d5cdf3da46bf9e5651e6708eee53&q=2023%3A28&lstqty=1>

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

Fokusområdena är;

1. **välfungerande marknader och incitament,**
2. **miljövärdering i ett systemperspektiv,**
3. **markanvändning och samexistens,**
4. efterfrågeflexibilitet,
5. resurs- och energieffektivisering,
6. tillgång till teknik, kompetens och kapital,
7. råvaruförsörjning, och
8. trygg energiförsörjning.

De tre förstnämnda är centrala för att förbättra förutsättningarna för de övriga fem. För att läsa mer om dessa fokusområden och utmaningar för en hållbar elektrifiering hänvisas till Energimyndighetens rapport.⁷⁰

Geografiska skillnader i elproduktion och överföringskapacitet

Sveriges elmarknad är indelad i fyra områden med separat prissättning, vilket är tänkt att styra lokalisering av ny elproduktion till områden med lägre kapacitet och att 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 Sverige, där landets elproduktion är koncentrerad och överföringskapaciteten är god, och södra Sverige som har en begränsad elproduktion och fler flaskhalsar. Ur ett industriperspektiv innebär det geografiska skillnader i förutsättningarna 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, i närtid sämre förutsättningar att ställa om till elintensiva processer.

Enligt Energimyndighetens långsiktiga scenarier sker en kritisk fas i omställningen omkring 2030.⁷¹ Detta då flera branscher inom industrin har planer på omställning samt utökad och ny produktion runt detta år. Här ses en betydande risk för att flaskhalsar uppstår när behovet av ett utbyggt elnät är ett måste för att möta industrins ökade elbehov. Bortom 2030 bedöms den produktion och infrastruktur som omställningen kräver kunna planeras och genomföra förutsatt att ledtider kortas ned för att möta den ökade användningen.

Industrin kan bidra med efterfrågeflexibilitet

Elektrifiering leder till en ökad elanvändning inom industrin och i andra sektorer. 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. Industrin kan vidta flexåtgärder som innebär att användningen förflyttas i tid för att anpassas efter pris och effekttillgång. På så sätt kan uttaget av el optimeras baserat på fluktuationer i tillgång på nätet vilket bidrar till att hålla ned kostnader och undvika toppbelastning. Förutsättningarna för att öka effektuttaget för att möjliggöra en ökad elektrifiering

⁷⁰ Energimyndigheten, 2021. *Framtidens elektrifierade samhälle – Analys för en hållbar elektrifiering*. ER 2021:28. <https://energimyndigheten.a-w2m.se/System/TemplateView.aspx?p=Arkitektkopia&id=bc-912c1c01734cc89398698f864da60a&q=2021%3A28&lstqty=1>

⁷¹ ER 2023:07 (uppdaterade december 2023)

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. Exempelvis kan industrier som använder vätgas som bränsle eller i sin produktion 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 kunna användas 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.⁷² 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.

2.4 Vätgas

Vätgas är inte en råvara utan en energibärare, vilket innebär att dess främsta roll i omställningen är att ersätta fossila energibärare och de förbränningsutsläpp de ger upphov till. Vätgas används redan idag inom processindustrin men är nästan uteslutande producerad från naturgas. För att vätgas ska bli ett relevant omställningsalternativ förutsätts att den tillverkas fossilfritt. Även om det inte är möjligt att använda vätgas för att direkt ersätta fossilbaserade råvaror som används i produktionsprocesser kan fossilfri vätgas möjliggöra nya processer och råvaror som i sin tur minskar de processrelaterade utsläppen. Fossilfri vätgas kan fylla tre funktioner i den svenska industrins klimatomställning;

- **ersätta den fossila vätgas** som används idag i industrin (cirka 6 TWh⁷³), 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 (läs mer i avsnitt 3.1.3)
- **ersätta andra fossila bränslen och råvaror** i olika industriprocesser (exempelvis naturgas, kol eller olja) där det mest framstående exemplet är direktreducering med vätgas i järn- och stålproduktionen som kan ersätta kolbaserad stålframställning (läs mer i avsnitt 3.1.2).
- **Användas i nya tillämpningar** vid framställning av olika produkter i kombination med infångad koldioxid. 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 (läs mer i avsnitt 2.6).

⁷² IVA, 2022. *Om vätgas och dess roll i elsystemet*. <https://www.iva.se/contentassets/62a4c0d2e21e4b289541377c2942ad64/202205-iva-vatgasprojektet-syntesrapport.pdf>

⁷³ Fossilfritt Sverige, 2021. *Strategi för fossilfri konkurrenskraft, vätgas*. <https://fossilfrittisverige.se/strategier/vatgas/>

2.4.1 Vätgasens klimatnytta beror på tillverkningsprocessen

Även om vätgas också uppkommer som biprodukt i vissa industriella processer är den helt dominerande tillverkningsmetoden i Sverige idag ångreforming⁷⁴ av naturgas, främst vid raffinaderier. Genom att koppla på CCS för att fånga in koldioxiden kan utsläppen reduceras med upp till 99 procent för vissa tekniker.⁷⁵ För att vätgasen ska bli 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.

Sveriges elmix möjliggör även för företag att använda sig av el från nätet för att producera vätgas som uppfyller hållbarhetskriterierna för att få klassas som ett förnybart bränsle enligt det omarbetade förnybartdirektivet⁷⁶, dvs. som ett RFNBO eller ett bränsle av icke-organiskt ursprung. För att uppfylla kriterierna behöver användningen av vätgasen leda till minst 70 procent minskade koldioxidutsläpp jämfört med ett fossilt alternativ och den el som används vid framställningen vara förnybar. För att el som tas från nätet ska få räknas som förnybar behöver den uppfylla ett av två gränsvärden. Elprisområdet som elen tas ifrån behöver antingen ha en andel av förnybar elproduktion som överstiger 90 procent eller en lägre utsläppsintensitet än ett 18 gCO₂ekv/MJ.⁷⁷ År 2021 och 2022 uppfyllde samtliga elprisområden i Sverige gränsvärdet för andel förnybart.⁷⁸ De nordligaste elprisområdena (SE1 och SE2) uppfyllde även gränsvärdet för utsläppsintensitet samma år.

2.4.2 Stora satsningar på vätgas inom EU

För att få till en europeisk vätgasmarknad och minska beroendet av rysk gas fastställde EU i mars 2022 uppstramade EU-mål för produktion av förnybar vätgas.⁷⁹ Målen utgörs av ett inhemskt produktionsmål och ett mål för import, som vardera uppgår till 10 miljoner ton fram tills 2030. Det är nästan en fördubbling mot vad som tidigare föreslagits inom EU-kommissionens lagstiftningspaket *fit for 55*. För att nå vätgasmålen i REPowerEU och den gröna given har kommissionen även initierat en europeisk vätgasbank ("European Hydrogen Bank") som ska främja både inhemsk produktion och import av förnybar vätgas.⁸⁰ Vätgasbanken ska främst finansieras genom privata investeringar men för att locka till sig det privata kapitalet kommer en viss andel att finansieras via befintliga EU-instrument och statsstöd. I syfte att främja inhemsk produktion av förnybar vätgas har EU-kommissionen

⁷⁴ Ångreformingen är normalt uppdelat i två processteg, där det första är energiintensivt och sker vid en hög temperatur (700–1 000 grader). För att öka utbytet av metan till vätgas kan kolmonoxid som bildas i det första processteget skiftas till vätgas genom en efterföljande lågtemperaturprocess.

⁷⁵ Barlow m.fl. för Global CCS Institute, 2023. *State of the art: CCS technologies 2023*. <https://www.globalccsinstitute.com/resources/publications-reports-research/state-of-the-art-ccs-technologies-2023/>

⁷⁶ Förnybartdirektivet (EU) 2018/2001.

⁷⁷ För att kriteriet om utsläppsintensitet ska anses uppfyllt behöver även bränsleproducenten ha långsiktiga avtal om elinköp, s.k. PPA:er (Power purchase agreement).

⁷⁸ Energimyndigheten, 2024. *Energiindikatorerna 2024*. ER 2024:16. <https://energimyndigheten.sve.se/System/TemplateView.aspx?p=Arkitektkopia&id=a5f848e5781f440bb7baecec23cc1cf2&l=t&cat=%2FEnergiindikatorer&lstqty=1>

⁷⁹ EU-kommissionens meddelande, 2022. *REPowerEU: Joint European Action for more affordable, secure and sustainable energy*. COM(2022) 108 final. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=COM%3A2022%3A108%3AFIN>

⁸⁰ EU-kommissionens meddelande, 2023. *EU:s vätgasbank*. COM(2023) 156 final. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A52023DC0156&qid=1682349760946>

beslutat att de första omvända auktionerna inom Innovationsfonden⁸¹ avgränsas till produktion av RFNBO-vätgas.⁸² Under slutet av 2023/början av 2024 hölls en pilotauktion för produktion av förnybar vätgas med en total budget på 800 miljoner euro. De sju vinnarna i auktionen kommer under en tioårsperiod erhålla en fast premie per producerat kilo vätgas för att täcka merkostnaden av att producera förnybar vätgas jämfört med fossil vätgas. Innovationsfonden öppnar sin andra auktion för produktion av förnybar vätgas den 3 december 2024 med en budget på 1,2 miljarder euro varav 200 miljoner euro avgränsas till produktion av vätgas som används inom sjöfarten.⁸³ I den kommande auktionen främjas även inhemsk produktion av elektrolysörer genom en begränsning av andel av en deltagandes anläggning som tillåts komma från utomeuropeiska producenter. Syftet med auktionerna är att påskynda investeringar och produktion av vätgas, där spridning av prisuppgifter är en viktig del för att skapa prisjämförelser på marknaden. För att främja import undersöks ett införande av auktioner med fasta premier till producenter i tredjeland.⁸⁴

I syfte att främja framväxten av en marknad för förnybar vätgas för industriell användning infördes även industrispecifika mål för vätgasanvändning i det omarbetade förnybartdirektivet⁸⁵. De nya målen innebär att medlemsstaterna ska säkerställa att minst 42 procent av all vätgas som används inom industrin uppfyller kraven för att klassas som ett RFNBO år 2030, samt att motsvarande andel ska uppgå till 60 procent år 2035.⁸⁶ De två nya förordningarna *Fuel EU Maritime*⁸⁷ och *ReFuel EU Aviation*⁸⁸ som syftar till att fasa ut fossila bränslen ur flyg- och fartygssektorn förväntas bidra till att främja en efterfrågan på syntetiska bränslen framställda med vätgas så som elektrobränslen.

Ytterligare en pusselbit för att främja vätgas i energisystemet är införseln av regler och lagstiftningsförslag om transport- och lagringsinfrastruktur för förnybar och koldioxidsnål vätgas i omarbetningen av det s.k. gasmarknadspaketet⁸⁹ som tidigare begränsats till fossil naturgas. Syftet är att skapa ett rättsligt ramverk för att upprätta en EU-marknad för förnybara och koldioxidsnåla gaser som underlättar inträde och spridning av dem i energisystemet. Omarbetningen trädde i kraft i augusti 2024 och syftar även till att möjliggöra en övergång från fossil naturgas till förnybara och koldioxidsnåla gaser och att se till att de bidrar till EU:s klimatomställning.

⁸¹ Innovationsfonden finansieras genom intäkter från EU ETS och stöder innovativa tekniker som kan bidra till att fasa ut koldioxidutsläppen inom de sektorer som ingår i ETS-systemet. Innovationsfonden regleras genom en delegerad akt till utsläppshandelsdirektivet. Det nya auktionsbaserade stödsystemet introducerades i samband med revideringen av utsläppshandelsdirektivet som var en del av Fit for 55-paketet även om det nämndes redan i den tidigare versionen av direktivet.

⁸² EU-kommissionens webbplats, *Competitive bidding*, https://climate.ec.europa.eu/eu-action/eu-funding-climate-action/innovation-fund/competitive-bidding_en (Hämtad 2024-09-05)

⁸³ EU-kommissionens webbplats, *Second renewable hydrogen auction: European Commission publishes Terms and Conditions*, https://climate.ec.europa.eu/news-your-voice/news/second-renewable-hydrogen-auction-european-commission-publishes-terms-and-conditions-2024-09-27_en (Hämtad 2024-09-05)

⁸⁴ EU-kommissionens webbplats, *European hydrogen bank*, https://energy.ec.europa.eu/topics/energy-systems-integration/hydrogen/european-hydrogen-bank_en (Hämtad 2024-09-05)

⁸⁵ Förnybartdirektivet (EU) 2023/2413

⁸⁶ Att notera är att RFNBO-vätgas som används för produktion av drivmedel inte räknas mot industrimålen, eftersom dessa ingår i transportmålet. Tillgodoräkning till måluppfyllelse för ett bränsle sker även i det land där bränslet används, dvs. ett elektrobränsle som framställs inom svensk industri men används i tyska fartyg tillgodoräknas till det tyska transportspecifika målet om ingen annan överenskommelse gjorts mellan länderna.

⁸⁷ FuelEU Maritime (EU) 2023/1805

⁸⁸ ReFuelEU Aviation (EU) 2023/2405

⁸⁹ Omfattar förordningen om de inre marknaderna för förnybar gas, naturgas och vätgas (EU) 2024/1789 samt direktivet om gemensamma regler för de inre marknaderna för förnybar gas, naturgas och vätgas (EU) 2024/1788.

2.4.3 Betydande kostnadsreduktioner för elektrolysörer är möjliga

Vätgasproduktion genom elektrolys är fortfarande och under en överskådlig framtid dyrare än produktion av vätgas via ångreformering av naturgas. Kostnaden för förnybart producerad vätgas 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 idag. I regioner med billig förnybar el bedöms vätgas från elektrolys vara konkurrenskraftig jämfört med fossilbaserad vätgas till 2030. Då elpriset är den dimensionerande kostnaden av vätgaspriset från elektrolys beror den framtida prisutvecklingen av vätgas i huvudsak på utvecklingen av billig fossilfri el.

Vätgaslager minskar driftkostnaderna och balanserar elanvändningen

Till följd av att elektrolysbaserad vätgasframställning är elintensiv utgörs en stor del av produktionskostnaden för vätgas av kostnaden för el. Ett sätt att minimera totalkostnaderna är därför att producera vätgas mer intensivt under timmar på dygnet och dagar på året då elpriserna är förmånligare för att sedan lagra vätgasen och nyttja den vid tidpunkter med högre elpriser. På så sätt kan driftkostnaderna hållas nere utan att påverka tillgången på vätgas. En sådan lösning förutsätter dock extra investeringar, såväl i en större elektrolysröskapacitet, än vad som är nödvändigt för att enbart tillgodose det löpande produktionsbehovet, som i ett vätgaslager. Utöver kostnadsfördelar för den egna produktionen har vätgaslager även möjlighet att bidra till att skapa flexibilitet i elsystemet, vilket är nödvändigt för att trygga elförsörjningen i omställningen (se avsnitt 2.32.3). För en mer ingående redogörelse kring flexibilitet och vätgaslagring, se Energimyndighetens delrapport⁹⁰ inom uppdraget att samordna arbetet med vätgas i Sverige.

Storskalig vätgaslagring under jord

Flera industriprojekt planerar för storskalig vätgaslagring under jord där det optimala lagringsalternativet utgörs av saltgruvor. I brist på saltgruvor är den mest lovande lösningen för vätgaslagring i Sverige att kapsla in berggrum 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 och hur stort behovet är, samt för att identifiera lämpliga lagringsplatser i Sverige. Vätgaslager bör med fördel placeras nära användarna (eller 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 satsningen HYBRIT. Lagret är placerat i en nedlagd gruva i Svartöberget i anslutning till projektets pilotanläggning för tillverkning av fossilfri järnsvamp i Luleå. Lagret testades kommersiellt direkt mot elmarknaden under en månad i slutet på 2023 med ett positivt resultat i form av ett jämnt vätgasflöde och en minskning av de rörliga kostnaderna på mellan 25–40 procent.⁹¹

⁹⁰ Kapitel 3 i Energimyndigheten, 2024. *Vätgas och vätgasinfrastruktur i det svenska energisystemet*. ER 2024:07. <https://energimyndigheten.a-w2m.se/System/TemplateView.aspx?p=Arkitektkopia&id=1140552b07914929b7b68f4cea8ed1cf&q=2024%3A07&lstqty=1>

⁹¹ Vattenfalls webbplats, HYBRIT: *Vätgaslager sänker kostnaden med upp till 40 procent* (Pressmeddelande). <https://group.vattenfall.com/se/nyheter-och-press/pressmeddelanden/2023/hybrit-vatgaslager-sanker-kostnaden-med-upp-till-40-procent> (Hämtad 2024-06-25)

2.4.4 Systemlösningar för infrastruktur och elförsörjning behövs för en storskalig vätgasanvändning

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

Vätgas kräver stora satsningar i utbyggnad av elproduktion och överföringskapacitet

Energimyndigheten har tagit fram scenarier över olika utvecklingsvägar för kraftsystemet. Enligt scenariot *Högre elektrifiering* kan elbehovet för vätgas producerad med elektrolys uppgå till 100 TWh 2050.⁹² I samma scenario skulle elproduktionen behöva uppgå till runt 362 TWh år 2050 för att täcka den totala efterfrågan. I och med att elproduktionen år 2020 uppgick till cirka 160 TWh⁹³ står behovet av vätgas alltså för cirka 50 procent av den ökade elproduktionen till 2050. 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. För att det ska vara möjligt behöver hela försörjningskedjan för råmaterial och komponenter till elektrolysörer byggas ut i snabb takt. Ett led på vägen är EU:s nya rättsakt om nettonollindustrin (NZIA)⁹⁴ och rättsakten om kritiska råmaterial (CRMA)⁹⁵ som syftar till att garantera försörjningstrygghet av nyckeltekniker och råmaterial för att nå klimatmålen. Vätgasteknik och specifikt elektrolysörer pekas ut som nyckeltekniker i NZIA vilket innebär att de omfattas av åtgärder som syftar till att främja en uppskalning av produktion inom EU genom t.ex. förenklade tillståndprocesser.

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 bland annat samarbets- och koordineringsutmaningar, behov av kunskaps- och kompetenshöjning inom både företag och statliga myndigheter, samt kostnadsgapet mellan fossil och fossilfri vätgas till följd av de höga kostnaderna som är förknippade med spridning av ny teknik. Energimyndigheten har fått i uppdrag av regeringen att samordna arbetet med vätgas i Sverige för att röja de hinder som identifierats för en storskalig utbyggnad. I scenarierna

⁹² ER 2023:07 (uppdaterade i december 2023)

⁹³ Energimyndigheten och SCB, 2021. *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/

⁹⁴ Rättsakten om nettonollindustrin (EU) 2018/1724

⁹⁵ Akten om kritiska råmaterial (EU) 2024/1252

som presenteras i uppdragets delrapporteringen⁹⁶ som redovisades i februari 2024 förväntas vätgasen ta en allt större plats i framtidens energisystem. Rapporten visar även att det finns ekonomi i att producera vätgas på flera ställen i landet och transportera vätgasen via rörledningar till olika användare. En åtgärd som särskilt pekas ut som viktig för att främja utvecklingen av vätgas är ett uppdaterat och sammanhängande regelverk för att underlätta utbyggnaden. För att läsa mer om utmaningar och förutsättningar för en vätgasutbyggnad se exempelvis IVA:s rapport.⁹⁷ Fossilfritt Sveriges vätgasstrategi⁹⁸ och Energimyndighetens förslag till vätgasstrategi⁹⁹ med tillhörande underlagsrapport samt Energimyndighetens delrapportering som nämns ovan.

2.5 Avskiljning, transport och lagring av koldioxid (CCS)

CCS (Carbon Capture and Storage) innebär att koldioxid avskiljs i stället för att släppas ut i atmosfären 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 processen kräver att energi tillförs.¹⁰⁰ Tekniken pekas ut av både IEA¹⁰¹ och FN:s klimatpanel¹⁰² som en förutsättning för att nå både 2-gradersmålet och 1,5-gradersmålet.

Enligt EU:s strategi för industriell koldioxidhantering¹⁰³ som antogs i början av 2024 behöver avskiljning av koldioxid för antingen lagring (CCS) eller användning (CCU, se nästa avsnitt) inom EU uppgå till 280 miljoner ton år 2040 och 450 miljoner ton år 2050 för att nå EU-kommissionens föreslagna nivå på klimatmål till 2040 på 90 procent minskade växthusgasutsläpp jämfört med 1990 och därefter klimatneutralitet till 2050. För att sätta storleken i perspektiv motsvarar 280 miljoner ton koldioxid ungefär sex gånger storleken på Sveriges territoriella utsläpp år 2022.¹⁰⁴

⁹⁶ ER 2024:07

⁹⁷ IVA, 2022

⁹⁸ Fossilfritt Sverige, 2021 b. *Strategi för fossilfri konkurrenskraft – Vätgas*. <https://fossilfritt Sverige.se/wp-content/uploads/2021/01/Vatgasstrategi-for-fossilfri-konkurrenskraft-1.pdf>

⁹⁹ Energimyndigheten, 2021. *Förslag till Sveriges nationella strategi för vätgas, elektrobränslen och ammoniak*. ER 2021:34. <https://www.energimyndigheten.se/nyhetsarkiv/2021/forslag-till-nationell-strategi-for-fossilfri-vatgas/>

¹⁰⁰ Johnsson m.fl., 2020. *Marginal Abatement Cost Curve of Industrial CO2 Capture and Storage – A Swedish Case Study*, Chalmers Tekniska Högskola.

¹⁰¹ IEA, 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>

¹⁰² IPCC, 2022. *Climate Change 2022. Contribution of Working Group III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. <https://www.ipcc.ch/report/sixth-assessment-report-working-group-3/>

¹⁰³ COM/2024/62 final

¹⁰⁴ Naturvårdsverket utsläppsstatistik för 2022. <https://www.naturvardsverket.se/data-och-statistik/klimat/sveriges-utslapp-och-upptag-av-vaxthusgaser/>

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

CCS kan användas för att fånga in koldioxid från processer som genererar koldioxid, t.ex. förbränning av bränslen (fossila eller biobaserade) eller förädling av råvaror. 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 minskade utsläpp

När tekniken används på fossila utsläppskällor så fångas koldioxidutsläpp in som annars skulle släppts ut i atmosfären, vilket leder till *minskade utsläpp*. Enligt det klimatpolitiska ramverket ska CCS tillämpat på fossila koldioxidströmmar endast användas för att bidra till utsläppsminskningar då inga andra rimliga alternativ finns tillgängliga. 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 process- och basindustri.^{105,106} 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 nödvändiga för att Sverige ska uppnå målet om klimatomställningen. 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*¹⁰⁷ uppgår den totala potentialen för bio-CCS i Sverige till 30 miljoner ton årligen. Potentialen finns främst i massa- och pappersindustrin samt i kraftvärme- och värmeverk. I ett 2045-perspektiv bedöms den realiserbara potentialen uppgå till minst 10 miljoner ton biogen koldioxid per år medan 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. I dagsläget utgörs fossilt avfall runt 16 procent av insatt bränsle i de svenska kraftvärmeverken varav den största delen utgörs av plastavfall.¹⁰⁸ Om plastavfallet inte kan elimineras till följd av andra åtgärder, såsom en minskad förbrukning av fossil plast och materialåtervinning, kan CCS bli en nödvändig lösning för att bli av med de kvarvarande utsläppen. Framöver förväntas tillämpning på blandade utsläpp även att bli aktuellt för ett par av de stora utsläpparna inom industrin, såsom Preem och Heidelberg Materials Cement

¹⁰⁵ Johnsson och Kjärstad, 2019. *Avskiljning, transport och lagring av koldioxid i Sverige – Behov av forskning och demonstration*. https://research.chalmers.se/publication/509912/file/509912_Fulltext.pdf

¹⁰⁶ SOU 2020:4. *Vägen till en klimatpositiv framtid*. Betänkande av klimatpolitiska vägvalsutredningen.

¹⁰⁷ Ibid.

¹⁰⁸ ER 2024:16

Sverige, 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 undvikna och negativa utsläpp som står i direkt proportion till andel infångad fossil respektive biogen koldioxid.

2.5.2 Förutsättningar för att tillämpa CCS varierar mellan branscher och anläggningar

CCS-tekniken är i dagsläget förhållandevis kostsam i relation till alternativkostnaden (priset på utsläpp). Kostnaden 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 förvätskningsanläggning, eventuellt mellanlager och den permanenta lagringsplatsen inte blir för kostsam, vilket i dagsläget innebär att kustnära anläggningar har en fördel, då fartyg är det främsta transportmedlet, även om andra placeringar också undersöks.
- **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 med ett jämnare flöde,
 - möjlighet att använda överskottsenergi, i form av ånga eller egenproducerad el från anläggningens processer vid avskiljningen, vilket minskar behovet av ytterligare energitillförsel.
- **utsläppens sammansättning:** hur utsläppen är sammansatta påverkar vilken avskiljningsteknik som är lämplig att använda. Avskiljningstekniken och vilka restämnen som finns i den infångade rökgasen påverkar vilka egenskaper den infångade koldioxidströmmen får, vilket i sin tur påverkar transport- och slutlagringsmöjligheterna.

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 (läs mer i avsnitt 3.2). Även anläggningar för biogasproduktion har förutsättningar för bio-CCS. Framöver förutspås även andra branscher inom industrin kunna uppfylla dessa. Det 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 biobaserade insatsvaror och/eller energibärare, t.ex. cementindustrin.

Tekniken är mogen men fortfarande kostsam

Hela CCS-kedjan, dvs. avskiljning, transport och lagring, tillämpas redan idag globalt, 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.¹⁰⁹

2.5.3 Transport och lagring av koldioxid

Oberoende av om den avskilda koldioxiden är av biogent eller fossilt ursprung, ska den, efter eventuell mellanlagring, transporteras till permanent lagring. 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.¹¹⁰ 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 stora mängder av olika gaser i flytande form. Inom det norska projektet Northern Lights (se nedan) två stora fartyg (130 meter långa) för transport av flytande koldioxid beställts och som vardera har en kapacitet på 7 500 kubikmeter.¹¹¹

Skandinavien har kommit längst vad gäller lagring

Kunskapen om möjliga lagringsplatser i Sverige är idag bristfällig, och att utveckla inhemsk lagring skulle kosta både mycket tid och pengar.¹¹² Potentialen för lagring i Norden är dock sannolikt mycket god. Den teoretiska potentialen har uppskattats vara tillräcklig för att lagra de nordiska utsläppen hundratals år framöver.¹¹³ 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.¹¹⁴

Norge har kommit längre än resten av Norden med att realisera lagring och satsat på CCS och lagring av koldioxid från andra länder, vilket beror på att avskiljning och lagring har skett sedan 1996. Det norska fullskaliga demonstrationsprojektet Longship planeras att vara i drift 2025 och ska täcka hela CCS-kedjan.¹¹⁵ Detta innefattar avskiljning vid Heidelberg Materials cementfabrik i Brevik och avfallsförbränningsanläggningen Hafslund Oslo Celso, samt transport och lagring genom det s.k. Northern Lights-projektet som.¹¹⁶ Inlagring förväntas påbörjas redan 2024 med en årlig kapacitet på 1,5 miljoner ton koldioxid för att i ett andra steg kunna

¹⁰⁹ Roussanally m.fl., 2021. *Towards improved guidelines for cost evaluation of carbon capture and storage for industry*. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1750583621000153>

¹¹⁰ 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 till 2030 enligt ER 2022:11.

¹¹¹ Northern Lights webbplats, *Northern Lights enters charter agreement to expand fleet with a fourth CO2 ship*. <https://norlights.com/news/northern-lights-enters-charter-agreement-to-expand-fleet-with-a-fourth-co2-ship/> (Hämtad 2024-09-02)

¹¹² 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.

¹¹³ 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>

¹¹⁴ SOU 2020:4

¹¹⁵ Gassnovas webbplats, *The Longship CCS project*. <https://ccsnorway.com/the-project/> (Hämtad 2024-09-03)

¹¹⁶ Northern Lights är ett samarbetsprojekt mellan Equinor, Shell och Total.

utökas till 5 miljoner ton koldioxid årligen.¹¹⁷ Utvecklingen i Danmark går dock mycket fort och börjar komma ikapp Norge. Förutom införsel av stöd till CCS och bio-CCS¹¹⁸ och utlysningar av undersökningstillstånd för koldioxidlagring både till havs och på land¹¹⁹ har en pilotanläggning för inlagring i Nordsjön påbörjats inom Project Greensand.¹²⁰ Storskalig inlagring förväntas vara igång år 2025/2026 med en initial årlig lagringskapacitet på 1,5 miljoner ton som sedan ska kunna utökas till uppemot 8 miljoner ton koldioxid år 2030.

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-direktivet¹²¹ begränsar också möjligheterna till lagring av större volymer än 100 000 ton på land. Sammanfattningsvis är lagring i annat land nödvändig för att svenska företag ska kunna börja tillämpa CCS för att minska utsläppen i tid så att Sverige därigenom kan nå 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. EU-kommissionen stöder arbetet och vill se öppna lagringsplatser över hela Europa. Med anledning av den brist på lagringsplatser i södra delarna av Europa har kommissionen identifierat tillgängliga lagringsplatser och deras lokalisering samt internationella regelverk som ett hinder för CCS.

2.5.4 Systemfrågor utgör största barriären för teknikspridning

Enligt *Vägen till en klimatpositiv framtid*¹²² är systemfrågorna kopplade till CCS och bio-CCS en större barriär för spridning än själva teknikfrågorna. Med systemfrågor menas i detta sammanhang bl.a. fungerande affärsmodeller, hur ekonomiska incitament kan skapas och hur juridiska och eventuella acceptansmässiga hinder kopplat till val av plats för en anläggning kan övervinnas. Fullskaleprojekt som demonstrerar hela kedjan, likt det norska fullskaleprojektet Longship (se avsnittet ovan) och det svenska stödsystemet för bio-CCS viktiga för att visa 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 investeringar viktiga. För CCS skiljer sig de ekonomiska incitamenten mellan olika tillämpningar;

¹¹⁷ EU-kommissionens webbplats, *EU-funding and tenders portal: Northern Lights Phase 2 Expansion Studies*, <https://ec.europa.eu/info/funding-tenders/opportunities/portal/screen/opportunities/projects-details/43251567/101069502/CEF2027> (Hämtad 2024-10-23)

¹¹⁸ Danska Energimyndighetens webbplats, *CCS tenders and other funding for CCS development*, <https://ens.dk/en/our-responsibilities/ccs-carbon-capture-and-storage/ccs-tenders-and-other-funding-ccs-development> (Hämtad 2024-09-03)

¹¹⁹ Danska Energimyndighetens webbplats, *Licenses for exploration and storage of CO₂, including environmental consultation rounds*, <https://ens.dk/en/our-responsibilities/ccs-carbon-capture-and-storage/licenses-exploration-and-storage-co2-including> (Hämtad 2024-09-03)

¹²⁰ Project Greensands webbplats, *What is Project Greensand?*, <https://www.projectgreensand.com/en/hvad-er-project-greensand> (Hämtad 2024-09-03)

¹²¹ Direktivet om geologisk lagring av koldioxid 2009/31/EG, <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/SV/ALL/?uri=celex:32009L0031>

¹²² Ibid.

- För **tillämpning på fossila källor** spelar alternativpriset för att fånga 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 lagras eller kan sälja överskott av utsläppsrätter vid fri tilldelning.¹²³
- 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.¹²⁴ Under perioden 2026–2046 finns en budget på 36 miljarder kronor. Första auktionen öppnade 2024 och de vinnande aktörerna måste påbörja den permanenta inlagringen inom tre år från beslut av stöd har fattats. Det är dock möjligt att få förlängning av denna frist med två år. 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. Framväxten av en frivillig marknad för negativa utsläpp bidrar till att skapa ekonomiska incitament, vilket märks i flera länder.

Även andra faktorer påverkar ett företags beslut att investera i ny teknik såsom CCS/bio-CCS. En **efterfrågan på produkter** som är framställda fossilfritt eller med negativa koldioxidutsläpp kan skapa långsiktiga incitament för investeringar. Även så kallad ”**goodwill**” kan bidra till att företag investerar i åtgärder som minskar företags och/eller produktens klimatpåverkan. 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 lagring av koldioxid utgör ett 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 Londonprotokollets¹²⁵ sjätte artikel helt transport av koldioxid ämnad för lagring under havsbotten hos annan stat. Artikel 6 reviderades redan år 2009,¹²⁶ men ändringen har ännu inte vunnit laga 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 lämnas in till Internationella sjöfartsorganisationen (IMO) och ett bilateralt avtal eller en överenskommelse upprättas mellan det exporterande och det lagrande landet. Sverige ratificerade ändringen i juni 2020 och har lämnat in deklarationen till IMO. Vidare har Sverige även ingått bilaterala överenskommelser (”Memorandums of Understanding”) om koldioxidtransport och lagring med Norge och Danmark i april 2024. Med fler aktörer på marknaden med geologiska lagringsplatser som är öppna för tredje part förbättras möjligheterna att få ned kostnaderna för slutsteget i värdekedjan.

För de aktörer som avskiljer koldioxid av biogent och fossilt ursprung samt de aktörer som avskiljer koldioxid av biogent ursprung men som sedan använder infrastruktur där denna koldioxid blandas med koldioxid av fossilt ursprung finns det oklarheter i Utsläppshandels-

¹²³ Om tekniken i framtiden blir aktuell för företag med mindre utsläppskällor kommer koldioxidpriset att spela en liknande roll.

¹²⁴ Energimyndighetens webbplats, *Stöd för bio-CCS genom omvända auktioner*. <https://www.energimyndigheten.se/klimat/ccs/statligt-stod-for-bio-ccs/> (Hämtad 2024-09-03)

¹²⁵ Londonprotokollet SÖ 2000:48. <https://www.imo.org/en/OurWork/Environment/Pages/London-Convention-Protocol.aspx>

¹²⁶ Reviderades genom Londonprotokollets resolution LP.3(4).

direktivet¹²⁷ och den tillhörande genomförandeförordningen¹²⁸ om övervakning och rapportering av utsläpp. I synnerhet när det gäller koldioxidläckage är det idag otydligt i regelverket var och när utsläpp ska rapporteras samt vilka utsläpp som kräver utsläppsrätter. Enligt EU-kommissionen bör utsläppsrätter överlåtas vid koldioxidläckage från blandade och biogena koldioxidströmmar som ska lagras geologiskt. Detta innebär att biogena koldioxidutsläpp av hållbart ursprung, som vanligtvis inte kräver utsläppsrätter, kommer att likställas med fossila koldioxidutsläpp när dessa blandas. Om en och samma infrastruktur kan användas för både biogen och fossil koldioxid utan en ökad riskpremie för biogen koldioxid minskar kostnaden för CCS.

Helsingforskonventionens¹²⁹ elfte artikel innehåller ett dumpningsförbud för avfall som både Energimyndigheten och Sveriges Geologiska Undersökning (SGU) anser att det med stor sannolikhet omfattar geologisk lagring av avskild koldioxid. För att möjliggöra geologisk lagring av koldioxid under havsbotten i de havsområden som är under svensk jurisdiktion behöver konventionens tillämplighet förtydligas eller ändras. SGU och Energimyndigheten tillsammans med Havs- och Vattenmyndigheten samt Klimat- och Näringslivsdepartementet undersöker möjligheterna för att utreda rättsläget och möjliga vägar framåt. Vidare kan även Sveriges implementering av Offshoredirektivet¹³⁰ försvåra etableringen av lagringsplatser för koldioxid. Detta med anledning av att eventuella olje- och gasfynd som måste tas omhand i samband med borrhinar för undersökning, tester eller lagring av koldioxid. Detta är idag förbjudet. Att etablera ett koldioxidlager är ett stort ekonomiskt åtagande som även ska göra viktiga avvägningar och hänsynstaganden. Därför måste det rättsliga läget vara klarlagt om Sverige ska ha en reell möjlighet att få till ett koldioxidlager under Östersjön som samtidigt är geologiskt passande och miljösäker.

Det finns även annan nationell lagstiftning och internationella konventioner som kan utgöra hinder och/eller behöver ses över för att möjliggöra transport och geologisk lagring av koldioxid.

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 punktutsläpp.¹³¹ 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 på 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.

¹²⁷ Utsläppshandelsdirektivet 2003/87/EC. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A02003L0087-20240301>

¹²⁸ Genomförandeförordning vad gäller övervakning och rapportering av växthusgasutsläpp inom EU:s utsläppshandelssystem (EU) 2023/2122. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A02023R2122-20231018>

¹²⁹ Helsingforskonventionen SÖ 1976:13. <https://helcom.fi/>

¹³⁰ Offshoredirektivet 2013/30/EU. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A02013L0030-20210101>

¹³¹ T.ex. består rökgaserna från ett kraftverk typiskt sett av runt 10-15 procent koldioxid jämfört med 410 ppm i atmosfären, dvs. 0,041 procent.

2.6 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 nyttja kolatomer i stället för att släppa ut dem i atmosfären. Eftersom tekniken för att fånga in och avskilja koldioxid är densamma för CCU som för CCS, följer CCU samma teknikutveckling som beskrivits ovan fram till dess att koldioxiden är avskild. Detta avsnitt fokuserar därför på efterföljande steg i processen, där koldioxiden används i nya produkter eller applikationer.

2.6.1 Infångade kolatomer kan ersätta de fossila i kemiindustrins produkter

Kol, som i dagsläget huvudsakligen kommer från fossila källor, är en byggsten i en rad olika produkter från kemi- och raffinaderiindustrin. I stället för att utgå ifrån kolväten som raffinerar ur olja kan infångad koldioxid slås ihop med vätgas till kolväten eller genom andra reaktioner bilda andra önskade ämnen. CCU som omställningsspår är framför allt av intresse för kemiindustrin som ett sätt att ersätta de fossila kolatomer som i dagsläget är essentiella 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.¹³²

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.

2.6.2 Klimatnyttan varierar mellan tillämpningar

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

- **Kolatomernas ursprung** (biogena och/eller fossila) påverkar tillämpningens klimatpåverkan, både om de släpps ut i ett senare skede eller om de lagras permanent.
- **Klimatpåverkan från övriga insatsfaktorer** som exempelvis den el som används i framställningsprocessen.
- **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 och återvinnas.
- **I vilken mån de infångade kolatomerna ersätter andra kolatomer** och de ersatta kolatomernas ursprung i de fall ersättning sker.
- **Rekyleffekter** som uppstår om tillämpningen av CCU ökar lönsamheten för (och därmed omfattningen av) den verksamhet som ger upphov till utsläppen. Sådana effekter påverkar klimateffekten av tillämpningen på en systemnivå.

¹³² Se t.ex. Material Economics rapport framtagen på uppdrag av IKEM, 2021, *Vägar till klimatneutral produktion*, som är en färdplan för branschen att nå nollutsläpp. <https://www.ikem.se/globalassets/media-ikem/dokument/rapporter/vagar-till-klimatneutral-produktion.pdf>

Vilka alternativ som finns till att använda kolatomerna påverkar också var kolatomerna relativt sett gör mest nytta. Kolatomerna skulle i stället kunna lagras genom CCS (läs avsnitt 2.5) eller användas i andra tillämpningar. Sammantaget visar detta på svårigheten med att dra generella slutsatser om klimatnyttan av en produkt framställd genom CCU då den kan variera kraftigt mellan tillämpningar. I Energimyndighetens analys av styrmedel för CCS och CCU¹³³ konstateras att CCU i första hand bör användas där mer energi- och resurseffektiva lösningar inte är möjliga. Tidsperspektivet spelar dock en stor roll då en investering i CCU idag, till följd av brist på andra rimliga alternativ, kan innebära inläsnings effekter i lösningar som är suboptimala på sikt.

Regelverk på EU-nivå för att bedöma climateffekter

Sen början på 2023 finns kriterier för under vilka förutsättningar som ett elektrobränsle får klassas som förnybart, eller som en s.k. RFNBO (förnybara bränslen av icke-biologiskt ursprung) i två delegerade akter till förnybartdirektivet¹³⁴. Den första akten reglerar när elen som används i framställningen av elektrolysbaserad vätgas får betraktas som helt förnybar, vilket är ett krav för att bränslet ska få klassas som RFNBO (se avsnitt 2.4.1). Den andra akten reglerar metodik för att beräkna växthusgasutsläppsminskningen från RFNBO och återvunna kolbränslen¹³⁵ över bränslets livscykel. Ett av kraven för att få klassas som en RFNBO är att bränslet måste ge upphov till minst 70 procents utsläppsminskning över livscykeln jämfört med en fossil motsvarighet. Infångad koldioxid får under vissa förutsättningar räknas som en minuspost i LCA-beräkningen och baserat på de utsläpp som annars hade skett. I praktiken innebär det att infångad koldioxid inte belastar LCA-beräkningen, eftersom utsläppen från användningen av bränslet kvittas mot att motsvarande mängd koldioxidutsläpp har undvikits. Kriterierna för detta är att koldioxiden har fångats in från luften, från produktion eller förbränning av biobränslen eller från förbränning av RFNBO eller återvunna kolbaserade bränslen.¹³⁶ Under en övergångsperiod får även infångad fossil koldioxid räknas på samma sätt, givet att avskiljningen skett på en anläggning som omfattas av EU ETS eller annan effektiv prissättning. Stoppdatum är 1 januari 2036 för fossila kolatomer som fångats in från elproduktion och 1 januari 2041 för fossila kolatomer som fångats in från andra verksamheter. Förutsatt att utsläppen för övriga delar av bränslets livscykel klarar kravet på 70 procents utsläppsminskning och elen klarar kraven för RFNBO kommer alltså elektrobränslen från fossila såväl som biogena kolatomer fram till 2036/2041 betraktas som RFNBO och därmed inte kräva utsläppsrätter vid användning. Trots att fossil och biogen RFNBO under denna period likställs vid användning gynnas ändå biogen RFNBO eftersom de i motsats till fossil RFNBO inte har några kostnader för utsläppsrätter för den koldioxid som fångas in till bränslet.

För övriga produkter som framställs genom CCU saknas i dagsläget regelverk eller vedertagna riktlinjer för hur climateffekten från kolatomer som återanvänds i produkter ska beräknas eller bokföras. Ett sådant ramverk kan dock vara på gång. EU-kommissionen meddelade i början på 2024 i sin strategi för industriell koldioxidhantering¹³⁷ att de avser att ta fram en enhetlig ram för all verksamhet inom industriell koldioxidhantering. Syftet med ett sådant ramverk är att på ett korrekt sätt återspegla klimatfördelarna i hela värdekedjan och skapa incitament för spridning av innovativa och hållbara CCU-tillämpningar (både permanenta och icke-permanenta).

¹³³ Energimyndigheten, 2024. *Styrmedel för CCS och CCU*. ER 2023:26.

<https://energimyndigheten.a-w2m.se/System/TemplateView.aspx?p=Arkitektkopia&id=4d3395613bcb41e-a9114574c43372df5&q=2023%3A26&lstqty=1>

¹³⁴ Förnybartdirektivet (EU) 2023/2413

¹³⁵ Flytande eller gasformiga bränslen som framställs av avfallsströmmar av icke-förnybart ursprung som inte lämpar sig för materialåtervinning eller gaser från avfallshantering och avgaser av icke-förnybart ursprung som uppstår oavsiktligt och oundvikligt till följd av en industriell produktionsprocess.

¹³⁶ Där samtliga måste uppfylla hållbarhetskriterierna och kriterierna för minskade växthusgasutsläpp enligt förnybartdirektivet.

¹³⁷ COM/2024/62 final

3 Insatser för att nå målet om nettonollutsläpp

En förutsättning för att nå de svenska klimatmålen är att industrin reducerar sina fossila utsläpp. Utveckling och användning av ny teknik är inom flera områden långt framskriden men det krävs fortfarande stora satsningar på forskning och innovation för att ta industrin hela vägen i mål med en bibehållen eller stärkt konkurrenskraft. Stora utsläppsminskningar från en omställning av industrins processer sker först när de nya teknikerna är utvecklade och i full produktion. Förutom att minska utsläppen av växthusgaser i tillverkningsprocesserna behövs även insatser för att öka energi- och materialeffektivisering inom industrin. Sådana insatser bidrar till att möta den ökande efterfrågan på el, biomassa och kritiska råmaterial, vilket är en förutsättning för att tillämpa de nya teknikerna som är under utveckling. I avsnitt 3.1 ges 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. Utöver att minska de egna utsläppen kan industrin, genom energi- och materialeffektiviserande åtgärder i den egna sektorn, även skapa förutsättningar för utsläppsminskningar i andra delar av värdekedjan. I slutet av avsnittet görs en ansats att täcka in ett par sådana insatser inom övriga industribranscher som bidrar till klimatomställningen i den utsläppstunga industrin och i samhället i stort.

För att nå de svenska klimatmålen kommer det inte att vara tillräckligt att endast minska de fossila koldioxidutsläppen. Det kommer även att behövas kompletterande åtgärder i form av kolsänkor för att skapa s.k. negativa utsläpp och/eller utsläppsminskningar i andra länder.¹³⁸ Negativa utsläpp kan uppnås genom inlagring av koldioxid i naturliga kolsänkor såsom skogs- och våtmarker. För att nå tillräckligt höga nivåer behövs även industriell 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 fossila utsläpp och de negativa utsläppen tillgodoses på nationell nivå. Däremot är det en insats som är viktig för att Sverige ska nå sina nationella och internationella klimatmål och där det finns stor potential inom industrin eftersom den omfattar verksamheter med stora biogena koldioxidutsläpp. Av den anledningen inkluderas och beskrivs nya händelser inom teknikutvecklingen för bio-CCS i ett eget avsnitt nedan (se avsnitt 3.2).

En stor andel av de exempel på insatser som presenteras i den här rapporten har fått stöd av Industriklivet.¹³⁹ Omfattningen på insatserna gör att de kan antas både vara ett representativt urval av vad som pågår i industrin i stort¹⁴⁰ och ge effekter i såväl tidigare som senare led av industrins värdekedjor.

¹³⁸ SOU 2020:4

¹³⁹ Energimyndighetens webbplats, *Industriklivet*, <https://www.energimyndigheten.se/forskning-och-innovation/forskning/industri/industriklivet/> (Hämtad 2024-10-08)

¹⁴⁰ Läs nedan i avsnitt 3.1 om en studie som visar på att de verksamheter som har fått stöd från Industriklivet står för närmare 90 procent av utsläppen inom industrin.

3.1 Insatser för att reducera fossila koldioxidutsläpp

För att klimatmålen ska nås behöver det utvecklas nya tekniker och lösningar som kan ersätta de processer och insatsvaror som ger upphov till stora och svårreducerade fossila utsläpp. I detta avsnitt presenteras utsläppsutvecklingen inom industrin över tid och aktuella insatser för att reducera utsläppen. Avsnittet inkluderar även exempel på insatser för en ökad energi- och materialeffektivitet som bidrar till omställningen i industrin och samhället i stort. I tabell 2 nedan har det markerats vilka huvudspår för omställningen (se kapitel 2) som är aktuella för de utsläppstunga branscherna som presenteras i detta kapitel. Tabellen är tänkt att ge en översikt över kopplingen mellan huvudspåren för omställning som presenteras i kapitel 2 och de utsläppstunga branscherna som beskrivs i detta kapitel.

Tabell 2. Aktuella huvudspår för omställning för industrins mest utsläppstunga branscher.

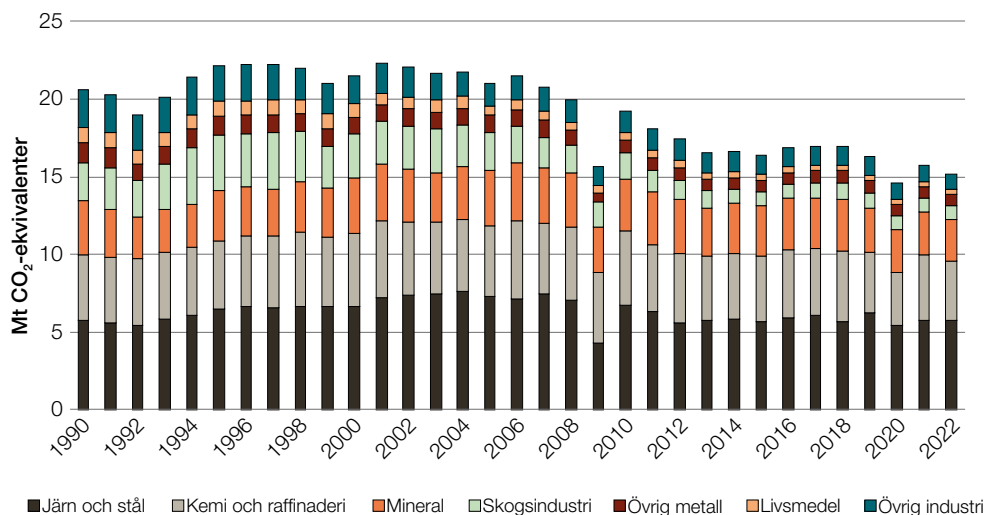
	1 ENERGI- OCH MATERIALEFFektivITET	2 BIOMASSA	3 ELEKTRIFIERING	4 VÄTGAS	5 CCS	6 CCU
Järn- och stålindustrin	●	●	●	●	●	●
Raffinaderi- och kemiindustrin	●	●	●	●	●	●
Mineralindustrin	●	●	●	●	●	●
Övrig metall	●	●	●	●	●	●

3.1.1 Industrins fossila koldioxidutsläpp

Industrins totala utsläpp av fossila växthusgaser minskade med 26 procent mellan åren 1990 och 2022.¹⁴¹ I absoluta tal släppte industrin ut runt 15,2 miljoner ton koldioxidekvivalenter under 2022. Jämfört med 2021 är det en minskning med ungefär 3 procent, vilket i huvudsak beror på underhållsstopp inom kemiindustrin och minskade utsläpp från mineralindustrin.¹⁴² Industrin står för ungefär en tredjedel av Sveriges totala utsläpp. Figur 3 nedan visar 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 metallindustri som tillsammans stod för 86 procent av industrins totala fossila utsläpp år 2022.

¹⁴¹ Naturvårdsverket och SCB, 2024. https://www.statistikdatabasen.scb.se/pxweb/sv/ssd/START__MI__MI0107/MI0107Industrin/

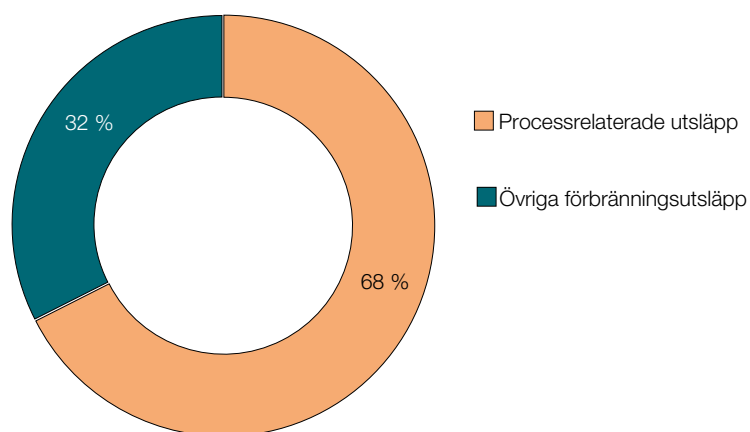
¹⁴² Naturvårdsverkets webbplats, *Sveriges utsläpp och upptag av växthusgaser*. <https://www.naturvardsverket.se/data-och-statistik/klimat/sveriges-utslapp-och-upptag-av-vaxthusgaser/> (Hämtad 2024-05-22)



Figur 3. Industrins totala utsläpp av fossila växthusgaser fördelat på olika branscher, 1990–2022, miljoner ton koldioxidekvivalenter.

Källa: Naturvårdsverket och SCB,¹⁴³ bearbetning av Energimyndigheten¹⁴⁴

Den utsläppsminskning som har skett mellan 1990 och 2022 har främst skett i mindre utsläppsintensiva branscher och beror till stor del på en övergång från fossila till förnybara bränslen och el samt energieffektiviseringsåtgärder. Majoriteten av kvarvarande utsläpp är processrelaterade, vilket innebär att de är tätt sammankopplade med nuvarande tillverkningsprocesser och insatsråvaror. I figur 4 visas industrins totala fossila koldioxidutsläpp fördelade 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 2022 utgjorde de processrelaterade utsläppen 68 procent av industrins totala utsläpp, medan resterande del utgjordes av övriga förbränningsutsläpp.



Figur 4. Fördelningen av industrins totala fossila växthusgasutsläpp på olika utsläppskategorier, 2022, procent.

Källa: Naturvårdsverket och SCB,¹⁴⁵ bearbetning av Energimyndigheten.

Anm: Av sekretesskäl har processutsläpp i kalkproduktion behövt modelleras för 2022. Modelleringen har gjorts genom att ta medelvärde av de två tidigare åren.

¹⁴³ Naturvårdsverket och SCB, 2024.

¹⁴⁴ Minskningen 2009 beror på att produktionen inom vissa branscher sjönk under lågkonjunkturen medan minskningen 2020 beror på att produktionen inom vissa branscher sjönk under covid-19 pandemin och driftstopp orsakade av tillfälliga händelser.

¹⁴⁵ Naturvårdsverket och SCB, 2024.

Energianvändningen inom industrin har varit relativt oförändrad sedan 2012¹⁴⁶ med undantag för 2020 då energianvändningen sjönk till följd av lägre produktionsnivåer på grund av pandemin. Trots den relativt oförändrade nivån har en successiv övergång från fossila till förnybara bränslen samt en 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.

Potential till utsläppsminskningar av projekt som stöds av Industriklivet

Figureerna nedan presenterar hur potentialerna för utsläppsminskningar inom projekt finansierade genom Industriklivet ser ut över tid och inom respektive bransch och teknikspår samt utsläppskategori.¹⁴⁷ Tre typer av utsläppskategorier har identifierats; utsläppsminskningar inom stödmottagarens egen verksamhet (direkta utsläppsminskningar), insatser som möjliggör för andra verksamheter att minska sina utsläpp (indirekta utsläppsminskningar) och insatser vars utsläppsminskningar har realiserats (realiserade utsläppsminskningar).¹⁴⁸ De uppskattade utsläppsreduktionerna är baserade på uppgifter i stödmottagarnas ansökningar och redovisningar till Industriklivet samt uppgifter publicerade på företagens hemsidor. Att potentialerna realiserar som utsläppsminskningar vid den tidpunkt som företagen själva uppgett är avhängigt av fler faktorer än teknikutvecklingen, faktorer som företagen inte alltid har egen rådighet över, t.ex. miljötillståndprocesser och tilldelning i elnätet (tillgång på eleffekt). För majoriteten av projekten baseras utsläppsreduktionen på en uppskattning av vad projektets utsläppspotential skulle innebära för en kommersiell anläggning.¹⁴⁹ Utsläppsminskningar både inom och utanför Sveriges gränser inkluderas. Det går därmed inte att likställa den förväntade utsläppsminskningspotentialen för projekt inom Industriklivet med en motsvarande minskning av Sveriges territoriella utsläpp.

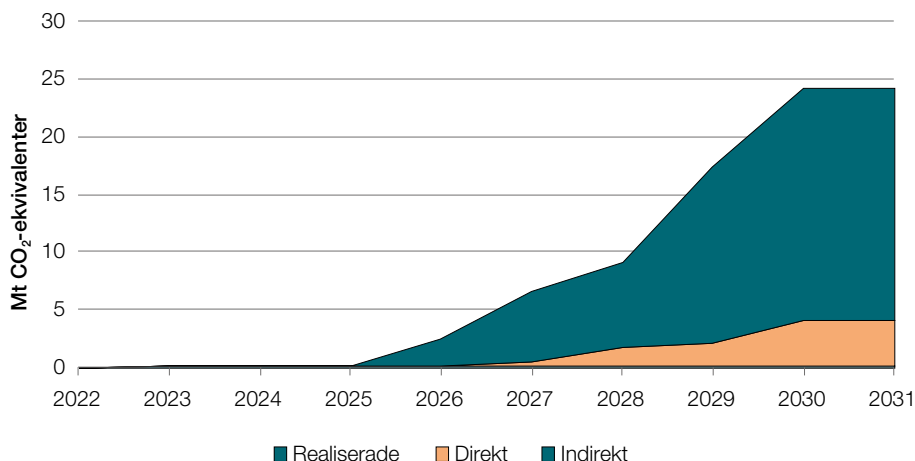
I figur 5 framgår att den största andelen av projekten väntas bidra till indirekta utsläppsminskningar. Det beror på att merparten av projekten är möjliggörande insatser som i nästa led leder till minskade utsläpp, till exempel tillverkning av produkter som vid användningen minskar utsläpp uppströms eller nedströms i värdekedjan.

¹⁴⁶ Industrins utsläppsnivåer är alltså inte proportionella mot energianvändningen.

¹⁴⁷ Metoden har ändrats jämfört med föregående årsrapport.

¹⁴⁸ Direkta inkluderar utsläppsminskningspotentialer inom stödmottagarens verksamhet, så som ett bränslebyte. Indirekta inkluderar utsläppsminskningspotentialer som sker utanför den sökandes verksamhet, både uppströms och nedströms, så som att en fossilfri produkt sätts på marknaden som i förlängningen konkurrerar ut fossila produkter. Realiserade inkluderar utsläppsminskningar som redan har kommit till stånd, både indirekta och direkta (i figuren i denna årsrapport utgörs de realiserade utsläppsminskningarna dock enbart av direkta utsläppsminskningar).

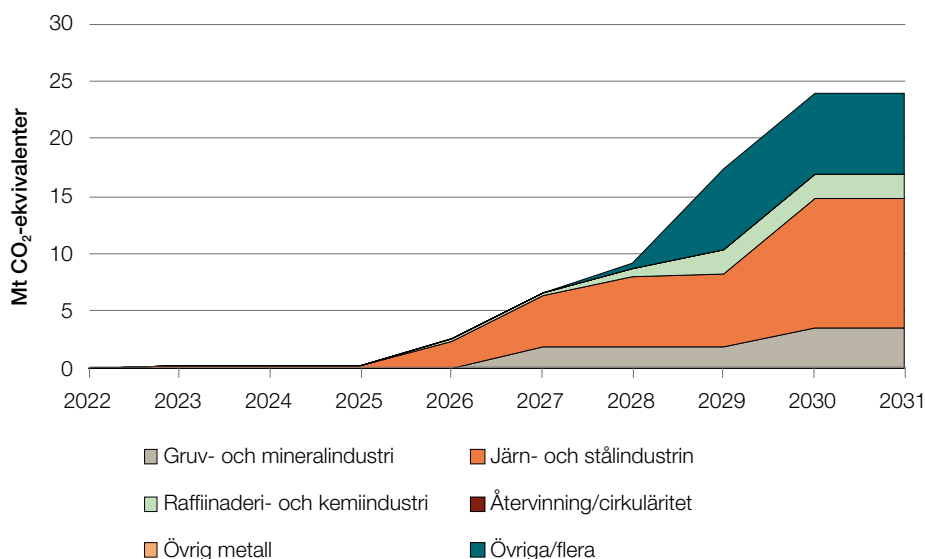
¹⁴⁹ Projekt som får stöd inom forskningsutlysningarna samt infrastrukturprojekt ingår inte i potentialerna som presenteras. Anledningen är att forskningsprojekt är långt ifrån implementering och infrastrukturprojekt inte leder till någon egen utsläppsminskningspotential utan är en möjliggörare för andra projekt.



Figur 5. Utsläppsminskningspotential för projekt som stöds av Industrikivet fördelat på realiserade, direkta och indirekta utsläpp (baserat på företagens egna uppgifter), i miljoner ton koldioxidekvivalenter.

Endast en liten andel av utsläppsminskningspotentialen från projekten har realiserats. Det kan förklaras med att de projekt som Industrikivet stöttar är innovativa och har ofta en längre tidshorisont innan utsläppsminskningar realiserats. Över tid, i takt med att projekten realiserats och anläggningar når kommersialisering, förväntas detta förhållande förändras och en större andel tillhöra kategorin realiserade utsläppsminskningar.

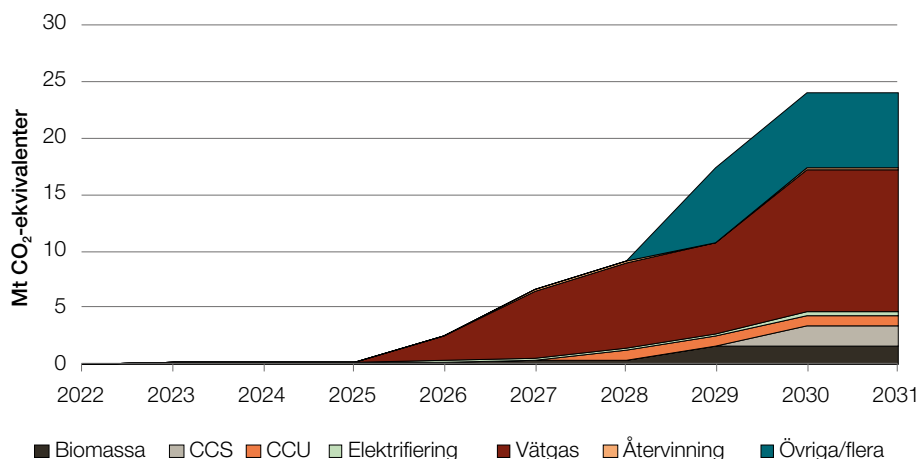
I figur 6 är det tydligt att den bransch som hittills fått mest medel i stöd (järn- och stålindustrin) också har störst potential för utsläppsminskningar samt uppskattas ligga närmast i tiden att realisera utsläppsminskningarna med hjälp av ny teknik.



Figur 6. Utsläppsminskningspotential per bransch och år för projekt som stöds av Industrikivet (baserat på företagens egna uppgifter), i miljoner ton koldioxidekvivalenter.

En fördelning av utsläppsminskningspotentialerna per teknikspår ses i figur 7 och ger en överblick över hur implementeringen av ny teknik kan komma att se ut över tid samt när stora investeringar kommer att behövas. En fullskalig implementering av teknikerna är mycket kapitalintensiv för företagen och förenad med viss risk. Genom att följa den tekniska utvecklingen och implementeringen av ny teknik skapas insikter kring kommande behov

av statligt stöd för investeringar samt forskning och innovation. En studie¹⁵⁰ på Chalmers tekniska högskola visar att Energimyndigheten genom Industriklivet har lyckats nå fram till majoriteten av de företag som står för de största industriutsläppen i Sverige. De verksamheter som har fått stöd, står för närmare 90 procent av industrins totala fossila utsläpp. Därför bör detta vara tillämpligt på industrisektorn i stort även om underlaget till figur 5–7 består av inkomna uppgifter från företag som beviljats stöd inom Industriklivet.



Figur 7. Utsläppsminskningspotential per teknikspår och år för projekt som stöds av Industriklivet (baserat på företagens egna uppgifter), i miljoner ton koldioxidekvivalenter.

Av figurerna framgår att det finns en stor potential till utsläppsminskningar år 2030, där vissa större kliv även sker innan dess. Detta kan förklaras av att flera branscher har en målsättning om att bli koldioxidneutrala eller nå kraftigt minskade utsläpp till år 2030.¹⁵¹ Fram till 2030 förväntas exempelvis stora satsningar inom järn- och stålindustrin äga rum för att delvis byta ut den befintliga tillverkningsprocessen i masugn till vätgasbaserad stålframställning i kombination med en ökad elektrifiering. Det kommer kraftigt reducera branschens utsläpp vid tidpunkten för skiftet (läs mer i avsnitt 3.1.2 nedan). Kategorin övriga/flera teknikspår omfattar bland annat utveckling av tillverkningstekniker och minskad användning av råmaterial. Det finns dock osäkerheter kring när i tiden som utsläppsminskningarna realiserar. Ovanstående tidplaner är baserade på Industriklivets stödmottagares uppgifter.

Implementeringen av teknikerna som Industriklivet ger stöd till sker i distinkta kliv med stora utsläppsminskningspotentialer vid specifika tidpunkter. Det beror på en övergång till helt nya processer och nya anläggningar, vilket kan ses i kontrast till effektiviseringar av processer som görs inkrementellt och som ofta leder till att utsläppen minskar gradvis. Tidpunkterna för storskalig implementering kan tidigare- eller senareläggas som en följd av händelser i omvärlden, på marknaden eller inom företagen.

Företagens möjligheter att realisera de utsläppsminskningar som prognosticeras för vid investeringstidpunkten är beroende av faktorer som företagen inte har lika stor rådighet över, exempelvis bygg- och miljöprövningsprocesser, effekttilldelning i elnätet och tillgång till insatsvaror som el. Förseningar till följd av att exempelvis tillståndprocesser drar ut på tiden är inte ovanligt, vilket kan leda till att projekt och satsningar kommer till senare än planerat.

¹⁵⁰ Andersson, J. och Hellsmark, H. 2024. Directionality in transformative policy missions: The case of reaching net zero emissions in the Swedish process industry.

¹⁵¹ Fossilfritt Sverige, 2022. *Färdplaner för fossilfri konkurrenskraft – uppföljning 2022*.

https://fossilfritt.sverige.se/wp-content/uploads/2022/10/Uppfo%CC%88ljningsrapport_2022.pdf

Svenska företag framgångsrika inom EU:s Innovationsfond

På EU-nivå har Sverige varit framgångsrika när det gäller beviljat stöd för innovativa projekt inom Innovationsfonden. Av de projekt som signerat avtal uppgår svenska projekts andel av EU:s totala beviljade stödsumma till 14,4 procent.^{152,153} Innovationsfondens stöd bidrar till att påskynda genomförandet av svenska projekt med stora investeringskostnader.

Finansiering av radikala innovationer i ett långsiktigt perspektiv

Förmågan till innovation kommer vara en viktig faktor för en hållbar ekonomisk tillväxt. Klimatkrisen innebär att takt, utveckling och spridning av nya tekniska innovationer behöver öka, vilket är förenat med såväl tekniska som ekonomiska utmaningar.

Så kallade radikala innovationer, som att exempelvis helt byta ut en fossilt baserad produktionsprocess till en fossilfri process minskar värdet av tidigare investeringar, kunskap, anläggningar samt förändrar värdekedjor. Det kan skapa osäkerheter och tvivel på möjligheterna att lyckas då det i de flesta fall tar många år innan innovationen kan skalas upp, kommersialiseras och bli den etablerade lösningen på marknaden. Den höga innovationshöjden samt den långa tidshorisonten medför att forsknings- och innovationsprojekten över tid kräver omfattande och initialt olönsamma investeringar fram till dess att tekniken kan skalas upp och kommersialiseras.

Fördelningen av forskningsmedlen är konkurrensutsatt genom forskningsutlysningar och förutsätter att företag står för den huvudsakliga investeringen.

Genom forskningsanslaget kan Sverige riskavlasta så att de tekniska lösningar som industrin utvecklar kan skapa samhällsnyttor. Forskning och innovation är viktigt för Sveriges konkurrenskraft, välbefinnande och förmåga att hantera utmaningarna med att minska användningen av fossila energikällor, bygga ett robust och resiliellt energisystem och skapa hållbara värdekedjor för energi- och teknikomställningen.

Forskningsmedel för radikala innovationer ska användas för att påskynda och riskavlasta projekt med hög teknisk och ekonomisk risk som annars inte skulle genomförts.

3.1.2 Järn- och stålindustrin

Järn- och stålindustrin stod år 2022 för 38 procent av industrins totala utsläpp, och av dessa är ungefär 81 procent processrelaterade. Den största utsläppskällan är reduktionssteget i masugnsprocessen, då kol och koks används för att minska syrehalten i järnmalm. I Sverige är huvudspåren för att minska dessa utsläpp att ersätta masugnsprocessen med vätgasbaserad direktreduktion och att ersätta de fossila reduktionsämnena i Höganäsprocessen med biobaserade insatsråvaror.

Nuläge inom järn och stålindustri

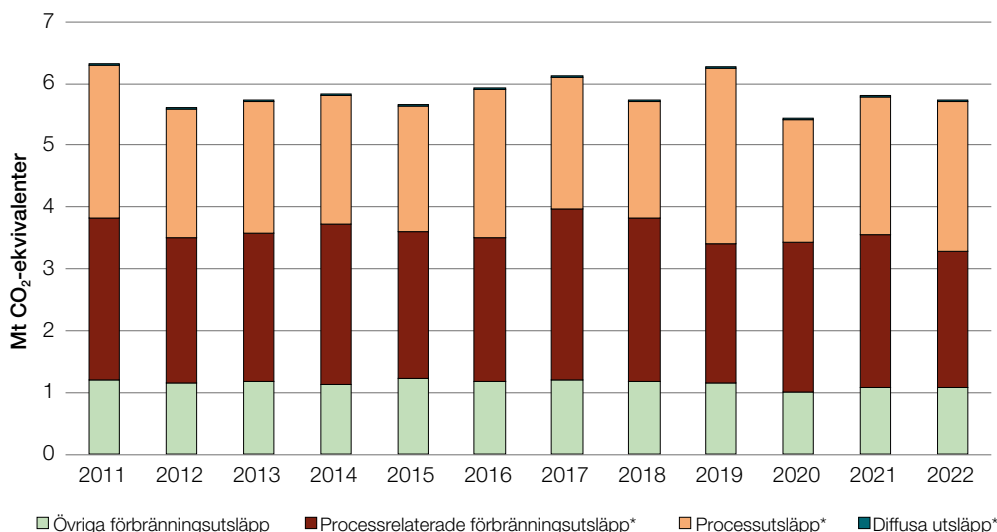
Järn- och stålindustrin omfattar många olika verksamhetsområden och tillverkningsprocesser. Produkterna som tillverkas har ofta flera användningsområden, både som insatsvaror i andra processer och som slutprodukter. Det finns idag två huvudsakliga processer för produktion av järn- och stålprodukter. Det ena av dessa spår är malmbaserad produktion med masugn eller tunnelugn (Höganäsprocessen). Det andra spåret är skrotbaserad produktion med ljusbågsugn.¹⁵⁴

¹⁵² EU-kommissionens webbplats, *Innovation Fund Project Portfolio*. https://dashboard.tech.ec.europa.eu/qs_digit_dashboard_mt/public/sense/app/6e4815c8-1f4c-4664-b9ca-8454f77d758d/sheet/bac47ac8-b5c7-4cd1-87ad-9f8d6d238eae/state/analysis (Hämtad 2024-08-09)

¹⁵³ Utöver dessa har Northvolts batterifabriker fått stöd, men eftersom de har polsk projektledning räknas de som polska projekt trots att de involverar anläggningar i både Polen och Sverige.

¹⁵⁴ För en mer utförlig genomgång av nuvarande processer inom järn och stålindustrin, se avsnitt 3.1 samt bilaga 3 i denna rapport från år 2021 (ER 2021:27), <https://energimyndigheten.a-w2m.se/System/TemplateView.aspx?p=arkitektkopia&id=bf2b000945ea401aa08e910e8c6c91cf&l=t&cat=%20F&limat%20och%20utsl%20C3%A4pp&lstqty=1>

Järn- och stålindustrin är en energiintensiv industri med stora utsläpp av växthusgaser. Utsläppen är dock starkt kopplade till konjunkturen och kan därför variera från år till år beroende på produktionsvolym och fördelningen mellan stålkaliteter. Figur 8 visar järn- och stålindustrins utsläpp fördelat på olika utsläppskategorier och över tid. Branschens utsläpp av fossila växthusgaser uppgick 2022 till 5,7 miljoner ton koldioxidekvivalenter.¹⁵⁵ De processrelaterade utsläppen stod för cirka 81 procent av branschens totala fossila utsläpp, medan resterande 19 procent utgjordes av övriga förbränningsutsläpp. Sett till industrins totala fossila växthusgasutsläpp stod järn- och stålindustrin för cirka 38 procent år 2022.



Figur 8. Järn- och stålindustrins utsläpp fördelat på olika utsläppskategorier, 2011–2022 i miljoner ton koldioxidekvivalenter.¹⁵⁶

Källa: Naturvårdsverket och SCB,¹⁵⁷ bearbetning av Energimyndigheten

Anm 1: Järnmalmsbrytning (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, varför utsläpp från järnlegeringar och järnmalmsgruvor inte ingår i figuren ovan.

De fossila utsläppen från järn- och stålindustrin beror på att många processer sker vid mycket höga temperaturer, vilket kräver högvärdiga energibärare som kol, elkraft och gas.¹⁵⁸

Den slutliga energianvändningen i järn- och stålindustrin, inklusive järnmalmsgruvor och koksverk, uppgick till drygt 23 TWh under 2022, vilket motsvarar drygt 15 procent av industrins totala slutliga energianvändning samma år.¹⁵⁹ Figur 9 visar hur energianvändningen var fördelad mellan olika energikällor under 2022. Branschen använder nästan uteslutande utsläppsintensiva fossila bränslen och el. Kol och koks används främst som reduktionsmedel i masugnsprocessen, men även som bränsle vid tillverkning av järnmalmspellets och som legeringsämne i stål. El och övriga fossila bränslen används framför allt i den skrotbaserade tillverkningen och i olika bearbetningsprocesser.

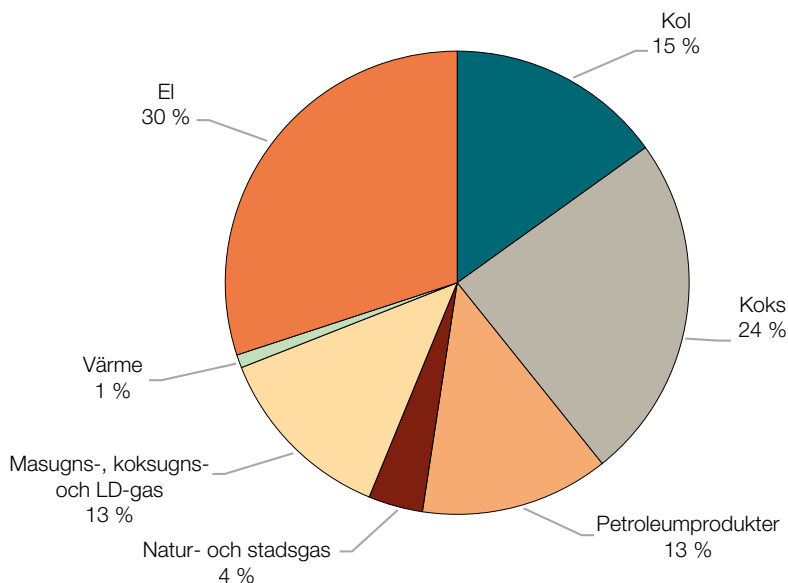
¹⁵⁵ Naturvårdsverket och SCB, 2024.

¹⁵⁶ Kategorier markerade med * ingår i processrelaterade utsläpp.

¹⁵⁷ Naturvårdsverket och SCB, 2024.

¹⁵⁸ Jernkontorets webbplats, *Utsläpp*. <https://www.jernkontoret.se/sv/stalindustrin/branschfakta-och-statistik/utslapp/> (Hämtad 2024-05-21)

¹⁵⁹ Energimyndigheten, 2023. *Årlig energibalans*. <https://www.energimyndigheten.se/statistik/officiell-energistatistik/energibalanser/arl原因-energibalans/>



Figur 9. Järn- och stålindustrins energianvändning, inklusive järnmalmshugvuror och koksverk, fördelat på olika energikällor, 2022, procent.

Källa: Energimyndigheten.¹⁶⁰

Satsningar på att utveckla flera olika metoder för att tillverka järn och stål som ger väsentligt lägre eller inga fossila utsläpp är avgörande för industrins omställning till en mer hållbar produktion. Det handlar om att under en allt kortare tidshorisont utveckla och driftsätta nya sätt att producera järn och stål för att de fossila utsläppen ska minska drastiskt.

Järn- och stålindustrins väg mot nettonollutsläpp

Tabell 3. Exempel på applikationer av huvudspår inom svensk järn- och stålindustri.

Huvudspår	Exempel på applikation
 ENERGI- OCH MATERIALEFFektivITET	Återvinning av material
 BIOMASSA	Biokol eller förgasad biomassa (syngas) som reduktionsmedel istället för kol
 ELEKTRIFIERING	El för uppvärmning istället för fossilt bränsle
 VÄTGAS	Vätgas som reduktionsmedel istället för kol och som ersättning för fossila bränslen

Vätgasbaserade satsningar

Huvudspåret i Sverige för att ersätta masugnprocessen är vätgasbaserad direktreduktion, där vätgasen produceras med elektrolysör. SSAB, LKAB och Vattenfall har genom bolaget Hybrit Development AB utvecklat den vätgasbaserade tekniken och fossilfri järnsvamp som sedan

¹⁶⁰ Energimyndigheten, 2023. Årlig energibalans.

vidarebearbetades till världens första fossilfria stål.¹⁶¹ I processen omvandlas järnmalm pellets till järn (järnsvamp) med enbart fossilfri vätgas, med vatten som enda biprodukt. Det mest omfattande av HYBRIT:s pilotprojekt har pågått från 2018 fram till sommar 2024, och projektet har visat på goda resultat. Bland annat har framgångsrik långtidsdrift av alkaliska elektrolysörer uppnåtts för tillverkning och lagring av vätgas, samt att en effektiv process-praxis för smältning av fossilfri järnsvamp till råstål i ljusbågsugn utvecklats.¹⁶² SSAB och LKAB planerar nu att ta vidare tekniken till storskalig produktion.

Under 2024 tog SSAB beslut om ett nytt fossilfritt stålverk i Luleå som kommer att ersätta det nuvarande masugnsbaserade produktionssystemet, vilket minskar Sveriges koldioxidutsläpp med 7 procent utöver de 3 procent som försvinner med omställningen av stålverket i Oxelösund. Det nya stålverket kommer att använda en mix av fossilfri järnsvamp från HYBRIT:s demonstrationsanläggning i Gällivare och återvunnet stålskrot som råvara.¹⁶³

Demonstrationsanläggningen för produktion av järnsvamp som ska byggas i anslutning till LKAB:s pelletstillverkning i Gällivare planeras att driftsättas i slutet av 2027.¹⁶⁴ Den planerade demonstrationsanläggningen har beviljats finansiellt stöd på 143 miljoner euro från EU:s innovationsfond, samt 3,1 miljarder kronor från Energimyndigheten.^{165,166,167}

En annan stor satsning görs av företaget Stegra (tidigare H2 Green Steel, H2GS) som gått direkt på investering i en fullskaleanläggning i Boden för vätgasbaserad direktreduktion. Till 2030 beräknar företaget kunna leverera 5 miljoner ton högkvalitativt stål till marknaden, genom direktreduktion av järnmalm pellets.¹⁶⁸ Utöver stålproduktionen omfattar projektet en elektrolysanläggning som ska leverera kapacitet på mer än 700 MW.¹⁶⁹ Företaget beviljades under 2023 ett stöd på 250 miljoner euro inom ramen för EU:s Innovationsfond. Innovationsfonden motiverar bland annat beslutet med att Sverige har bra förutsättningar utifrån god tillgång till förnybara energikällor, en solid tillgång på råvaror, högkvalificerad

¹⁶¹ HYBRIT:s webbplats, *Världens första fossilfria stål färdigt för leverans*. <https://www.hybritdevelopment.se/varldens-forsta-fossilfria-stal-fardigt-for-leverans/> (Hämtad 2024-05-22)

¹⁶² HYBRIT:s webbplats, *HYBRIT: Sex års forskning banar väg för fossilfri järn- och ståltillverkning i industriell skala*. <https://www.hybritdevelopment.se/hybrit-sex-ars-forskning-banar-veg-for-fossilfri-jarn-och-staltillverkning-i-industriell-skala/> (Hämtad 2024-08-29)

¹⁶³ SSAB, Pressmeddelande (2 april 2024), *SSAB fortsätter omställningen med ett fossilfritt stålverk i Luleå*, <https://www.ssab.com/sv-se/nyheter/2024/04/ssab-fortstatter-omstallningen-med-ett-fossilfritt-stalverk-i-lulea>

¹⁶⁴ EU-kommissionens webbplats, *HYBRIT Demonstration: Swedish large-scale steel value chain demonstration of Hydrogen Breakthrough Iron-making Technology*. https://climate.ec.europa.eu/document/download/6361be48-c451-4e46-b64d-c8a5d069bc8b_en?filename=if_pf_2022_hybrit_en.pdf (Hämtad 2024-09-05)

¹⁶⁵ EU-kommissionens webbplats, *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 2024-05-22)

¹⁶⁶ HYBRIT:s webbplats, *Demonstrationsanläggning för direktreduktion i Gällivare kommun*. <https://www.hybritdevelopment.se/samrad/> (Hämtad 2024-05-22)

¹⁶⁷ Energimyndighetens hemsida, *3,1 miljarder i stöd till Hybrit*. 3,1 miljarder i stöd till Hybrit (energi-myndigheten.se) (Hämtad 2024-07-02)

¹⁶⁸ H2 Green Steels webbplats, *Green hydrogen enables the decarbonization of steel production*. Green hydrogen enables the decarbonization of steel production — H2 Green Steel (Hämtad 2024-07-01)

¹⁶⁹ H2 Green Steels webbplats, *thyssenkrupp nucera and H2 Green Steel partner for one of the largest electrolysis plants globally*. <https://www.h2greensteel.com/latestnews/thyssenkrupp-nucera-and-h2-green-steel-partner-for-one-of-the-largest-electrolysis-plants-globally> (Hämtad 2024-05-22)

teknisk kompetens och tillgänglig mark för storskaliga projekt.^{170,171} Energimyndigheten har även beviljat Stegra ett stöd på 1,2 miljarder kronor för att bygga anläggningen.¹⁷²

Direktreduktion av järnmalm är inte det enda spåret för att använda vätgas för att minska fossila utsläpp inom järn och stålindustrin. Ovako har investerat i Sveriges hittills största elektrolysör (20 MW) för vätgasproduktion, där vätgasen kommer att ersätta fossila bränslen som används i värmningsugnar. En övergång till vätgas beräknas minska Ovakos utsläpp med 50 procent.¹⁷³ Anläggningen i Hofors invigdes i september 2023 och Ovako blev först i världen med att värma stål med fossilfri vätgas inför valsning. Planen är att använda lokal vätgasproduktion i alla Ovakos enheter där stål valsas senast 2030, under förutsättning att det finns en god tillgång på fossilfri el.¹⁷⁴ Ovako har även beviljats stöd av Klimatklivet för energikonvertering i Smedjebacken, för en effektivare användning av vätgas för värmning av stål. På sikt kan det även bli möjligt att exempelvis leverera vätgas till en tredje part, till exempel en vätgastankstation eller använda vätgas i annan industriell värmning.¹⁷⁵

Inblandning av biokol

I dagsläget är biokol det huvudsakliga omställningsspåret för Höganäsprocessen.¹⁷⁶ Efter tre års utveckling i pilotskala genomförde Höganäs ett större försök, där man blandade in biokol som reduktionsmedel i processen.^{177,178} Resultat från projektet visar att det är möjligt att med smärre justeringar av processparametrar producera järnsvamp som uppfyller befintlig specifikation trots att 20 procent av det fossila kolet ersatts med biokol. Projektet har också rönt stort intresse inom stål- och metallindustrin och har märkbart accelererat utvecklingen och planerna kring biokol i Norden. Höganäs har målet att bli koldioxidneutral i hela värdekedjan till år 2037.¹⁷⁹

Enligt en bedömning kommer järn- och stålindustrins under åren 2030–2045 att behöva mellan 200 000 och 300 000 ton biokol. Den största andelen utsläpp från järn- och stålindustrin uppstår när fossilt kol används för att reducera järnmalm till järn. Biokol kan i kombination med vätgas vara en väg att minska de fossila utsläppen.¹⁸⁰ Dock finns ännu ingen teknik för storskalig och kostnadseffektiv produktion av biokol. Det pågår nu försök

¹⁷⁰ H2 Green Steels webbplats. *H2 Green Steel raises more than €4 billion in debt financing for the world's first large-scale green steel plant*. <https://stegra.com/news-and-stories/h2-green-steel-raises-more-than-4-billion-in-debt-financing-for-the-worlds-first-large-scale-green-steel-plant> (Hämtad 2024-07-10)

¹⁷¹ EU-kommissionen, *Innovation Fund, Project fiche: H2GS: H2 Green Steel*. https://ec.europa.eu/assets/cinea/project_fiches/innovation_fund/101133206.pdf (Hämtad 2024-08-12)

¹⁷² Energimyndighetens webbplats, Nyheter, *Energimyndigheten ger 1,2 miljarder i stöd till Stegra (H2 Green Steel)*. <https://www.energimyndigheten.se/nyhetsarkiv/2024/energimyndigheten-ger-12-miljarder-i-stod-till-stegra-h2-green-steel/> (Hämtad 2024-09-19).

¹⁷³ Energimyndighetens projektdatabas, P2021-90244, diarienummer 2021-013428

¹⁷⁴ Ovakos webbplats, *Vår vätgasanläggning*. <https://www.ovako.com/sv/om-ovako/Var-vatgasanlaggning/> (Hämtad 2024-07-10)

¹⁷⁵ Sveriges miljömål, <https://www.sverigesmiljomal.se/larande-exempel/gron-vatgas-for-fossilfri-varmning-av-stal/>

¹⁷⁶ Energimyndighetens projektdatabas, 46974-1, diarienummer 2018-006750

¹⁷⁷ Bioenergitudningen, 2023. *Hårdgjord biokol hjälper Höganäs att bli klimatneutrala*. <https://bioenergitudningen.se/hardgjord-biokol-hjalper-hoganas-att-bli-klimatneutrala/>

¹⁷⁸ Energimyndighetens projektdatabas, P2020-90128, diarienummer 2020-025559

¹⁷⁹ Energimyndighetens projektdatabas, P2020-30128, diarienummer 2020-025559

¹⁸⁰ Luleå Tekniska Högskolas webbplats, *Satsning på biokol för fossilfri järn- och stålproduktion*. <https://www.ltu.se/aktuellt/nyheter/nyhetsarkiv/2022-07-13-satsning-pa-biokol-for-fossilfri-jarn--och-stal-produktion> (Hämtad 2024-05-22)

med att bland annat utveckla en lösning i form av ett reaktorkoncept som möjliggör storskalig produktion av biokol i befintliga kraftvärmeverk.¹⁸¹

Den biomassa som används för att tillverka biokol kan vara av olika ursprung. Inom projektet BioReSteel som drivs av metallforskningsinstitutet Swerim utvecklas teknik för att tillverka hydrochar (vilket är en typ av biokol) från lokalt tillgängliga biomassarester, i stället för att använda högvärdig biomassa. Genom att ersätta fossilt kol i ljusbågsugnar med den utvecklade biokolen kan de fossila utsläppen från stålindustrin minska.¹⁸²

3.1.3 Raffinaderier och kemiindustrin

Raffinaderier och kemiindustrin stod år 2022 för 26 procent av industrins fossila växthusgasutsläpp, varav 79 procent bestod av processrelaterade utsläpp. Såväl raffinaderier som kemiindustrin har 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: återvinning av material, byte av råvaror från fossilbaserade till biobaserade, fossilfri vätgas samt elektrobränslen och koldioxidavskiljning.

Inom kemiindustrin är den petrokemiska industrin den mest utsläppsintensiva. Tillverkning av petrokemiska produkter och tillverkning av bränslen i raffinaderier har många likheter i dagsläget. Båda använder fossila råvaror och har tillverkningsprocesser som på olika sätt bryter sönder, slår samman eller omformar kolväten till olika slutprodukter.¹⁸³

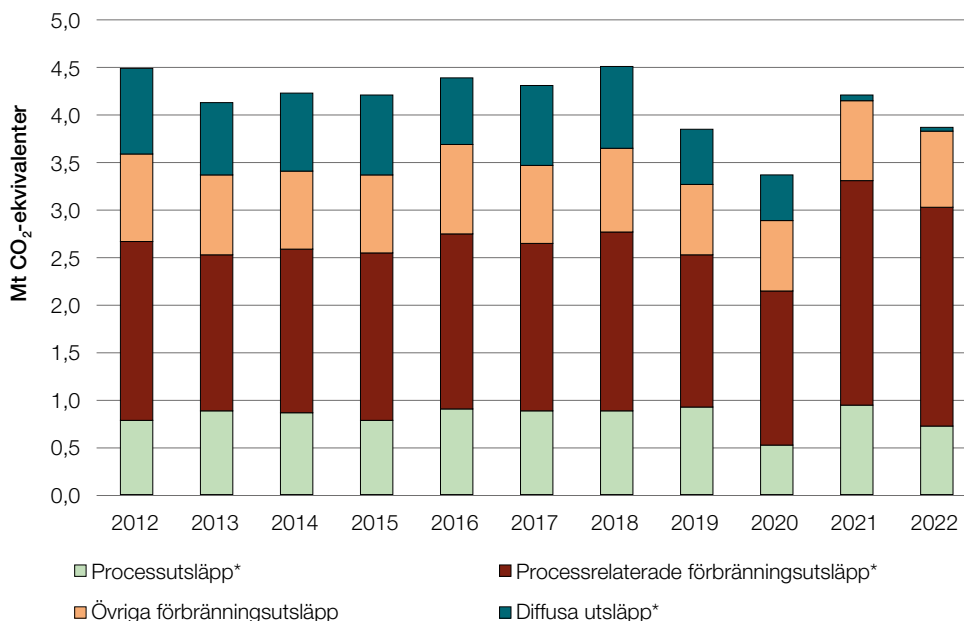
Nuläge inom raffinaderier och kemiindustrin

Raffinaderi- och kemiindustrins fossila växthusgasutsläpp uppgick till cirka 3,9 miljoner ton koldioxidekvivalenter under år 2022 och motsvarade en dryg fjärdedel av industrins totala fossila växthusgasutsläpp år 2022. Figur 10 visar fördelningen mellan olika kategorier av fossila växthusgaser.

¹⁸¹ Luleå Tekniska Universitet webbplats, *Storskalig produktion av biokol som förnybar råvara i fossilfria värdekedjor inom järn- och stålindustrin*. <https://www.ltu.se/forskning/forskningsamnen/energiteknik/termo-kemisk-energiomvandling/projekt/2023-10-17-storskalig-produktion-av-biokol-som-fornybar-ravara-i-fossil-fria-vardekedjor-inom-jarn--och-stalindustrin>

¹⁸² Energimyndighetens projektdatabas, P2023-203097, diarienummer 2023-00761

¹⁸³ För en mer genomgående beskrivning av processerna i raffinaderi- och kemiindustrin, se rapport från 2021, Energimyndigheten, 2021 d (bilaga 3).



Figur 10. Raffinaderiers och kemiindustrins utsläpp av fossila växthusgaser fördelat på olika utsläppskategorier, 2012–2022, miljoner ton koldioxidekvivalenter (kategorier markerade med * ingår i processrelaterade utsläpp).

Källa: Naturvårdsverket och SCB¹⁸⁴, bearbetning av Energimyndigheten.

Anm 1: Andel övriga förbränningsutsläpp för 2020–2021 har reviderats upp i år jämfört med vad som angavs i förra årets rapport.

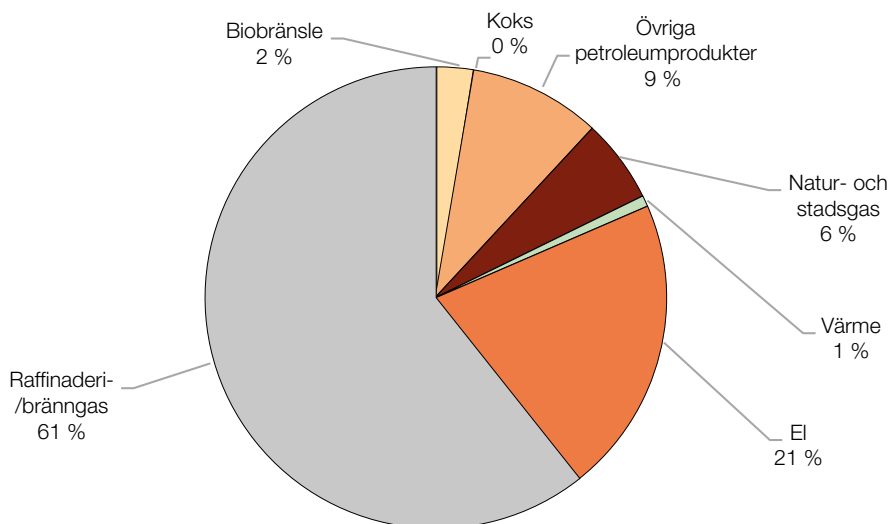
De processrelaterade utsläppen utgör 79 procent av branschens totala utsläpp.¹⁸⁵ Den största utsläppskategorin utgörs av branschens förbränning av interna restgaser. Vätgasproduktion med naturgas ger också upphov till utsläpp. Under hela kedjan från produktion av fossila råvaror via transport och lagring 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.

Raffinaderier och kemiindustrin använde tillsammans 24 TWh energi år 2022, vilket är 16 procent av den totala slutliga energianvändningen inom industrin.¹⁸⁶ I figur 11 visas fördelningen mellan olika energibärare år 2022 för raffinaderier och kemiindustrin. Energin för att driva processerna består till stor del av interna restgaser (benämnda som raffinaderi-/brännngas i figur 11).

¹⁸⁴ Naturvårdsverket och SCB, 2024.

¹⁸⁵ Ibid.

¹⁸⁶ Energimyndigheten, 2023. *Årlig energibalans*.



Figur 11. Raffinaderiers och kemiindustrins (inklusive läkemedelsindustrins) energianvändning fördelat på olika energikällor, 2022, procent.

Källa: Energimyndigheten.¹⁸⁷

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

Sverige siktar på att 2030 ha en fossilt oberoende fordonsflotta, och de senaste åren har det även kommit styrmedel för hållbara flygbränslen.¹⁸⁸ Andelen hållbara biodrivmedel i Sverige var drygt 26 procent 2023, vilket är högst andel i Europa.¹⁸⁹ Andelen kommer dock sannolikt ha minskat när 2024 summeras, som en följd av att reduktionsplikten sänkts till 6 procent för diesel och bensin¹⁹⁰ (från 30,5 procent respektive 7,8 procent) för perioden 2024–2026, Regeringen aviserade i augusti 2024 en höjning av reduktionsplikten till 10 procent från 1 juli 2025.¹⁹¹

Sverige har ett stort importberoende¹⁹² när det gäller biodrivmedel, men det pågår flera forskningsprojekt och investeringar har gjorts i produktionsledet^{193,194} för att öka den svenska självförsörjningsgraden av biodrivmedel genom att tillvarata resurser från exempelvis skogen och lantbruket på ett hållbart vis.

¹⁸⁷ Energimyndigheten, 2023. *Årlig energibalans*.

¹⁸⁸ RISE webbplats, *Förnybara och fossilfria drivmedel för en hållbar framtid*. <https://www.ri.se/sv/vad-vi-gor/fossilfria-drivmedel> (Hämtad 2024-05-22)

¹⁸⁹ Drivkraft Sveriges webbplats, *Fortsatt hög andel biodrivmedel 2023*. <https://drivkraftsverige.se/nyheter/fortsatt-hog-andel-biodrivmedel-2023/> (Hämtad 2024-05-22)

¹⁹⁰ Sveriges riksdag, *Sänkning av reduktionsplikten för bensin och diesel*, Betänkande 2023/24: MJU5 Miljö- och jordbruksutskottet. https://www.riksdagen.se/sv/dokument-och-lagar/dokument/betankande/sankning-av-reduktionsplikten-for-bensin-och_hb01mju5/ (Hämtad 2024-05-22)

¹⁹¹ Regeringskansliet, *Sänkt skatt på bensin och diesel och reformerad reduktionsplikt*, Pressmeddelande, 27 augusti 2024.

¹⁹² Energimyndigheten, 2022. Kontrollstation för reduktionsplikten 2022, ER 2022:07. <https://energimyndigheten.a-w2m.se/System/TemplateView.aspx?p=Arkitektkopia&id=ed7b51a47e-e04e86bcff6c6f11c71922&q=2022%3A07&lstqty=1>

¹⁹³ Enligt Svebio uppskattas produktionskapacitet för anläggningar i drift i Norden till drygt 17 TWh per år. Därutöver har anläggningar under uppbyggnad en kapacitet på omkring 4,4 TWh och planerade anläggningar en kapacitet på närmare 47 TWh per år. Se Swebios webbplats, <https://www.svebio.se/om-bioenergi/biodrivmedel/> (Hämtad 2024-05-22)

¹⁹⁴ Tidningen Proffs webbplats, *Preem först ut med svenskproducerad HVO100 till kunder i Sverige*. <https://www.tidningenproffs.se/nyhet/2024/04/preem-forst-ut-med-svenskproducerad-hvo100-till-kunder-i-sverige/> (Hämtad 2024-05-22)

Kemiindustrin använder idag stora mängder fossila råvaror som skulle kunna ersättas med biobaserad råvara.¹⁹⁵ Marknaden och kostnaderna för biobaserade alternativ till fossila råvaror och/eller produkter växer till följd av en ökande efterfrågan och skärpta krav i lagstiftningen. Biobaserade råvaror är dyra att processa jämfört med fossila råvaror och produkt- och processutvecklingen är kostsam.¹⁹⁶ En förutsättning för att en bioråvara ska kunna användas i existerande processer är att den har liknande egenskaper som den fossila råvara som den ska ersätta. Satsningar på forskning och utveckling behövs för att kunna framställa och implementera biobaserade alternativ, både för process- och produktutveckling.

Raffinaderier och kemiindustrins väg mot nettonollutsläpp

Kemiindustrin och raffinaderiindustrin har liknande utmaningar och möjligheter för att nå nettonollutsläpp. För att göra produktionen helt fossilfri, och för att eliminera nedströms koldioxidutsläpp från användningen av industrins produkter, krävs att råvaran byts ut. Teknikspår som möjliggör detta inkluderar biobaserade råvaror, fossilfri vätgas, elektrobränslen (CCU) samt användning av återvunna råvaror inom kemiindustrin. I vissa fall används kombinationer av de olika teknikspåren. En övergång till biobaserade råvaror kan ge synergieffekter, eftersom det kan leda till negativa utsläpp när CCS används på utsläpp med biogent ursprung.

Tabell 4. Exempel på applikationer av huvudspår inom svensk raffinaderi- och kemiindustri.

Huvudspår	Exempel på applikation
 ENERGI- OCH MATERIALEFFEKTIVITET	Avfalls-/restprodukter för produktion av bränsle/kemikalier
 BIOMASSA	Drivmedel från biobaserade insatsråvaror (biodrivmedel)
 ELEKTRIFIERING	El för uppvärmning istället för fossilt bränsle
 VÄTGAS	Elektrolysbaserad vätgas som ersättning för fossil vätgas
 CCS	Avskiljning och lagring av fossil/biogen koldioxid
 CCU	Elektrobränslen och elektrokemikalier från vätgas och infångad koldioxid

Teknikvägar för biobaserade råvaror

Sverige har goda förutsättningar för att öka sin självförsörjningsgrad av biodrivmedel genom att använda restprodukter från skogs- och jordbruket. Det pågår ett antal projekt på området.

Södra skogsägarna ska investera i en anläggning för tillverkning av sulfatlignin integrerat i sulfatsmassabruket i Mönsterås. Ligninet kan ersätta fossila material i bland annat lim, batterier, gummi och kompositer, och ligga till grund för nya biobränslen och biostimulanter.

¹⁹⁵ Bioråvara är biomassa från hav, jord och skog. Läs mer om tillgång och efterfrågan på bioråvaror i avsnitt 2.1.2.

¹⁹⁶ RISEs webbplats, *Så får vi mer värde från våra bioråvaror*. <https://www.ri.se/sv/berattelser/sa-far-vi-mer-varde-fran-vara-bioravaror> (Hämtad 2024-05-22)

Anläggningen beräknas vara i drift 2027, och väntas bli den största producenten av sulfatlignin i världen.^{197,198}

I april 2024 invigdes Göteborg Bioraffinaderi, som samägs av St1 och SCA. Bioraffinaderiet har nu påbörjat sin produktion av hållbara flygbränslen (SAF) och andra biodrivmedel. Bioraffinaderiet har möjlighet att nyttja många olika typer av råvaror, däribland tallolja från SCAs pappers- och massabruk.¹⁹⁹ Företagen förbereder även för ytterligare ett bioraffinaderi – Biorefinery Östrand – som ska integreras med det närliggande sulfatmassabruket och producera hållbart flygbränsle och biodrivmedel från skogsindustriella biprodukter och förnybar el. I slutet av 2023 tecknade Biorefinery Östrand ett avtal med European Climate, Infrastructure and Environment Executive Agency (CINEA), som berättigar bolaget till ett innovationsstöd från EU:s Innovationsfond om cirka 167 miljoner euro efter ett eventuellt framtida investeringsbeslut.²⁰⁰

Teknikvägar för bränsleframställning

Tillverkning av elektrobränslen är ny industriproduktion i Sverige med stor potential att bidra till bland annat en ökad försörjningstrygghet genom en ökad användning och förädling av svenska råvaror.²⁰¹ Perstorp driver projektet Project Air för att tillverka klimatneutral metanol, genom att utnyttja restströmmar och fånga in och använda koldioxid från produktionen, tillsammans med en ny elektrolysanläggning och biogas.²⁰² Vidare har European Energy planer för en e-metanolfabrik utanför Söderhamn. Ett samarbete med Svea Vind Offshore har inletts.²⁰³ Ytterligare ett projekt som syftar till att producera elektrobränslen drivs av Statkraft. Bränslet är tänkt att produceras med hjälp av el från vindkraftparken Baltic Offshore Beta som Statkraft planerar utanför Blekinges kust.²⁰⁴ Vidare planerar Liquid Wind byggnation av två produktionsanläggningar för att producera e-metanol tillsammans med lokala energibolag, i Sundsvall respektive Umeå.^{205,206}

Satsningar på forskning och innovation inom området drivs bland annat av en ökad efterfrågan på fossilfria bränslen till flyg och sjöfart för att fasa ut kvarvarande utsläpp. Det pågår ett flertal satsningar på fossilfritt flyg, så som vätgas- och elflyg och biojetbränslen.²⁰⁷ Ett

¹⁹⁷ Södra skogsägarnas webbplats. *Södra blir världens största producent av sulfatlignin*. Södra blir världens största producent av sulfatlignin (sodra.com) (Hämtas 2024-07-01)

¹⁹⁸ Energimyndighetens projektdatabas, P2023-01595, diarienummer 2023-205761

¹⁹⁹ St1s webbplats, *St1s nya bioraffinaderi i Göteborg invigt av Ebba Busch*. St1s nya bioraffinaderi i Göteborg invigt av Ebba Busch – St1 (Hämtad 2024-08-15)

²⁰⁰ SCA:s webbplats, *Biorefinery Östrand ingår EU-avtal om innovationsstöd*. SCAs och St1s projekt Biorefinery Östrand ingår EU-avtal om innovationsstöd (Hämtad 2024-08-15)

²⁰¹ Industrirådet, 2023, *Industrin driver klimatomställningen*. <https://www.industriradet.se/wp-content/uploads/Industrin-driver-klimatomställningen.pdf>

²⁰² Energimyndighetens webbplats, *Investering i klimatneutral metanolproduktion hos Perstorp stöds av Energimyndigheten*. Investering i klimatneutral metanolproduktion hos Perstorp stöds av Energimyndigheten (Hämtad: 2024-08-16)

²⁰³ European Energys webbplats, *European Energy och Svea Vind Offshore undersöker möjligheterna för e-metanolfabrik i Söderhamn*. European Energy och Svea Vind Offshore undersöker möjligheterna för e-metanolfabrik i Söderhamn – European Energy Sverige (Hämtad: 2024-08-15)

²⁰⁴ Statkrafts webbplats, *Statkraft och Karlshamn i samarbete för trygg grön elförsörjning*. Statkraft och Karlshamn i samarbete för trygg grön elförsörjning (Hämtad 2024-08-15)

²⁰⁵ Liquid Winds webbplats, *Sundsvall*. <https://www.liquidwind.com/sundsvall> (Hämtad 2024-08-19)

²⁰⁶ Liquid Winds webbplats, *Umeå*. <https://www.liquidwind.com/umea> (Hämtad 2024-08-19)

²⁰⁷ Energimyndighetens webbplats. *Fossilfritt flyg*. <https://www.energimyndigheten.se/forskning-och-innovation/forskning/transporter/fossilfritt-flyg/> (Hämtad 2024-08-26)

antal flygbolag på den svenska marknaden har ingått avtal om att köpa fossilfritt bränsle, eller ingått avsiktsförklaringar kring att köpa drivmedel från anläggningar under projektering.²⁰⁸ I projektet NorthStarH2 planerar man att tillverka förnybart bränsle till sjöfart och kemiindustri, från förnybar vätgas och infångad biogen koldioxid från Jämtkraft biokraftvärmeverk i Östersund kommun.²⁰⁹

Vissa bakslag under året kan dock noteras. Uniper har under oktober 2024 beslutat att avbryta utvecklingen av SkyFuelH2, vilket var ett projekt för produktion av hållbart flygbränsle i Sollefteå. Detta bland annat på grund av förändrade marknadsförutsättningar, ökade kostnader och fortsatt osäkra effekter av de regelverk som ska stötta ökad efterfrågan på hållbart flygbränsle.^{210,211,212}

Ett annat exempel är projektet HySkies, med målet att 2030 starta världens första storskaliga produktion av syntetiskt hållbart flygbränsle (SAF) i Sverige.²¹³ Projektet har under 2024 pausats för att finna nya partners och eventuella besked om investeringar har skjutits fram och berörda bolag har av sagt sig beviljade medel från EU:s innovationsfond.²¹⁴

3.1.4 Mineralindustrin

Mineralindustrin stod för drygt 17 procent av industrins totala fossila växthusgasutsläpp under år 2022. Av mineralindustrins utsläpp var cirka 64 procent 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 när kalksten används som råvara. Det finns flera olika tekniska spår för att minska utsläppen i cementproduktionen i Sverige.

Nuläget i mineralindustrin

Mineralindustrin i Sverige omfattar tillverkning av produkter som baseras på olika mineraler, inte minst kalksten. Från kalksten tillverkas både mellan- och slutprodukter, och användningsområdena är många. Av kalksten görs bland annat bränd kalk och krossad kalksten som kan användas i stålproduktion. Så kallad släckt kalk används bland annat vid rökgasrening och i olika industriella processer, t.ex. vid produktion av plastprodukter och läkemedel. Vanligaste beståndsdelen i betong är idag cement som är tillverkad från kalksten.²¹⁵

²⁰⁸ 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

²⁰⁹ Unipers webbplats, *NorthStarH2 – förnybart elektrobränsle i Östersund*. <https://www.uniper.energy/sverige/nyheter/northstarh2--foerneybart-elektrobraensle-i-oestersund/> (Hämtad 2024-08-15)

²¹⁰ Uniper, Uniper avslutar utvecklingen av SkyFuelH2 | Uniper (mynewsdesk.com)

²¹¹ Unipers webbplats, *SkyFuelH2. Jetfuel | Uniper* (Hämtad 2024-08-16)

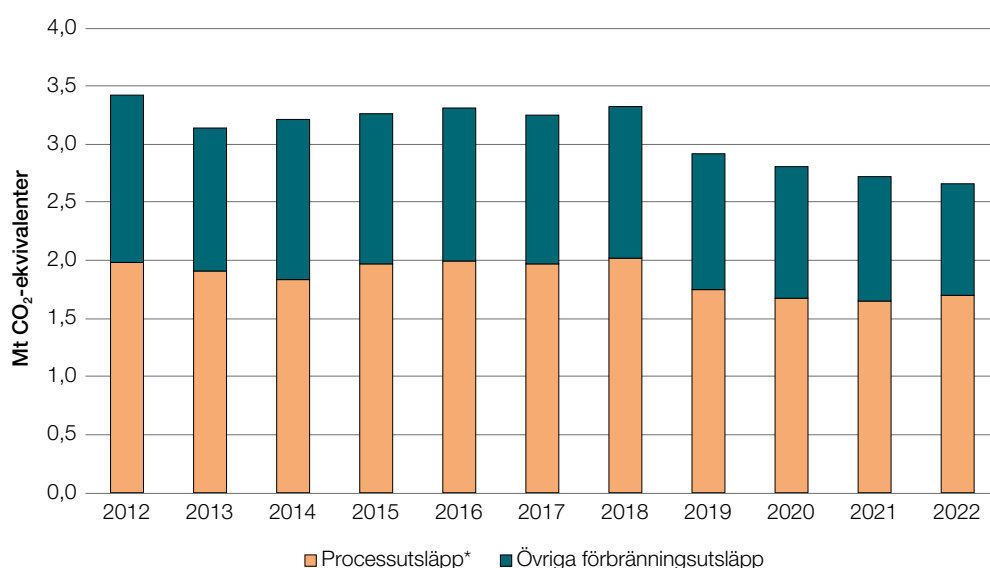
²¹² Energimyndighetens projektdatabas P2022-01111, diarienummer 2022-202150

²¹³ Vattenfalls webbplats, *Vattenfall ser över HySkies-projektet*. <https://group.vattenfall.com/se/nyheter-och-press/nyheter/2024/vattenfall-ser-over-hyskies-projektet> (Hämtad 2024-08-20)

²¹⁴ Montel News, Shell hoppar av e-bränsleprojekt (250 MW) i Forsmark | Montel News – Nordisk (Hämtad 2024-10-17)

²¹⁵ Svensk Byggtjänsts webbplats, *Bindemedel som kan ersätta cement i betong*. <https://byggkoll.byggtjanst.se/artiklar/2023/mars/bindemedel-som-kan-ersatta-cement-i-betong/> (Hämtad 2024-05-24)

Cementproduktion är den delbransch som har högst fossila växthusgasutsläpp inom mineralindustrin och är därför i fokus i detta avsnitt.²¹⁶ Totalt uppgick mineralindustrins utsläpp av fossila växthusgaser till 2,7 miljoner ton koldioxidekvivalenter år 2022, vilket motsvarade drygt 17 procent av industrins totala utsläpp.²¹⁷ De senaste åren har utsläppen minskat, framför allt till följd av ökad inblandning av slagg och aska i cementproduktionen samt utfasning av fossila bränslen.²¹⁸ En betydande minskning ägde rum 2019 då Heidelberg Materials Cement Sverige (tidigare Cementa AB) stängde ned en äldre anläggning med sämre klimatprestanda.²¹⁹ Av branschens totala fossila koldioxidutsläpp år 2022 var cirka 64 procent processrelaterade och resterande utgjordes av övriga förbränningsutsläpp, se figur 12. De processrelaterade utsläppen kan nästan uteslutande härledas till cement- och kalkproduktionen och uppstår när kalksten hettas upp kraftigt och koldioxid frigörs, dvs. kalcineras.²²⁰



Figur 12. Mineralindustrins utsläpp av fossila växthusgaser fördelat på olika utsläppskategorier, miljoner ton koldioxidekvivalenter, 2012–2022 (kategorier markerade med * ingår i processrelaterade utsläpp).

Källa: Naturvårdsverket och SCB,²²¹ bearbetning av Energimyndigheten

Anm: Av sekretesskäl har processutsläpp i kalkproduktion behövt modelleras för 2022. Modelleringen har gjorts genom att ta medelvärde av de två tidigare åren.

Ur ett livscykelperspektiv kan utsläppen i cementindustrin vara lägre än de direkta utsläppen tack vare en kemisk process som kallas för karbonatisering, vilket innebär att betongstrukturer tar upp koldioxid i ytskiktet.²²² Idag får koldioxidupptag i betongstrukturer inte tillgodoräknas

²¹⁶ Inom mineralindustrin produceras även andra produkter, t.ex. glas, porslin, keramik och gips. För en beskrivning av processerna i cementframställningen, se Energimyndighetens Nulägesanalys från 2021, bilaga 3.

²¹⁷ Naturvårdsverket och SCB, 2024.

²¹⁸ Naturvårdsverkets webbplats, *Industrin – utsläpp av växthusgaser*. <https://www.naturvardsverket.se/data-och-statistik/klimat/vaxthusgaser-utslapp-fran-industrin/> (Hämtad 2024-05-24)

²¹⁹ Dagens Industri, 2022. *Största utsläppsbovarna ökar utsläppen igen*. <https://www.di.se/hallbart-naringsliv/storsta-utslappsbovarna-okar-utslappen-igen/> (Hämtad 2024-05-22)

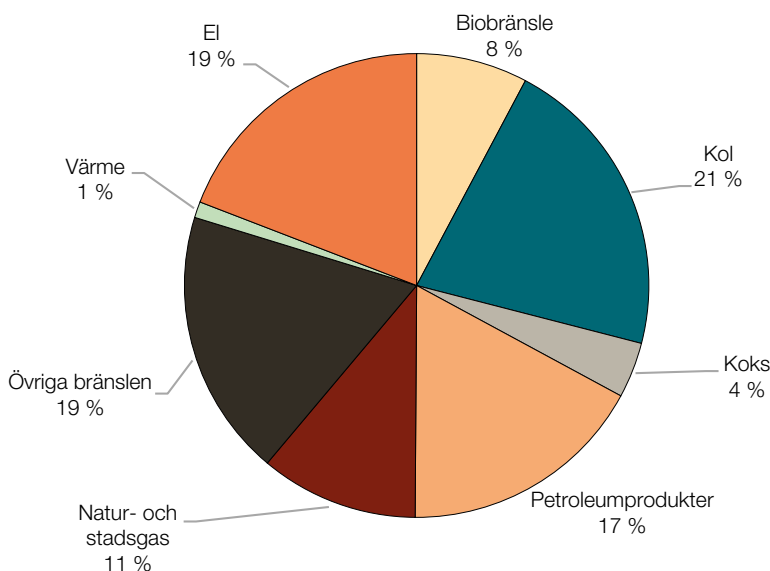
²²⁰ Kalksten består till stor del av kalciumkarbonat (CaCO_3), som vid kraftig upphettning (kalcinering) bildar kalciumoxid (CaO) och släpper ifrån sig koldioxid (CO_2). Den processen kallas kalcinering.

²²¹ Naturvårdsverket och SCB, 2024.

²²² Heidelberg Materials Cement Sverige, 2018. *Färdplan cement – för ett klimatneutralt byggande*. https://www.cement.heidelbergmaterials.se/sites/default/files/assets/document/9a/c0/fardplan_cement-for_klimatneutralt_betongbyggande-20180424.pdf

som negativa utsläpp i klimatrappporteringen.²²³ Därför kan upptaget i dagsläget troligen heller inte räknas in i Sveriges klimatmål om nettonollutsläpp 2045. Detta kan dock komma att ändras i framtiden i och med att diskussioner kring inkludering av upptag i betong pågår internationellt.

Mineralindustrins slutliga energianvändning uppgick till drygt 4,8 TWh under 2022, vilket motsvarar tre procent av industrins totala slutliga energianvändning.²²⁴ Figur 13 visar fördelningen mellan olika energibärare.



Figur 13. Mineralindustrins energianvändning fördelat på olika energikällor, 2022, procent.

Källa: Energimyndigheten.²²⁵

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 2022. 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.

Mineralindustrins väg mot nettonollutsläpp

Ungefär två tredjedelar av koldioxidutsläppen från cementproduktion uppstår vid förbränningen av kalkstenen och resterande tredjedel är relaterat till bränslet. Så länge cement produceras med kalksten som råvara kommer det därmed att uppstå koldioxidutsläpp. Det produceras ingen fossilfri cement eller betong idag, men mindre utsläppsintensiva varianter

²²³ 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

²²⁴ Eftersom antalet anläggningar för cementproduktion i Sverige är få kan deras energianvändning inte särredovisas.

²²⁵ Energimyndigheten, 2023. *Årlig energibalans*.

av produkterna finns. De huvudsakliga lösningarna för cementindustrin är att fånga in och lagra biogen och fossil koldioxid, att ersätta fossil energi med alternativa bränslen och att ersätta delar av kalkstenen med alternativa råmaterial.^{226,227} Även att ersätta termiska med elektrifierade processer och att energieffektivisera är möjliga tekniska vägar.

Tabell 5. Exempel på applikationer av huvudspår inom svensk mineralindustri.

Huvudspår	Exempel på applikation
 ENERGI- OCH MATERIALEFFektivITET	Återvinning av material och komponenter
 BIOMASSA	Biokol som reduktionsmedel istället för kol/koks
 ELEKTRIFIERING	Elektrisk förvärmare till smältugn och elektrifiering av arbetsmaskiner i gruva
 VÄTGAS	Vätgas som reduktionsmedel istället för kol/koks

CCS och elektrifiering

De två främsta huvudspåren för att minska utsläppen av koldioxid inom cementindustrin och kalkindustrin är genom att använda sig av CCS och/eller elektrifiering av processerna. Heidelberg Materials Cement Sverige avser att etablera en av världens första klimatneutrala cementfabriker i Slite till 2030, genom bland annat implementering av CCS och genom att successivt öka andelen biobränslen. Den planerade anläggningen beräknas fånga in upp emot 1,8 miljoner ton koldioxid per år. Målsättningen är att börja byggnationen av CCS-anläggningen år 2027.²²⁸ Heidelberg Materials har nu slutfört genomförbarhetsstudien, som ska ligga till grund när satsningen går vidare mot nästa fas som innebär projektering och detaljerad utformning av anläggningen. Några slutsatser från genomförbarhetsstudien handlar om var CCS-anläggningen ska placeras, lösningar för effektiv logistik, och optimeringar och innovativa lösningar inom bland annat värmeöverföring för att minska tillförsel av el och värme.²²⁹

En annan teknisk möjlighet för att minska utsläppen inom kalk- och cementindustrin är elektrifiering av processer. Inom det industriella partnerskapet ZEQL (Zero Emission Quicklime) samarbetar SMA Mineral och SaltX Technology för att möjliggöra koldioxidneutral bränd kalk baserad på elektrisk kalcinering och koldioxidavskiljning. Den första anläggningen ska byggas i Norge och beräknas stå klar 2025, och planer finns för nya anläggningar både i Sverige och utanför Norden.^{230,231} I slutet av 2023 invigde SaltX Technology sin världsunika testanläggning

²²⁶ Fossilfritt Sverige, 2023. *Färdplan för konkurrenskraft och nettonollutsläpp – Cementbranschen*. https://fossilfritt Sverige.se/wp-content/uploads/2023/10/Cement_fardplan_uppgraderad_2023.pdf

²²⁷ Heidelberg Materials Cement Sveriges webbplats, *Bortom nettonoll 2030*. <https://www.cement.heidelbergmaterials.se/sv/nollvision2030> (Hämtad 2024-08-20)

²²⁸ Fossilfritt Sverige, 2023

²²⁹ Nordiska projekts webbplats. *Heidelberg Materials CCS-projekt i Slite mot nästa fas*. <https://www.nordiskaprojekt.se/2024/08/13/heidelberg-materials-ccs-projekt-i-slite-mot-nasta-fas/> (Hämtad 2024-08-20)

²³⁰ ZEQL:s webbplats, *Zero Emission QuickLime*. <https://www.zeql.com/> (Hämtad 2024-08-19)

²³¹ ZEQL:s webbplats, *FAQs*. <https://www.zeql.com/faqs> (Hämtad 2024-08-19)

för elektrifierad tillverkning av kalk och cement i Hofors, Electric Calciner Research Center.²³² I projektet CemZero undersöker Heidelberg Materials även möjligheten att elektrifiera uppvärmningen inom cementproduktionen.^{233,234,235}

Alternativa råvaror till kalk

Betong består huvudsakligen av ballast, som med hjälp av cement och vatten binds samman till betong. Det pågår ett arbete för att skapa nya, innovativa produkter baserade på alternativa råvaror till kalksten. Alternativ som används redan idag är masugnsslagg, en restprodukt från järn- och ståltillverkning, och flygaska, som är en restprodukt från kolkraftverk. Andra möjliga ersättningsmaterial är bland annat vulkanaska och kalcinerad lera.^{236,237,238,239} Ett exempel på en pågående satsning är företaget Cemvision som utvecklar cement som framställs av industriella restprodukter och fossilfri energi.²⁴⁰ Cemvision har ingått ett samarbete med bland annat Vattenfall för leverans av den koldioxidsnåla cementen.²⁴¹

Ett annat exempel är Swecem som investerar i en uppgradering av sin anläggning för produktion av alternativa bindemedel från slagg från stålindustrin i Oxelösund med syftet att minska klimatavtrycket från sin betong.²⁴² Slagg från nya processer för järn- och stålframställning med vätgasreduktion och smältning i ljusbågsugn kommer dock kräva modifiering för att kunna användas i bindemedel som ersätter cement i betong. Future Eco North Sweden AB, Luleå Tekniska Universitet och Umeå Universitet genomför ett projekt som syftar till ökad kunskap om egenskaperna hos slagg från ljusbågsugn och hur dessa kan ersätta cementklinker.²⁴³

3.1.5 Övrig metallindustri inklusive övriga gruvor

Inom övrig metallindustri, inklusive övriga gruvor, ingår framställningen av andra metaller än järn och stål samt all mineralutvinning och malmbrytning utom järnmalm. Detta inkluderar främst framställning av koppar, bly, zink, ädelmetaller och aluminium. Sverige har en stor nettoexport av övriga metaller och är en av Europas ledande malm- och metall-

²³² SaltX Technology:s webbplats, *Pressinbjudan: SaltX inviger test- och researchcenter för tillverkning av kalk och cement utan koldioxidutsläpp*. <https://www.saltxtechnology.com/cision/pressinbjudan-saltx-inviger-test-och-researchcenter-for-tillverkning-av-kalk-och-cement-utan-koldioxidutslapp/> (Hämtad 2024-08-16)

²³³ Heidelberg Materials Cement Sveriges webbplats, *CemZero*. <https://www.cement.heidelbergmaterials.se/sv/cemzero> (Hämtad 2024-08-20)

²³⁴ Energimyndighetens projektdatabas P2019-90008, diarienummer 2019-008655

²³⁵ Energimyndighetens projektdatabas P2019-90132, diarienummer 2019-022013

²³⁶ Fossilfritt Sverige, 2023.

²³⁷ Skanskas webbplats, *Grön betong för en hållbar framtid*. <https://www.skanska.se/om-skanska/press/nyheter/gron-betong-for-en-hallbar-framtid/> (Hämtad 2020-09-08),

²³⁸ Infrastrukturnyheters webbplats, *Swerock lanserar miljöbetong från nyöppnad fabrik*. <https://www.infrastrukturnyheter.se/20201124/23847/swerock-lanserar-miljobetong-fran-nyoppnad-fabrik> (Hämtad 2021-08-20)

²³⁹ Heidelberg Materials Cement Sveriges webbplats, *Klimatanpassad betong – här är listan*. <https://www.cement.heidelbergmaterials.se/sv/klimatanpassad-betong-har-ar-listan> (Hämtad 2020-08-20)

²⁴⁰ Cemvisions webbplats, *Cemvision Re-ment*. <https://www.cemvision.tech/our-tech> (Hämtad 2024-08-26)

²⁴¹ Vattenfalls webbplats, *Vattenfall och Cemvision i nytt samarbete om leveranser av cement med nära noll utsläpp*. <https://group.vattenfall.com/se/nyheter-och-press/pressmeddelanden/2024/vattenfall-och-cemvision-i-nytt-samarbete-om-leveranser-av-cement-med-nara-noll-utslapp> (Hämtad 2024-08-26)

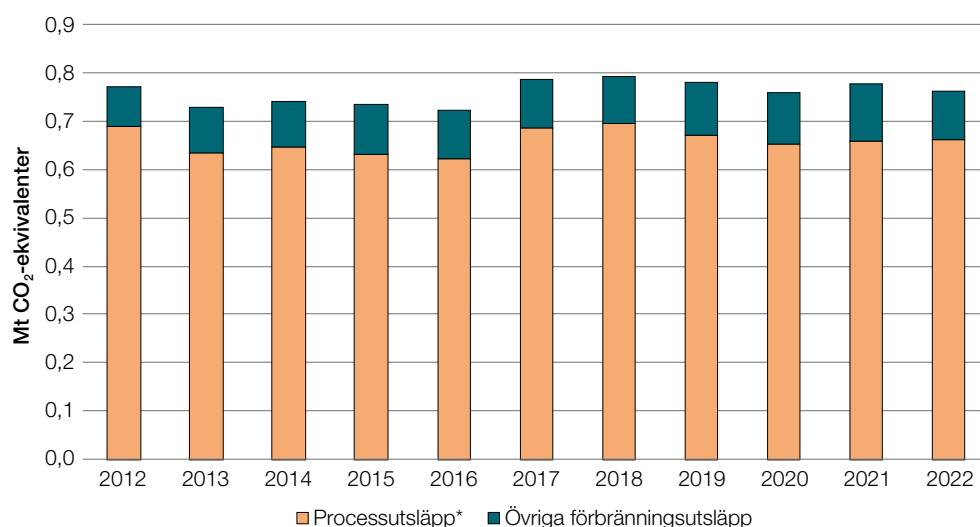
²⁴² Swecems webbplats, *Swecem utökar verksamheten i Oxelösund*. <https://swecem.se/nyheter/swecem-utokar-verksamheten-i-oxelosund/> (Hämtad: 2024-08-16)

²⁴³ Energimyndighetens projektdatabas, P2023-00938, diarienummer 2023-204278

producenter med en stor produktion av bas- och ädelmetaller.²⁴⁴ Framställning av koppar, bly²⁴⁵ samt aluminium står för den största andelen av de processrelaterade utsläppen inom övrig metallindustri och är därför i fokus i detta avsnitt.

Nuläge i industrin för övriga metaller och övriga gruvor

Branschens totala utsläpp av fossila växthusgaser uppgick till 0,8 miljoner ton koldioxid-ekvivalenter under 2022 vilket motsvarar 5 procent av industrins totala utsläpp. Av branschens totala fossila växthusgasutsläpp var 87 procent processrelaterade och resten utgjordes av övriga förbränningsutsläpp, se figur 14.



Figur 14. Övrig metallindustris utsläpp av fossila växthusgaser fördelat på olika utsläppskategorier, miljoner ton koldioxidekvivalenter, 2012–2022 (kategorier markerade med * ingår i processrelaterade utsläpp).

Källa: Naturvårdsverket och SCB,²⁴⁶ 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.²⁴⁷

Stora processutsläpp uppstår också vid återvinning av bly och elektronikskrot, samt vid utvinning av zink från restmaterial (se nedan). Övriga processutsläpp i branschen kommer från framställning av järnlegeringar²⁴⁸ och i magnesiumgjutier.

²⁴⁴ SGUs webbplats, *Svensk gruvnäring*. <https://www.sgu.se/mineralnaring/svensk-gruvnaring/> (Hämtad 2024-05-22)

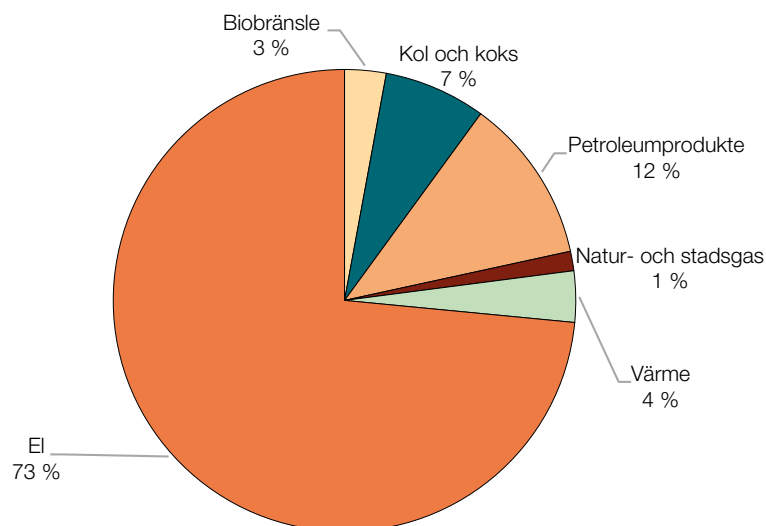
²⁴⁵ Flera andra metaller framställs i delbranschen, men koppar och bly är de huvudsakliga.

²⁴⁶ Naturvårdsverket och SCB, 2024.

²⁴⁷ ER 2021:27 (bilaga 3).

²⁴⁸ Utsläpp från framställning av järnlegeringar (ferrolegeringar) ligger inom övrig metallindustri i utsläppsstatistiken. I övrig statistik som används i rapporten (energi, ekonomi) så ligger järnlegeringar inom järn- och stål.

Branschens energianvändning uppgick till 6 TWh under 2022.²⁴⁹ Figur 15 visar fördelningen mellan olika energibärare. Närmare tre fjärdedelar av branschens totala energianvändning består av el, som bland annat används 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 metallindustri och används exempelvis i elektrolys av aluminiumoxid.



Figur 15. Energianvändningen i övrig metallindustri fördelat på olika energikällor, 2022, procent.

Källa: Energimyndigheten.²⁵⁰

Övrig metallindustris väg mot nettonollutsläpp

Övrig metallindustri består av tillverkning av flera olika metaller såsom aluminium, koppar, zink och bly, med unika tillverkningsprocesser. För bly- och koppartillverkning är de huvudsakliga teknikspår som utreds att ersätta kol och koks med biokol, vätgas eller andra alternativa medel, så som svavel. Liknande utmaningar som de inom järn- och stålindustrin finns vid ersättning av biokol, vars egenskaper skiljer sig från fossilt kol.

Tabell 6. Exempel på applikationer av huvudspår inom svensk övrig metallindustri.

Huvudspår	Exempel på applikation
 ENERGI- OCH MATERIALEFFEKTIVITET	Högre andel restmaterial i betong/cement
 BIOMASSA	En högre andel biobaserad energi
 ELEKTRIFIERING	Elektrifiering av kemiska processer
 VÄTGAS	Avskiljning av lagring av fossil/biogen koldioxid

²⁴⁹ Energimyndigheten, 2023. *Årlig energibalans*.

²⁵⁰ Ibid.

I Bolidens smältverk förädlas mineralkoncentrat till rena metaller.²⁵¹ Boliden, Nevel, Skellefteå Kraft och Sveaskog avser att genomföra en förstudie om att etablera en värdekedja för vätgas och biobränslen i Västerbotten. Ett av målen är att i förlängningen bidra till en utfasning av fossilt bränsle i smältverket Rönnskärs processer. Studien ska utvärdera den tekniska potentialen för ett storskaligt industrikuster inom produktion och användning av hållbart producerad energi såsom biokol och vätgas.²⁵²

Boliden Rönnskärs lakverk har varit i drift sedan år 2021, där bly sulfat och koppar/zinksulfat utvinns ur restmaterial i form av gasreningsstoft och slam från egna anläggningar. Genom lakverket kan mer metall utvinnas, och den totala mängden avfall som ska deponeras minskas avsevärt.²⁵³

Det pågår forskning om potentialen att använda gruvavfall och andra industriella restmaterial för att avskilja och lagra koldioxid. I ett projekt undersöker Chalmers tekniska högskola och Göteborgs universitet tillsammans med bland annat Boliden och Höganäs möjligheten för passiv karbonatisering av restflöden från industrin.²⁵⁴ Luleå tekniska universitet undersöker potentialen för typiskt svenskt gruvavfall för att fånga och lagra koldioxid. I projektet ingår gruvavfall som är rikt på kalcium-, kisel och magnesiumhaltiga mineraler.²⁵⁵

Utmaningar med återvinning av metallskrot

För bly, zink och koppar finns utmaningar kopplade till återvinning. En förutsättning för att återvinning av metallskrot ska leda till minskade processrelaterade utsläpp är att metallen kan återvinnas utan att genomgå ett reduktionssteg. För bly krävs reduktion även vid återvinning av blybatterier. Utvinning av zink från restmaterial (stoft från ståltillverkningen) har högre koldioxidavtryck än primärframställning, eftersom det krävs reduktion vid användningen av zinkrikt stoft medan tillverkning från primär råvara inte kräver reduktion.^{256,257} Återvinningen av basmetaller som järn, aluminium och koppar ur elektronikskrot fungerar relativt väl i Sverige, men det finns flera faktorer som gör att många andra metaller inte återvinns. Bland annat är mängderna metall i produkterna som ska återvinnas ofta okända. Dessutom finns många av dessa metaller tillsammans och blandade med andra ämnen vilket gör det kostsamt att sortera ut metallerna. Inom EU pågår flera forskningsprojekt som bland annat har syftet att utveckla elektronik och elektroniska produkter med en design som ger en mer effektiv återvinning av produkterna.²⁵⁸

²⁵¹ Bolidens webbplats, *Verksamhet – Smältverk*. <https://www.boliden.com/sv/verksamhet/smaltverk/> (Hämtad 2024-08-26)

²⁵² Bolidens webbplats, *Gemensam studie för hållbar omställning*. <https://investors.boliden.com/sv/press/gemensam-studie-hallbar-omstallning-2225377> (Hämtad 2024-08-23)

²⁵³ Boliden, 2021, *Lakverk Rönnskär*. <https://www.boliden.com/globalassets/operations/smelters/ronnskar/leach-plant-2021/facts-sheet/faktablad-lakverk.pdf>

²⁵⁴ Energimyndighetens projektdatabas, P2022-00211, diarienummer 2022-200354

²⁵⁵ Energimyndighetens projektdatabas, P2022-01123, diarienummer 2022-202211

²⁵⁶ Bolidens webbplats, *Carbon footprint of Boliden main metals*. https://www.boliden.com/48e725/globalassets/operations/copper/green-copper/carbon-footprint-of-boliden-main-metals_2021_executive-summary.pdf (Hämtad 2024-10-10)

²⁵⁷ Från samtal med Boliden.

²⁵⁸ SGU:s webbplats, *Metallskrot i samhället*. <https://www.sgu.se/mineralnaring/metall--och-mineralatervinning/metallskrot-i-samhallet/> (Hämtad 2024-07-28)

3.1.6 Insatser för en ökad energi- och materialeffektivitet

Stora utsläpp av växthusgaser är nära förknippade med tillverkningsprocesserna. I detta avsnitt beskrivs exempel på insatser inom övrig svensk industri med potential att bidra till den egna och övriga samhällets klimatomställning – både inom och utanför Sverige – genom att minska efterfrågan på jungfruliga råvaror. Det handlar om ny teknik eller andra innovativa lösningar som ger förutsättningar för minskade utsläpp i en annan del av värdekedjan, exempelvis genom lösningar för en ökad återvinning av material eller teknikutveckling för en fossilfri transportsektor.

Materialåtervinning och materialutveckling för att minska utvinning och bidra till försörjningstryggheten

Materialåtervinning och materialutveckling är en viktig del i industrins omställning och bidrar med att minska både användningen av jungfruligt material och de koldioxidutsläpp som är nära förknippade med utvinningen, men kan även bidra till försörjningstryggheten av kritiska material i omställningen. Det är troligt att efterfrågan på viktiga råvaror för klimat- och energiomställningen kommer att öka i takt med att den tekniska utvecklingen går framåt och skalas upp. Det finns nu och framgent ett behov av att använda resurserna mer effektivt, återvinna och återanvända samt öka den primära produktionen av råvaror.

Ökad återvinning av plast

Plast är ett viktigt material i vår vardag, men sättet vi använder plast på idag är inte hållbart. Största delen av plastavfallet, 87 procent, går idag till energiåtervinning eller bränsle inom industrin, och ungefär 10 procent materialåtervinns och blir till ny plast.²⁵⁹ För att öka återvinningsgraden behövs flera olika materialåtervinningstekniker²⁶⁰, och flera anläggningar är idag i drift eller i planeringsfasen. Nedan nämns två exempel:

- I slutet av 2023 invigdes Svensk Plaståtervinning sin anläggning Site Zero, som då blev världens största sorteringsanläggning. Anläggningen kan sortera ut tolv olika plasttyper, och upp till 95 procent av den mottagna plasten kan sedan sorteras ut och återvinnas i nästa steg.²⁶¹
- Stena Recycling invigde 2023 en ny processlina för att återvinna hårdplast på sin anläggning i Lanna i Småland.²⁶² De har även planer på att etablera en anläggning för industriell utsortering av specifika typer av plast, däribland svart plast som idag ofta går till förbränning.²⁶³

En mer hållbar textilproduktion

Textil- och modeindustrin är en resursintensiv bransch, som kräver resurser i form av råvaror, vatten, kemikalier och energi. Den största delen av den negativa miljö- och klimatpåverkan uppstår i samband med produktionen, och den viktigaste åtgärden är att förlänga livslängden

²⁵⁹ Naturvårdsverkets webbplats, *Ämnesområde plast*. <https://www.naturvardsverket.se/amnesomraden/plast/> (Hämtad 2024-08-26)

²⁶⁰ Naturvårdsverkets webbplats, *Materialåtervinning av plast*. <https://www.naturvardsverket.se/amnesomraden/plast/materialatervinning-av-plast/> (Hämtad 2024-08-26)

²⁶¹ Svensk Plaståtervinnings webbplats, *Fördubbling av plaståtervinningen med Site Zero*. <https://www.svenskplastatervinning.se/fordubbling-av-plastatervinningen-med-site-zero-2/> (Hämtad 2024-08-26)

²⁶² Stena Recyclings webbplats, *Succéinvigning av ny processlina för hårdplast i Lanna*. <https://www.stenarecycling.com/sv/nyheter-insikter/insikter-inspiration/event/lanna-invigning-2023/> (Hämtad 2024-08-26)

²⁶³ Stena Recyclings webbplats, *Stena Recycling tilldelas stöd av Klimatklivet*. <https://www.stenarecycling.com/sv/nyheter-insikter/nyheter/2024/stena-recycling-tilldelas-stod-av-klimatklivet/> (Hämtad 2024-08-26)

på de textilprodukter som redan har tillverkats. Enbart återvinning av textil räcker inte för att minska den negativa påverkan, eftersom även det är resurskrävande, men kan vara en del av lösningen. Det saknas idag storskalig återvinnig av textil, men metodutvecklingen är i gång och en del verksamheter har kommit en bit på vägen.²⁶⁴ Ytterligare åtgärder är att minska andelen fossilbaserade fibrer med biobaserade.²⁶⁵ Det pågår flertalet projekt som syftar till en mer hållbar textilproduktion. Nedan nämns två exempel:

- ShareTex processkoncept syftar till att förädla cellulosabaserade avfallstextilier. Idén är att omvandla avfallstextilier till en cellulosamassa eller en glukoslösning, beroende på utgångsmaterialets egenskaper.^{266,267} ShareTex tar nu steg mot uppskalning och industrialisering genom att ha tecknat en avsiktsförklaring med ett spanskt företag, i syfte att bygga en pilotanläggning för att fortsatt verifiera teknologin.²⁶⁸
- Rewin Textiles²⁶⁹ genomför nu ett demonstrationsprojekt som förväntas resultera i underlag för en första flaggskeppsanläggning för storskalig polyesteråtervinning i Sverige. Projektet bygger på teknik som har en hög toleransnivå för både variation och kontaminering av textilavfallet och -produkterna.²⁷⁰

Batterier med minskad klimatpåverkan

Tillgången på batterier är avgörande för elektrifieringen och för att nå Sveriges klimatomställningsmål, för att kunna fasa ut fossila drivmedel och öka flexibiliteten i elsystemet genom energilagring. Återvinningsgraden för vissa kritiska råvaror understiger en procent, och produktion och leverans av många metaller är under överskådlig tid beroende av primära mineraltillgångar, dvs. av gruvdrift.²⁷¹

För att tillverka laddningsbara batterier till bland annat elbilar, elcyklar och mobiltelefoner används idag ofta litium. 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.^{272,273} Att återvinna litiumjonbatterier kan bidra till att bl.a. minska batteriernas livscykelutsläpp, minska importberoendet och de negativa konsekvenserna av utvinning av litium.

Sedan 2023 återvinner Stena Recycling litiumjonbatterier i södra Sverige, som en av de första i Europa.²⁷⁴ Stena Recycling har inlett ett samarbete med BASF (som bland annat tillverkar batterimaterial och återvinner batterier på den globala marknaden) för återvinning av elbilsbatterier. Stena Recycling producerar så kallad "black mass" vid sin batteriåtervinnings-

²⁶⁴ Naturvårdsverkets webbplats, *Dagens textila flöden – en global miljöutmaning*. <https://www.naturvardsverket.se/amnesomraden/textil/dagens-textila-floden-ar-en-global-miljoutmaning/> (Hämtad 2024-08-28)

²⁶⁵ BioInnovations webbplats, *Biobaserade material*. <https://www.bioinnovation.se/omraden/materials/> (Hämtad 2024-08-28)

²⁶⁶ Energimyndigheten, projektdatabas P2022-01164, diarienummer 2022-202907

²⁶⁷ Sharetexs webbplats, *We turn waste textiles into value*. <https://www.sharetex.com/home#news> (Hämtad 2024-08-26)

²⁶⁸ ShareTex webbplats, *Ence and Swedish start-up ShareTex sign MoU with aim to construct a pilot plant for textile recycling in As Pontes, Spain*. <https://www.sharetex.com/news/mou-sharetex-ence> (Hämtad 2024-08-26)

²⁶⁹ Före detta ScandCycle

²⁷⁰ Energimyndigheten, projektdatabas P2023-00636, diarienummer 2023-202260

²⁷¹ SGU och Naturvårdsverket, 2023.

²⁷² SGU och Naturvårdsverket, 2017.

²⁷³ UNCTAD, 2020, *Commodities at a glance – Special issue on strategic battery raw materials*. No. 13. https://unctad.org/system/files/official-document/ditccom2019d5_en.pdf

²⁷⁴ Stena Recyclings webbplats, *Stena Recycling öppnar en storskalig återvinningsanläggning för batterier i Europa*. <https://www.stenarecycling.com/sv/nyheter-insikter/nyheter/2023/storskalig-atervinningsanlaggning-for-batterier/> (Hämtad 2024-08-29)

anläggning i Halmstad, och BASF förädlar materialet vid sin testanläggning i Tyskland. ”Black mass” framställs genom mekanisk behandling av uttjänta litiumjonbatterier och restprodukter från batteritillverkning. I nästa steg kan värdefulla metaller i materialet (bland annat litium, nickel, kobolt och mangan) återvinnas på kemisk väg.²⁷⁵

Batteriföretaget Northvolt genomför flera satsningar. Till 2030 är ambitionen att 50 procent av nyproducerade batterier ska bestå av återvunnet material. Bland annat byggs en återvinningsanläggning, Revolt Ett, vid produktionsanläggningen i Skellefteå.²⁷⁶ Vidare utvecklar företaget litiumjonbatterier för energilagringssystem med låga koldioxidutsläpp, i projektet NorthSTOR+, som har fått stöd från EU:s innovationsfond.²⁷⁷ Under hösten 2024 meddelade Northvolt att företaget håller på med en strategisk översyn på grund av en utmanande ekonomisk situation. Företaget kommer inledningsvis fokusera på storskalig celltillverkning.²⁷⁸

Inom ett annat projekt (Project Atlas) planerar Northvolt i samarbete med företaget Altris att utveckla den första pilotlinan för natriumjonbatterier, baserad på katodmaterialet Fennac. Jämfört med litium-jon batterier är detta material ett mer hållbart alternativ för stabilisering av elnätet och andra användningsområden för batterilagring. Batterierna ska ge lika bra prestanda som järnbaserade litiumjonbatterier. Alla råvaror går att framställa inom Europa och skillnaden i utsläpp motsvarar cirka en tredjedel av den konventionella batteriproduktionen. Projektet är ett viktigt utvecklingssteg mot storskalig kommersialisering av natriumjonbatterier.²⁷⁹

Minskad resursanvändning inom flygsektorn

I omställningen till en klimatneutral flygsektor behöver flera flygmotortekniker förbättras. GKN Aerospace avser att bli först i världen med en ny materiallösning baserad på additiv tillverkning. I stället för att ta bort material för att forma komponenterna, byggs de upp lager för lager med metallpulver eller metalltråd. Denna innovativa metod kan spara upp till 80 procent av materialbehovet samtidigt som den ger nya möjligheter att optimera produkterna.²⁸⁰

Inhemsk råvaruförsörjning

Kisel utgör en viktig beståndsdel i halvledare, solpaneler, metallegeringar och kemikalier, och utvinningen och produktionen av kisel ger upphov till stora utsläpp av växthusgaser. GREEN14 har utvecklat en ny teknik för produktion av högkvalitativt kisel från kvarts med hjälp av väteplasmateknik. Ambitionen är att skapa en billig och grön europeisk försörjning av kisel.²⁸¹

²⁷⁵ Stena Recyclings webbplats, *BASF och Stena Recycling samarbetar inom återvinning av elbilsbatterier i Europa*. <https://www.stenarecycling.com/sv/nyheter-insikter/nyheter/2024/basf-och-stena-recycling-samarbetar-inom-atervinning-av-elbilsbatterier-i-europa/> (Hämtad 2024-08-29)

²⁷⁶ Northvolts webbplats, *Closing the loop on batteries*. <https://northvolt.com/articles/revolt/> (Hämtad 2024-08-28)

²⁷⁷ EU-kommissionen, *Innovation Fund, Project fiche: NorthSTOR+ - Industrializing Green Optimized Li-ion Battery systems for ESS*. https://climate.ec.europa.eu/system/files/2022-12/if_pf_2022_northstor_en.pdf

²⁷⁸ SVT Nyheter, *Beskedet från Northvolt: Del av fabriken i Skellefteå stängs* (Datum: 2024-09-17). <https://www.svt.se/nyheter/lokalt/vasterbotten/beskedet-fran-northvolt-kommer-att-saga-upp-personal>

²⁷⁹ Energimyndighetens webbplats, *Drygt 300 miljoner kronor till fyra projekt inom Industrilivet*. <https://www.energimyndigheten.se/nyhetsarkiv/2024/drygt-300-miljoner-kronor-till-fyra-projekt-inom-industriklivet/> (Hämtad 2024-08-26)

²⁸⁰ Energimyndigheten, projektdatabas P2023-00859, diarienummer 2023-203882

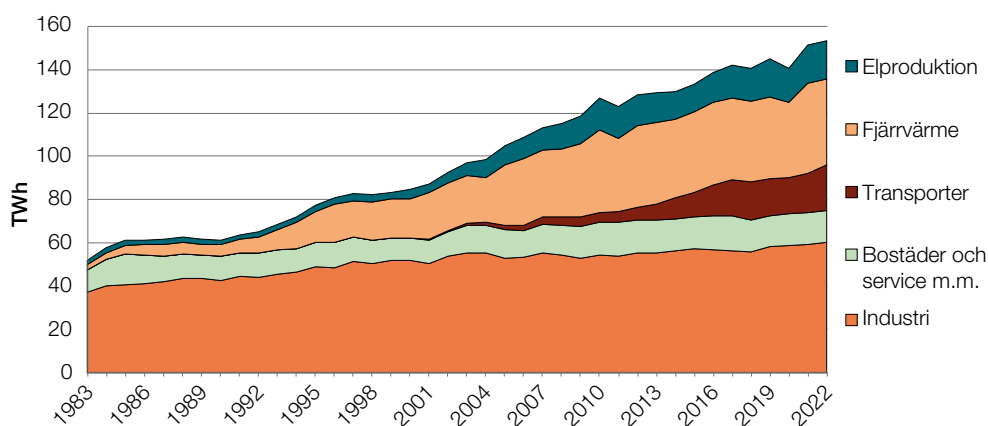
²⁸¹ Energimyndigheten, projektdatabas P2023-01567, diarienummer 2023-205529

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 biogen 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 de har stora biogena koldioxidutsläpp. I takt med att fler branscher går över till en större andel biogena insatsvaror och/eller energibärare kan bio-CCS även bli aktuellt för företag inom andra industriella branscher. Detta avsnitt ger 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 och initiativ av bio-CCS inom energisektorn. I och med att 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 fjärrvärmeproduktionen. Omställningen inom industrin började tidigt. År 1970 utgjorde biobränslen 21 procent av den slutliga energianvändningen inom industrin (biobränslen samt el utgjorde 43 procent), och under 2022 var motsvarande siffra 44 procent (biobränslen samt el utgjorde 77 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 88 procent under 2021. 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 möjlighet att tillämpa bio-CCS eller CCS på blandade utsläpp i framtiden.



Figur 16. Användning av biobränsle per sektor, 1990–2022, TWh.

Källa: Energimyndigheten.²⁸²

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

²⁸² Energimyndigheten, 2024 c, *Energiläget i siffror*. <https://www.energimyndigheten.se/energisystem-och-analys/nulaget-i-energisystemet/energilaget/>

Att tillämpa CCS på ett fåtal anläggningar kan ge stora effekter på utsläppen

I avsnitt 2.5.2 diskuteras under vilka förutsättningar som en anläggning kan vara aktuell för att implementera CCS-teknik. 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 respektive 500 000 ton koldioxid per år men även mindre anläggningar kan bli aktuella.^{283,284} För att uppnå negativa utsläpp måste koldioxidutsläppen vara av biogent ursprung eller tas ur atmosfären.

Under 2023 fanns det enligt Naturvårdsverkets utsläppsregister²⁸⁵ 31 anläggningar i Sverige som hade biogena koldioxidutsläpp som översteg 300 000 ton, se tabell 7 nedan. Jämfört med föregående år är det en minskning med fyra anläggningar. De utsläppsmässigt större anläggningarna återfinns främst inom massa- och pappersindustrin eller utgörs av kraftvärme- och värmeverk. De sammanlagda utsläppen av biogen koldioxid från dessa anläggningar var strax under 26 miljoner ton under 2023.²⁸⁶

Tabell 7. Fördelning av biogena koldioxidutsläpp från stora punktkällor i Sverige 2023.

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	63	32 092 166	70 %	30 %
> 300 000	31	25 810 096	83 %	17 %
> 500 000	23	22 688 605	89 %	11 %

Källa: Utsläppsregistret, Naturvårdsverket²⁸⁷

Det fanns samma år 23 anläggningar som hade biogena koldioxidutsläpp som översteg 500 000 ton, vilket är en ökning med 3 anläggningar jämfört med 2022. Tillsammans skulle dessa anläggningar kunna bidra med drygt 22 miljoner ton negativa utsläpp.

3.2.2 Tillämpning av bio-CCS i Sverige

Majoriteten av de projekt i Sverige som undersöker möjligheten att tillämpa bio-CCS på sina anläggningar rör kraftvärme- och värmeverk, där en stor andel får finansieringsstöd genom Industriklivet, och ett par projekt får stöd genom EU:s Innovationsfond eller Horisont 2020/ Horisont Europa. Även om det finns intresse inom massa- och pappersindustrin har bruken andra förutsättningar jämfört med kraftvärme- och värmeverk, vilket gör bio-CCS mindre intressant ur ett företagsekonomiskt perspektiv (se avsnitt 2.4). Det förklarar varför det inte finns lika många studier på tillämpningar inom massa- och pappersindustrin. Det finns dock potential till synergier i och med att tekniken testas i större utsträckning i andra sektorer, inte minst när det gäller förvätsknings-, transport- och lagringsstegen av CCS/bio-CCS-kedjan.

²⁸³ SOU 2020:4.

²⁸⁴ Svebios webbplats, *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).

²⁸⁵ Naturvårdsverkets utsläppsregister. <https://utslappsisiffror.naturvardsverket.se/>

²⁸⁶ Då biogen koldioxid inte redovisas för processutsläpp inom massa- och pappersindustri i den officiella statistiken över territoriella utsläpp har Naturvårdsverkets utsläppsregister använts för beräkning av potentialer för negativa utsläpp. För mer information se bilaga 1.

²⁸⁷ Naturvårdsverket, årtal saknas.

Aktuella projekt har kategoriserats enligt de tekniska utvecklingsstadierna forskningsprojekt, förstudie och kommersiella anläggningar.

Forskningsprojekt

Det pågår ett flertal forsknings- och pilotprojekt 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 minskning av energibehovet.²⁸⁸ Ytterligare ett spår som börjar intressera fler aktörer är permanent lagring av koldioxid i geologiska formationer på land som alternativ till den permanenta lagringen i geologiska formationer under havsbotten.²⁸⁹ Utöver forskningsprojekt som fokuserar på teknikutveckling pågår det även forskning kring styrmedel, system- och affärsmodeller längs med hela värdekedjan för CCS.

Grimaldi Development driver ett projekt för att testa en ny metod för koldioxidinfångning för att fånga upp biogen koldioxid från rökgaser. I projektet byggs en mobil forskningsanläggning med centrifugalaerosollskubbingsteknik, som kommer att installeras vid Gärstadverket hos Tekniska Verken. Tekniken väntas minska kostnaderna jämfört med etablerade metoder.²⁹⁰

KTH genomför ett forskningsprojekt för att undersöka möjligheten att genom ett nytt packningsmaterial minska energiavtrycket från bio-CCS och möjliggöra mer kompakta och prisvärda enheter.²⁹¹ I ett annat projekt utvecklar RISE en ny jonvätskebaserad infångningsteknologi till större skala, i syfte att möjliggöra mer energi- och kostnadseffektiva system.²⁹² Även Chalmers Tekniska Högskola genomför ett forskningsprojekt med syfte att vidareutveckla och demonstrera teknik för att minska ekonomiska och energirelaterade kostnader för koldioxidinfångning, öka infångningsgraden, minska korrosionsrelaterade problem, samt öka elverkningsgraden vid nyttjande av bränslen med hög askhalt. I projektet undersöks tekniken Chemical Looping Combustion (CLC).²⁹³

En av de få pilotstudierna av bio-CCS inom den svenska industrin, närmare bestämt massa- och pappersindustrin, genomförs inom ramarna för EU-projektet ACCSESS²⁹⁴ som drivs av norska Sintef. Projektet har som delmål att utveckla nya avskiljningstekniker för bio-CCS.²⁹⁵ Hösten 2023 flyttades testutrustningen till Stora Enso's massabruk i Skutskär. ACCESS är det första stora koldioxidinfångningsprojektet som inkluderar massa- och pappersindustrin.²⁹⁶ 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.

²⁸⁸ SOU 2020:4

²⁸⁹ Luleå tekniska universitets webbplats, *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 2024-09-17)

²⁹⁰ Energimyndighetens projektdatabas, P2023-00920, diarienummer 2023-204244

²⁹¹ Energimyndighetens projektdatabas, P2023-00951, diarienummer 2023-204293

²⁹² Energimyndighetens projektdatabas, P2023-00911, diarienummer 2023-204219

²⁹³ Energimyndighetens projektdatabas, P2023-00918, diarienummer 2023-204235

²⁹⁴ ACCSESS webbplats, *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 2024-09-17)

²⁹⁵ Tekniken kommer även att testas för avskiljning vid en cementugn i Polen.

²⁹⁶ ACCESS webbplats, *The ACCESS rig moves to Sweden*. <https://www.projectaccess.eu/2023/10/31/the-access-rig-moves-to-sweden/> (Hämtad 2024-08-30)

Även Nordkalk, som är verksamt inom mineralindustrin, har påbörjat en pilotstudie som primärt avser infångning av fossil koldioxid. Företaget avser dock att på sikt ersätta fossila bränslen med biogena bränslen, vilket skapar potential för negativa utsläpp.²⁹⁷

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 universitet²⁹⁸ i samarbete med fyra företag²⁹⁹ 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 minska energianvändningen med 70 procent jämfört med konventionell avskiljningsteknik. Den nya avskiljningstekniken, som tidigare endast har testats i laboratoriemiljö, testats under projektet i verklig miljö på Växjö Energis bioeldade kraftvärmeverk, SYSAV:s avfallskraftvärmeverk och Öresundskraft.³⁰⁰

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 kapitel 2). Flertalet aktörer utreder därför i förstudier de tekniska och ekonomiska förutsättningarna för olika tekniker på sina enskilda anläggningar. För mer information om enskilda förstudier, se Energimyndighetens rapport *Från små steg till stora kliv*³⁰¹ som inkluderar en sammanställning av pågående och avslutade projekt. I rapporten återfinns även ett urval av resultat och slutsatser från avslutade projekt. Flera av projekten lyfte fram att större utsläpp tenderar att leda till lägre kostnader, där stora projekt har möjligheter att nyttja skalfördelar kopplade till bland annat transport och lagring. Mindre anläggningar kan därmed vara i behov av samarbetspartners för att uppnå lönsamhet. Andra kostnadspåverkande faktorer som lyfts i förstudierna är koncentrationen av koldioxid, rökgasernas renhet och avskiljningsgraden. Utmaningar finns också i att integrera avskiljning av koldioxid med befintlig kraftvärmeproduktion och yttre faktorer kopplade till affärsmodeller.

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.³⁰² Stora Enso har i en förstudie³⁰³ utrett möjligheter till energiintegration för sina svenska sulfatbruk genom att analysera fyra olika avskiljningstekniker för ett modellbruk. Resultatet visar att det finns begränsade möjligheter till energiintegration (och därmed få energibesparingar) för samtliga avskiljningstekniker till följd av att det inte finns tillgänglig överskottsenergi att nyttja mellan de två processerna.³⁰⁴

²⁹⁷ Energimyndighetens projektdatabas, P2022-1138, diarienummer 2022–202304

²⁹⁸ Energimyndighetens projektdatabas, P52609-1, diarienummer 2021-028266

²⁹⁹ SYSAV, Granitor Systems, Växjö Energi och Öresundskraft

³⁰⁰ SYSAV:s webbplats, *Pilotanläggning för Carbon Capture invigd hos Sysav i Malmö*. <https://www.sysav.se/om-oss/press-och-media/nyheter/pilotanlaggning-for-carbon-capture-invigd-hos-sysav-i-malmo/> (Hämtad 2024-09-06)

³⁰¹ Energimyndigheten, 2022. *Från små steg till stora kliv – en syntes av Industrilivets projekt inom bio-CCS*. ER 2022:11. <https://energimyndigheten.a-w2m.se/System/TemplateView.aspx?p=Arkitektkopia&id=d-75418fab8974c88930475795ad27e75&q=2022%3A11&lstqty=1>

³⁰² Ibid.

³⁰³ Energimyndighetens projektdatabas, P49897-2, diarienummer 2020-020034

³⁰⁴ För ett verkligt bruk kan det dock finnas större möjligheter att använda överskottsvärme för värmeintegration av koldioxidavskiljningsanläggningen.

För många bruk kommer det att krävas ytterligare energitillförsel för att täcka energibehovet för 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 Ensos sulfatbruk Skutskär inom ramen för ett större EU-projekt (se nedan om pilotprojekt).

Förutsättningarna för storskalig infångning av koldioxid i Gävleregionen har bedömts som goda, tack vare det geografiska läget nära en hamn vid kusten liksom att det finns flertalet aktörer med stora biogena utsläpp. För att optimera resurserna finns behov av en gemensam logistklösning för dessa aktörer. Gävle Energi och Billerud genomför en gemensam förstudie för att möjliggöra en fullskalig implementering av bio-CCS på Billeruds bruk och Bomhus Energis panna i Gävle. Genom projektet ska nödvändiga underlag tas fram för beslut om att gå vidare med en eventuell förprojektering.³⁰⁵

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 ta fram en affärsmodell utifrån olika scenarier om möjliga intäktsströmmar givet osäkerheter i olika potentiella finansieringslösningar.³⁰⁶

Infrastrukturprojekt

I ett flertal 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 få på plats hela kedjan från infångning till slutlagring, vilket är en förutsättning för CCS tillämpat på både fossila och biogena utsläpp och där erfarenheterna fortfarande är begränsade. I en syns av de förstudier som fått stöd genom Industriklivet³⁰⁷ konstateras att det, när det gäller kostnadsuppskattningar för värdekedjan i stort, att det generellt verkar finnas en större osäkerhet i kostnadsuppskattningarna för transport och lagring än för koldioxidavskiljning.

Sedan hösten 2022 pågår satsningen Carbon Network South Sweden (CNetSS)³⁰⁸ – ett samverkansprojekt för infrastrukturlösningar för transport och permanent lagring av infångad koldioxid. Projektet leds av Växjö Energi och det långsiktiga målet är att etablera en hållbar och kostnadseffektiv koldioxidinfrastruktur i Sydsverige för transport från de utsläppande anläggningarna till slutlig geologisk lagring av koldioxid. Ytterligare nio andra aktörer längs hela infrastrukturredjan ingår i projektet, där flera av dessa har tidsatta planer på att fånga in koldioxid.³⁰⁹ Systemet ska vara öppet för tredjepart.³¹⁰ Satsningens andra fas har nu avslutats och arbetet har fokuserats på en landbaserad central omlastningshubb vid oljehamnen i Malmö. Kostnads- och energiberäkningar har gjorts för att finna de mest fördelaktiga lösningarna för de ingående företagen, affärsmodellen har utvecklats och en genomförandeplan har tagits fram. Nästa steg i projektet är att genomföra en fördjupad förstudie.³¹¹

³⁰⁵ Energimyndighetens projektdatabas, P2023-01883, diarienummer 2023-206794

³⁰⁶ ER 2022:11

³⁰⁷ Ibid.

³⁰⁸ Energimyndighetens projektdatabas, P2022-00512, diarienummer 2022-200898

³⁰⁹ Copenhagen Malmö Port, E.ON, Höganäs AB, Kemira, Krafringen, Nordion Energi, Stora Enso, Sysav och Öresundskraft

³¹⁰ Växjö Energis webbplats, *Sydsvenskt projekt för att fånga in koldioxid*. <https://www.veab.se/om-oss/satsningar-och-projekt/cnetss/> (Hämtad 2024-08-30)

³¹¹ Energimyndighetens projektdatabas, P2022-00512, diarienummer 2022-200898

Växjö Energi genomför även en förstudie tillsammans med Vattenfall om transport av koldioxid på tåg, med syfte att effektivisera transportkedjan för flytande koldioxid från bio-CCS-anläggningar till lagringsplatser genom att bidra till utvecklingen av en tåglastnings- och tåglossningsstation.³¹²

I projektet CinfraCap³¹³ samarbetar energi-, avfallshanterings- och raffinaderiföretag³¹⁴ mot målet att göra Göteborgs hamn till en av de första platserna i världen med storskalig infrastruktur till flytande koldioxid. Den fördjupande förstudien avslutades i slutet av 2022 och nästa utvecklingsfas har som mål att kunna ta investeringsbeslut. Infrastrukturen ska även vara öppen för tredjepartsanslutning.^{315,316}

I projektet Norvik Infrastructure CCS East-Sweden (NICE)³¹⁷ samarbetar företag³¹⁸ från flera olika sektorer (bland annat energisektorn och mineralsektorn) med Stockholms hamnar, med målet att etablera en regional, hållbar och kostnadseffektiv infrastruktur för att fånga in, mellanlagra och transportera koldioxid i östra Sverige. En fördjupad förstudie har genomförts, med resultat som bland annat visar att det finns goda förutsättningar ur ett tekniskt, logistiskt och operationellt perspektiv att framgångsrikt etablera en central logistiknod för koldioxid vid Stockholm Norvik Hamn. Förstudien ska utgöra underlag för att avgöra möjligheterna att gå vidare i planeringen för ett regionalt nav för hantering och transport av koldioxid i Stockholm Norvik. Systemet ska vara öppet för tredjepartstillträde.³¹⁹

Kommersiella anläggningar

Ett antal projekt har kommit lite längre i processen att hitta rätt teknik för bio-CCS för sina anläggningar och gått vidare mot implementering av kommersiella anläggningar. Stockholm Exergi är ett av de bolag som ligger långt fram i processen att implementera bio-CCS i sin verksamhet. Sedan 2019 har företaget drivit en forskningsanläggning för bio-CCS vid Värtaverket i Stockholm. Resultaten från testerna ska användas som underlag för en investering i en storskalig anläggning som planeras att vara i drift 2027.³²⁰ EU:s innovationsfond har beviljat Stockholm Exergi 180 miljoner euro i stöd för investering i fullskalanläggningen.³²¹ Under våren 2024 beviljade mark- och miljödomstolen miljötillstånd för bygget av anläggningen. Tillståndet omfattar att uppföra och driva anläggningen för avskiljning av koldioxid ur rökgaserna från det biobränsleeldade kraftvärmeverket och att komprimera, förvätska och

³¹² Energimyndighetens projektdatabas, P2023-01650, diarienummer 2023-206019

³¹³ Energimyndighetens projektdatabas, P2021-90013, diarienummer 2021-043868

³¹⁴ Göteborg Energi, Nordion Energi, Göteborg Hamn, Preem, St1 och Renova

³¹⁵ Göteborgs Hamns webbplats, *Storskalig koldioxidhubb*. <https://www.goteborgshamn.se/Om-oss/framtidens-hamn/tranzero-initiativ22/> (Hämtad 2024-08-30)

³¹⁶ Nordion Energis webbplats, *Cinfracap*. <https://nordionenergi.se/projekt/cinfracap> (Hämtad 2024-08-30)

³¹⁷ Energimyndighetens projektdatabas, P2023-00564, diarienummer 2023-201565

³¹⁸ Heidelberg Materials Cement Sverige, Mälarenergi, Nordkalk, Plagazi, Stockholm Exergi, Söderenergi och Vattenfall

³¹⁹ Stockholm Hamnars webbplats, *CCS i Stockholm Norvik Hamn*. <https://www.stockholmshamn.se/om-oss/miljoarbete/ccs/> (Hämtad 2024-08-30)

³²⁰ Stockholm Exergis webbplats, *Forskningsanläggning bryter ny mark*. <https://www.stockholmexergi.se/koldioxidinfangning/testanlaggningen-i-vartan/> (Hämtad 2024-08-30)

³²¹ EU-kommissionen, *Innovation Fund, Project fiche: Beccs Stockholm: Bio Energy Carbon Capture and Storage by Stockholm Exergi*, https://climate.ec.europa.eu/system/files/2022-07/if_pf_2022_beccs_en.pdf (Hämtad 2024-10-08)

mellanlagra den avskilda koldioxiden.³²² På Stockholm Exergi pågår även en utveckling av HPC tekniken (Hot Potassium Carbonate) vars resultat kommer att vara relevanta för industri-företag och andra energibolag som undersöker koldioxidinfångning med HPC teknik.³²³

Projektet HICAS (Helsingborg innovative Carbon Capture and Storage) syftar till att bygga en fullskalig anläggning för infångning av koldioxid vid Filbornaverket till 2027. Öresundskraft³²⁴ påbörjade under hösten 2022 en pilotstudie vid sin avfallsförbränningsanläggning i Helsingborg, där företaget utvärderade tekniken som är tänkt att användas vid Stockholm Exergis kraftvärmeverk (HPC-tekniken).³²⁵ Öresundskraft tar nu ytterligare steg mot genomförandet genom en detaljprojekteringsstudie som ska utgöra underlag för investeringsbeslut, och arbetet väntas pågå fram till början av 2025.³²⁶ Under våren 2023 inledde Öresundskraft upphandlingen av en CCS-anläggning.³²⁷ Nästa steg är att upphandla en lagringsaktör, vilket väntas vara klart under andra halvan av 2024.³²⁸

Göteborg Energi avser att implementera bio-CCS i anslutning till sin biogasanläggning i Gasendal. Anläggningen planeras att tas i drift i början av 2026 och kommer sannolikt bli den första biogasanläggningen i Sverige som realiserar bio-CCS.³²⁹

³²² Stockholm Exergis webbplats, *Mark- och miljödomstolen säger ja till Stockholm Exergis satsning på koldioxidinfångning*. <https://www.stockholmexergi.se/nyheter/mark-och-miljodomstolen-sager-ja-till-stockholm-exergis-satsning-pa-koldioxidinfangning/> (Hämtad 2024-08-30)

³²³ Energimyndighetens projektdatabas, P2023-00921, diarienummer 2023-204246

³²⁴ Energimyndighetens projektdatabas, P2021-90088, diarienummer 2021-030050

³²⁵ Öresundskrafts webbplats, *Öresundskraft testar koldioxidavskiljning med ny teknik*. <https://www.mynewsdesk.com/se/oresundskraft/pressreleases/oeresundskraft-testar-koldioxidavskiljning-med-ny-teknik-3211399> (Hämtad 2023-08-02)

³²⁶ Energimyndighetens projektdatabas, P2023-00032, diarienummer 2023-200184

³²⁷ Öresundskrafts webbplats, *Öresundskraft påbörjat miljardupphandling för CCS-satsning*. <https://www.mynewsdesk.com/se/oresundskraft/pressreleases/oeresundskraft-paaboerjar-miljardupphandling-foer-ccs-satsning-3247913> (Hämtad 2024-08-30)

³²⁸ Öresundskrafts webbplats, *Öresundskraft ska upphandla lagringsaktör för att hantera 200 000 ton koldioxid årligen*. <https://www.mynewsdesk.com/se/oresundskraft/pressreleases/oeresundskraft-ska-upphandla-lagringsaktoer-foer-att-hantera-200-000-ton-koldioxid-aarligen-3308722> (Hämtad 2024-08-30)

³²⁹ Energimyndighetens webbplats, *Drygt 300 miljoner kronor till fyra projekt inom Industrilivet*. <https://www.energimyndigheten.se/nyhetsarkiv/2024/drygt-300-miljoner-kronor-till-fyra-projekt-inom-industriklivet/> (Hämtad 2024-08-29)

Referenser

ACCESS webbplats, *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 2024-09-17)

ACCESS webbplats, *The ACCESS rig moves to Sweden*. <https://www.projectaccess.eu/2023/10/31/the-access-rig-moves-to-sweden/> (Hämtad 2024-08-30)

Andersson, J., Hellsmark, H., 2024. *Directionality in transformative policy missions: The case of reaching net zero emissions in the Swedish process industry*. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652624001112>

Barlow, Shahi och Loughrey för Global CCS Institute, 2023, *State of the art: CCS technologies 2023*. <https://www.globalccsinstitute.com/resources/publications-reports-research/state-of-the-art-ccs-technologies-2023/>

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. https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg3/downloads/report/IPCC_AR6_WGIII_Chapter11.pdf

Batteridirektivet 2006/66/EG. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A02006L0066-20180704>

Batteriförordningen (EU) 2023/1542. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A02023R1542-20240718> (europa.eu)

Bioenergitidningen, 2023. *Hårdgjord biokol hjälper Höganäs att bli klimatneutrala*. <https://bioenergitidningen.se/hardgjord-biokol-hjalper-hoganas-att-bli-klimatneutrala/>

BioInnovations webbplats, *Biobaserade material*. <https://www.bioinnovation.se/omraden/materials/> (Hämtad 2024-08-28)

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

Bolidens webbplats, *Carbon footprint of Boliden main metals*. https://www.boliden.com/48e725/globalassets/operations/products/copper/green-copper/carbon-footprint-of-boliden-main-metals_2021_executive-summary.pdf (Hämtad 2024-10-10)

Bolidens webbplats, *Gemensam studie för hållbar omställning*. <https://investors.boliden.com/sv/press/gemensam-studie-hallbar-omstallning-2225377> (Hämtad 2024-08-23)

Bolidens webbplats, *Verksamhet – Smältverk*. <https://www.boliden.com/sv/verksamhet/smaltverk/> (Hämtad 2024-08-26)

Cemvisions webbplats, *Cemvision Re-ment*. <https://www.cemvision.tech/our-tech> (Hämtad 2024-08-26)

Dagens Industri, 2022. *Största utsläppsbovarna ökar utsläppen igen*, datum: 2022-04-06. <https://www.di.se/hallbart-naringsliv/storsta-utslappsbovarna-okar-utslappen-igen/>

Danska Energimyndighetens webbplats, *CCS tenders and other funding for CCS development*, <https://ens.dk/en/our-responsibilities/ccs-carbon-capture-and-storage/ccs-tenders-and-other-funding-ccs-development> (Hämtad 2024-09-03)

Direktivet om gemensamma regler för de inre marknaderna för förnybar gas, naturgas och vätgas (EU) 2024/1788. https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=OJ:L_202401788

Direktivet om geologisk lagring av koldioxid 2009/31/EG. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/SV/ALL/?uri=celex:32009L0031>

Drivkraft Sveriges webbplats, *Fortsatt hög andel biodrivmedel 2023*. <https://drivkraftsverige.se/nyheter/fortsatt-hog-andel-biodrivmedel-2023/> (Hämtad 2024-05-22)

Energieffektiviseringsdirektivet (EU) 2023/1791. https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=OJ%3AJOL_2023_231_R_0001

Energimyndigheten, Naturvårdsverket och Sveriges Geologiska Undersökning, 2022. *Utveckla myndighetssamverkan för Sveriges delar av en hållbar europeisk värdekedja för batterier*. ER 2022:14. <https://energimyndigheten.a-w2m.se/System/TemplateView.aspx?p=Arkitektkopia&id=602847077c554f7aa8f04afb959ac491&q=batteriv%C3%A4rdekedja&lstqty=1>

Energimyndigheten och SCB, 2021. *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/

Energimyndighetens projektdatas. <https://www.energimyndigheten.se/forskning-och-innovation/projektdatabas/>

Energimyndigheten, 2021. *Förslag till Sveriges nationella strategi för vätgas, elektrobränslen och ammoniak*. ER 2021:34. <https://energimyndigheten.a-w2m.se/System/TemplateView.aspx?p=Arkitektkopia&id=93ccce277b384104bd8c6f64b499575f&q=2021:34&lstqty=1>

Energimyndigheten, 2021. *Industrin – Nuläge och förutsättningar för omställning 2021*. ER 2021:27. <https://energimyndigheten.a-w2m.se/System/TemplateView.aspx?p=arkitektkopia&id=bf2b000945ea401aa08e910e8c6c91cf&l=t&view=672&cat=%20FKlimat%20och%20utsl%C3%A4pp>

Energimyndigheten, 2021. *Framtidens elektrifierade samhälle – Analys för en hållbar elektrifiering*. ER 2021:28. <https://energimyndigheten.a-w2m.se/System/TemplateView.aspx?p=Arkitektkopia&id=bc912c1c01734cc89398698f864da60a&q=2021:28&lstqty=1>

Energimyndigheten, 2022. *Kontrollstation för reduktionsplikten 2022*, ER 2022:07. <https://energimyndigheten.a-w2m.se/System/TemplateView.aspx?p=Arkitektkopia&id=ed7b51a47ee04e86bcff6c6f11c71922&q=2022:07&lstqty=1>

Energimyndigheten, 2022. *Från små steg till stora kliv – en syntes av Industriklivets projekt inom bio-CCS*. ER 2022:11. <https://energimyndigheten.a-w2m.se/System/TemplateView.aspx?p=Arkitektkopia&id=d75418fab8974c88930475795ad27e75&q=Industriklivet%20bio-ccs&lstqty=1>

Energimyndigheten, 2023. *Årlig energibalans*. <https://www.energimyndigheten.se/statistik/officiell-energistatistik/energibalanser/arl原因-energibalans/>

Energimyndigheten 2023, *Långsiktiga scenarier 2023* (uppdaterade december 2023). ER 2023:07. <https://www.energimyndigheten.se/energisystem-och-analys/framtidens-energisystem/langsiktiga-scenarier/>

- Energimyndigheten, 2023. *Industrin – nuläge och förutsättningar för omställning*. ER 2023:22. <https://energimyndigheten.a-w2m.se/System/TemplateView.aspx?p=Arkitektkopia&id=11bdec99e8047d1a28a11f93452d19e&q=Industrin&lstqty=1>
- Energimyndigheten, 2024 c, *Energiläget i siffror*. <https://www.energimyndigheten.se/energisystem-och-analys/nulaget-i-energisystemet/energilaget/>
- Energimyndigheten, 2024. *Effektiv användning av energi, effekt och resurser*. ER 2024:03. <https://www.energimyndigheten.se/4afa39/globalassets/klimat--miljo/elektrifiering/effektiv-anvandning-av-energi-effekt-och-resurser.pdf>
- Energimyndigheten, 2024, *Vätgas och vätgasinfrastruktur i det svenska energisystemet*. ER 2024:07. <https://energimyndigheten.a-w2m.se/System/TemplateView.aspx?p=Arkitektkopia&id=1140552b07914929b7b68f4cea8ed1cf&q=2024:07&lstqty=1>
- Energimyndigheten, 2024. *Energiindikatorer 2024*. ER 2024:16. <https://energimyndigheten.a-w2m.se/System/TemplateView.aspx?p=Arkitektkopia&id=a5f848e5781f440bb7baecec23cc-1cf2&l=t&cat=%2FEnergiindikatorer&lstqty=1>
- Energimyndigheten, 2024. *Styrmedel för CCS och CCU*, ER 2023:26. <https://energimyndigheten.a-w2m.se/System/TemplateView.aspx?p=Arkitektkopia&id=4d3395613bcb41ea9114574c43372df5&q=CCS%20och%20CCU&lstqty=1>
- Energimyndigheten, 2024. *Myndighetsgemensam uppföljning av samhällets elektrifiering*. ER 2023:28. <https://www.energimyndigheten.se/4af4bd/globalassets/klimat/sveriges-elektrifiering/myndighetsgemensam-uppfoljning-av-samhallets-elektrifiering-2024.pdf>
- Energimyndighetens webbplats, *3,1 miljarder i stöd till Hybrit*. 3,1 miljarder i stöd till Hybrit <https://www.energimyndigheten.se/nyhetsarkiv/2023/31-miljarder-i-stod-till-hybrit/> (energimyndigheten.se) (Hämtad 2024-07-02)
- Energimyndighetens webbplats, *Drygt 300 miljoner kronor till fyra projekt inom Industriklivet*. <https://www.energimyndigheten.se/nyhetsarkiv/2024/drygt-300-miljoner-kronor-till-fyra-projekt-inom-industriklivet/> (Hämtad 2024-08-26)
- Energimyndighetens webbplats, *Industriklivet*, <https://www.energimyndigheten.se/forskning-och-innovation/forskning/industri/industriklivet/> (Hämtad 2024-10-08)
- Energimyndighetens webbplats, *Investering i klimatneutral metanolproduktion hos Perstorp stöds av Energimyndigheten*. Investering i klimatneutral metanolproduktion hos Perstorp stöds av Energimyndigheten (Hämtad: 2024-08-16)
- Energimyndighetens webbplats, *Kompetensförsörjning för elektrifiering*, <https://www.energimyndigheten.se/klimat/sveriges-elektrifiering/uppdrag-inom-elektrifiering/kompetensforsorjning-for-elektrifiering/> (Hämtad 2024-10-11)
- Energimyndighetens webbplats, Nyheter, *Energimyndigheten ger 1,2 miljarder i stöd till Stegra (H2 Green Steel)*. <https://www.energimyndigheten.se/nyhetsarkiv/2024/energimyndigheten-ger-12-miljarder-i-stod-till-stegra-h2-green-steel/> (Hämtad 2024-09-19).
- Energimyndighetens webbplats, *Stöd för bio-CCS genom omvända auktioner*. <https://www.energimyndigheten.se/klimat/ccs/statligt-stod-for-bio-ccs/> (Hämtad 2024-09-03)
- Energimyndighetens webbplats, *Fossilfritt flyg*. <https://www.energimyndigheten.se/forskning-och-innovation/forskning/transporter/fossilfritt-flyg/> (Hämtad 2024-08-26)
- Utläppshandelsdirektivet 2003/87/EC (omarbetat), <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A02003L0087-20240301>

EU:s klimatvetenskapliga råd, 2024, *Towards EU climate neutrality*, https://climate-advisory-board.europa.eu/reports-and-publications/towards-eu-climate-neutrality-progress-policy-gaps-and-opportunities/esabcc_report_towards-eu-climate-neutrality.pdf/@download/file

EU-kommissionen, *Innovation Fund, Project fiche: Beccs Stockholm: Bio Energy Carbon Capture and Storage by Stockholm Exergi*, https://climate.ec.europa.eu/system/files/2022-07/if_pf_2022_beccs_en.pdf (Hämtad 2024-10-08)

EU-kommissionen, *Innovation fund, Project fiche: H2GS: H2 Green Steel*. https://ec.europa.eu/assets/cinea/project_fiches/innovation_fund/101133206.pdf (Hämtad 2024-08-12)

EU-kommissionen, *Innovation fund, Project fiche: NorthSTOR+ – Industrializing Green Optimized Li-ion Battery systems for ESS*. https://climate.ec.europa.eu/system/files/2022-12/if_pf_2022_northstor_en.pdf

EU-kommissionens meddelande, 2020. *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/EN/TXT/?uri=CELEX%3A52020DC0474>

EU-kommissionens meddelande, 2022, *REPowerEU: Joint European Action for more affordable, secure and sustainable energy*, COM(2022) 108 final. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=COM%3A2022%3A108%3AFIN>

EU-kommissionens meddelande, 2023, *EU:s vätgasbank*, COM(2023) 156 final. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A52023DC0156&qid=1682349760946>

Eu-kommissionens meddelande, 2024, *Towards an ambitious Industrial Carbon Management for the EU*, COM/2024/62 final. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=COM:2024:62:FIN>

EU-kommissionens webbplats, *Competitive bidding*. https://climate.ec.europa.eu/eu-action/eu-funding-climate-action/innovation-fund/competitive-bidding_en (Hämtad 2024-09-05)

EU-kommissionens webbplats, *EU-funding and tenders portal: Northern Lights Phase 2 Expansion Studies*. <https://ec.europa.eu/info/funding-tenders/opportunities/portal/screen/opportunities/projects-details/43251567/101146854/CEF2027> (Hämtad 2024-10-23)

EU-kommissionens webbplats, *European hydrogen bank*. https://energy.ec.europa.eu/topics/energy-systems-integration/hydrogen/european-hydrogen-bank_en (Hämtad 2024-09-05)

EU-kommissionens webbplats, *Green claims*. https://environment.ec.europa.eu/topics/circular-economy/green-claims_en (Hämtad 2024-09-05)

EU-kommissionens webbplats, *Innovation Fund Project Portofolio*. https://dashboard.tech.ec.europa.eu/qs_digit_dashboard_mt/public/sense/app/6e4815c8-1f4c-4664-b9ca-8454f77d758d/sheet/bac47ac8-b5c7-4cd1-87ad-9f8d6d238eae/state/analysis (Hämtad 2024-08-09)

EU-kommissionens webbplats, *Second renewable hydrogen auction: European Commission publishes Terms and Conditions*, https://climate.ec.europa.eu/news-your-voice/news/second-renewable-hydrogen-auction-european-commission-publishes-terms-and-conditions-2024-09-27_en (Hämtad 2024-09-05)

EU-kommissionens webbplats, *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 2024-05-22)

EU-kommissionens webbplats. *HYBRIT Demonstration: Swedish large-scale steel value chain demonstration of Hydrogen Breakthrough Iron-making Technology*. https://climate.ec.europa.eu/system/files/2022-07/if_pf_2022_hybrit_en.pdf (Hämtad 2024-09-05)

European Energys webbplats, *European Energy och Svea Vind Offshore undersöker möjligheterna för e-metanolfabrik i Söderhamn*. <https://se.europeanenergy.com/2024/02/12/european-energy-och-svea-vind-offshore-undersoker-mojligheterna-for-e-metanolfabrik-i-soderhamn/> (Hämtad 2024-08-15)

Fossilfritt Sverige, 2021 a. *Biostrategi för fossilfri konkurrenskraft*. <https://fossilfrittssverige.se/wp-content/uploads/2021/11/Fossilfritt-Sveriges-biostrategi.pdf>

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, 2022. *Färdplaner för fossilfri konkurrenskraft – uppföljning 2022*. https://fossilfrittssverige.se/wp-content/uploads/2022/10/Uppfo%CC%88ljningsrapport_2022.pdf

Fossilfritt Sverige, 2023. *Färdplan för konkurrenskraft och nettonollutsläpp – Cementbranschen*. https://fossilfrittssverige.se/wp-content/uploads/2023/10/Cement_fardplan_uppgraderad_2023.pdf

Förnybartdirektivet (EU) 2023/2413. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A32023L2413&qid=1699364355105>

Förordning (2017:1319) om statligt stöd till åtgärder som bidrar till industrins klimatomställning. SFS 2017:1319. https://www.riksdagen.se/sv/dokument-och-lagar/dokument/svensk-forfattningssamling/forordning-20171319-om-statligt-stod-till_sfs-2017-1319/

Förordningen om användning av förnybara och koldioxidnåla bränslen för sjötransport (FuelEU Maritime) (EU) 2023/1805. <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2023/1805>

Förordningen om de inre marknaderna för förnybar gas, naturgas och vätgas (EU) 2024/1789. https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=OJ:L_202401789

Förordningen om Ekodesign för hållbara produkter (EU) 2024/1781. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A32024R1781&qid=1719580391746>

Förordningen om inrättande av en ram för säkerställande av trygg och hållbar försörjning av kritiska råmaterial (akten om kritiska råmaterial) (EU) 2024/1252. <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2024/1252/oj>

Förordningen om inrättande av en åtgärdsram för att stärka Europas ekosystem för tillverkning av nettonollteknik (rättsakten om nettonollindustrin) (EU) 2018/1724. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A32024R1735>

Förordningen om restaurering av natur (EU) 2024/1991. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A32024R1991&qid=1722240349976>

Förordningen om säkerställande av lika villkor för hållbar lufttransport (ReFuelEU Aviation) (EU) 2023/2405. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A02023R2405-20231031>

Förordningen om upprättande av ett europeiskt register över utsläpp och överföringar av föroreningar (EG) nr 166/2006. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/SV/TXT/?uri=CELEX%3A32006R0166>

Gassnovas webbplats, *The Longship CCS project*. <https://ccsnorway.com/the-project/> (Hämtad 2024-09-03)

Genomförandeförordning vad gäller övervakning och rapportering av växthusgasutsläpp inom EU:s utsläppshandelssystem (EU) 2023/2122. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A02023R2122-20231018>

Göteborgs Hamns webbplats, *Storskalig koldioxidhubb*. <https://www.goteborgshamn.se/om/framtid/co2hubb/> (Hämtad 2024-08-30)

H2 Green Steels webbplats, *Green hydrogen enables the decarbonization of steel production*. Green hydrogen enables the decarbonization of steel production — H2 Green Steel <https://stegra.com/news-and-stories/green-hydrogen-enables-the-decarbonization-of-steel-production> (Hämtad 2024-07-01)

H2 Green Steels webbplats, *thyssenkrupp nucera and H2 Green Steel partner for one of the largest electrolysis plants globally*. <https://stegra.com/news-and-stories/thyssenkrupp-nucera-and-h2-green-steel-partner-for-one-of-the-largest-electrolysis-plants-globally-> (Hämtad 2024-05-22)

H2 Green Steels webbplats, *H2 Green Steel raises more than €4 billion in debt financing for the world's first large-scale green steel plant*. <https://stegra.com/news-and-stories/h2-green-steel-raises-more-than-4-billion-in-debt-financing-for-the-worlds-first-large-scale-green-steel-plant> (Hämtad 2024-07-10)

Heidelberg Materials Cement Sverige, 2018. *Färdplan cement – för ett klimatneutralt byggande*. https://www.cement.heidelbergmaterials.se/sites/default/files/assets/document/9a/c0/fardplan_cement-for_klimatneutralt_betongbyggande-20180424.pdf

Heidelberg Materials Cement Sveriges webbplats, *Bortom nettonoll 2030*. <https://www.cement.heidelbergmaterials.se/sv/nollvision2030> (Hämtad 2024-08-20)

Heidelberg Materials Cement Sveriges webbplats, *CemZero*. <https://www.cement.heidelbergmaterials.se/sv/cemzero> (Hämtad 2024-08-20)

Heidelberg Materials Cement Sveriges webbplats, *Klimatanpassad betong – här är listan*. <https://www.cement.heidelbergmaterials.se/sv/klimatanpassad-betong-har-ar-listan> (Hämtad 2020-08-20)

Helsingforskonventionen SÖ 1976:13. <https://helcom.fi/>

Hertwich E.G, S. Ali, L. Ciacchi, T. Fishman, N. Heeren, E. Masanet, F. Nojavan Asghari, E. Olivietti, S. Pauliuk, Q. Tu och P. Wolfram, 2019. *Material efficiency strategies to reducing greenhouse gas emissions associated with buildings, vehicles, and electronics – a review*. Environmental Research Letters, Vol.14, No. 4. <https://www.scholars.northwestern.edu/en/publications/material-efficiency-strategies-to-reducing-greenhouse-gas-emissio>

HYBRIT:s webbplats, *Demonstrationsanläggning för direktreduktion i Gällivare kommun*. <https://www.hybritdevelopment.se/samrad/> (Hämtad 2024-05-22)

HYBRIT:s webbplats, *HYBRIT: Sex års forskning banar väg för fossilfri järn- och stål-tillverkning i industriell skala*. <https://www.hybritdevelopment.se/hybrit-sex-ars-forskning-banar-vag-for-fossilfri-jarn-och-staltillverkning-i-industriell-skala/> (Hämtad 2024-08-29)

HYBRIT:s webbplats, *Världens första fossilfria stål färdigt för leverans*.

<https://www.hybritdevelopment.se/varldens-forsta-fossilfria-stal-fardigt-for-leverans/>
(Hämtad 2024-05-22)

Industrirådet, 2023, *Industrin driver klimatomställningen*. <https://www.industriradet.se/wp-content/uploads/Industrin-driver-klimatomstallningen.pdf>

Infrastrukturnyheters webbplats, *Swerock lanserar miljöbetong från nyöppnad fabrik*.

<https://www.infrastrukturnyheter.se/20201124/23847/swerock-lanserar-miljobetong-fran-nyoppnad-fabrik> (Hämtad 2021-08-20)

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/contentassets/62a4c0d2e21e4b289541377c2942ad64/202205-iva-vatgasprojektet-syntesrapport.pdf>

Jernkontorets webbplats, *Utsläpp*. <https://www.jernkontoret.se/sv/stalindustrin/branschfakta-och-statistik/utslapp/> (Hämtad 2024-05-21)

Johnsson och Kjärstad, 2019. *Avskiljning, transport och lagring av koldioxid i Sverige – Behov av forskning och demonstration*. https://research.chalmers.se/publication/509912/file/509912_Fulltext.pdf

Klimatpolitiska rådet, 2022. *Klimatpolitiska rådets rapport 2022*. <https://www.klimatpolitiskaradet.se/wp-content/uploads/2022/03/klimatpolitiskaradetrappport2022.pdf>

Liquid Winds webbplats, *Umeå*. <https://www.liquidwind.com/umea> (Hämtad 2024-08-19)

Liquid Winds webbplats, *Sundsvall*. <https://www.liquidwind.com/sundsvall>
(Hämtad 2024-08-19)

Londonprotokollet SÖ 2000:48. <https://www.imo.org/en/OurWork/Environment/Pages/London-Convention-Protocol.aspx>

Luleå Tekniska Högskolas webbplats, *Satsning på biokol för fossilfri järn- och stålproduktion*. <https://www.ltu.se/aktuellt/nyheter/nyhetsarkiv/2022-07-13-satsning-pa-biokol-for-fossilfri-jarn--och-stalproduktion> (Hämtad 2024-05-22)

Luleå Tekniska Universitet webbplats, *Storskalig produktion av biokol som förnybar råvara i fossilfria värdekedjor inom järn- och stålindustrin*. <https://www.ltu.se/forskning/forskningsamnen/energiteknik/termokemisk-energiomvandling/projekt/2023-10-17-storskalig-produktion-av-biokol-som-fornybar-ravara-i-fossilfria-vardekedjor-inom-jarn--och-stalindustrin>

Luleå tekniska universitets webbplats, *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 2024-09-17)

LULUCF-förordningen (EU) 2018/841. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A02018R0841-20230511>

Material Economics, 2018. *Ett värdebeständigt svenskt materielsystem – En rapport om materialanvändning ur ett värdeperspektiv*. <https://materialeconomics.com/node/38>

Material Economics, 2020. *Preserving value in EU industrial materials – A value perspective on the use of steel, plastics and aluminium*. <https://materialeconomics.com/node/15>

Material Economics på uppdrag av IKEM, 2021, *Vägar till klimatneutral produktion*, som är en färdplan för branschen att nå nollutsläpp. <https://www.ikem.se/globalassets/media-ikem/dokument/rapporter/vagar-till-klimatneutral-produktion.pdf>

Material Economics, 2021. *Den svenska ekvationen för bioresurser, annex till Klimatagenda för Sverige*, <https://materialeconomics.com/node/11>

McArthur foundation och Material Economics, 2019. *Completing the Picture – How the Circular Economy Tackles Climate Change*. <https://ellenmacarthurfoundation.org/completing-the-picture>

Montel News, Shell hoppar av e-bränsleprojekt (250 MW) i Forsmark | Montel News – Nordisk, <https://montelnews.com/nordic/news/0218c647-eea0-4381-883b-4d1ba0e4324a/shell-hoppar-av-e-bransleprojekt-250-mw-i-forsmark> (Hämtad 2024-10-17)

Naturvårdsverket och SCB, 2024. https://www.statistikdatabasen.scb.se/pxweb/sv/ssd/START__MI__MI0107/MI0107IndustriN/

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

Naturvårdsverket, 2022. *Klimatomställning av fossil plast – Underlagsrapport till regeringsuppdraget om Näringslivets klimatomställning*. <https://www.naturvardsverket.se/4ac714/globalassets/media/publikationer-pdf/7000/978-91-620-7057-1.pdf>

Naturvårdsverkets utsläppsregister. <https://utslappsisiffror.naturvardsverket.se/>

Naturvårdsverkets webbplats, *Dagens textila flöden – en global miljöutmaning*. <https://www.naturvardsverket.se/arnesomraden/textil/dagens-textila-floden-ar-en-global-miljoutmaning/> (Hämtad 2024-08-28)

Naturvårdsverkets webbplats, *Industri – utsläpp av växthusgaser*. <https://www.naturvardsverket.se/data-och-statistik/klimat/vaxthusgaser-utslapp-fran-industrin/> (Hämtad 2024-05-24)

Naturvårdsverkets webbplats, *Materialåtervinning av plast*. <https://www.naturvardsverket.se/arnesomraden/plast/materialatervinning-av-plast/> (Hämtad 2024-08-26)

Naturvårdsverkets webbplats, *Sveriges utsläpp och upptag av växthusgaser*. <https://www.naturvardsverket.se/data-och-statistik/klimat/sveriges-utslapp-och-upptag-av-vaxthusgaser/> (Hämtad 2024-05-22)

Naturvårdsverkets webbplats, *Ärnesområde plast*. <https://www.naturvardsverket.se/arnesomraden/plast/> (Hämtad 2024-08-26)

Nordion Energis webbplats, *Cinfracap*. <https://nordionenergi.se/projekt/cinfracap> (Hämtad 2024-08-30)

Nordiska projekts webbplats, *Heidelberg Materials CCS-projekt i Slite mot nästa fas*. <https://www.nordiskaprojekt.se/2024/08/13/heidelberg-materials-ccs-projekt-i-slite-mot-nasta-fas/> (Hämtad 2024-08-20)

Northern Lights webbplats, *Northern Lights enters charter agreement to expand fleet with a fourth CO2 ship*. <https://norlights.com/news/northern-lights-enters-charter-agreement-to-expand-fleet-with-a-fourth-co2-ship/> (Hämtad 2024-09-02)

Northvolts webbplats, *Closing the loop on batterier*. <https://northvolt.com/articles/revolt/> (Hämtad 2024-08-28)

Offshoredirektivet 2013/30/EU. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A02013L0030-20210101>

Ovakos webbplats, *Vår vätgasanläggning*. <https://www.ovako.com/sv/om-ovako/Var-vatgasanlaggning/> (Hämtad 2024-07-10)

Project Greensands webbplats, *What is Project Greensand?* <https://www.projectgreensand.com/en/hvad-er-project-greensand> (Hämtad 2024-09-03)

RE:Source m.fl., 2022. *Circularity gap report*. <https://resource-sip.se/content/uploads/2022/04/circularity-gap-report-sweden-1.pdf>

RE:Sources webbplats, *Materialhjulet*. <https://resource-sip.se/materialhjulet/> (Hämtad 2024-10-02)

Regeringen, 2022. *Nationell strategi för elektrifiering– en trygg, konkurrenskraftig och hållbar elförsörjning för en historisk klimatomställning*.

Regeringen, 2023. *Energipolitikens långsiktiga inriktning*. Prop.2023/24:105. <https://www.regeringen.se/rattsliga-dokument/proposition/2024/03/prop.-202324105>

Regeringens webbplats, *Sänkt skatt på bensin och diesel och reformerad reduktionsplikt*. <https://www.regeringen.se/pressmeddelanden/2024/08/sankt-skatt-pa-bensin-och-diesel-och-reformerad-reduktionsplikt/> (2024-10-15)

Regleringsbrev för budgetåret 2024 avseende Statens energimyndighet (KN2023/04611 KN2023/04580(delvis) KN2023/02473), kapitel 3, uppdragspunkt 11.

RISE webbplats, *Förnybara och fossilfria drivmedel för en hållbar framtid*. <https://www.ri.se/sv/vad-vi-gor/fossilfria-drivmedel> (Hämtad 2024-05-22)

RISEs webbplats, *Så får vi mer värde från våra bioråvaror*. <https://www.ri.se/sv/berattelser/sa-far-vi-mer-varde-fran-vara-bioravaror> (Hämtad 2024-05-22)

Roussanaly m.fl., 2021. *Towards improved guidelines for cost evaluation of carbon capture and storage for industry*. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1750583621000153>

SaltX Technology:s webbplats, *Pressinbjudan: SaltX inviger test- och researchcenter för tillverkning av kalk och cement utan koldioxidutsläpp*. <https://www.saltxtechnology.com/cision/pressinbjudan-saltx-inviger-test-och-researchcenter-for-tillverkning-av-kalk-och-cement-utan-koldioxidutslapp/> (Hämtad 2024-08-16)

SCA:s webbplats, *Biorefinery Östrand ingår EU-avtal om innovationsstöd*. SCAs och St1s projekt Biorefinery Östrand ingår EU-avtal om innovationsstöd. <https://www.sca.com/sv/media/nyheter/2023/biorefinery-ostrand-ingar-eu-avtal-om-innovationsstod/> (Hämtad 2024-08-15)

Lag (2014:266) om energikartläggning i stora företag, SFS 2014:266. https://www.riksdagen.se/sv/dokument-och-lagar/dokument/svensk-forfattningssamling/lag-2014266-om-energiartlaggning-i-stora_sfs-2014-266/

Lag (2014:268) om vissa kostnads-nyttoanalyser på energiområdet (SFS 2014:268). https://www.riksdagen.se/sv/dokument-och-lagar/dokument/svensk-forfattningssamling/lag-2014268-om-vissa-kostnads-nyttoanalyser-pa_sfs-2014-268/

SGU och Naturvårdsverket, 2017, *Förslag till strategi för hantering av gruvavfall*. <https://www.naturvardsverket.se/contentassets/6104a3383a9949e99f8ee28d94f2375c/strategi-forslag-hantering-gruvavfall-20170913.pdf>

SGU och Naturvårdsverket, 2023. *Hållbar utvinning och återvinning av metaller och mineral från sekundära resurser*, SGU RR 2023:01. <https://resource.sgu.se/dokument/publikation/rr/rr202301rapport/RR2301.pdf>

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 webbplats, *Metallskrot i samhället*. <https://www.sgu.se/mineralnaring/metall--och-mineralatervinning/metallskrot-i-samhallet/> (Hämtad 2024-07-28)

SGU:s webbplats, *Svensk gruvnäring*. <https://www.sgu.se/mineralnaring/svensk-gruvnaring/> (Hämtad 2024-05-22)

ShareTex webbplats, *Ence and Swedish start-up ShareTex sign MoU with aim to construct a pilot plant for textile recycling in As Pontes, Spain*. <https://www.sharetex.com/news/mou-sharetex-ence> (Hämtad 2024-08-26)

Sharetexs webbplats, *We turn waste textiles into value*. <https://www.sharetex.com/home#news> (Hämtad 2024-08-26)

Skanskas webbplats, *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 vägvalsutredningen.

SSAB, Pressmeddelande (2 april 2024), *SSAB fortsätter omställningen med ett fossilfritt stålverk i Luleå*, <https://www.ssab.com/sv-se/nyheter/2024/04/ssab-fortsatter-omstllningen-med-ett-fossilfritt-stlverk-i-lule>

St1s webbplats, *St1s nya bioraffinaderi i Göteborg invigt av Ebba Busch*. St1s nya bioraffinaderi i Göteborg invigt av Ebba Busch – St1, <https://www.st1.se/Ebba-busch-invigde-bioraffinaderi> (Hämtad 2024-08-15)

Statkrafts webbplats, *Statkraft och Karlshamn i samarbete för trygg grön elförsörjning*. Statkraft och Karlshamn i samarbete för trygg grön elförsörjning, <https://www.statkraft.se/media/news-and-stories/archive/2023/statkraft-och-karlshamn-i-samarbete-for-trygg-gron-elforsorjning/> (Hämtad 2024-08-15)

Stena Recyclings webbplats, *BASF och Stena Recycling samarbetar inom återvinning av elbilsbatterier i Europa*. <https://www.stenarecycling.com/sv/nyheter-insikter/nyheter/2024/basf-och-stena-recycling-samarbetar-inom-atervinning-av-elbilsbatterier-i-europa/> (Hämtad 2024-08-29)

Stena Recyclings webbplats, *Stena Recycling tilldelas stöd av Klimatklivet*. <https://www.stenarecycling.com/sv/nyheter-insikter/nyheter/2024/stena-recycling-tilldelas-stod-av-klimatklivet/> (Hämtad 2024-08-26)

Stena Recyclings webbplats, *Stena Recycling öppnar en storskalig återvinningsanläggning för batterier i Europa*. <https://www.stenarecycling.com/sv/nyheter-insikter/nyheter/2023/storskalig-atervinningsanlaggning-for-batterier/> (Hämtad 2024-08-29)

Stena Recyclings webbplats, *Succéinvigning av ny processlina för hårdplats i Lanna*. <https://www.stenarecycling.com/sv/nyheter-insikter/insikter-inspiration/event/lanna-invigning-2023/> (Hämtad 2024-08-26)

Stockholm Exergis webbplats, *Forskningsanläggning bryter ny mark*. <https://www.stockholmexergi.se/koldioxidinfangning/testanlaggningen-i-vartan/> (Hämtad 2024-08-30)

Stockholm Exergis webbplats, *Mark- och miljödomstolen säger ja till Stockholm Exergis satsning på koldioxidinfångning*. <https://www.stockholmexergi.se/nyheter/mark-och-miljodostolen-sager-ja-till-stockholm-exergis-satsning-pa-koldioxidinfangning/> (Hämtad 2024-08-30)

Stockholm Hamnars webbplats, *CCS i Stockholm Norvik Hamn*. <https://www.stockholmshamn.se/om-oss/miljoarbete/ccs/> (Hämtad 2024-08-30)

Svebios webbplats, *Biodrivmedel*. <https://www.svebio.se/om-bioenergi/biodrivmedel/> (Hämtad 2024-05-22)

Svebios webbplats, *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)

Svensk Byggtjänsts webbplats, *Bindemedel som kan ersätta cement i betong*. <https://byggkoll.byggtjanst.se/artiklar/2023/mars/bindemedel-som-kan-ersatta-cement-i-betong/> (Hämtad 2024-05-24)

Svensk Plaståtervinnings webbplats, *Fördubbling av plaståtervinningen med Site Zero*. <https://www.svenskplastatervinning.se/fordubbling-av-plastatervinningen-med-site-zero-2/> (Hämtad 2024-08-26)

Sveriges miljömål, <https://www.sverigesmiljomal.se/larande-exempel/gron-vatgas-for-fossilfri-varmning-av-stal/>

Sveriges riksdag, Sänkning av reduktionsplikten för bensin och diesel, Betänkande 2023/24: MJU5 Miljö- och jordbruksutskottet. https://www.riksdagen.se/sv/dokument-och-lagar/dokument/betankande/sankning-av-reduktionsplikten-for-bensin-och_hb01mju5/ (Hämtad 2024-05-22)

SVT Nyheter, Beskedet från Northvolt: Del av fabriken i Skellefteå stängs (Datum: 2024-09-17). <https://www.svt.se/nyheter/lokalt/vasterbotten/beskedet-fran-northvolt-kommer-att-saga-upp-personal>

Swecems webbplats, *Swecem utökar verksamheten i Oxelösund*. <https://swecem.se/nyheter/swecem-utokar-verksamheten-i-oxelosund/> (Hämtad: 2024-08-16)

SYSAV:s webbplats, *Pilotanläggning för Carbon Capture invigd hos Sysav i Malmö*. <https://www.sysav.se/om-oss/press-och-media/nyheter/pilotanlaggning-for-carbon-capture-invigd-hos-sysav-i-malmo/> (Hämtad 2024-09-06)

Södra skogsägarnas webbplats, *Södra blir världens största producent av sulfatlignin*. Södra blir världens största producent av sulfatlignin, <https://www.sodra.com/sv/se/om-sodra/pressrum/pressmeddelanden/sodra-blir-varldens-storsta-producent-av-sulfatlignin/> (sodra.com) (Hämtas 2024-07-01)

Tidningen Proffs webbplats, *Preem först ut med svenskproducerad HVO100 till kunder i Sverige*. <https://www.tidningenproffs.se/nyhet/2024/04/preem-forst-ut-med-svenskproducerad-hvo100-till-kunder-i-sverige/> (Hämtad 2024-05-22)

Tilläggsdirektiv till miljömålsberedningen (M2010:04), Dir. 2022:126. <https://www.regeringen.se/rattsliga-dokument/kommittedirektiv/2022/08/dir.-2022126> (Hämtad 2024-09-28)

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

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

Uniper, Uniper avslutar utvecklingen av SkyFuelH2 | Uniper (mynewsdesk.com)

Unipers webbplats, *NorthStarH2 – förnybart elektrobränsle i Östersund*. <https://www.uniper.energy/sverige/nyheter/northstarh2--foernybart-elektrobraensle-i-oestersund/> (Hämtad 2024-08-15)

Unipers webbplats, *SkyFuelH2. Jetfuel* | Uniper (Hämtad 2024-08-16)

Vattenfalls webbplats, *HYBRIT: Vätgaslager sänker kostnaden med upp till 40 procent* (Pressmeddelande), <https://group.vattenfall.com/se/nyheter-och-press/pressmeddelanden/2023/hybrit-vatgaslager-sanker-kostnaden-med-upp-till-40-procent>

Vattenfalls webbplats, *Vattenfall ser över HySkies-projektet*. <https://group.vattenfall.com/se/nyheter-och-press/nyheter/2024/vattenfall-ser-over-hyskies-projektet> (Hämtad 2024-08-20)

Vattensfalls webbplats, *Vattenfall och Cemvision i nytt samarbete om leveranser av cement med nära noll utsläpp*. <https://group.vattenfall.com/se/nyheter-och-press/pressmeddelanden/2024/vattenfall-och-cemvision-i-nytt-samarbete-om-leveranser-av-cement-med-nara-noll-utslapp> (Hämtad 2024-08-26)

Von der Leyen, U. (2024), *Political guidelines for the next European Commission 2024–2029*, https://commission.europa.eu/document/e6cd4328-673c-4e7a-8683-f63ffb2cf648_en

Växjö Energis webbplats, *Sydsvenskt projekt för att fånga in koldioxid*. <https://www.vxab.se/om-oss/satsningar-och-projekt/cnetss/> (Hämtad 2024-08-30)

ZEQL:s webbplats, *FAQs*. <https://www.zeql.com/faqs> (Hämtad 2024-08-19)

ZEQL:s webbplats, *Zero Emission QuickLime*. <https://www.zeql.com/> (Hämtad 2024-08-19)

Öresundskrafts webbplats, *Öresundskraft påbörjat miljardupphandling för CCS-satsning*. <https://www.mynewsdesk.com/se/oresundskraft/pressreleases/oeresundskraft-paaboerjar-miljardupphandling-foer-ccs-satsning-3247913> (Hämtad 2024-08-30)

Öresundskrafts webbplats, *Öresundskraft ska upphandla lagringsaktör för att hantera 200 000 ton koldioxid årligen*. <https://www.mynewsdesk.com/se/oresundskraft/pressreleases/oeresundskraft-ska-upphandla-lagringsaktoer-foer-att-hantera-200-000-ton-koldioxid-aarligen-3308722> (Hämtad 2024-08-30)

Öresundskrafts webbplats, *Öresundskraft testar koldioxidavskiljning med ny teknik*. <https://www.mynewsdesk.com/se/oresundskraft/pressreleases/oeresundskraft-testar-koldioxidavskiljning-med-ny-teknik-3211399> (Hämtad 2023-08-02)

Bilaga 1. Utsläppsdefinitioner

Nedan följer definitioner av begreppen förbränningsutsläpp, processrelaterade utsläpp och negativa utsläpp, vilka är centrala för denna rapport. Utgångspunkten har så långt som möjligt varit de definitioner som anges i IPCC:s riktlinjer,³³⁰ vilka 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 (se nedan). Övriga förbränningsutsläpp är de förbränningsutsläpp som inte är processrelaterade, vilket främst handlar om utsläpp från förbränning av fossila bränslen³³¹ och biobränslen.

Processrelaterade utsläpp

Begreppet processrelaterade utsläpp saknar en allmänt erkänd definition. I Bakgrundspromemorian om Industriklivet³³² 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 processsteg, men framför allt vid kemisk eller fysisk materialomvandling. Ett exempel på processutsläpp är koldioxid som bildas när kalksten omvandlas under upphettning i produktionen av cement och kalk (kalcinering). Alla processutsläpp inom industrin ingår i processrelaterade utsläpp. Processutsläpp är alltid fossila.
2. *Diffusa utsläpp* som uppstår vid hantering och produktion av fossila bränslen, t.ex. när de utvinns ur jordskorpan, vidareförädlas till slutprodukter eller transporteras. I Sverige kan de diffusa utsläppen framför allt 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, framför allt fackling och utsläpp från vätgasproduktion.³³³

³³⁰ IPCC, 2006.

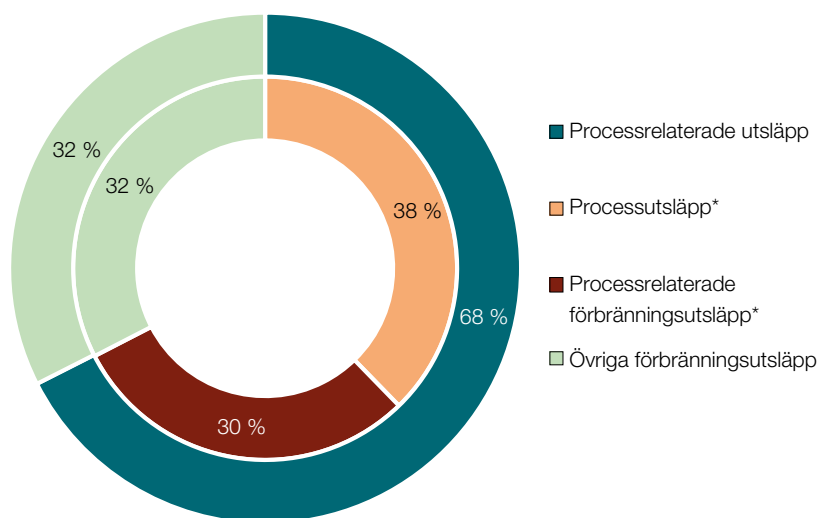
³³¹ Externa fossila bränslen, dvs. inte restprodukter.

³³² Regeringskansliet, 2017. *Bakgrundpromemoria om Industriklivet*. <https://www.regeringen.se/4a4d01/globalassets/regeringen/dokument/miljodepartementet/arkiv/journalist-pm---industriklivet.pdf>

³³³ Diffusa utsläpp som inte ingår i processrelaterade utsläpp är framför allt läckage från rörledningar.

3. *Processrelaterade förbränningsutsläpp* vilka uppstår vid förbränning av restprodukter från fossila råvaror i tillverkningsprocesser. Med en restprodukt avses ett ämne som uppstår utöver den avsedda slutprodukten i processen när råvaran omvandlas. 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 2022.



Figur B1.1. Fördelningen av industrins totala fossila växthusgasutsläpp på olika utsläppskategorier, 2022, procent (kategorier markerade med * ingår i processrelaterade utsläpp).

Källa: Naturvårdsverket och SCB,³³⁴ bearbetning av Energimyndigheten.

Anm: Diffusa utsläpp ingår i kategorin processrelaterade förbränningsutsläpp

Negativa utsläpp

I utredningen Vägen till en klimatpositiv framtid³³⁵ 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 mark³³⁶ såsom återvätning av dränerad torvmark, (2) avskiljning, transport och lagring³³⁷ av biogen koldioxid³³⁸ (bio-CCS³³⁹) samt (3) verifierade utsläppsminskningar i andra länder.

³³⁴ Naturvårdsverket och SCB, 2024.

³³⁵ SOU 2020:4

³³⁶ Även tillförsel av biokol för långsiktig inlagring av kol med samtidig jordförbättring skulle kunna ingå.

³³⁷ Direktivet om geologisk lagring av koldioxid 2009/31/EG.

³³⁸ 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.

³³⁹ 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.

I denna rapport ligger fokus på 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,” vilket är den definition som används inom Industriklivet.³⁴⁰ 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) netto-noll 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 uppnås. De biogena utsläppen kan härröra både från industrins processer och från förbränning.

³⁴⁰ SFS 2017:1319

Bilaga 2. Bearbetning och tolkning av statistik

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

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 växthusgasutsläpp 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 metallindustri, samt att utsläpp från gruvindustrin inte ingår i de branscher som beskrivs i kapitel 2.

Förutom branschindeldad statistik används även varuindeldad statistik. I den statistiken används SPIN-koder och HS/Kn-nummer. SPIN-koderna stämmer överens med SNI-koderna och båda refereras därför som SNI-koder i den här rapporten. HS/Kn-nummer är ett sätt att klassificera produkter och saknar en direkt koppling till branschindelning. 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-/varukategori³⁴¹ 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 klimatrapporteringen rapporteras dessa utsläpp under elproduktion (förbränningsutsläpp), men eftersom utsläppen är direkt kopplade till produktionen i koksverk, masugnar och LD-konverter och uppkommer, oavsett om gaserna används till elproduktion, som bränsle för tillverkningsprocessen eller facklas bort, är de för uppdraget relevanta som processrelaterade förbränningsutsläpp. Utsläpp från förbränning av processgaser räknas i den här rapporten som processrelaterade (förbrännings)utsläpp oavsett var förbränningen sker.

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

³⁴¹ I rapporten används varukategori för att övergripande kategorisera varor, främst på 2-siffrig HS/Kn-kodnivå, medan produktkategorier är mer finfördelade kategorier på 4-siffrig HS/Kn-kodnivå.

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

Vad gäller utsläpp av biogen koldioxid har inte den officiella statistiken över territoriella utsläpp fullt ut kunnat användas i denna rapport. Detta då processutsläpp av biogen koldioxid inte redovisas för massa- och pappersindustrin, vilket innebär att de biogena utsläpp som genereras från användningen av avlutar inom papper- och massaindustrin inte inkluderas. Därför har Naturvårdsverkets utsläppsregister använts för beräkning av potentialer för negativa utsläpp. I detta register ingår de verksamheter som är ålagda att rapportera sina utsläpp på anläggningsnivå i enlighet med Förordning (EG) 166/2006.³⁴² 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. 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-kodnivå, för att skapa en översikt av handelsströmmarna. Även på 4-siffrig HS/KN-kodnivå 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 framför allt 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 andel av importen används inom ståltillverkning.

³⁴² Förordningen om upprättande av ett europeiskt register över utsläpp och överföringar av föroreningar (EG) nr 166/2006. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/SV/TXT/?uri=CELEX%3A32006R0166>

Bilaga 3. Bransch-, varu-, och produktindelning

Branschuppdelningen har gjorts med avsikt att fånga hela kedjan från råvara till slutprodukt. I tabellerna B2.1, B2.2 och B2.3 beskrivs vilka SNI-koder och SPIN-koder som ingår i respektive bransch, vilka varu- och produktkategorier dessa motsvarar samt CRF-kodernas branschindelning.³⁴³ I slutet av bilagan finns en schematisk bild (figur B3.1) över hur branschindelningen i CRF och SNI hänger ihop.

Tabell B2.1. Branschuppdelning enligt SNI och SPIN för energistatistik, ekonomisk statistik och handelsstatistik. SNI-koder används för att klassificera verksamheter efter vad de gör (deras aktivitet), medan SPIN-koder används för att klassificera varor.

Rapportnamn	SNI/SPIN-kod
Hela industrin	05–33
Järn- och stålindustri, inklusive järnmalmsgruvor och ferrolegeringar	05.1, 07.1, 24.1–24.3, 24.51–24.52
Stenkolsgruvor/Kol	05.1
Järnmalmsgruvor/Järnmalm	07.1
Järn och stål	24.1
Tillverkning av rör, ledningar, ihåliga profiler och tillbehör av stål/Stålrör m.m.	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 m.m.	
– Andra malmgruvor än järnmalm/Annan malm än järnmalm	07.2
– Brytning av sten, sand m.m. /Sten, sand och lera	08.1
Övriga mineralbrott/Övriga mineralprodukter	08.9
Metallverk/Metaller exklusive järn	24.4
Gjutning/Gjutna produkter av lättmetall och övriga metaller	24.53, 24.54
Raffinaderier och kemiindustri	06, 19–21
Raffinaderi och baskemi /raffinaderi och baskemikalier	06, 19.1–20.1 ³⁴⁴
– Raffinaderi	19.2
– Baskemikalier mm	20.1
– Råpetroleum och naturgas	
Bekämpningsmedel m.m.	20.2
Färg, lack m.m.	20.3

³⁴³ I rapporten används varukategori för att beskriva övergripande kategorier, främst på 2-siffrig HS/Kn-kodnivå, medan produktkategorier används för mer finfördelade kategorier på 4-siffrig HS/Kn-kodnivå.

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

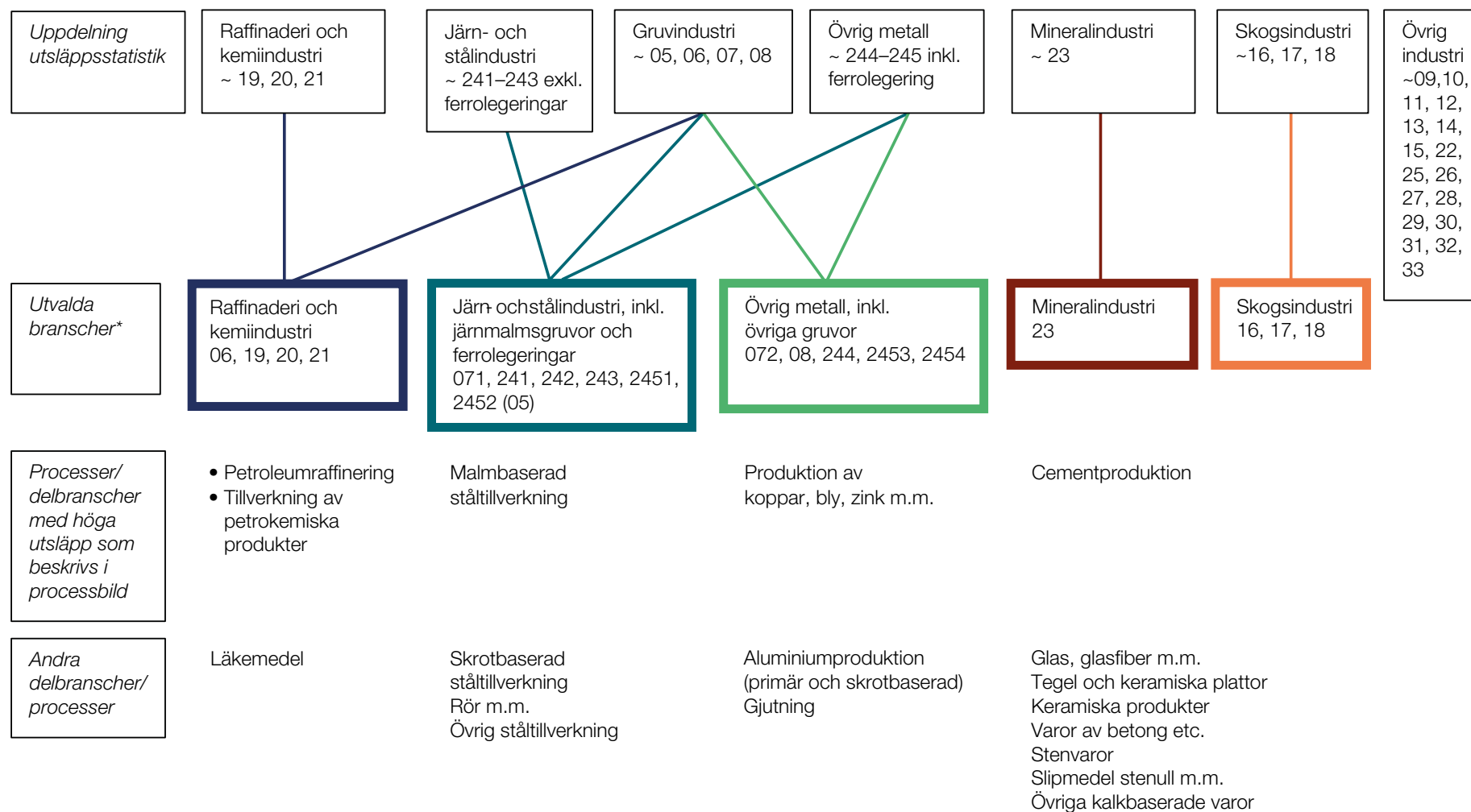
Rapportnamn	SNI/SPIN-kod
Rengöringsmedel m.m.	20.4
Annan kemisk industri	20.5
Konstfiber	20.6
Läkemedel och farmaceutiska basprodukter	21.1–21.2
Mineralindustri	23
Glas- och glasvarutillverkning/Glas och glasvaror	23.1
Tillverkning av eldfasta produkter/Eldfasta produkter	23.2
Tillverkning av byggmaterial 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 m.m.	23.9
Skogsindustrin	16, 17, 18
Trävaruindustri	16
– Sågade trävaror	16.1
– Övriga trävaror	16.2
Massa och papper	17
– Massa, papper och papp	17.1
– Pappers- och pappersvaror	17.2
Grafisk industri/Grafiska tjänster	18
El- och värmesektorn	
Generering av elektricitet	35.11
Överföring av elektricitet	35.12
Distribution av elektricitet	35.13
Försörjning av värme och kyla	35.3

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

"Bransch"	HS/KN	Rapportnamn
Järn- och stålindustrin	2601, 2701, 2704, 2705, 72, 73	
Järn- och stålindustri	2601	Järnmalmprodukter
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 4810	Sågade trävaror
Skogsindustrin	4810	Bestruket papper och papp
Skogsindustrin	4703	Sulfat- och sulfitmassa
Skogsindustrin	4804	Obestruket papper
Skogsindustrin	4403	Obearbetat trä
Skogsindustrin	4418	Byggnadssnickerier
Skogsindustrin	4819	Kartonger och förpackningar av papper och papp

Tabell B2.3. Statistik över växthusgasutsläpp enligt CRF.

Bransch	CRF	Ungefärlig motsvarighet SNI 2007
Järn- och stålindustri	1.A.2.a, 1.B.1, 2.C.1, 1.A.1.b, 1.A.1.b, del av 2.C.1	242–243 + del av 241
Övrig metall	1.A.2.b, 2.C.2–2.C.7	244–245 + del av 241
– Aluminiumindustrin (processutsläpp)	CRF 2.C.3	-
– Framställning av koppar, bly, zink m.m. (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.

Hållbar energi för alla

Energimyndighetens uppdrag är att förena ekologisk hållbarhet, konkurrenskraft och försörjningstrygghet i energisystem, som är hållbara och kostnadseffektiva med en låg påverkan på hälsa, miljö och klimat.

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

Forskning om framtidens energisystem och teknik 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 stödsystem så som elcertifikatsystemet och handeln med utsläppsrätter. Dessutom deltar vi i internationella klimatsamarbeten, och förmedlar fakta om effektivare energianvändning till hushåll, företag och myndigheter.

Energimyndigheten är också beredskapsmyndighet och sektorsansvarig myndighet inom energiområdet.



Energimyndigheten, Box 310, 631 04 Eskilstuna

Telefon 016-544 20 00

E-post registrator@energimyndigheten.se

energimyndigheten.se