



MATERIAL ECONOMICS

Vägar till klimatneutral produktion för kemi- och innovationsindustrierna

*En genomlysning av IKEMs medlemmars
förutsättningar och behov för koldioxidneutralitet*

IKEM
Innovations- och kemiindustrierna i Sverige

IKEMs medlemmar har en bred palett av lösningar för att reducera sina utsläpp

IKEMs medlemmar kan tillsammans minska sina utsläpp med upp till 85% till 2045.

Denna rapport sammanställer åtgärder för lägre utsläpp av koldioxid som undersöks eller planeras bland medlemmar i Innovations- och Kemiindustrierna (IKEM). Den bygger på intervjuer och enkäter bland 14 företag som tillsammans har utsläpp på mer än 5,5 Mt CO₂ per år, ca 80% av de totala utsläppen av IKEM:s medlemsföretag. Tillsammans skulle de identifierade åtgärderna minska utsläppen med 4,7 Mt CO₂.

Stora förändringar krävs för att genomföra dessa utsläppsminskningar. Medlemmarna utgör till stor del kemiindustri där låga CO₂-utsläpp kräver omställning till helt nya råvaror och produktionsprocesser, men även metall-, mineral-, drivmedel-, livsmedels- och läkemedelsindustri där djupa minskningar i utsläppen kräver stora förändringar och investeringar. Ingen enskild strategi räcker, utan flera olika angreppssätt krävs:

- **Klimatneutral energi** (reduktionspotential 550-650 kton): En kombination av elektrifiering, vätgas och biobränslen ersätter dagens bränslen, ofta för produktion av värme med mycket hög temperatur
- **Koldioxidavskiljning och lagring (CCS)** (1800-1900 kton): Infångning, transport och lagring av CO₂
- **Biobaserade råvaror** (1700-1800 kton): Produktion av drivmedel och kemikalier från bioråvaror, ibland med helt nya produktionsprocesser och behov av vätgas som komplement
- **Cirkulär ekonomi - återvinna råvaror och CCU** (600-700 kton): materialåtervinning genom att jungfruliga råvaror ersätts med återvunnen plast, metaller eller avfall, eller infångad CO₂ används i kombination med vätgas som råvara för produktion av kemikalier (CCU).
- **Resurseffektiva system:** (200-300 kton): Möjligheter att använda restprodukter såsom spillvärme och utveckling av industriell symbios

Nya förutsättningar krävs för att möjliggöra nästa steg mot klimatneutral produktion

IKEM:s medlemmar identifierade fem teman som särskilt viktiga för att möjliggöra nästa steg i omställningen mot klimatneutral produktion:

- 1. Stöd för innovation och investeringar.** Många av de lösningar som identifierats måste snabbt tas från pilotskala till demonstration och sedan industriell skala. Målet om klimatneutralitet 2045 är i många fall endast en investeringscykel bort, så rätt val måste göras i närtid. Offentligt stöd för de första investeringarna är särskilt viktigt när risken är stor, och när marknaderna för klimatneutrala lösningar ännu inte är utvecklade.
- 2. Styrmedel för konkurrenskraftig klimatneutral produktion.** De lösningar som företagen siktar mot medför ofta 30-50% och vissa fall upp till 100% högre produktionskostnader än dagens utsläppsintensiva produktion. Det behövs därför nya styrmedel i närtid som gör dessa produkter lönsamma, även på de exportmarknader där IKEM:s medlemmar till större delen verkar. Andra länder i EU inför nu sådana styrmedel, men det saknas en motsvarande diskussion i Sverige.
- 3. Tillförlitlig tillgång till fossilfri el i stor skala.** Klimatneutral produktion bland IKEM:s medlemmar kräver 19-27 TWh fossilfri el, varav en stor del i den södra delen av landet. Idag hålls investeringar redan tillbaka av effektbrist och osäkerhet om det framtida elsystemet.
- 4. Tillgång till råvaror och infrastruktur.** Skiftet till fossilfrihet medför storskalig användning av nya råvaror där biomassa, avfall, insamlad plast, infångad CO₂ och vätgas ersätter dagens olja och gas – samtidigt som koldioxid behöver fångas in och lagras. Detta kräver lika konkurrensvillkor för biomassa, avfallshantering som tillgängliggör resurser för återvinning, regelverk och infrastruktur för hantering av CO₂, och system för storskalig produktion och transport av vätgas.
- 5. Tillförlitliga och likalydande institutionella villkor.** Särskilt viktigt är kortare och mer tillförlitliga tillståndsprocesser, som annars riskerar att omöjliggöra de stora industrisatsningar som krävs för omställningen.

Agenda

- **1. Inledning**
- 2. Vägar till koldioxidneutralitet för IKEM:s medlemmar
- 3. Behov och förutsättningar för att nå netto-noll
- Appendix

Om den här rapporten

Denna rapport har tagits fram av Material Economics på uppdrag av IKEM under vintern 2020-2021. Under studien genomfördes 14 intervjuer av företag inom IKEM för att kartlägga respektive företags möjligheter till djupa minskningar av utsläppen av koldioxid, samt de behov och hinder som uppstår i denna omställning. Dessa företag valdes då de antingen har stora utsläpp och har en omställningsresa framför sig eller för att de har genomfört förändringar och har nyttiga lärdomar. Tillsammans står de för ca 80% av IKEM:s medlemmars totala utsläpp.

Material Economics har sammanställt denna information och står bakom bedömningarna och slutsatserna som presenteras. IKEM och dess medlemmar står bakom rapporten som helhet men inte nödvändigtvis enskilda formuleringar och bedömningar som presenteras.

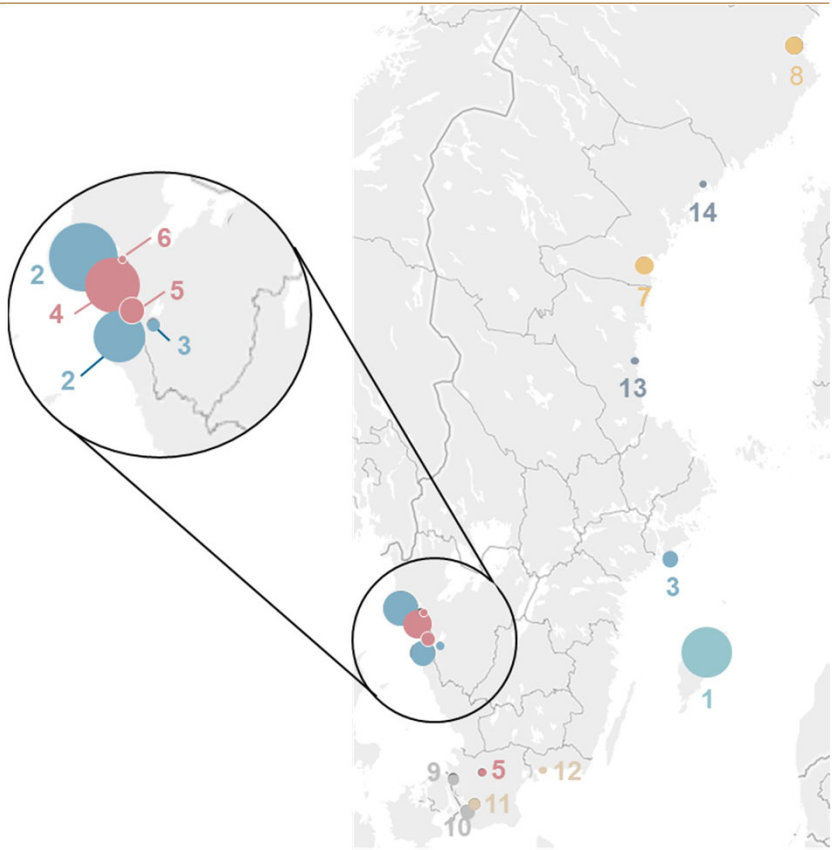
Kapitel 2 beskriver översiktligt åtgärder och strategier för minskade utsläpp. Valet av vägar och strategier som beskrivs är baserat på vad som framkommit under intervjuerna, men beskrivningen bygger till största delen på extern forskning och kunskap.

Kapitel 3 sammanställer Material Economics slutsatser av vad företagen beskrivit som behov och utmaningar i omställningen mot lägre utsläpp. Uppskattningar av elbehov mm bygger delvis på uppgifter från intervjuerna, men där data saknas har offentliga källor använts och egna beräkningar gjorts.

Studiens omfattning: 14 företag har intervjuats som täcker totalt ca 6 Mt av totalt 7 Mt utsläpp hos IKEMs medlemmar

IKEMS 14 intervjuade medlemmars utsläpp

Sfär indikerar storlek av utsläppskällan, 2019



	Industri	Företag	Utsläpp (kton CO ₂ e)
1	Mineralindustri	Cementa	2060
2	Raffinaderi	Preem	1680
3	Raffinaderi	Nynas	330
4	Organisk kemi	Borealis	660
5	Organisk kemi	Perstorp	200
6	Organisk kemi	Nouryon	87
7	Metallindustri	Kubal	235
8	Metallindustri	Boliden	317
9	Oorganisk kemi	Kemira Kemi Norcarb Engineered Carbons	84
10	Oorganisk kemi	Nordic Sugar	101
11	Livsmedelsindustri	AAK	0.157
12	Livsmedelsindustri	AAK	0.157
13	Biobaserad kemi	Kraton	0.473
14	Biobaserad kemi	Sekab	N/A*
	Totalt:		5.9 Mt

Källa: baserat på data från Naturvårdsverket, 2019
 Biogena utsläpp ingår inte (AAK biogenic emissions: 72kton, Cementa (Slite) biogenic emissions: 174kton, Boliden (Skellefteå) biogenic emissions: 1.4kton) *inga utsläppssiffror funna Kraton samt Boliden återges som en punkt trots flera anläggningar.

KAPITEL 2: VÄGAR TILL KOLDIOXIDNEUTRALITET FÖR IKEMS MEDLEMMAR

Detta kapitel är till stor del byggd på extern forskning och kunskap snarare än intervjuer. Valet av vägar och strategier som beskrivits är baserat på vad som framkommit under intervjuerna, där fokus har varit på direkta utsläpp, därav har rapporten utelämnat mekanisk återvinning, återanvändning etc.

Agenda

- 1. Inledning
- **2. Vägar till koldioxidneutralitet för IKEM:s medlemmar**
 - I. Klimatneutral energi
 - II. Koldioxidavskiljning och lagring
 - III. Biobaserade råvaror
 - IV. Cirkulär ekonomi: Återvunna råvaror och CCU
 - V. Resurseffektiva system
- 3. Behov och förutsättningar för att nå netto-noll
- Appendix

Fem strategier för 85% minskade utsläpp

IKEMs medlemmar har identifierat sätt att reducera utsläppen med ~85% till 2045 genom att kombinera fem huvudstrategier:

- **Klimatneutral energi** (reduktionspotential 550-650 kton): En kombination av elektrifiering, vätgas och biobränslen ersätter dagens bränslen, ofta för produktion av värme med mycket hög temperatur
- **Koldioxidavskiljning och lagring (CCS)** (1800-1900 kton): Infångning, transport och lagring av CO₂
- **Biobaserade råvaror** (1700-1800 kton): Produktion av drivmedel och kemikalier från bioråvaror, ofta med helt nya produktionsprocesser och behov av vätgas som komplement
- **Cirkulär ekonomi - återvunna råvaror och CCU** (600-700 kton): materialåtervinning genom att jungfruliga råvaror ersätts med återvunnen plast, metaller eller avfall, eller infångad CO₂ används i kombination med vätgas som råvara för produktion av kemikalier (CCU).
- **Resurseffektiva system:** (200-300 kton): Möjligheter att använda restprodukter såsom spillvärme och utveckling av industriell symbios

Gemensamt för dessa strategier är att de kräver stora investeringar – först i forskning och utveckling och sedan i pilotprojekt, demonstration, och utbyggnad i industriell skala. Det betyder dock inte att omställningen måste vänta på att bli helt finansierad. I somliga fall kan biomassa börja användas direkt in i befintliga processer. Trots det, kommer, i de flesta fall de nya processerna ha ett högre löpande kostnader än dagens processer på grund av nya typer av råmaterial som inte finns i samma utsträckning som dagens och där värdekedjorna inte är lika välutvecklade.

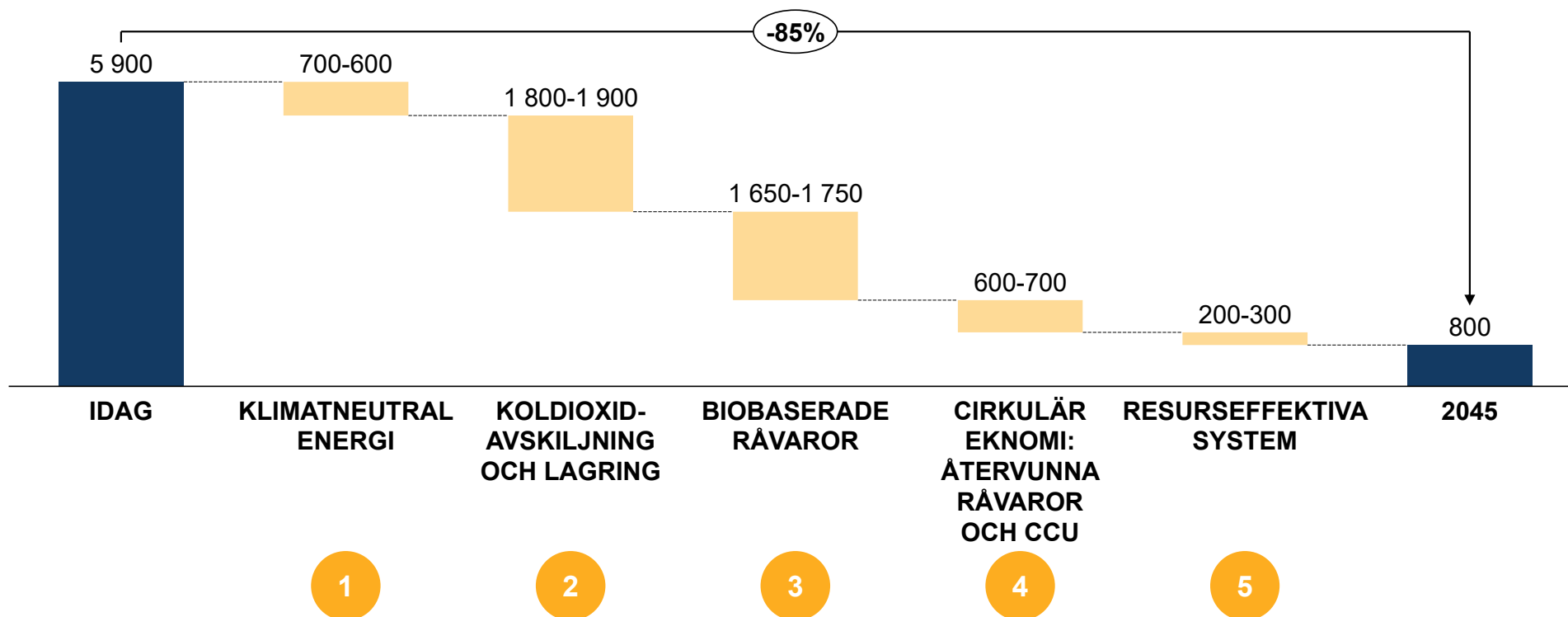
Större delen av IKEMs medlemmars utsläpp är processutsläpp – en mindre del är energirelaterade

	TOTALA UTSLÄPP (kton CO ₂)	TYP AV UTSLÄPP
MINERALINDUSTRI	2060	Främst utsläpp från processreaktioner samt en andel utsläppsintensiva bränslen för att generera högtemperaturvärme
RAFFINADERI	2010	Uppvärmning med utsläppsintensiva bränslen samt som biflöde från raffineringsprocesser
ORGANISK KEMI	947	Process- och energirelaterade utsläpp samt användning av biflöden för uppvärmning.
METALLINDUSTRI	552	Utsläpp från förbränning för högtemperaturvärme samt processutsläpp under metallproduktion
OORGANSIK KEMI	185	Återstående utsläpp är främst från värmeproduktion
LIVSMEDELSINDUSTRI	104	Utsläpp från värme- och ångproduktion
BIOBASERAD KEMI	~0.5	Använder redan biobaserade råvaror. De utsläpp som återstår är främst värme och ånga

En kombination av flera olika strategier krävs för djupa minskningar av CO₂-utsläpp från IKEMs medlemmar

KOLDIOXIDUTSLÄPP IDAG OCH 2045

kton, 14 företag



Not: Ett mål om klimatneutralitet behandlas här som 0-utsläpp, offentliga planer har använts i analysen och Material Economics har fördelat utsläppsminskningarna baserat på dagens processer där uppgifter saknats. Detta är alltså ingen färdplan, snarare en indikation på vart utsläppsminskningarna kommer ifrån.

Backup: Detaljerad nedbrytning och förklaring av strategierna

STRATEGI	APPLIKATION	BESKRIVNING
1 KLIMATNEUTRAL ENERGI	Elektrifiering av processer	Ersätta förbränning med el och ångreformeringsprocesser med elektrolysning
	Vätgas för högttemperaturvärme	Förbränning av vätgas istället för t.ex. naturgas eller propan
	Biobränslen	Ersätta konventionella drivmedel eller uppvärmning med biobränslen
2 KOLDIOXID-AVSKILJNING OCH LAGRING	CCS på cementproduktion	Infångning av CO ₂ från cementproduktion (process, förbränning)
	CCS på vätgasproduktion	Infångning och lagring av CO ₂ strömmen i ångreformeringsprocesser
	CCS på crackers	Infångning av utsläpp från krackning
	CCS på raffinaderier	Infångning av utsläpp från krackning
3 BIOBASERADE RÅVAROR	Biobaserad råvara till bränsle	Ersätta dagens råvara (råolja) med biobaserade råvaruströmmar
	Biobaserad råvara till kemikalier	Ersätta dagens produktionsprocesser med bio-baserade produktionsrutiner för baskemikalier
4 CIRKULÄR EKONOMI: ÅTERVUNNA RÅVAROR OCH CCU	Kemisk återvinning (plast/textil)	Använda avfall som råmaterial för ny plast
	CCU (CO ₂ Infångning och användning)	Nya produktionsrutiner som använder infångad CO ₂ och vätgas för produktion av baskemikalier (metanol) för vidareförädling
	Återvinning (metaller)	Ökad andel återvunnen metall
5 ENERGIEFFEKTIVA SYSTEM	Energieffektivisering	Reducera energiåtgång med hjälp av värmeåtervinning etc.
	Industriell symbios (restvärme)	Samarbete mellan företag för att maximera användning av resurser

Agenda

- 1. Inledning
- **2. Vägar till koldioxidneutralitet för IKEM:s medlemmar**
 - I. Klimatneutral energi
 - II. Koldioxidavskiljning och lagring
 - III. Biobaserade råvaror
 - IV. Cirkulär ekonomi: Återvunna råvaror och CCU
 - V. Resurseffektiva system
- 3. Behov och förutsättningar för att nå netto-noll
- Appendix

IKEMs medlemmar är både producenter och konsumenter av framtidens klimatneutrala energi

ELEKTRIFIERING



Kan ersätta förbränning av bränslen för uppvärmning, främst låg- och medeltemperaturvärme men på längre sikt och i vissa fall även värme med hög temperatur. Med klimatneutral el kan CO₂-utsläpp elimineras.

VÄTGAS



Vätgas kan användas för energiproduktion, men främst är vätgas en viktig råvara för IKEMs medlemmar som krävs för bio-baserade produktion av bränsle och kemikalier, kemisk återvinning, CCU, mm

BIOBRÄNSLE



Biobränsle kan direkt ersätta oljebaserade drivmedel och annat bränsle, och flera av IKEMs medlemmar har planer på ökad användning. IKEMs medlemmar siktar också på att bli stora producenter av biodrivmedel.

ELEKTRIFIERING



Kan ersätta förbränning av bränslen för uppvärmning, främst låg- och medeltemperaturvärme men på längre sikt och i vissa fall även värme med hög temperatur. Med klimatneutral el kan CO₂-utsläpp elimineras.

Elektrifiering är en viktig strategi för att nå klimatmålen för IKEMs medlemmar

1. HÖG-TEMPERATURVÄRME



Mikrovågsteknik för cement-industrin, elektrifiering av crackers, etc.

2. ARBETSMASKINER



Elektrifiering av tunga arbetsmaskiner i verksamheter med god tillgång till laddning

3. TRANSPORT



Elektrifiering av transport av råvaror och produkter

4. PROCESSER



Elektrifiering av processer som idag kräver olika bränslen, t.ex. vätgasproduktion

5. LÅG- OCH MEDEL TEMPERATURVÄRME/ÅNGA



Elektrifiering av värme genom värmepumpar etc.

BESKRIVNING

- Elektrifiering minskar utsläpp då elen nästan är CO₂-fri i Sverige.
- Svensk industri är redan elektrifierad i högre grad än i många andra länder. Ytterligare processer som traditionellt drivits av bränslen elektrifieras nu för att nå klimatmålen.
- Elektrifiering inom logistik är redan på gång (lätta lastbilar, tunga under utveckling) samt elektrifiering av arbetsmaskiner.
- Nästa våg handlar om elektrifiering av processer samt hög-, medel- och lågtemperaturvärme. Detta undersöks för cementindustrin, raffinaderier och crackers samt ett antal av IKEMs medlemmar som använder förbränning för värme.

KOSTNAD

- Ofta är elpriset högre än motsvarande konventionella bränslen. Dessutom tillkommer processförändringar för att kunna använda el.

UTMANINGAR/ FÖRUTSÄTTNINGAR

- Mycket stora mängder el krävs för ofta energiintensiva processer
- Teknik för elektrifiering (särskilt för högtemperaturvärme och fordon / arbetsmaskiner) är under utveckling men i flera fall ännu inte redo för kommersiell användning.

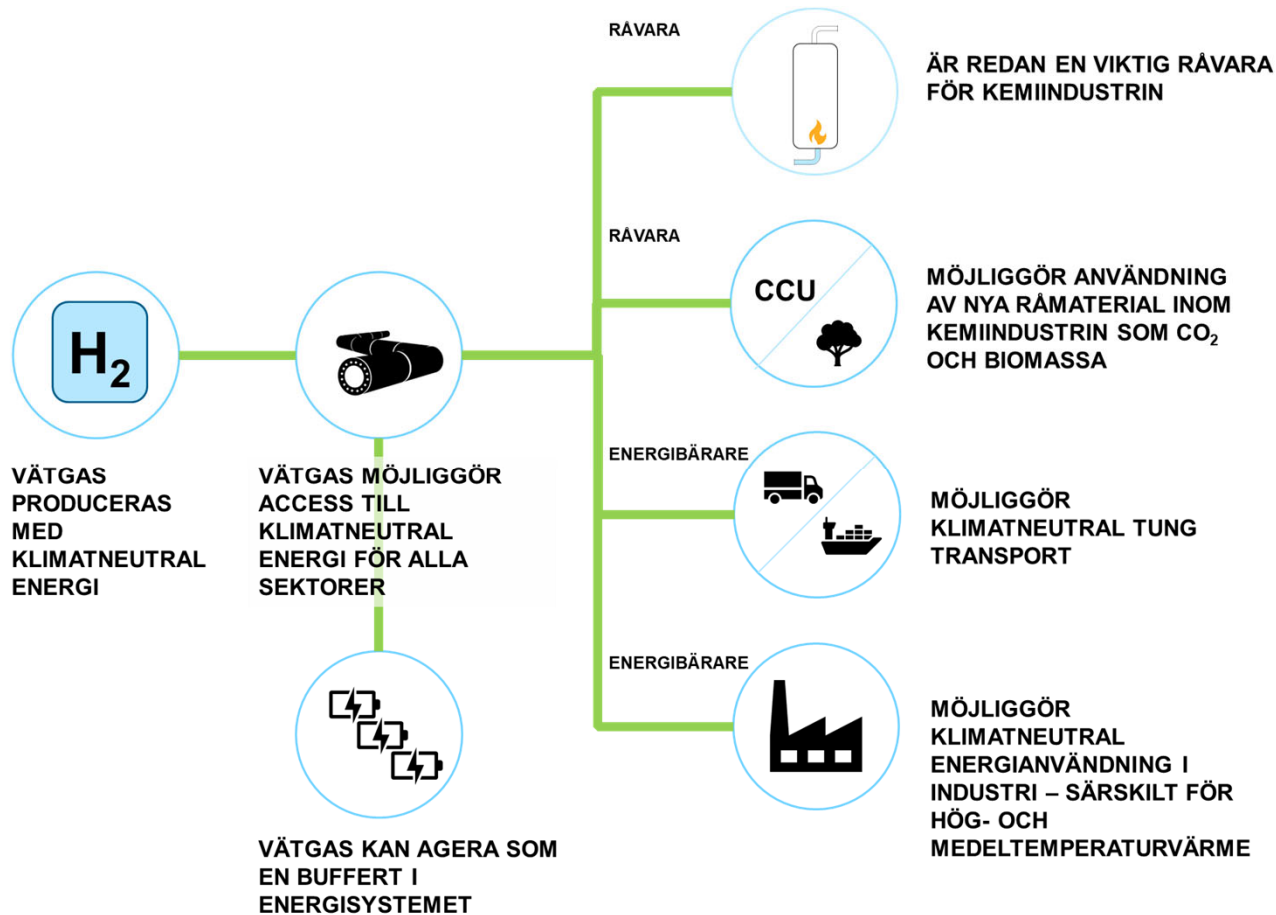
VÄTGAS



Vätgas kan användas för energiproduktion, men främst är vätgas en viktig råvara för IKEMs medlemmar som krävs för bio-baserade produktion av bränsle och kemikalier, kemisk återvinning, CCU, mm

1 KLIMATNEUTRAL ENERGI

Vätgas som råmaterial och energibärare



BESKRIVNING

- Vätgas är redan en viktig råvara för kemiindustrin vid tillverkning av drivmedel och baskemikalier
- I framtiden kommer långt mer vätgas att behövas: för tillverkning av bränsle från bioråvara, kemisk återvinning, användning av CO₂ som råmaterial, ammoniakproduktion, mm.
- Vätgas kommer också vara viktig för uppvärmning, särskilt för att generera höga temperaturer.

KOSTNAD

- Idag kostar ett kilo vätgas ca 5 euro och skulle behöva minska till ca 2 euro för att bli konkurrenskraftigt i många processer¹.
- Dessutom tillkommer stora investeringskostnader eftersom helt nya processer ofta behövs, särskilt inom kemiindustrin.

UTMANINGAR/ FÖRUTSÄTTNINGAR

- Transport av vätgas är fortfarande svårt och kostsamt (0.15-0.25 Euro per kg per 1000 km) – i Sverige har vi inte heller något nätverk av pipelines redo.
- För kemiindustrin är processerna och råvarorna långt ifrån konkurrenskraftiga gentemot konventionella, likvärdiga produkter.

¹Mainstreaming Green Hydrogen in Europe, Material Economics

Vätgas kommer bli viktigt för alla sektorer inom IKEM

Tillgång till vätgas kommer bli ännu viktigare för IKEMs medlemmar när kraven på att fasa ut utsläppsintensiva bränslen och råmaterial ökar

	SEKTOR	DAGENS ANVÄNDNING	FRAMTIDA ANVÄNDNING
H ₂	RAFFINADERI	<ul style="list-style-type: none"> I produktion av bensin och diesel, särskilt för att minska svavelhalten 	<ul style="list-style-type: none"> Oumbärlig vid tillverkning av biobränsle
	MINERALINDUSTRI	<ul style="list-style-type: none"> Används ej/marginellt idag 	<ul style="list-style-type: none"> Kan användas för högtemperaturvärme
	ORGANISK KEMI	<ul style="list-style-type: none"> Används för hydrogenering och för att avlägsna svavel i råolja 	<ul style="list-style-type: none"> För uppgradering av produkter efter kemisk återvinning, biobaserade råvaror eller vid användning av CO₂
	METALLINDUSTRI	<ul style="list-style-type: none"> Används ej/marginellt idag 	<ul style="list-style-type: none"> Kan användas för produktion av reduktionsmedel samt för högtemperaturvärme
	OORGANSIK KEMI	<ul style="list-style-type: none"> Används ej/marginellt idag 	<ul style="list-style-type: none"> Kan användas för högtemperaturvärme
	LIVSMEDELSINDUSTRI	<ul style="list-style-type: none"> Används ej/marginellt idag 	<ul style="list-style-type: none"> Kan användas för högtemperaturvärme
	BIOBASERAD KEMI	<ul style="list-style-type: none"> Används för uppgradering av råvaror 	<ul style="list-style-type: none"> Fortsatt användning för att uppgradera råvaror

Vätgas blir allt viktigare för en klimatneutral industri (1/2)

Vätgas är ett viktigt råmaterial inom kemiindustrin och helt oundgängligt i tillverkning av konstgödsel, metanol och många polymerer. De senaste åren har fler och fler industrier utanför kemisektorn sneglat mot vätgas som en del i resan mot koldioxidneutralitet då vätgas kan tillverkas helt klimatneutralt och fungera som både reduktionsmedel, råmaterial och energibärare. En studie av Material Economics pekar på att efterfrågan kan öka från dagens 300 TWh i Europa till 540 TWh i 2030¹.

Vätgas tillverkas idag till största delen genom ångreformerings (SMR) av naturgas. Det är möjligt att fånga in den koldioxid som uppstår och lagra denna så att nära 90% av utsläppen elimineras. Detta sätt att göra vätgas på kallas "blå vätgas".

För att göra vätgas helt förnyelsebar, så kallad "grön" vätgas, används i stället elektrolys av vatten. Under elektrolysen sönderdelas vatten till väte och syre med hjälp av stora mängder el². Om elen i sin tur är klimatneutral kan vätgas produceras utan utsläpp av CO₂.

Lagring av vätgas gör det också möjligt att jämna ut elanvändning, något som är särskilt viktigt i ett elsystem med höga andelar vind- och solkraft. Under soliga eller blåsigas dagar kan vätgas produceras, lagras och sedan användas när vädret är mindre gynnsamt för elproduktion (eller för att jämna ut toppar i energiefterfrågan).

¹Mainstreaming Green Hydrogen in Europe, Material Economics 2020 ². Low carbon energy and feedstock for the European chemical industry Dechema (2017), ³Material Economics (2019)
Industrial transformation 2050 – Pathways to net-zero emissions from EU heavy industry

Vätgas blir allt viktigare för en klimatneutral industri (2/2)

Inom industrin kan vätgas användas för **uppvärmning**, t ex vid hög- och medeltemperaturvärme där naturgas eller propan används i dag.

Inom kemiindustrin kan ökad användning av vätgas skapa stor klimatnytta, till exempel för att öka användningen av alternativa **råmaterial**. I stort sett alla alternativ till konventionell råvara kräver vätgas: för kemisk återvinning av plast, biobaserad produktion, eller användning av CO₂ som råvara genom CCU. Beroende på produktionssätt kan upp till ca 0.3 ton vätgas krävas per ton baskemikalier³.

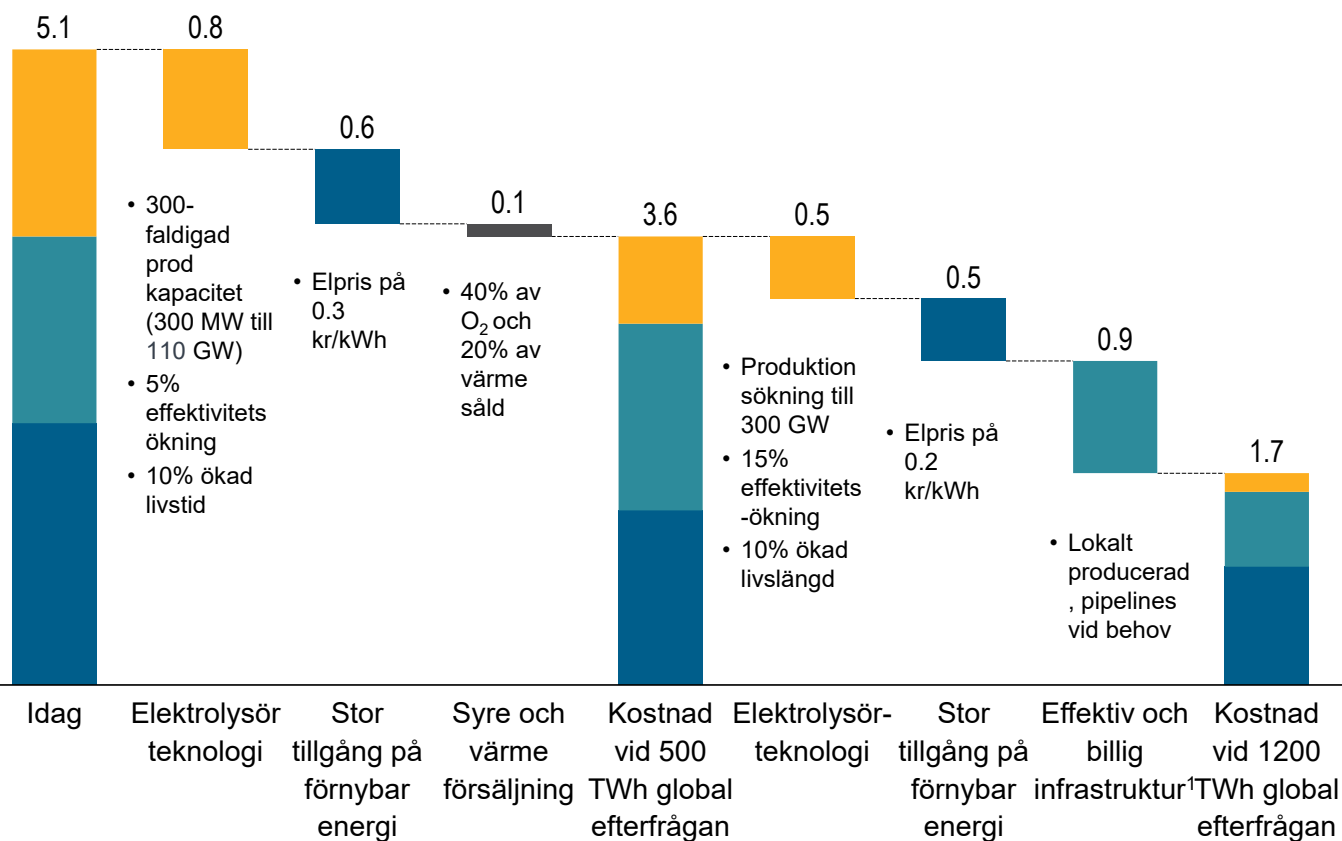
Vätgas ser alltså ut att få en viktig roll i framtidens klimatneutrala samhälle. Det som återstår att lösa innan vätgasen kan skalas upp är transport, lagring och kostnad. Idag är vätgaspriset högt beroende på kostnaden för elektrolysörer och på elpriset. Utvecklingen för elektrolysörerna går snabbt och priset väntas minska med 30-40% till 2030².

För att åstadkomma de låga priser på vätgas som krävs, behöver både transport och lagring komma på plats. Idag transporteras vätgas huvudsakligen i flytande form på lastbil, ca 3.5 ton åt gången men planer finns på att använda Europas existerande nät av pipelines.

¹Mainstreaming Green Hydrogen in Europe, Material Economics 2020 ². Low carbon energy and feedstock for the European chemical industry Dechema (2017), ³Material Economics (2019)
Industrial transformation 2050 – Pathways to net-zero emissions from EU heavy industry

Ett scenario för produktion av grön vätgas för under 20 kronor per kg

Vägen till grön vätgas för under 20 kr/kg (LCOH sek/kg H₂ levererad)



Kostnaden för tillverkning av vätgas genom elektrolys är idag mycket högre än dagens ångreforming. För att nå låga priser krävs förändringar i tre led:

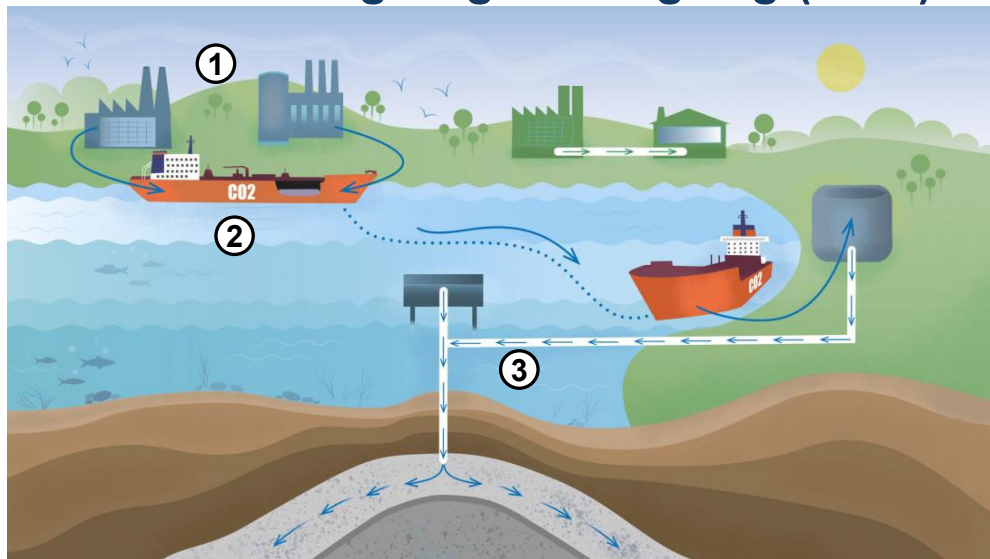
- **Priset på elektrolysörer** bedöms minska kraftigt när kapaciteten byggs ut
- **Elpriset förväntas sjunka** med ökad utbyggnad av förnyelsebar energi med fallande priser, och när produktionen styrs mot perioder med lågt elpris
- **Kostnaden för transport** förväntas också sjunka när tekniken utvecklas och större volymer transporteras

Agenda

- 1. Inledning
- **2. Vägar till koldioxidneutralitet för IKEM:s medlemmar**
 - I. Klimatneutral energi
 - II. Koldioxidavskiljning och lagring
 - III. Biobaserade råvaror
 - IV. Cirkulär ekonomi: Återvunna råvaror och CCU
 - V. Resurseffektiva system
- 3. Behov och förutsättningar för att nå netto-noll
- Appendix

2 KOLDIOXIDINFÅNGNING OCH LAGRING - CCS

Koldioxidinfångning och lagring (CCS) – en överblick



- ① **Infångning och avskiljning** – koldioxiden fångas in vid fabriken utsläppskällor. Man behöver bygga en stor anläggning för att avskilja CO₂ ur rökgaserna och avskiljningen kräver mycket energi. Den avskilda gasen komprimeras och mellanlagras.
- ② **Transport till slutlagring** – fartyg lastar komprimerad koldioxid från mellanlagringsplatserna. Att koldioxiden är komprimerad sparar plats och gör att ett fartyg kan frakta mycket CO₂, t.ex. från hela Sveriges kust. Fartyget lämnar sin last vid slutförvaret där koldioxiden tas till slutförvaringsplatsen genom rörledningar.
- ③ **Slutförvaring i berggrunden** – koldioxiden lagras i berggrunden 1000-3300 meter under havet i vätskeform. Vätskeformen gör att koldioxiden lätt tränger in i berggrunden, en del blir en del av berget, en del löses i vatten medan resterande hålls kvar under marken av de olika bergstyperna som finns ovanför lagringsutrymmet.

Källa: Bild från Cementa

BESKRIVNING

CCS är särskilt lämpligt för processer med hög koncentration av CO₂ i utsläppen, tillgång till spillvärme, där utsläppen är stora nog att det finns skalfördelar, och där andra sätt för att eliminera CO₂ inte är tillgängliga eller avsevärt dyrare.

Bland IKEMS medlemmar övervägs CCS bland annat inom cementproduktion, vätgasproduktion, samt ugnar och crackers inom raffinaderi och petrokemi.

KOSTNAD

Stora investeringar krävs för att få teknologin på plats.

- Exempelvis skulle koldioxidinfångning vid cementproduktion i Sverige kosta i ca 2 Mdr SEK för främst avskiljnings- och lagringsanläggningar.
- Kostnaden uppskattas till 40-110 EUR/ton CO₂ för infångning, transport och lagring från svenska anläggningar¹. Som ett exempel ger en kostnadsökning på ca 70% för cement.

UTMANINGAR/ FÖRUTSÄTTNINGAR

- Tekniken för infångning är beprövad och tillgänglig. Dock finns inte storskalig användning av CCS ännu demonstrerad i någon av de relevanta industrierna
- Infrastruktur saknas för slutlagring av CO₂ i Europa

¹ Johnsson et al. 2020, Marginal Abatement Cost Curve of Industrial CO₂ Capture and Storage – A Swedish Case Study

Koldioxidinfångning och lagring (CCS)

Koldioxidlagring är ett sätt att samla in koldioxid från en process och lagra den permanent i marken. Infångningsteknologin sätts direkt på utsläppskällan och företaget kan därmed i princip ha kvar sin nuvarande process¹ men reducera utsläppen med upp till 95%. Infångning och lagring av koldioxid kan ha två syften: antingen för att undvika att fossil CO₂ släpps ut i atmosfären (och bidrar till global uppvärmning), eller för att samla in biogen CO₂ från förbränning av biobränslen och på så vis skapa så kallade negativa utsläpp.

Infångning av CO₂ sker genom "scrubbers" nära utsläppskällan som renar rökgaserna från koldioxid. Ett alternativ är förbränning med ren syrgas istället för luft ("oxyfuel"), som ger en nära ren ström av CO₂ när vattenånga avskilts. Infångningen är mycket energikrävande och ökar generellt energiförbrukningen mellan 5-10%², beroende på process. Kostnaden för CCS varierar mellan ca 40-110 EUR³ per t CO₂. Som exempel har kostnadspåverkan på cement och ammoniak beräknats till 90-120%⁴.

Koldioxiden komprimeras och lagras i ett mellanlager tills en tillräckligt stor mängd ackumulerats och kan transporteras till slutförvar. Mängden CO₂ som behöver transporteras och lagras är stor. Många företag som överväger CCS genererar i princip lika mycket CO₂ som produkt. Slutförvaringen sker under stort tryck. Koldioxid lagras som vätska i porösa berggrunder, ofta på platser som tidigare innehållit olja och gas.

CCS är särskilt attraktivt där :

1. Utsläpp är mer än 500 kt per år, givet stora skalfördelar i avskiljning
2. Utsläppen har en hög koncentration av CO₂ som gör avskiljning lättare och mindre energikrävande
3. Tillgänglig restvärme kan användas för en del av energibehovet
4. Lagringsplatser finns i tillräcklig närhet
5. Det finns få andra alternativ för att eliminera utsläppen

¹ Ibland krävs vissa processjusteringar för att göra utsläppen mer koncentrerade och lämpliga för infångning. ² Baseras på uppskattad energiåtgång då CCS sätts på cement eller SMR. ³ Johnsson et al. 2020, Marginal Abatement Cost Curve of Industrial CO₂ Capture and Storage – A Swedish Case Study ⁴ Material Economics (2019), Industrial Transformation 2050 - Pathways to Net-Zero Emissions from EU Heavy Industry

Koldioxidinfångning och lagring (CCS) – projekt relaterade till IKEM

Att fånga in koldioxid från olika processer är en mogen process som redan används inom industrin. Det som behöver komma på plats för att motivera en investering i uppskalning är först och främst att den blir lönsam, men det krävs även arrangemang för lagringsplatser, transport och att infångningen demonstreras i industriell skala för processer som ännu inte använt tekniken.

CEMENT

- Cementa har konkreta planer på att installera CCS på sin cementproduktion.
- Ca 1.5 Mt CO₂ per år ska samlas in från 2030.
- Lagringsplats, tillstånd för mellanlager samt tekniska lösningar på fabriken återstår att lösa.

VÄTGAS

- Preem räknar med att samla in uppåt 0.5 Mt CO₂ från vätgasproduktionen i Lysekil per år från 2025.
- Ytterligare installationer skulle kunna vara aktuellt på övriga vätgasanläggningar.

RAFFINADERI OCH PETROKEMI

- Även ugnar inom raffinaderi och organisk kemi kan i princip använda CCS för att reducera utsläppen från förbränning
- Det finns dock inga konkreta planer på detta i Sverige i dag, utan företagen överväger främst andra vägar till klimatneutralitet

LAGRING

- Northern lights² projektet i Norge siktar på att ha en fullskalig lagring på plats 2024.
- Koldioxiden ska lagras i Nordsjön.
- Svenska, kustnära företag ligger strategiskt bra för att skeppa CO₂ till Norge.

Den sammanlagda insamlade volymen för dessa tre aktörer skulle kunna bli ca 2.6 Mt per år från och med 2030¹.

1. Illustration baserat en CCS infångningseffektivitetsfaktor på 90%

2. <https://northernlightscs.com/en/about>

Agenda

- 1. Inledning
- **2. Vägar till koldioxidneutralitet för IKEM:s medlemmar**
 - I. Klimatneutral energi
 - II. Koldioxidavskiljning och lagring
 - III. Biobaserade råvaror**
 - IV. Cirkulär ekonomi: Återvunna råvaror och CCU
 - V. Resurseffektiva system
- 3. Behov och förutsättningar för att nå netto-noll
- Appendix

Nya källor till kol för kemiindustrin kommer delvis från biomassa

BETYDELSEN AV BIOBASERAT KOL FÖR KEMIINDUSTRIN

- Att gå över till biobaserat kol innebär två stora utmaningar: nya energikällor behövs och råvaran måste bytas ut, ofta i processer som i dag högt optimerade för användning av olja som råvara
- Det är möjligt att producera många baskemikalier från olika bioråvara. Detta kräver ibland andra processer än de som används i dag – och därmed stora nyinvesteringar – såväl som stora mängder biomassa. För vissa processer kan dock råvaran bara bytas ut mot motsvarande bioråvara – ett enkelt sätt att minska utsläppen som inte kräver stora investeringar

A

BIOENERGI

- Biogas kan ersätta exv. naturgas, propan och olja i pannor, ugnar eller fordon
- Biobränsle och biogas kan tillverkas från en rad källor, inklusive skogsrestprodukter, biflöden från livsmedelsproduktion, avfallsströmmar, eller energigrödor.

B

BIORÅVARA

- Biomassa kan förgasas, rötas eller på annat sätt omvandlas till biogas, etanol, metanol och andra kemikalier som i sin tur kan bli råvara för en rad andra baskemikalier
- Det krävs ofta större mängd biomassa än fossil råvara eftersom biomassa består av mer än kolväten.

C

BIOGEN KOLDIOXID

- Koldioxid kan användas som råvara för kemikalieproduktion. Det mest etablerade är produktion av metanol, där koldioxiden reageras med vätgas för att forma metan och sedan metanol.
- I Sverige släpps ca 35 Mt biogen koldioxid ut varje år, främst av massa- och pappersindustrin, som är lämplig för grön metanproduktion.

Bioenergi och bioråvaruanvändning bland IKEMs medlemmar

	SEKTOR	FRAMTIDA ANVÄNDNING
Bioråvara/ bioenergi	RAFFINADERI	• Bioråvara av olika typer behövs för produktion av biobränsle
	MINERALINDUSTRI	• Bränsle för högtemperaturvärme i ugnarna
	ORGANISK KEMI	• Kemikalieproduktion genom förgasning och metanolisering eller rötning eller direkt användning av vegetabiliska oljor, etanol från bioråvaror etc.
	METALLINDUSTRI	• Högtemperaturvärme
	OORGANSIK KEMI	• Bränsle för produktion av värme och ånga
	LIVSMEDELSINDUSTRI	• Bränsle för produktion av värme och ånga
	BIOBASERAD KEMI	• Utgör huvudråvaran i produktionen och kommer fortsätta vara det även i framtiden

Exempel: bioråvara som råvara i plastproduktion

BESKRIVNING

I stället för att "cracka" nafta används biomassa för att producera metanol. Detta kräver stora mängder el och vätgas.

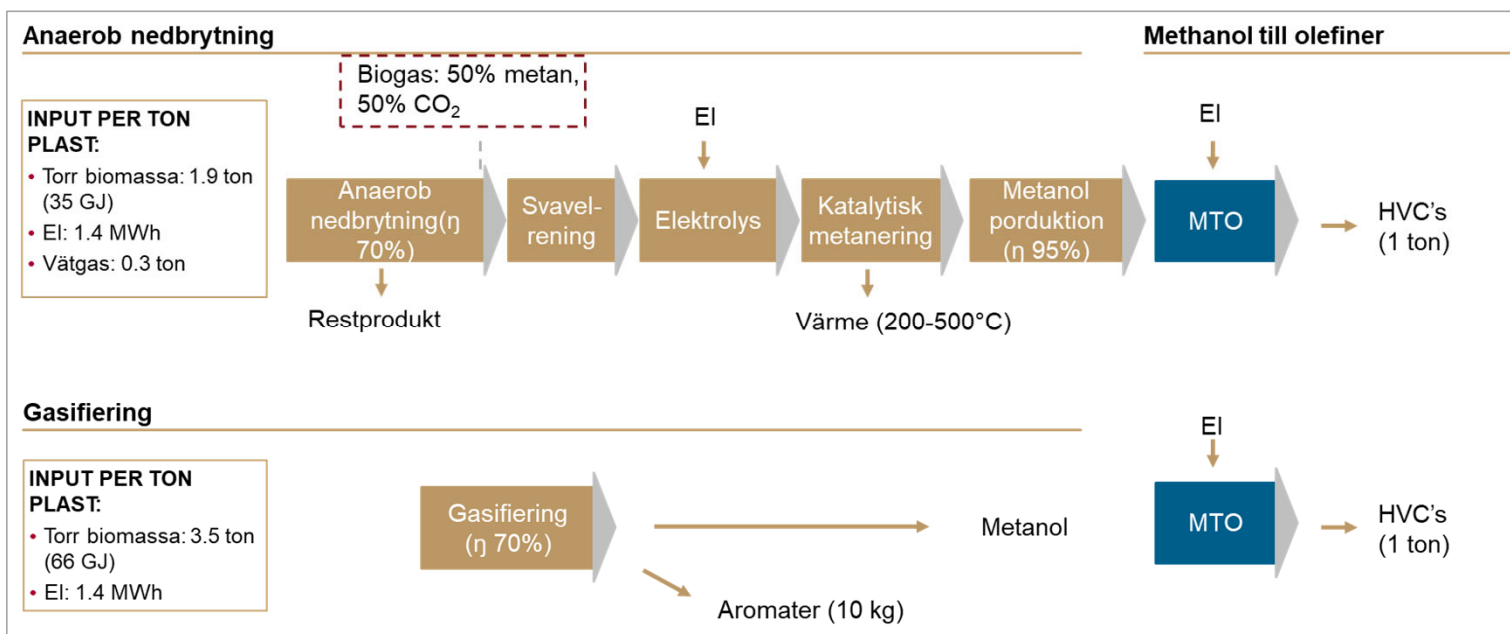
KOSTNAD

Kostnaden blir ca 50% högre än dagens plast som ett resultat av ett högre pris på biomassa och el.

UTMANINGAR/FÖRUTSÄTTNINGAR

- Det finns en begränsad mängd biomassa och idag är konkurrensen stor.
- Kostnaden är markant högre jämfört med konventionell plast.
- All teknik är inte optimerad ännu.

Exempel på vägar till olefiner (råvara till plastindustrin) via biomassa.



Not: Den beskrivna ruten ämnar att representera produktion från biomassa där 75% gasifiering och 25% anaerob nedbrytning. Det kombinerade ruten gör att fler typer av biomassa kan användas, men anaerob nedbrytning är relativt sett effektiv. 2.9 ton metanol behövs för att tillverka ett ton HVO (högvärdiga kemikalier) under antagandet att de består av 70% olefiner och 30% aromater baserat på Dechema (2018).

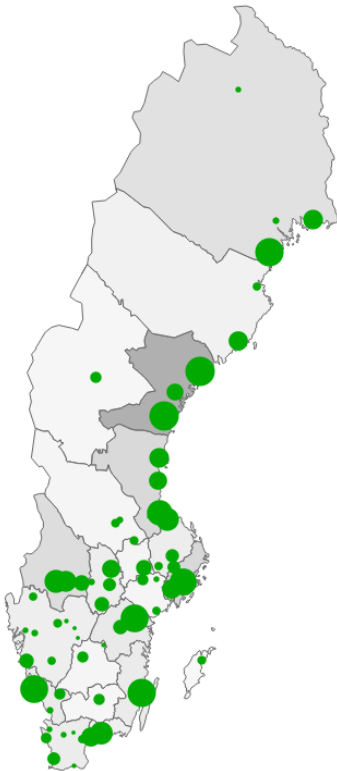
Biomassa är antaget innehålla 30% fukt och ha ett energivärde på 18.5 MJ/kg baserat på Ericsson (2017). Elektrolys med Solid Oxide Electrolysis Cell.

Källa: Material Economics analys baserad på Ericsson (2017), Dechema (2018), Thunman et al. (2018).

Totalt finns ~35 Mton biogen CO₂ att tillgå från svensk industri och källorna finns över hela landet

Sveriges biogena källor till CO₂

Sfär indikerar storlek av utsläppskällan, 2019



Sverige har åtskilliga källor för biogen koldioxid tack vare skogsindustrin

- Nära dubbelt så mycket biogen koldioxid som fossil koldioxid släpps ut från industrin varje år.
- 65% av koldioxiden släpps ut vid produktion av papper och massa (ca 23 Mt).
- Resterande biogena utsläpp kommer från värmekraftverk eller andra, mindre källor.

Koldioxidkällorna är spridda över landet samt ligger nära kusterna och lämpar sig bra för transport

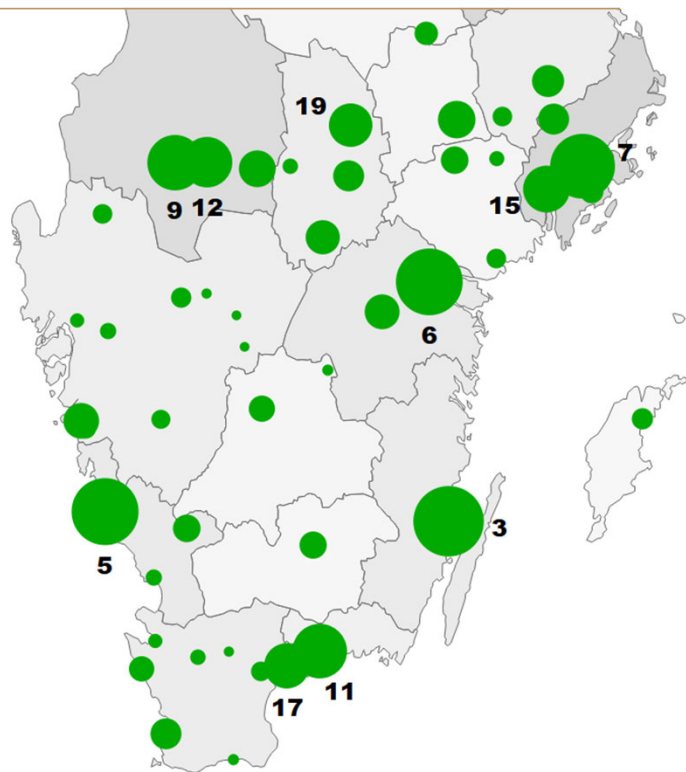
- Flera biogena koldioxidkällor ligger nära industrier som skulle kunna dra nytta av dem, till exempel Stenungsundsklustret.
- Eftersom koldioxid lämpar sig för transport på båt så ligger flera källor strategiskt för att exportera grön koldioxid.

Note: 90 företag utplacerade (företag med biogena CO₂ utsläpp över 30kton) baserat på data från naturvårdsverket, 2019
1 plus tre mindre företag

3 BIOBASERADE RÅVAROR

12.5 Mton CO₂ finns tillgängligt i södra Sverige varav 6 källor genererar mer än 1 Mt per år

Södra Sveriges biogena källor till CO₂
Sfär indikerar storlek av utsläppskällan, 2019

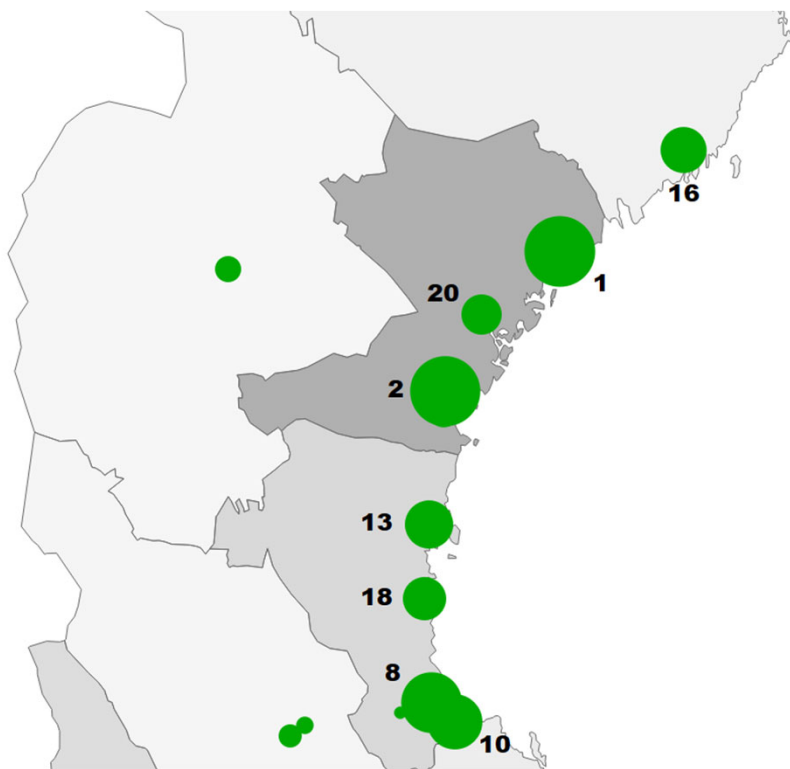


PLATS	FÖRETAG	UTSLÄPP (kton)
1. Örnsköldsvik	Metsä Board (62%), Domsjö Fabriker (27%), Övik Energi (11%)	1 930
2. Timrå	SCA (100%)	1 897
3. Mönsterås	Södra (100%)	1 894
4. Piteå	SmurfitKappa (61%), SCA (39%)	1 765
5. Varberg	Södra (100%)	1 715
6. Norrköping	BillerudsKorsnäs (58%), E.ON (26%), Holmen Paper (8%), Lantmännen Agroetanol (5%), Fiskeby (3%)	1 700
7. Stockholm	Stockholm Exergi	1 602
8. Gävle	BillerudsKorsnäs (74%), Bomhus Energi (18%), Gävle Kraftvärme (8%)	1 423
9. Grums	BillerudsKorsnäs (100%)	1 173
10. Älvkarleby	StoraEnso (100%)	1 156
11. Karlshamn	Södra (94%), AAK (6%)	1 138
12. Hammarö	StoraEnso (100%)	971
13. Hudiksvall	Iggesunds Paperboard (100%)	898
14. Kalix	BillerudsKorsnäs (100%)	853
15. Södertälje	Söderenergi (100%)	839
16. Umeå	SCA (58%), Umeå Energi (42%)	818
17. Bromölla	StoraEnso (100%)	784
18. Söderhamn	Rottneros (89%), Söderhamn Nära (11%)	722
19. Lindesberg	BillerudsKorsnäs (100%)	704
20. Kramfors	Mondi (100%)	627

Note: 90 företag utplacerade (företag med biogena CO₂ utsläpp över 30kton) baserat på data från naturvårdsverket, 2019

De största källorna finns i Mellansverige där totalt 9.5 Mt CO₂ genereras årligen

Mellan Sveriges biogena källor till CO₂
Sfär indikerar storlek av utsläppskällan, 2019

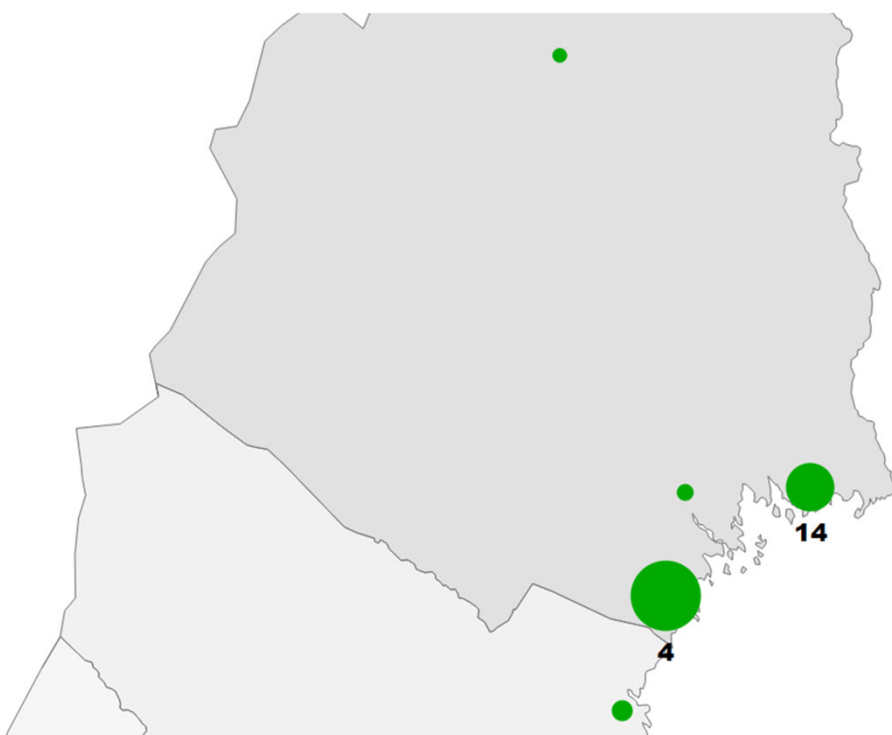


PLATS	FÖRETAG	UTSLÄPP (kton)
1. Örnsköldsvik	Metsä Board (62%), Domsjö Fabriker (27%), Övik Energi (11%)	1 930
2. Timrå	SCA (100%)	1 897
3. Mönsterås	Södra (100%)	1 894
4. Piteå	SmurfitKappa (61%), SCA (39%)	1 765
5. Varberg	Södra (100%)	1 715
6. Norrköping	BillerudsKorsnäs (58%), E.ON (26%), Holmen Paper (8%), Lantmännen Agroetanol (5%), Fiskeby (3%)	1 700
7. Stockholm	Stockholm Exergi	1 602
8. Gävle	BillerudsKorsnäs (74%), Bomhus Energi (18%), Gävle Kraftvärme (8%)	1 423
9. Grums	BillerudsKorsnäs (100%)	1 173
10. Älvkarleby	StoraEnso (100%)	1 156
11. Karlshamn	Södra (94%), AAK (6%)	1 138
12. Hammarö	StoraEnso (100%)	971
13. Hudiksvall	Iggesunds Paperboard (100%)	898
14. Kalix	BillerudsKorsnäs (100%)	853
15. Södertälje	Söderenergi (100%)	839
16. Umeå	SCA (58%), Umeå Energi (42%)	818
17. Bromölla	StoraEnso (100%)	784
18. Söderhamn	Rottneros (89%), Söderhamn Nära (11%)	722
19. Lindsberg	BillerudsKorsnäs (100%)	704
20. Kramfors	Mondi (100%)	627

Note: 90 företag utplacerade (företag med biogena CO₂ utsläpp över 30kton) baserat på data från naturvårdsverket, 2019

Norra Sverige har få källor till koldioxid

Norra Sveriges biogena källor till CO₂
Sfär indikerar storlek av utsläppskällan, 2019



PLATS	FÖRETAG	UTSLÄPP (kton)
1. Örnsköldsvik	Metsä Board (62%), Domsjö Fabriker (27%), Övik Energi (11%)	1 930
2. Timrå	SCA (100%)	1 897
3. Mönsterås	Södra (100%)	1 894
4. Piteå	SmurfitKappa (61%), SCA (39%)	1 765
5. Varberg	Södra (100%)	1 715
6. Norrköping	BillerudsKorsnäs (58%), E.ON (26%), Holmen Paper (8%), Lantmännen Agroetanol (5%), Fiskeby (3%)	1 700
7. Stockholm	Stockholm Exergi	1 602
8. Gävle	BillerudsKorsnäs (74%), Bomhus Energi (18%), Gävle Kraftvärme (8%)	1 423
9. Grums	BillerudsKorsnäs (100%)	1 173
10. Älvkarleby	StoraEnso (100%)	1 156
11. Karlshamn	Södra (94%), AAK (6%)	1 138
12. Hammarö	StoraEnso (100%)	971
13. Hudiksvall	Iggesunds Paperboard (100%)	898
14. Kalix	BillerudsKorsnäs (100%)	853
15. Södertälje	Söderenergi (100%)	839
16. Umeå	SCA (58%), Umeå Energi (42%)	818
17. Bromölla	StoraEnso (100%)	784
18. Söderhamn	Rottneros (89%), Söderhamn Nära (11%)	722
19. Lindesberg	BillerudsKorsnäs (100%)	704
20. Kramfors	Mondi (100%)	627

Note: 90 företag utplacerade (företag med biogena CO₂ utsläpp över 30kton) baserat på data från naturvårdsverket, 2019

Agenda

- 1. Inledning
- **2. Vägar till koldioxidneutralitet för IKEM:s medlemmar**
 - I. Klimatneutral energi
 - II. Koldioxidavskiljning och lagring
 - III. Biobaserade råvaror
 - IV. Cirkulär ekonomi: Återvunna råvaror och CCU**
 - V. Resurseffektiva system
- 3. Behov och förutsättningar för att nå netto-noll
- Appendix

Tre cirkulära och resurseffektiva strategier för IKEMs medlemmar

KEMISK ÅTERVINNING

Nedbrytning av textil, plast eller annat avfall till molekyler som sedan förädlas till råvara för kemiindustrin.

CCU – CO₂ SOM RÅVARA

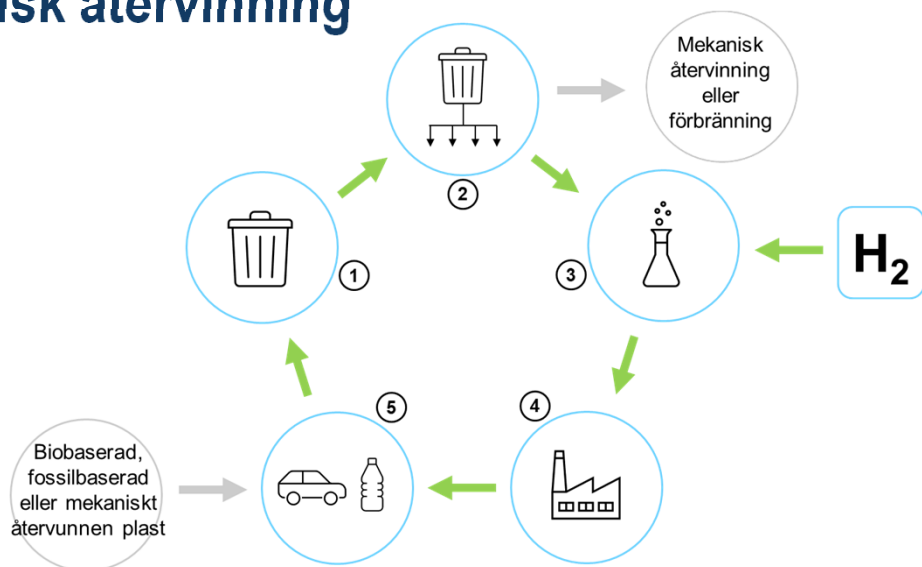
Koldioxid från utsläppsintensiva processer återanvänds som råvara inom kemiindustrin vilket minskar behovet av jungfrulig råvara.

ÅTERVINNING AV METALLER

Ökad andel återvunnet innehåll i metallproduktion leder till lägre energiåtgång då återvinning kräver mindre energi än nyproduktion.

4 ÅTERVUNNA RÅVAROR

Kemisk återvinning



- ① **Insamling av slutanvänd plast och textil** - avfall samlas och förs till sorteringsanläggningar
- ② **Sortering** – avfall sorteras i olika fraktioner beroende på typ och vidareförädling. Ex. okontaminerade termoplaster skickas för mekanisk återvinning, farligt avfall kan ex. vis. skickas till förbränning och textilier som kan återanvändas sorteras ut
- ③ **Kemisk återvinning** – avfall bryts ned till polymerkedjor, molekyler eller mindre beståndsdelar för produktion av baskemikalier. Vätgas är ofta ett viktigt råmaterial för processen
- ④ **Kemikalieproduktion** – baskemikalier vidareförädlas till kemikalier eller plaster
- ⑤ **Tillverkningsindustri** – Produktion av plastprodukter, här kan primär produktion behövas för att möta all efterfrågan

BESKRIVNING

Kemisk återvinning är ett samlingsnamn för flera tekniker som innebär att avfall såsom ex. plast, textil, trä med färg som inte kan återvinnas på annat sätt delas upp i sina beståndsdelar och sedan blir råvaror för kemisk industri. Beroende på avfallstyp blir det olika typer av råvara som lämpar sig för tillverkning av plast och olika typer av kemikalier. Kemisk återvinning är ett viktigt komplement till den mekaniska återvinningen och innebär att vi i princip helt kan undvika förbränning av plast.

KOSTNAD

Att tillverka plast genom kemisk återvinning är 30-50% dyrare än konventionell plast¹. Detta eftersom det krävs nya processer, mer energi, vätgas samt sorterat plastavfall (som idag har en mindre utvecklad värdekedja än nafta och därmed högre pris). För textil sker grundläggande forskning och utveckling, bland annat på Chalmers i Sverige. Det kommer dock bli dyrare än konventionell försörjning av textilier.

UTMANINGAR/FÖRUTSÄTTNINGAR

Det återstår ett antal utmaningar innan kemisk återvinning kan skalas upp:

- **Ytterligare innovation:** Mer utveckling krävs av dagens processer för att optimera dessa
- **Investeringsstöd:** För att möjliggöra konvertering av nuvarande processer
- **Stimulerad efterfrågan/stöd för gröna produkter:** Det behöver finnas en marknad där produkterna kan säljas
- **Tillgång till el/vätgas:** Stora mängder el och vätgas behövs i dessa nya processer
- **Tillgång till plastavfall:** Säkerställande av en öppen inre marknad för plastavfallet, gärna harmoniserade sorteringsystem samt effektiva lösningar för logistik och sortering.
- **Teknikneutrala regelverk** som stödjer kemisk återvinning, t.ex. kring när avfall slutar vara avfall och i stället klassas som en råvara och teknikneutrala sätt att räkna återvinningsgrad

¹Material Economics (2019), Industrial Transformation 2050 - Pathways to Net-Zero Emissions from EU Heavy Industry

Kemisk återvinning – nyckeln till ökad plaståtervinning

Varje europé använder i genomsnitt mer än 100 kg plast per person och år. Av dessa 100 kg är det bara knappt 5% som tillverkas från återvunnen råvara. Plast återvinns idag till största del genom mekanisk återvinning, där plasten sorteras, tvättas och smälts om till nya produkter. Processen ställer krav på plasten som ska återvinnas: bland annat måste det vara en termoplast som effektivt samlas in och sorteras ut från andra plaster och material. Dessutom tenderar kvalitén på återvunnen plast vara lägre än primärplast och färgerna mer begränsade. Dessa begränsningar gör att endast ca 10-15% av förbrukad plast i Sverige återvinns till nytt material.

Kemisk återvinning är ett samlingsnamn för processer som istället bryter ner plaster i sina beståndsdelar (hur långt beror på teknologin). Plaster blir då en råvara som kan ersätta dagens råvaror såsom exempelvis nafta. Kemisk återvinning av plast är inte lika känslig för plastens sammansättning. Dessutom kan orenheter, färger, mm helt avlägsnas, så att den nya plast som produceras håller samma kvalitet som nytillverkad plast. Kemisk återvinning är därför en mycket attraktiv process för hantering av förbrukad plast eftersom den löser en mängd problem:

- Minskar mängden konventionell råvara: produkterna från kemisk återvinning kan ersätta en stor del av den råvara som används idag och det kol som finns i produkterna kan cirkulera längre tid i samhället.
- Mindre utsläpp från plastavfall: plasten som idag bränns och ge upphov till utsläpp (ca 2.5 kg CO₂/kg plast) kan i stället bli ny plast.
- Mindre plast i hav och vattendrag: efterfrågan på plastavfall kommer öka och därmed incitamenten att samla in plast.

Även textilier kan återvinnas kemiskt på olika sätt. Textilier kräver grundlig sortering då olika fiber behöver återvinnas på olika sätt¹. Men precis som i fallet med plast så kan textilierna återvinnas till en högre kvalitet genom kemisk återvinning än via mekanisk återvinning.

¹ https://textileexchange.org/wp-content/uploads/2019/11/Textile-Exchange_PREFERRED-Fiber-Material-Market-Report_2019.pdf

Källa till övrig info: Material Economics (2019), Industrial Transformation 2050 - Pathways to Net-Zero Emissions from EU Heavy Industry

Kemisk återvinning teknologi och implementering

Det finns ett antal teknologier för kemisk återvinning idag och de är fortfarande under utveckling. Gemensamt är att de är energiintensiva då processen kräver mycket vätgas. Ledande exempel är:

- 1) Krackning:** I dag genom ett första steg med pyrolys, som producerar en syntetisk olja som kan användas i dagens steam crackers. På längre sikt är sannolikt direkt krackning, utan pyrolys, ett mer attraktivt alternativ.
- 2) Gasifiering** – genererar en "sweet syngas"¹ som sedan kan vidareförädlas till metanol. Ca 9.6 MWh el behövs per ton plast på grund av ett vätgasbehov på ca 0.2 ton per producerad plast.
- 3) Depolymerisation** – bryter inte ner plasten lika långt som de två föregående och kräver mindre energi men ställer högre krav på att plastavfallet är sorterat.

I Sverige har Borealis planer på kemisk återvinning. Borealis beräknar ha en anläggning klar till 2024 med en kapacitet på 60 kton plastavfall vilket kan ersätta ca 5% av dagens råvara till crackern. För att täcka sin årliga produktion skulle Borealis behöva ca 1.2 Mt plastavfall per år vilket i princip motsvarar vad Sverige genererar årligen (totalt plastavfall i Sverige uppgår till ca 1.3 Mt).

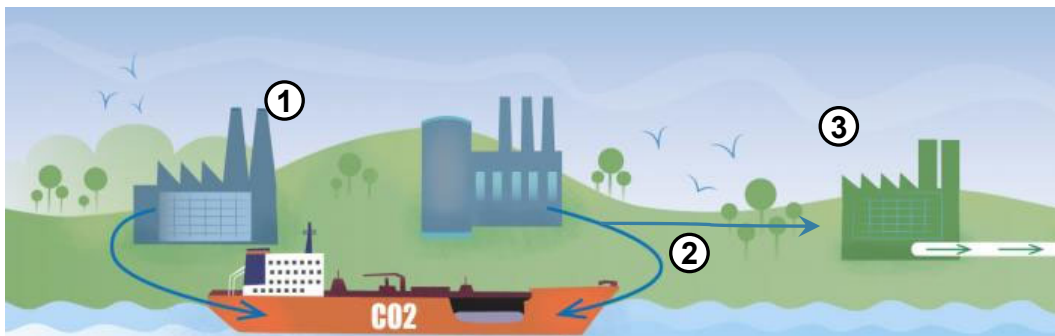
Även andra projekt planeras. Finska Neste planerar en anläggning för 1 Mton plastavfall som ska vara i drift 2030. I andra delar av Europa finns en mängd andra projekt som drivs av bl a BASF och SABIC.

¹ "Sweet syngas" produceras genom att skiftesreaktionen görs efter att svavlet är borttaget.

Material Economics (2019), Industrial Transformation 2050 - Pathways to Net-Zero Emissions from EU Heavy Industry, <https://www.avfallsverige.se/aktuellt/nyhetsarkiv/artikel/okande-mangder-plastavfall/>, <https://www.neste.com/releases-and-news/plastics/neste-successfully-completed-its-first-industrial-scale-processing-run-liquefied-waste-plastic>

4 ÅTERVUNNA RÅVAROR

Koldioxidinfångning och användning (CCU)



Källa: Bild från Cementa

- ① **Infångning och avskiljning** – koldioxiden fångas in vid fabriken utsläppskällor. En stor anläggning behöver byggas för att avskilja CO₂ ur rökgaserna och avskiljningen kräver mycket energi.
- ② **Transport till mottagare** – fartyg eller rörledningar transporterar koldioxiden till mottagarfabriken. Koldioxiden komprimeras för att spara plats vid transport samt förvaring.
- ③ **Användning av koldioxiden** – koldioxiden används i fabriken produktion som kolkälla. Vanligtvis reageras koldioxiden med vätgas för att producera värdefulla kolväten, en energiintensiv process.

BESKRIVNING

Koldioxidinfångning sker men istället för att lagras gasen återanvänds den i produktionen. Detta kan ske vid samma anläggning – så att utsläppen från en process blir till råvara i en annan – eller så kan koldioxiden hämtas från andra anläggningar. Det är också i princip möjligt att fånga in CO₂ från luft, men till långt högre kostnad.

Koldioxiden används tillsammans med vätgas, som därmed också blir en nyckelråvara. I kombination kan de användas både till bränsleproduktion och till kemikalier.

KOSTNAD

CO₂ är en förhållandevis dyr råvara, givet kostnad för infångningen och transporten. Därtill kommer en stor merkostnad för de nya processer som behövs för att använda CO₂ i produktionen – exempelvis metanolproduktion från vätgas och koldioxid, jäsning av kemikalier från bioteknik etc. Dessa processer är ofta betydligt dyrare än konventionell produktion, framförallt drivet av energi, dyrare teknik och vätgasbehov.

UTMANINGAR/ FÖRUTSÄTTNINGAR

Ökad forskning och teknikutveckling kan sänka kostnaderna på sikt, till exempel kan katalysatorutveckling sänka energibehovet för metanolisering.

Stora mängder vätgas behövs för hydrogenering, och därmed också el för dess produktion.

Förutsättningarna är goda för Sverige att positionera sig genom att använda ren energi och utnyttja potentialen i stora biogena industriutsläpp av koldioxid.

CCU en källa till kol för kemiindustrin

Kol utgör en viktig byggsten såväl i många av kemiindustrins produkter och i flytande bränslen. Många sätt att minska koldioxidutsläppen bygger på att ersätta kol från fossil olja och gas med andra källor.

Koldioxidinfångning och användning (CCU) är ett samlingsnamn för processer där kolet erhålls från infångad CO₂. CO₂ blir därför en råvara för nya produkter. Konkret används CO₂ tillsammans med vätgas för att tillverka kolväten – inklusive de baskemikalier som utgör byggstenarna för en rad olika kemiska produkter eller bränslen. När CO₂ byggs in i produkter undviks därför direkta utsläpp till atmosfären.

Koldioxiden kan fångas in från många av dagens användningar av fossila bränslen eller industriprocesser. Såvida produkten inte sedan förbränns så kan fossila CO₂-utsläpp därmed undvikas. CCU kan också användas med koldioxid från förbränning av biomassa, vilket då binder kol som ursprungligen kommer från atmosfären. Mer spekulativt finns också teknik för att direkt infånga CO₂ från atmosfären.

CCU är mycket energikrävande. Det krävs stora mängder energi för att fånga in och koncentrera CO₂. Därtill kommer ett stort elbehov när vätgas tillverkas genom elektrolys av vatten, samt energi för att driva syntesen av kemikalier. Det gör att produkter tillverkade genom denna s.k. elektrokemi är betydligt dyrare än konventionella produkter. Implementationen går därför långsamt.

Det pågår dock forskning och utveckling för att göra koldioxid mer attraktiv som råvara och minska mängden energi som behövs i produktionen. Till exempel satsar Tyskland, Frankrike, Nederländerna och Belgien stort på utveckling av teknologin och att överbygga finansieringshinder² samtidigt som mer företagsspecifika projekt pågår, till exempel Steelanol³ där det används bakterier för att producera etanol direkt ut gaserna från stålproduktion.

¹Av det 21 globala kommersiella CCS eller CCU projekt i drift i 2020 är 16 baserat på EOR. Storskalig definieras som infångning av minst 0,8 Mt/år koldioxid för ett kolbaserat kraftverk och 0,4 Mt/år för andra utsläppsintensiva industri- eller energianläggningar (inklusive naturgasbaserad kraftproduktion). ²(<https://www.phoenix-co2-valorisation.eu/>)

³<https://bioenergyinternational.com/biofuels-oils/arcelormittal-and-lanzatech-break-ground-on-eur-150-million-waste-gas-to-ethanol-project>

CCU kan bli en viktig källa till kol inom kemiindustrin

Förutsättningarna för CCU med biobaserad koldioxid är goda i Sverige - 35 Mton biogen CO₂ släpps ut från svensk industri årligen varav majoriteten är från massa- och pappersindustrin. Storskalig och billig produktion av vätgas krävs dock för att tillverkningen ska ta fart.

SEKTOR	MÖJLIG ANVÄNDNING
RAFFINADERI	Som kolkälla vid tillverkning av s.k. syntetiska bränslen, antingen via metanolisering eller genom annan vidareförädling t.ex. steelanol
MINERALINDUSTRI	Möjligheter att binda infångad CO ₂ i vissa typer av cement
PETRO- OCH ORGANISK KEMI	Som kolkälla till polymertillverkning eller andra kolberoende kemikalier. Perstorp planerar att producera 0.2 Mton metanol. "Project AIR" beräknas vara i drift i Stenungssund 2025. Biometanolen kan vidareförädlas till olika kemiska produkter. Biometanolen kommer användas för egen produktion. En liknande process kan dock användas för att tillverka baskemikalier till plastproduktion och andra produkter som idag utgår ifrån krackeranläggningars råvaror.
METALLINDUSTRI	Ej användbar
OORGANSIK KEMI	Ej aktuell i dagsläget, mer koncentrerade kolkällor behövs
LIVSMEDELSINDUSTRI	Ej användbart
BIOBASERAD KEMI	Kan fungera som komplement till nuvarande råvaruströmmar

CO/
CO₂

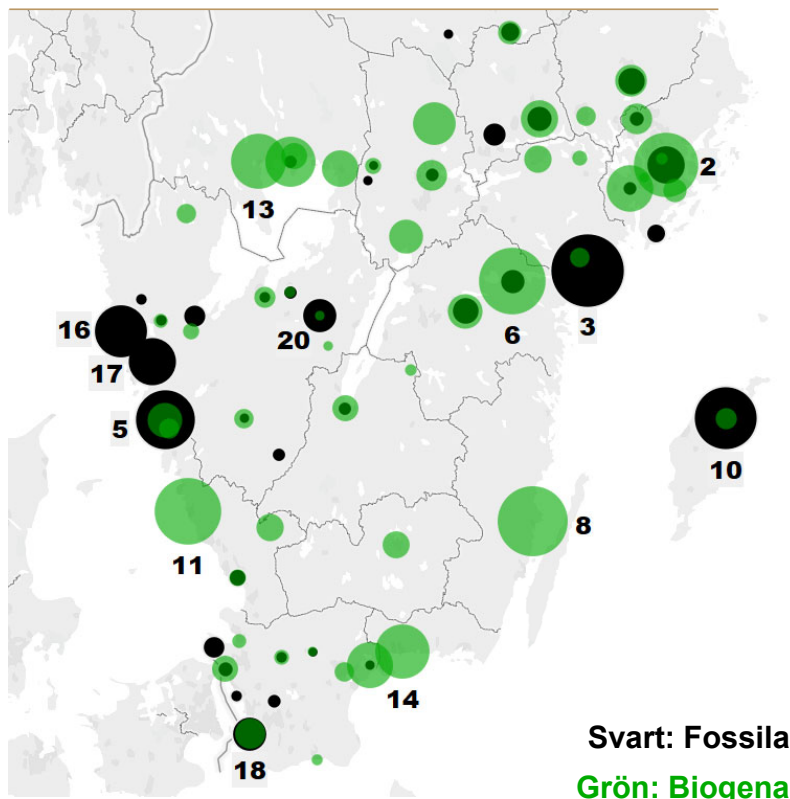
Source: <https://www.iea.org/reports/ccus-in-clean-energy-transitions/a-new-era-for-ccus#growing-ccus-momentum>

Source: <https://www.regeringen.se/4a0f72/contentassets/7175eecb87cc40b2bc6725c7cd3f7ab1/kompletterande-atgarder-for-att-na-negativa-utslapp-av-vaxthusgaser-dir.-201870>

4 ÅTERVUNNA RÅVAROR

Fullständig mappning av tillgänglig koldioxid – flera biogena källor ligger strategiskt bra till för kemiindustrin

Biogena och fossila källor till CO₂ i Södra Sverige
Sfär indikerar storlek av utsläppskällan, 2019



Källor: baserat på data från Naturvårdsverket, 2019

¹ Siffror baserat på alla CO₂ källor (även källor under 30kton). Kartan visar bara källor över 30kton.

Plats	Totala CO ₂ (kton) ¹	Företag (Fossila)	Fossila CO ₂ (kton) ¹	Företag (Biogena)	Biogena CO ₂ (kton) ¹
1. Luleå	3 292	SSAB (55%), Lulekraft (44%)	3 292		0
2. Stockholm	2 221	Stockholm Exergi (100%)	586	Stockholm Exergi (100%)	1 635
3. Oxelösund	2 153	SSAB (100%)	2 153		0
4. Örnsköldsvik	2 039	Metsä Board (48%), Övik Energi (46%)	109	Metsä Board (62%), Domsjö Fabriker (27%), Övik Energi (11%)	1 930
5. Göteborg	1 998	Preem (38%), ST1 (31%),	1 483	Renova (67%), Göteborg Energi (28%)	515
6. Norrköping	1 958	E.ON (87%)	256	BillerudsKorsnäs (58%), E.ON (26%),	1 702
7. Timrå	1 957	SCA (98%)	60	SCA (100%)	1 897
8. Mönsterås	1 894		0	Södra (100%)	1 894
9. Piteå	1 790	SmurfitKappa (48%), SCA (48%)	25	SmurfitKappa (61%), SCA (39%)	1 765
10. Slite	1 744	Cementa (~100%)	1 570	Cementa (100%)	174
11. Varberg	1 725	Södra (70%)	10	Södra (100%)	1 715
12. Gävle	1 441	BillerudsKorsnäs (100%)	18	BillerudsKorsnäs (74%), Bomhus Energi (18%)	1 423
13. Grums	1 200	BillerudsKorsnäs (100%)	27	BillerudsKorsnäs (100%)	1 173
14. Karlshamn	1 158	Södra (40%), AAK (35%)	20	Södra (94%), AAK (6%)	1 138
15. Älvkarleby	1 156		0	StoraEnso (100%)	1 156
16. Lysekil	1 110	Preem (100%)	1 110		0
17. Stenungsund	913	Borealis (69%), Perstorp (13%), Nouryon (10%)	913		0
18. Malmö	823	SYSAV (57%), Norcarb Engineered Carbons (23%), E.ON (19%)	444	SYSAV (93%)	379
19. Kiruna	641	LKAB (95%)	574	Kiruna Kraft (100%)	67
20. Skövde	559	Cementa (89%)	476	Skövde Energi (78%), Cementa (22%)	83

Agenda

- 1. Inledning
- **2. Vägar till koldioxidneutralitet för IKEM:s medlemmar**
 - I. Klimatneutral energi
 - II. Koldioxidavskiljning och lagring
 - III. Biobaserade råvaror
 - IV. Cirkulär ekonomi: Återvunna råvaror och CCU
 - V. Resurseffektiva system
- 3. Behov och förutsättningar för att nå netto-noll
- Appendix

Tre cirkulära och resurseffektiva strategier för IKEMs medlemmar

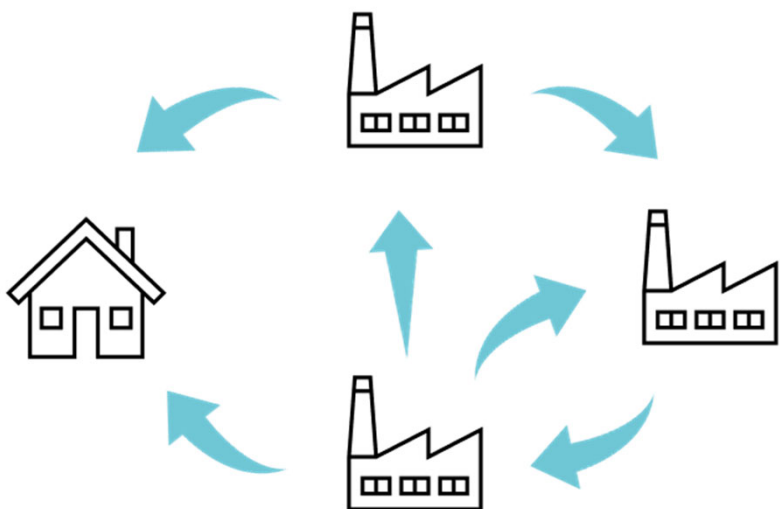
ENERGI- EFFEKTIVISERING

Process-
uppgraderingar för
mer energieffektiv
produktion, t ex
värmeåtervinning.

INDUSTRIELL SYMBIOS

Företag delar på
resurser och
anläggningar för att
optimera
effektiviteten.
Exempelvis
restvärme tas
omhand och
levereras som
fjärrvärme.

Industriell symbios sparar resurser



Industriell symbios innebär att restprodukter utnyttjas och resurser delas

BESKRIVNING

Industriell symbios innebär att företag delar på resurser och använder varandras restprodukter. Exempelvis restvärme som levereras till fjärrvärmenätet eller delade anläggningar för tryckluft, vattenrening, hamnar eller infrastruktur. Industrikluster letar ofta aktivt efter nya möjligheter till industriell symbios när restprodukter uppstår, nya behov eller vid expansion.

UTMANINGAR/ FÖRUTSÄTTNINGAR

- **Anslutning till fjärrvärmenätet** krävs för fjärrvärme.
- **Öppen dialog och gemensam målbild.** Geografisk närhet till resurser och eventuellt justerad verksamhet för att anpassa till symbiosen.

KOSTNAD

Industriell symbios genererar ofta besparingar eller intäkter.

¹Beräknat från ett intervall mellan 7-35 USD/ t CO2: McKinsey, "Decarbonization of industrial sectors: the next frontier" (2018)

Industriell symbios – nyckeln till effektiva system

Industriell symbios är ett sätt för företag att arbeta tillsammans för att effektivisera sina processer och reducera sina utsläpp genom att dela resurser, anläggningar eller använda varandras biprodukter. De exempel som framförallt lyfts fram under intervjuerna har varit:

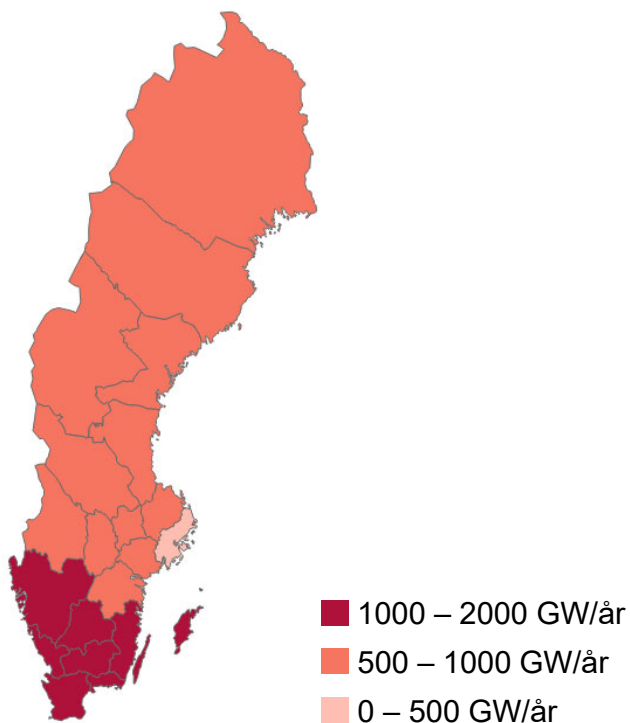
- **Restvärme** - som levereras till fjärrvärmenätet och därmed sparar energirelaterade utsläpp. Idag levereras mer än 1.5 TWh restvärme från IKEMs medlemmar till fjärrvärmenät, men det finns ytterligare potential – majoriteten av medlemmarna har inte utnyttjat hela potentialen.
- **Gemensamma anläggningar** - vattenrening eller tryckluftanläggningar delas vilket leder till effektivare anläggningar som också är stora nog att leverera värme.
- **Produktion från biflöden** – det finns flera exempel på produkter som börjat tillverkas som en konsekvens av att ett visst biflöde fanns på plats.
- **Gemensam utvecklingsagenda** där man tittar på varandras energi och restproduktströmmar för att hitta avsättning för dem

Flera av IKEMs medlemsföretag är redan engagerade i industriell symbios – flera menar dock att ännu större möjlighet finns, framförallt inom leverans av restvärme. Ett antal förutsättningar behöver komma på plats:

- **Anslutning till fjärrvärmenätet** – det krävs att det finns ett nät samt att det kan hantera mer värme.
- **Att företaget ligger i anslutning till mottagarparten** – andra företag behöver finnas inom rimlig radie för att restprodukter och anläggningar ska kunna delas på ett effektivt sätt.
- **Öppen dialog och gemensam målbild** – det krävs samarbete för att skapa symbiossystem och alla parter måste vara beredda att kompromissa. Man bör också alltid börja med att leta i närheten efter de resurser man behöver och kanske justera verksamheten för att passa bättre in i symbiosen

2009 fanns ca 6.3 TWh spillvärme varav ca hälften användes i fjärrvärmenätet – mycket kan ha hänt sedan dess

Teoretisk potential för spillvärme från svensk industri fördelad på NUTS områden, GWh/år 2009



Totalt fanns ca 6.3 TWh spillvärmepotential vid förra genomgången varav dryg hälften användes i fjärrvärmenätet

- Främsta anledningen till att värme inte utnyttjades var att källan låg för långt ifrån övriga fjärrvärmenätet.

Ingen ny genomgång av potentialen har gjorts sedan 2009

- De intervjuer som gjorts visar att det alltså finns outnyttjad potential då samma hinder kvarstår.
- Mellan 1997 (tidigare rapport från Svensk fjärrvärme) och 2009 jämnades potentialen ut över Sverige – det indikerar att saker händer i branschen och att en ny genomlysning kan behöva göras.

Nya industrier etablerar sig som kan leverera mer värme till nätet

- Datacenter är en typ av ny industri som genererar värme som kan göras tillgänglig för fjärrvärmenätet. Överskottsvärme från datacenter inom 2 km av tätort är ca 2.5 TWh enligt en studie från 2018.
- Studien nämner totalt 7.4 TWh från datacenter och tre andra okonventionella källor.

Sources: Waste heat from industries and public premises (In Swedish: Spillvärme från industrier och lokaler), S. Grönkvist et al., 2009, KTH Royal Institute of Technology (sida 78)

¹ Kompletterades med data från SOU 2011:44 Fjärrvärme och fjärrvärmemarknad idag, 2011, (sida 175) för NUTS områden SE04 (750GWh för Södra i Karlshamn, Mörrum, Blekinge län och 417GWh för Kemira Kemi i Helsingborg, Skåne län) och SE09 (1000GWh för Södra i Mönsterås, Kalmar län)

D1-4: Accessible urban waste heat, ReUseHeat, WP1, Task 1.2, Deliverable 1.4, 2018 (sidor 84-85)

Agenda

- 1. Inledning
- 2. Vägar till koldioxidneutralitet för IKEM:s medlemmar
- **3. Behov och förutsättningar för att nå netto-noll**
 - Innovation och investeringar
 - Konkurrenskraft för klimatneutral produktion
 - En kraftig ökning i konkurrenskraftig och tillförlitlig elförsörjning
 - Tillgång till råvaror och infrastruktur
 - Transparenta och effektiva tillståndsprocesser
- Appendix

KAPITEL 3: BEHOV OCH FÖRUTSÄTTNINGAR FÖR ATT NÅ NETTO-NOLL

I detta kapitel sammanställer Material Economics slutsatser av vad företagen beskrivit som behov och utmaningar i omställningen mot lägre utsläpp. Uppskattningar är delvis byggda på uppgifter från intervjuerna, men där data saknas har offentliga källor använts och egna beräkningar gjorts.

Agenda

- 1. Inledning
- 2. Vägar till koldioxidneutralitet för IKEM:s medlemmar
- **3. Behov och förutsättningar för att nå netto-noll**
 - Innovation och investeringar
 - Konkurrenskraft för klimatneutral produktion
 - En kraftig ökning i konkurrenskraftig och tillförlitlig elförsörjning
 - Tillgång till råvaror och infrastruktur
 - Transparenta och effektiva tillståndsprocesser
- Appendix

Investeringar och innovation

Alla strategier för klimatneutralitet kräver stora investeringar i nya, kapitalintensiva produktionsprocesser. Skiftet till klimatneutral produktion kräver i många fall en omfattande omställning av hela produktionsprocessen – ofta för att möjliggöra helt andra processer, baserade på klimatneutrala råvaror inklusive återvunnen plast, bioråvaror, infångad CO₂, och vätgas. I många fall måste därför antingen befintlig produktionskapacitet helt ersättas – ofta med alternativ som är mer kapitalintensiva – eller utökas med ytterligare steg.

Därutöver krävs stora investeringar i teknikutveckling och demonstration för att accelerera omställningen till klimatneutralitet. Sveriges klimatmål är världsledande, och IKEM:s medlemsföretag kan därför inte enbart förlita sig på teknologier för klimatneutralitet som redan utvecklats internationellt. Detta kräver både forskning och ytterligare investeringar för demonstration av ny teknik i industriell skala – där enskilda anläggningar kan kräva miljardbelopp. Troligen krävs omfattande samarbete mellan företag, grundforskning, tillämpad forskning och offentliga stöd för demonstrationsanläggningar.

Viktiga investeringsbeslut sker redan i närtid. 2045 är endast en till två investeringscykler bort och valet mellan återinvestering i dagens konventionella produktion eller i klimatneutrala alternativ måste därför i flera fall ska redan inom några år.

Dagens marknader och styrmedel räcker inte för att göra dessa investeringar möjliga. För företagen är detta verksamhetsavgörande beslut. I de kapitalintensiva branscher som företagen verkar i är stora investeringsbeslut de enskilt mest avgörande för lönsamhet och i slutändan för företagets överlevnad. Ett flertal strategier innebär ökade löpande kostnader som inte kompenseras av befintliga styrmedel (se nedan). För att investeringarna ska bli lönsamma måste det därför finnas en möjlighet till ökade intäkter från klimatneutral produktion.

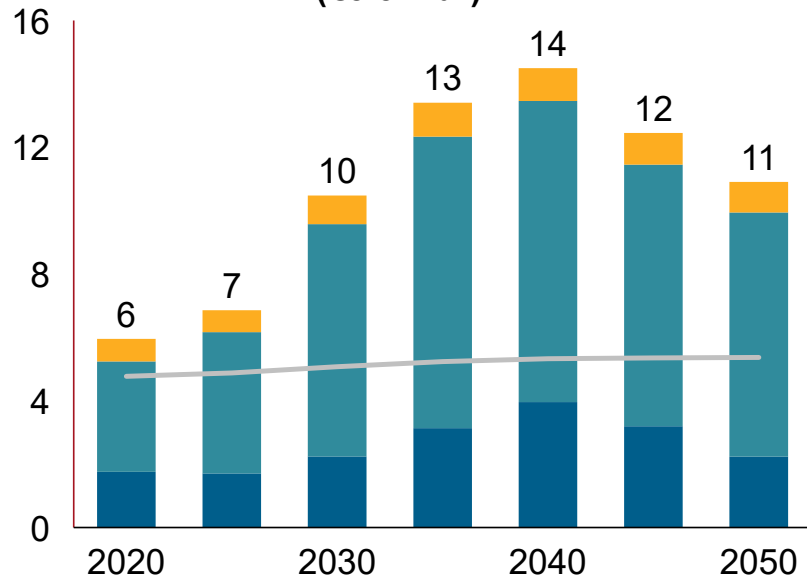
För Sverige innebär omställningen att stora investeringar behöver göras

Ökade investeringsbehov, EU 2020-50

Miljarder EUR per år

EXEMPEL EU

+107%
(€5.5 Mdr)



— Baseline Cement Kemi Stål

För att klara av omställningen till klimatneutral produktion står Sverige inför att bygga om och bygga ut en stor del av industrin.

- En illustrativ beräkning för full omställning av kemiklustret i Stenungssund uppskattar till exempel investeringsbehovet till 30 miljarder kr¹, medan uppskattade investeringar i koldioxidavskiljning för en cementfabrik ligger i storleksordningen 2 miljarder².

Motsvarande omställning på europeisk nivå beräknar att en fördubbling av investeringar krävs i perioden 2020-2050³

- Uppskattningen bygger på att en stor del av dagens produktionsprocesser behöver bytas ut – störst konsekvens har detta för kemiindustrin eftersom stor del av produktionsapparaten behöver justeras efter nya råvaror

¹ Thunman et al (2019), Circular use of plastics-transformation of existing petrochemical clusters into thermochemical recycling plants with 100% plastics recovery ²Material Economics analys baserad på CemZero, "A feasibility study evaluating ways to reach sustainable cement production via the use of electricity" (2018) och IEAGHG, "Deployment of CCS in the cement industry" (2013). https://ieaghg.org/docs/General_Docs/Reports/2013-19.pdf ³Material Economics (2019), Industrial Transformation 2050 - Pathways to Net-Zero Emissions from EU Heavy Industry.

Det finns många lösningar på omställningen inom IKEM – men stöd krävs i flera faser för att företagen ska kunna satsa

Ekonomiskt stöd kommer behövas genom två avgörande faser:

Fas 1: Möjliggör de första investeringarna

Innovationskostnad

merkostnad för pilot- and demonstrationsplanter

Transitionskostnader

konvertering, tidigare investeringar, avskrivningar, parallella system, mm

Fas 2: storskalig industrialisering

Högre OPEX

Ökad opex för låg-kol produktionsrutter

Högre CAPEX

Högre kapitalintensitet för CCS, nya produktionsrutter, mm

Mineralindustrin

- CCS på cementanläggningar
- Elektrifiering av uppvärmning

Kemiindustrin

- Kemisk återvinning
- CCU för produktion av metanol
- Bred forskning på nya råmaterial

Raffinaderier

- Sockercellulosa för bränsleproduktion
- CCS på vätgasproduktion
- Storskalig produktion av vätgas genom elektrolys
- Bred forskning på nya råmaterial

Livsmedelsindustri

- Elektrifiering av uppvärmning

Metallindustri

- Inerta anoder – aluminium industri
- Nya bränslen i arbetsmaskiner
- Storskalig ellagring
- Ökad skrotanvändning

Avgörande i närtid!

De flesta projekt har ännu inte nått detta stadiet. Men kommunikation om stöd för storskalig industrialisering stöd är extremt viktigt för att företagen ska gå in i fas 1 och sedan gå vidare med sina projekt.

Agenda

- 1. Inledning
- 2. Vägar till koldioxidneutralitet för IKEM:s medlemmar
- **3. Behov och förutsättningar för att nå netto-noll**
 - Innovation och investeringar
 - Konkurrenskraft för klimatneutral produktion
 - En kraftig ökning i konkurrenskraftig och tillförlitlig elförsörjning
 - Tillgång till råvaror och infrastruktur
 - Transparenta och effektiva tillståndsprocesser
- Appendix

Konkurrenskraft för klimatneutral produktion

Klimatneutral produktion är mycket dyrare än dagens fossilbaserade processer. Vi har inte tagit del av företagens egna uppskattningar på produktionskostnader, men gjort en outside-in analys baserad på tidigare studier som granskats av industrin. Dessa visar på kostnader runt 0.5-3 gånger högre än dagens fossilbaserade produktion för många av de produktionssätt som IKEMs medlemmar överväger.

Medlemmar säljer i hög utsträckning på internationella marknader – även utanför

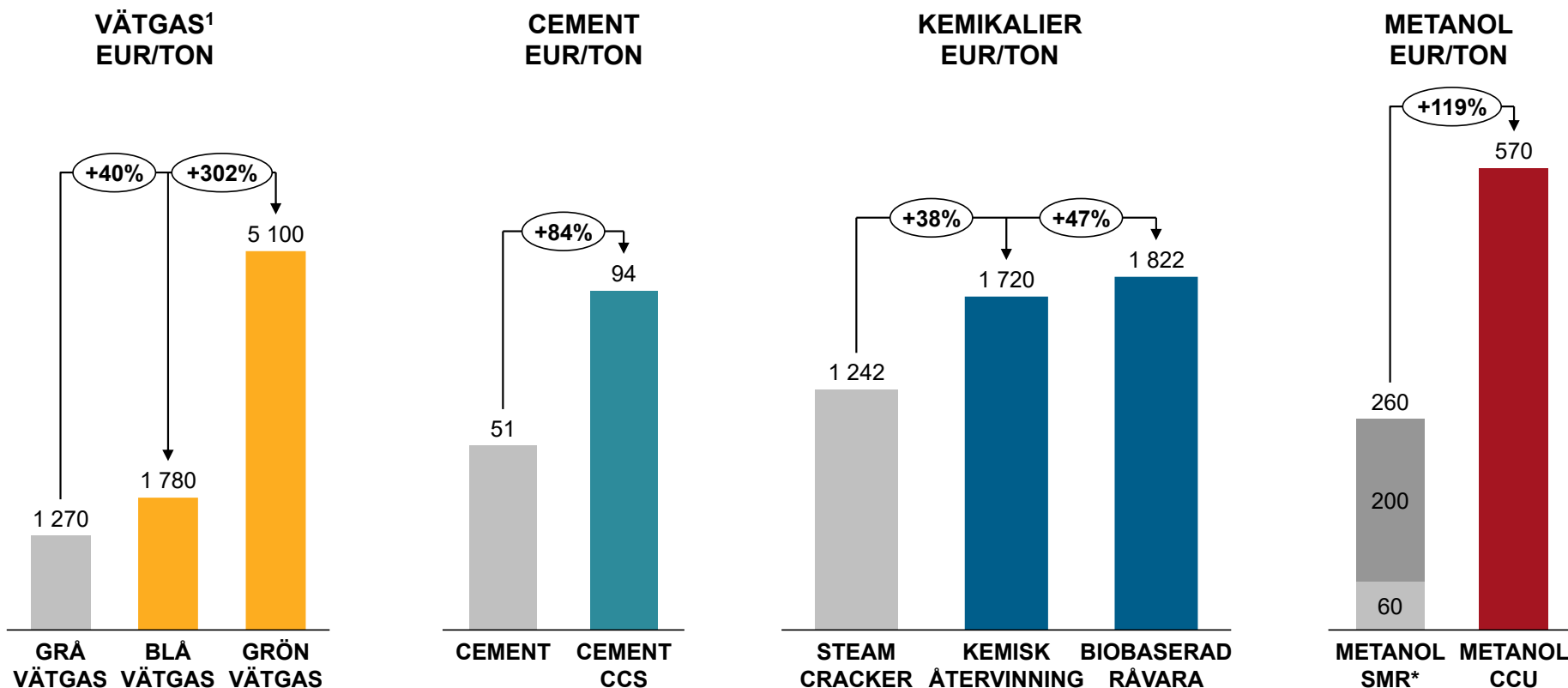
EU. Samtliga branscher är högst exportorienterade och i genomsnitt exporteras 85% av varorna vilket 2017 motsvarade ca 159 miljarder kronor. Även branscher med hög andel inhemsk produktion – såsom cement och drivmedel – säljer mellan 35%-65% av produktionen utanför Sverige.

Dagens styrmedel jämnar inte ut den minskade konkurrenskraften som högre kostnader för klimatneutralitet skulle innebära. EU ETS leder till lägre kostnader vid minskade utsläpp – men inte till högre intäkter, givet att priserna sätts i internationella marknader där konkurrenter inte har motsvarande regleringar. EU ETS missar också aspekten av att byta till klimatneutrala råvaror i produkterna - detta justeras i dagsläget inte heller av marknadsprissättningen utan blir en kostnad som företaget ensamt får bära. Som det nu är utformat kan koldioxidprissättningen inom EU inte ensamt driva omställningen till fossilfri produktion i dessa branscher. Så kallade Carbon Border Adjustments har föreslagits, men ligger ännu många år bort.

Andra länder inför nu därför kompletterande styrmedel för att stötta industrins

omställning. Till exempel har Nederländerna infört ett subventionsprogram för industriproduktion med lägre utsläpp; Norge har vikt 17 miljarder kronor åt stöd för CCS; Frankrike inför ett stort program för grön vätgasproduktion; Tyskland överväger omfattande subventionsprogram för industriprodukter med lägre klimatavtryck; och ett stort antal länder har infört avsevärda investeringsfonder för industriomställning som är avsevärt större än det svenska Industriklivet. EU ETS Innovationsfond erbjuder stöd för både investering och drift med ökade driftskostnader i 10 år. Industriintresset för denna är stort i dagsläget har ansökningar till ett värde av 22 gånger fondens nuvarande storlek inkommit.

Kostnaden för enskilda material kommer öka markant med nya produktionsmetoder (exempel)



¹ Elpris 0.4 kr/ kWh för grön vätgas. *Priset på naturgas varierar så mycket att det är svårt att sätta ett pris.

Källor: **Vätgas:** IEAGHG "Techno-Economic Evaluation of SMR Based Standalone (Merchant) Plant with CCS" February, 2017 och Mainstreaming green hydrogen in Europe (Material Economics, 2020)

Cement, kemikalier: Material Economics (2019), Industrial Transformation 2050 - Pathways to Net-Zero Emissions from EU Heavy Industry **Metanol:** DECHEMA Gesellschaft für Chemische Technik und Biotechnologie e.V.

Flera länder i EU mobiliserar nu avsevärt stöd på nationell nivå för att göra klimatneutral industriproduktion konkurrenskraftig

EXEMPEL

Betydande investeringsstöd till klimatneutral industri



- ▶ Tyskland och Frankrike har beslutat om investeringsstöd med belopp som motsvarar 20-30x industriklivet, enbart till grön vätgas

Betydande stöd till enskilda bolag och satsningar



- ▶ Österrike ger deras nationella stålproducent Voestalpine 0,5-0,7 miljarder SEK per år mellan 2025-35
- ▶ Norge har vikt 17 miljarder NOK i stöd åt CCS, bland annat till enskilda anläggningar

Direkta subventioner för klimatneutral industriproduktion



- ▶ Nederländerna har infört subventioner till industrins omställning, motsvarande 6 miljarder SEK år 2020, vilka kommer sträcka sig 15 år framåt
- ▶ Tyskland överväger omfattande "contract for differences" för industrin, där skillnaden i kostnader mellan utsläppsintensiv och klimatneutral produktion kompenseras för

Agenda

- 1. Inledning
- 2. Vägar till koldioxidneutralitet för IKEM:s medlemmar
- **3. Behov och förutsättningar för att nå netto-noll**
 - Innovation och investeringar
 - Konkurrenskraft för klimatneutral produktion
 - En kraftig ökning i konkurrenskraftig och tillförlitlig elförsörjning
 - Tillgång till råvaror och infrastruktur
 - Transparenta och effektiva tillståndsprocesser
- Appendix

Eltillgång håller på att bli en flaskhals för den svenska omställningen

IKEMs medlemsbolag kan behöva totalt mellan 19-27 TWh klimatneutral el för att driva nya produktionsprocesser – en fördubbling till tredubbling till 2045. Det slutgiltiga behovet bestäms av val av produktionsprocesser – idag finns många alternativa vägar för flera företag.

Stora mängder el behövs bland annat till produktion av vätgas; för elektrifiering av högtemperaturvärme i kemi- och metallindustri; och för att driva nya produktionsprocesser. Detta är också en förutsättning för produktion av biodrivmedel.

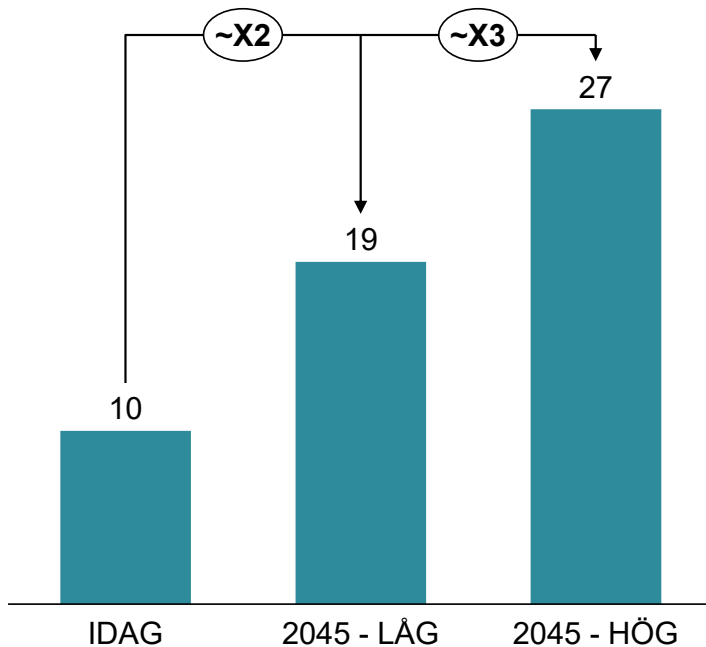
Brist på el – och särskilt på tillräcklig effekt – riskerar att bli ett stort hinder för omställningen. En stor del av produktionen sker i delar av Sverige som redan har begynnande brister i överföringskapacitet, eller där det är hård konkurrens om den effekt som finns tillgänglig.

Långa ledtider och oförutsägbara processer håller tillbaka viktiga beslut.

IKEMs medlemmar nämner långa ledtider för nya elkoncessioner och oförutsägbarhet i politiska beslut som påverkar framtida priser som hinder som avskräcker från stora steg mot elektrifiering.

Omställningen kommer troligen kräva minst en fördubbling av elanvändningen

Elåtgång idag och en uppskattning för 2045 TWh, (indikativt*)



Behovet av vätgas inom kemiindustrin driver ökat elbehov:

- Såväl kemisk återvinning som produktion med biobaserad råvara kräver ökad mängd vätgas jämfört med dagens produktion

Så länge ingen plan finns för ökad effekt kan inte planer eller investeringar göras:

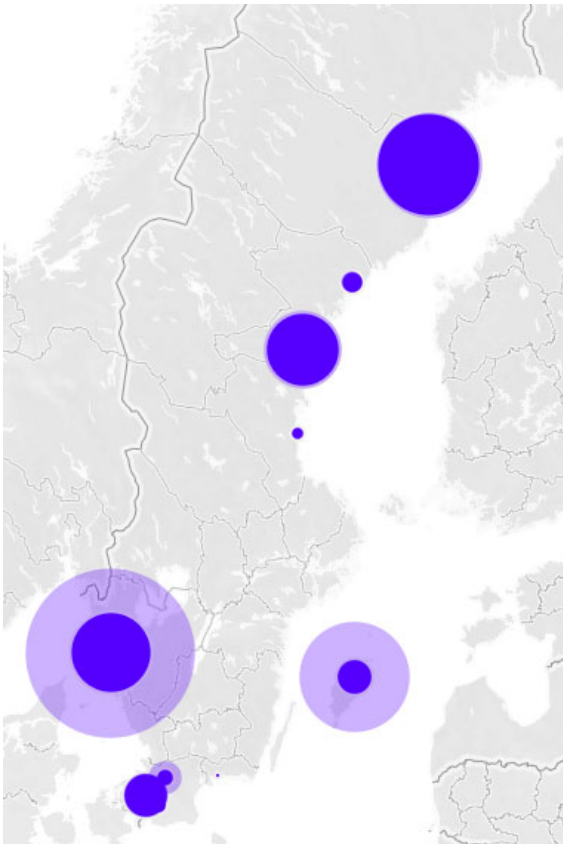
- Stora projekt kan inte konkretiseras förrän en plan på eltillgång kan visas
- Elektrifiering av processer senareläggs på grund av risk för effektuppehåll vilket förstör produktionen

Not: *Flera av företagen som intervjuats har haft svårt att uppskatta elåtgången i 2045. Material Economics har därför gjort egna uppskattningar baserat på offentliggjorda uppgifter om produktionsanläggningar etc. Datan ska därmed ses som en indikation på hur elåtgången kan förändras inom IKEM snarare än en kartläggning över framtida behov

Elefterfrågan kommer öka mest där kapacitetsbristen är som störst

Uppskattat elbehov idag och 2045,
Bubbla indikerar elbehovets storlek

● Dagens behov ○ Ökning till 2045



Kemiklustret på västkusten kommer driva ökningen av elefterfrågan inom IKEM på grund av stort vätgasbehov:

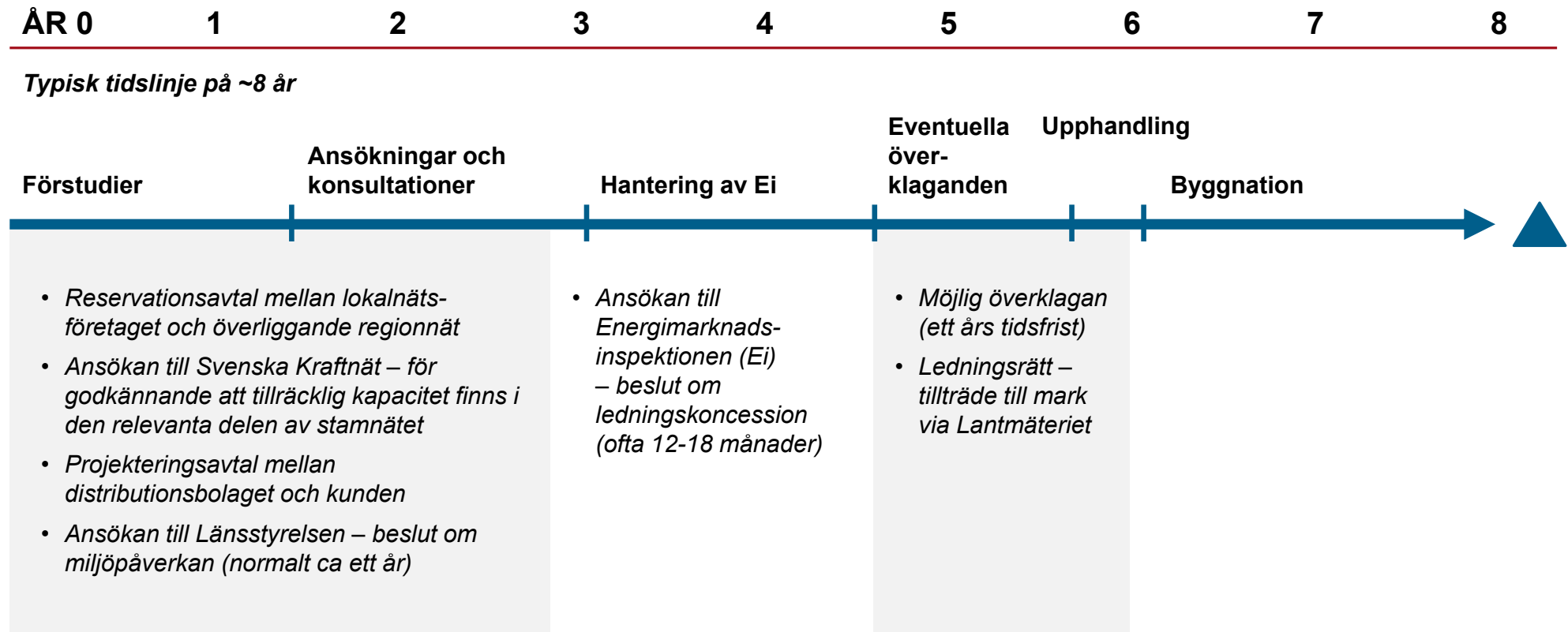
- Sydsverige är också den delen av landet som redan upplever störst problem med effekttillgång

I norra Sverige ser elsituationen annorlunda ut, färre företag inom IKEM kommer öka sin efterfrågan med eltilgången är stor:

- Flera vindparker planeras i norra Sverige samtidigt som ingen effektbrist råder idag

I södra Sverige råder redan effektbrist och samtidigt väntas stor ökad efterfrågan från IKEMs medlemmar fram till 2045

Exempel: elnätskoncessioner kan ta upp till åtta år, även när det finns tillräcklig effekt i stamnätet (annars avsevärt längre)



Agenda

- 1. Inledning
- 2. Vägar till koldioxidneutralitet för IKEM:s medlemmar
- **3. Behov och förutsättningar för att nå netto-noll**
 - Innovation och investeringar
 - Konkurrenskraft för klimatneutral produktion
 - En kraftig ökning i konkurrenskraftig och tillförlitlig elförsörjning
 - Tillgång till råvaror och infrastruktur
 - Transparenta och effektiva tillståndsprocesser
- Appendix

Tillgång till råvaror och infrastruktur

Skiftet till klimatneutral produktion kräver inte bara ny energi, utan även nya råvaror och processer. Företagen använder över en miljon ton fossil råvara, som till stor del och på lång sikt behöver ersättas och kompletteras med nya källor: återvunnen plast, avfall, bioråvara, infångad CO₂ och vätgas.

IKEMs medlemsföretag ser en rad förutsättningar som måste till för att detta stora skifte av råvaror ska bli möjligt:

- **Utjämna behandlingen av bioenergi och bioråvara i skatter och regelverk.** Till exempel får användning av biogas för energiproduktion skatteförmåner som inte motsvaras om biogas används som råvara. Mer allmänt finns starka styrmedel för användning av biobränslen, men inte motsvarande incitament för att ersätta konventionell råvara med bioråvara.
- **Verka för lägre tullar för import av bio-baserade råvaror**, som i dag ofta behandlar som grödor och livsmedel, även när de används för industriproduktion.
- **Klargör regelverk och skapa incitament för infångning av biogen CO₂**, och se till att användning av CO₂ (CCU) som råvara finns med som möjlig strategi jämte CCS.
- **Möjliggör användning av avfall som råvara i stor skala.** Detta hålls tillbaka både av incitament för förbränning, och av regel som försvårar handel (brist på enhetliga definitioner, restriktioner på handel mellan länder, mm).
- **Skapa förutsättningar för långt högre återvinning av plast.** Dagens återvinning är mycket låg, och 80%¹ av plast bränns snarare än blir tillgänglig som råvara. Lagstiftning och incitament för återvinning – inklusive kemisk återvinning – behövs om detta ska ändras.

¹<https://www.naturvardsverket.se/Miljoarbete-i-samhallet/Miljoarbete-i-Sverige/Uppdelat-efter-omrade/Plast/Plastfloden-i-Sverige/>

Tillgång till råvaror och infrastruktur

Nya produktionssystem kräver också ny infrastruktur för el, CCS, vätgas, och värme.

IKEMs medlemmar ser flera viktiga behov framåt:

- **Elnät:** Brister i elnätet skapar redan i dag begränsningar för befintlig verksamhet. Den stora elektrifiering som krävs för många viktiga strategier för klimatneutralitet ställer långt högre krav: dels på en mycket snabbare utbyggnad av stamnät för överföring till produktion i södra delen av landet, dels för utbyggnad av regionnät till de nya stora laster som omställningen skapar.
- **Vätgas:** Olika branscher såsom transport och industri kan använda gemensamma vätgasresurser om det finns lokal infrastruktur (lagring, produktion, lokala nätverk). Det kan även krävas överföring från produktionsställen till användnings (ledning), och i vissa fall för gemensam storskalig produktion som delas mellan flera parter.
- **CCS:** Koldioxidavskiljning och lagring har stora skalfördelar, och kan behöva samlingspunkter ("hubbar") där ett antal olika källor kan aggregeras före transport och slutlagring.
- **CCU:** Delar många av behoven hos CCS men behöver också förtydligande av regelverk gällande produkter som tillverkats med återvunnen CO₂.
- **Värme:** Det finns ytterligare potential för utnyttjande av restvärme, men i flera fall kräver detta utbyggnad av ledningar för anslutning till fjärrvärmenät.

Agenda

- 1. Inledning
- 2. Vägar till koldioxidneutralitet för IKEM:s medlemmar
- **3. Behov och förutsättningar för att nå netto-noll**
 - Innovation och investeringar
 - Konkurrenskraft för klimatneutral produktion
 - En kraftig ökning i konkurrenskraftig och tillförlitlig elförsörjning
 - Tillgång till råvaror och infrastruktur
 - Transparenta och effektiva tillståndsprocesser
- Appendix

Miljötilståndprocessen tar tid och saknar transparens

En omställning till klimatneutralitet kräver stora förändringar i verksamheter som kräver helt nya verksamhets- och miljötilstånd. Flera av de processer som nu planeras är helt nya i stor skala. De skiljer sig också markant från dagens processer och eventuella konsekvenser av dem kommer behöva utredas.

Idag tar dessa processer lång tid, en ändring kan leda till en fullständig omprövning av tillståndet med åtskilliga åläggande om utredningar. Att gå igenom en fullständig omprövning av tillståndet är både dyrt och tidsödande (kan ta upp emot 10 år innan alla utredningar är inlämnade) och företagen oroas ofta över att hela verksamheten kommer underkännas.

För att inte stoppa upp omställningen behöver ett antal förändringar göras:

- **Förutsägbar process:** Förenkla för företagen att förstå när en fullständig omprövning kommer behövas och hur länge endast ändringstillstånd är tillräcklig för att förhindra att ett ändringstillstånd "plötsligt" leder till en fullständig omprövning
- **Avsluta processen vid domstolsbeslut:** minska möjligheten till åläggande om utredning vid domstolsbeslut utan anse målet avslutat efter beslut
- **Korta prövningstiderna:** miljötilståndprocesserna måste hänga med i den takt som krävs för att få till de omställningar som står för dörren
- **Harmonisera processerna inom EU:** Miljötilstånd inklusive kostnader, handläggningstid och rapporteringskrav hanteras olika inom olika EU-länder vilket påverkar anläggningar som ingår i internationella koncerner.

Agenda

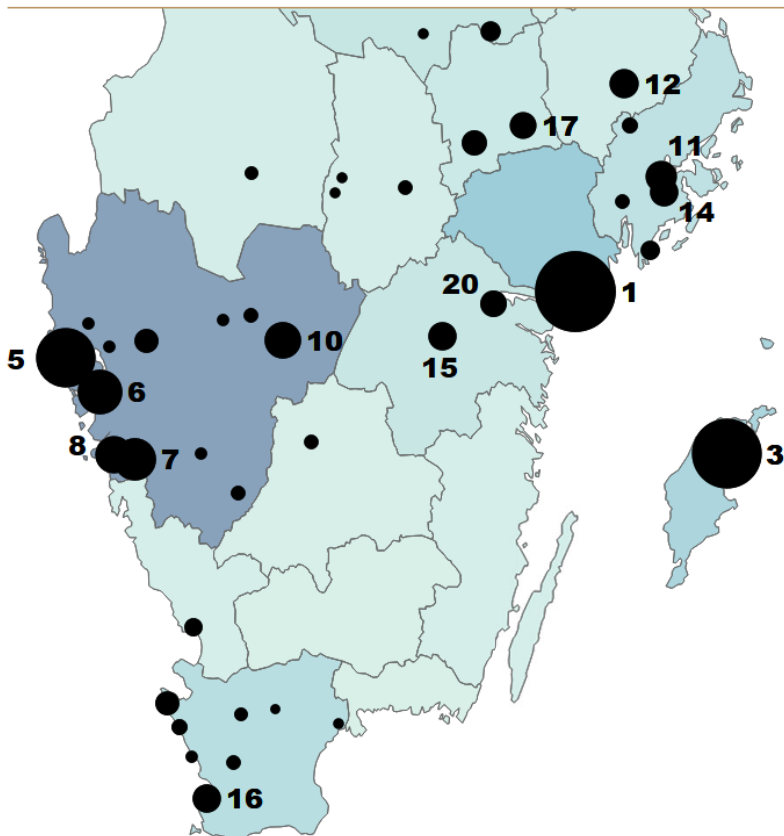
- 1. Inledning
- 2. Vägar till koldioxidneutralitet för IKEM:s medlemmar
- 3. Behov och förutsättningar för att nå netto-noll
- **Appendix**
 - Detaljerade kartor
 - Ytterligare källor

Agenda

- 1. Inledning
- 2. Vägar till koldioxidneutralitet för IKEM:s medlemmar
- 3. Behov och förutsättningar för att nå netto-noll
- **Appendix**
- Detaljerade kartor
- Ytterligare källor

Majoriteten av de fossila CO₂ källorna finns i södra Sverige – tillsammans ca 8 Mt av källor över 200 kton

Södra Sveriges industris källor till CO₂
Sfär indikerar storlek av utsläppskällan, 2019

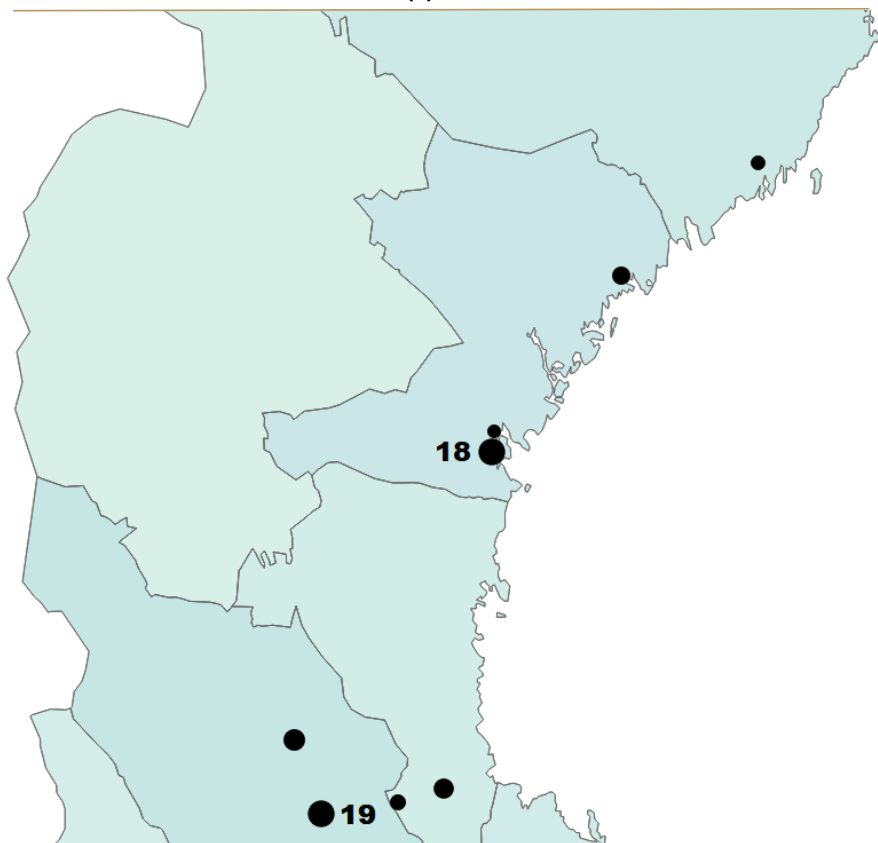









FÖRETAG	UTSLÄPP (kton)	PLATS
SSAB	2 061	1. Oxelösund
SSAB	1 757	2. Luleå
CEMENTA HEIDELBERGCEMENT Group	1 536	3. Slite
LULEKRAFT	1 442	4. Luleå
preem	1 110	5. Lysekil
BOREALIS	632	6. Stenungsund
preem	570	7. Göteborg
stl	457	8. Göteborg
LKAB	440	9. Kiruna
CEMENTA HEIDELBERGCEMENT Group	423	10. Skövde
stockholm exergj	311	11. Stockholm (Värtaverket)
VATTENFALL	286	12. Uppsala
BOLIDEN	271	13. Skellefteå
stockholm exergj	259	14. Stockholm (Högdalenverket)
Tekniska verken	259	15. Linköping
SYSAV	255	16. Malmö
MälarenErgi	240	17. Västerås
KUBAL	235	18. Sundsvall
SSAB	227	19. Borlänge
e-on	223	20. Norrköping

Note: 77 företag utplacerade (företag med mer än 30 kton utsläpp), baseras på data från naturvårdsverket, 2019

Mellansverige har färre industrianläggningar med fossil CO₂, totalt ca 500 kton av källor över 200 kton

Mellan Sveriges industris källor till CO₂
Sfär indikerar storlek av utsläppskällan, 2019

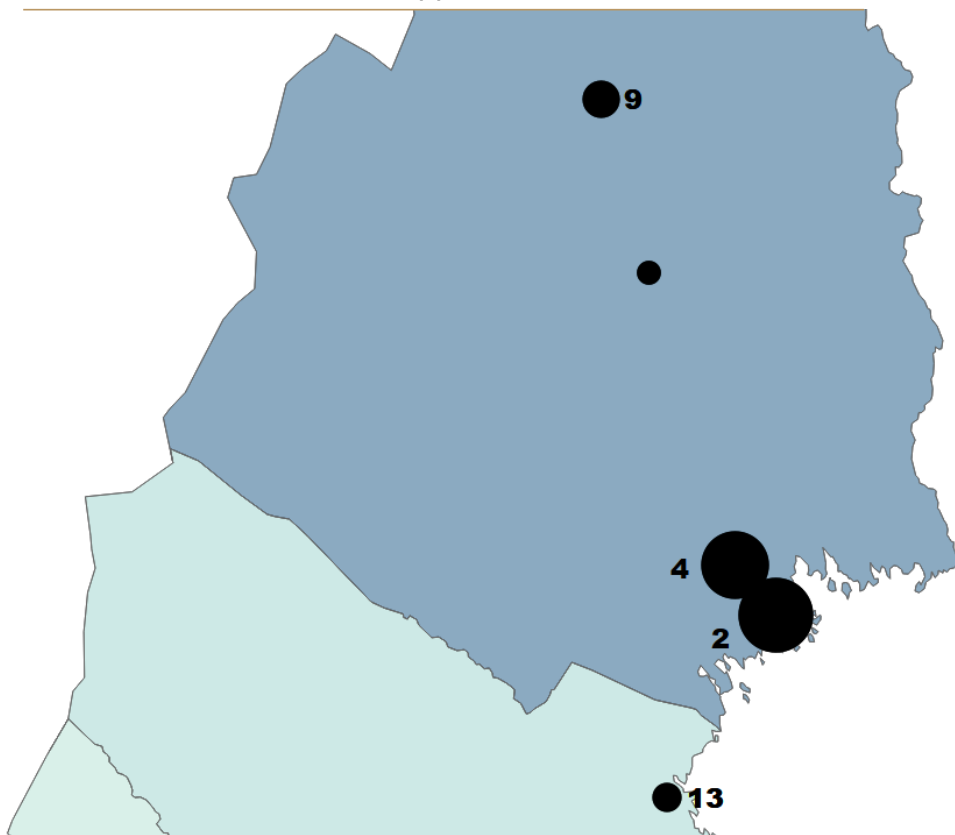


FÖRETAG	UTSLÄPP (kton)	PLATS
SSAB	2 061	1. Oxelösund
SSAB	1 757	2. Luleå
CEMENTA <small>HEIDELBERGCEMENT Group</small>	1 536	3. Slite
LULEKRAFT	1 442	4. Luleå
 BOREALIS	1 110	5. Lysekil
 BOREALIS	632	6. Stenungsund
 BOREALIS	570	7. Göteborg
stl	457	8. Göteborg
LKAB	440	9. Kiruna
CEMENTA <small>HEIDELBERGCEMENT Group</small>	423	10. Skövde
 stockholm exergi	311	11. Stockholm (Värtaverket)
VATTENFALL	286	12. Uppsala
BOLIDEN	271	13. Skellefteå
 stockholm exergi	259	14. Stockholm (Högdalenverket)
 Tekniska verken	259	15. Linköping
SYSAV	255	16. Malmö
 MälarenErgi	240	17. Västerås
KUBAL	235	18. Sundsvall
SSAB	227	19. Borlänge
e-on	223	20. Norrköping

Note: 77 företag utplacerade (företag med mer än 30 kton utsläpp), baseras på data från naturvårdsverket, 2019

Norra Sverige domineras av metallproduktion, bara runt Luleå finns 3.2 Mt tillgänglig CO₂

Södra Sveriges industris källor till CO₂
Sfär indikerar storlek av utsläppskällan, 2019

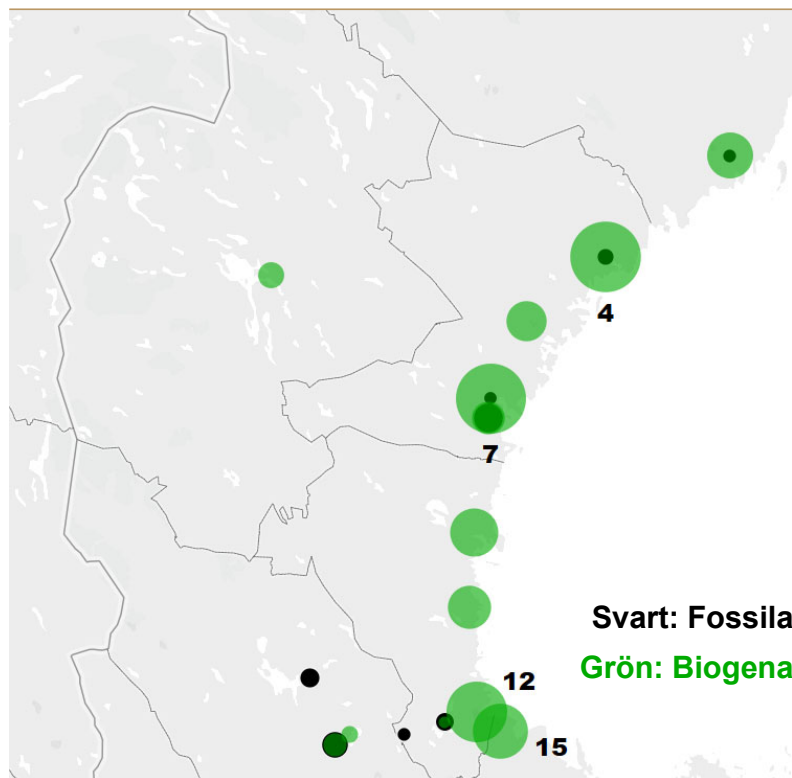


FÖRETAG	UTSLÄPP (kton)	PLATS
SSAB	2 061	1. Oxelösund
SSAB	1 757	2. Luleå
CEMENTA HEIDELBERGCEMENT Group	1 536	3. Slite
LULEKRAFT	1 442	4. Luleå
BOREALIS	1 110	5. Lysekil
BOREALIS	632	6. Stenungsund
STI	570	7. Göteborg
stl	457	8. Göteborg
LKAB	440	9. Kiruna
CEMENTA HEIDELBERGCEMENT Group	423	10. Skövde
stockholm exergi	311	11. Stockholm (Värtaverket)
VATTENFALL	286	12. Uppsala
BOLIDEN	271	13. Skellefteå
stockholm exergi	259	14. Stockholm (Högdalenverket)
Tekniska verken	259	15. Linköping
SYSAV	255	16. Malmö
MälarenEnergi	240	17. Västerås
KUBAL	235	18. Sundsvall
SSAB	227	19. Borlänge
e-on	223	20. Norrköping

Note: 77 företag utplacerade (företag med mer än 30 kton utsläpp), baseras på data från naturvårdsverket, 2019

Fullständig mappning av tillgänglig koldioxid

Biogena och fossila källor till CO₂ i mellan Sverige Sfär indikerar storlek av utsläppskällan, 2019



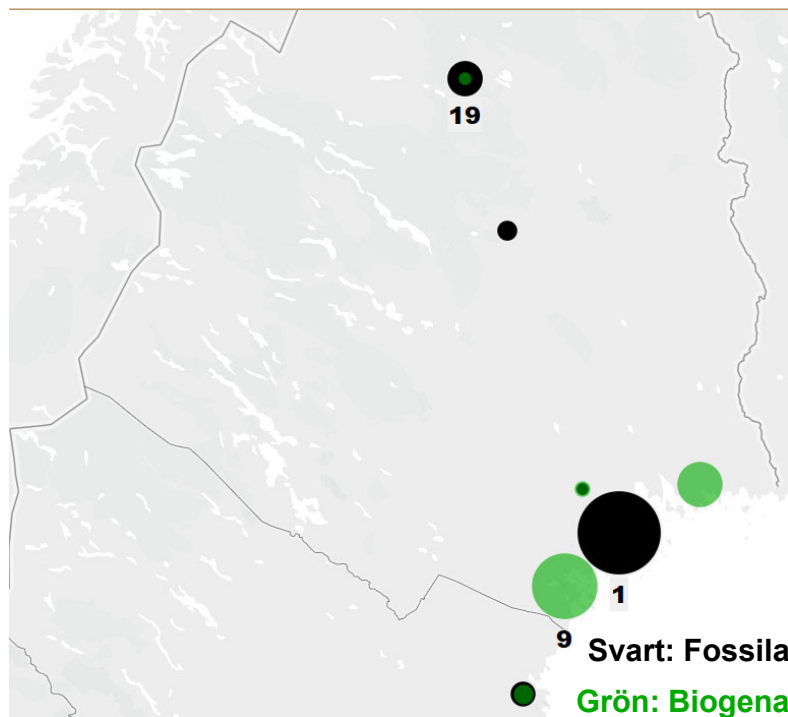
Plats	Totala CO ₂ (kton) ¹	Företag (Fossila)	Fossila CO ₂ (kton) ¹	Företag (Biogena)	Biogena CO ₂ (kton) ¹
1. Luleå	3 292	SSAB (55%), Lulekraft (44%)	3 292		0
2. Stockholm	2 221	Stockholm Exergi (100%)	586	Stockholm Exergi (100%)	1 635
3. Oxelösund	2 153	SSAB (100%)	2 153		0
4. Örnsköldsvik	2 039	Metsä Board (48%), Övik Energi (46%)	109	Metsä Board (62%), Domsjö Fabriker (27%), Övik Energi (11%)	1 930
5. Göteborg	1 998	Preem (38%), ST1 (31%),	1 483	Renova (67%), Göteborg Energi (28%)	515
6. Norrköping	1 958	E.ON (87%)	256	BillerudsKorsnäs (58%), E.ON (26%),	1 702
7. Timrå	1 957	SCA (98%)	60	SCA (100%)	1 897
8. Mönsterås	1 894		0	Södra (100%)	1 894
9. Piteå	1 790	SmurfitKappa (48%), SCA (48%)	25	SmurfitKappa (61%), SCA (39%)	1 765
10. Slite	1 744	Cementa (~100%)	1 570	Cementa (100%)	174
11. Varberg	1 725	Södra (70%)	10	Södra (100%)	1 715
12. Gävle	1 441	BillerudsKorsnäs (100%)	18	BillerudsKorsnäs (74%), Bomhus Energi (18%)	1 423
13. Grums	1 200	BillerudsKorsnäs (100%)	27	BillerudsKorsnäs (100%)	1 173
14. Karlshamn	1 158	Södra (40%), AAK (35%)	20	Södra (94%), AAK (6%)	1 138
15. Älvkarleby	1 156		0	StoraEnso (100%)	1 156
16. Lysekil	1 110	Preem (100%)	1 110		0
17. Stenungsund	913	Borealis (69%), Perstorp (13%), Nouryon (10%)	913		0
18. Malmö	823	SYSAV (57%), Norcarb Engineered Carbons (23%), E.ON (19%)	444	SYSAV (93%)	379
19. Kiruna	641	LKAB (95%)	574	Kiruna Kraft (100%)	67
20. Skövde	559	Cementa (89%)	476	Skövde Energi (78%), Cementa (22%)	83

Källor: baserat på data från Naturvårdsverket, 2019

¹ Siffror baserat på alla CO₂ källor (även källor under 30kton). Kartan visar bara källor över 30kton.

Fullständig mappning av tillgänglig koldioxid

Biogena och fossila källor till CO₂ i norra Sverige Sfär indikerar storlek av utsläppskällan, 2019



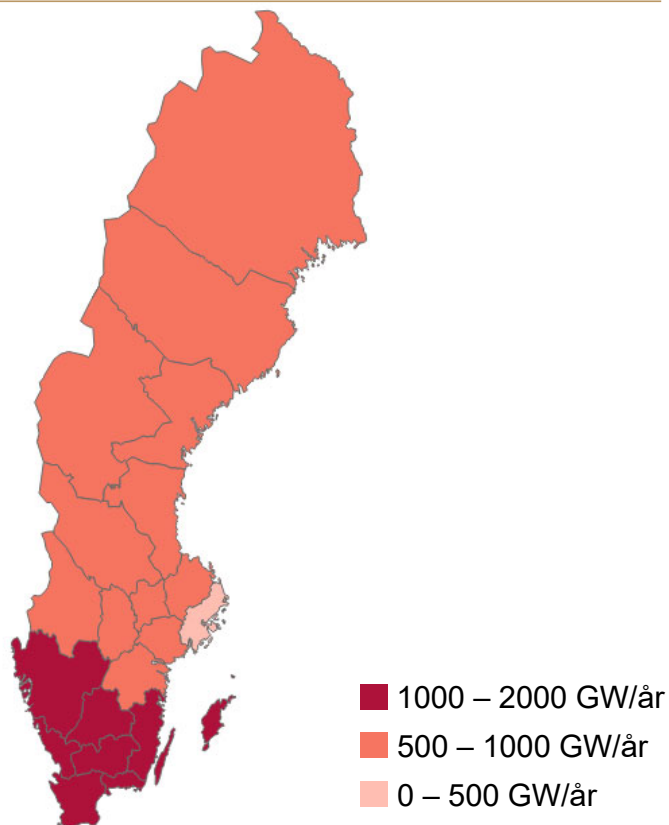
Plats	Totala CO ₂ (kton) ¹	Företag (Fossila)	Fossila CO ₂ (kton) ¹	Företag (Biogena)	Biogena CO ₂ (kton) ¹
1. Luleå	3 292	SSAB (55%), Lulekraft (44%)	3 292		0
2. Stockholm	2 221	Stockholm Exergi (100%)	586	Stockholm Exergi (100%)	1 635
3. Oxelösund	2 153	SSAB (100%)	2 153		0
4. Örnsköldsvik	2 039	Metsä Board (48%), Övik Energi (46%)	109	Metsä Board (62%), Domsjö Fabriker (27%), Övik Energi (11%)	1 930
5. Göteborg	1 998	Preem (38%), ST1 (31%),	1 483	Renova (67%), Göteborg Energi (28%)	515
6. Norrköping	1 958	E.ON (87%)	256	BillerudsKorsnäs (58%), E.ON (26%),	1 702
7. Timrå	1 957	SCA (98%)	60	SCA (100%)	1 897
8. Mönsterås	1 894		0	Södra (100%)	1 894
9. Piteå	1 790	SmurfitKappa (48%), SCA (48%)	25	SmurfitKappa (61%), SCA (39%)	1 765
10. Slite	1 744	Cementa (~100%)	1 570	Cementa (100%)	174
11. Varberg	1 725	Södra (70%)	10	Södra (100%)	1 715
12. Gävle	1 441	BillerudsKorsnäs (100%)	18	BillerudsKorsnäs (74%), Bomhus Energi (18%)	1 423
13. Grums	1 200	BillerudsKorsnäs (100%)	27	BillerudsKorsnäs (100%)	1 173
14. Karlshamn	1 158	Södra (40%), AAK (35%)	20	Södra (94%), AAK (6%)	1 138
15. Älvkarleby	1 156		0	StoraEnso (100%)	1 156
16. Lysekil	1 110	Preem (100%)	1 110		0
17. Stenungsund	913	Borealis (69%), Perstorp (13%), Nouryon (10%)	913		0
18. Malmö	823	SYSAV (57%), Norcarb Engineered Carbons (23%), E.ON (19%)	444	SYSAV (93%)	379
19. Kiruna	641	LKAB (95%)	574	Kiruna Kraft (100%)	67
20. Skövde	559	Cementa (89%)	476	Skövde Energi (78%), Cementa (22%)	83

Sources: baserat på data från Naturvårdsverket, 2019

¹ Siffror baserat på alla CO₂ källor (även källor under 30kton). Kartan visar bara källor över 30kton.

Appendix: 2009 fanns ca 6.3 TWh spillvärme varav ca hälften användes i fjärrvärmenätet – mycket kan ha hänt sedan dess

Teoretisk potential för spillvärme från svensk industri fördelad på NUTS områden, GWh/år 2009



NUTS område	Län	Restvärme potential (GWh/år)
SE0A	Hallands, Västra Götaland	1000 - 2000
SE04	Blekinge, Skåne	1000 - 2000 ¹
SE09	Kronoberg, Gotland, Jönköping, Kalmar	1000 - 2000 ¹
SE06	Värmland, Dalarna, Gävleborg	500 - 1000
SE02	Uppsala, Södermanland, Östergötland, Örebro, Västmanlands	500 - 1000
SE08	Västerbotten, Norrbotten	500 - 1000
SE07	Västernorrland, Jämtland	500 - 1000
SE01	Stockholm	0 - 500

Sources: Waste heat from industries and public premises (In Swedish: Spillvärme från industrier och lokaler), S. Grönkvist et al., 2009, KTH Royal Institute of Technology (sida 78)

¹ Kompletterades med data från SOU 2011:44 Fjärrvärme och fjärrvärmemarknad idag, 2011, (sida 175) för NUTS områden SE04 (750GWh för Södra i Karlshamn, Mörrum, Blekinge län och 417GWh för Kemira Kemi i Helsingborg, Skåne län) och SE09 (1000GWh för Södra i Mönsterås, Kalmar län)

D1-4: Accessible urban waste heat, ReUseHeat, WP1, Task 1.2, Deliverable 1.4, 2018 (sidor 84-85)

Agenda

- 1. Inledning
- 2. Vägar till koldioxidneutralitet för IKEM:s medlemmar
- 3. Behov och förutsättningar för att nå netto-noll
- **Appendix**
 - Detaljerade kartor
 - Ytterligare källor

Kemisk återvinning- länkar

OMRÅDE	LÄNKAR
Avfall Sverige	https://www.avfallsverige.se/aktuellt/nyhetsarkiv/artikel/okande-mangder-plastavfall/
Industrial Transformation 2050 - Pathways to Net-Zero Emissions from EU Heavy Industry	https://materialeconomics.com/publications/industrial-transformation-2050
Resource-effective and circular plastics flows – The role of Plastic in a circular society A sector report from the IVA project Resource Effectiveness and the Circular Economy (ReCE)	https://www.iva.se/globalassets/bilder/projekt/resurseffektivitet-och-cirkular-ekonomi/202002-iva-rece-branschrapport-plast-english-b.pdf
Neste successfully completed its first industrial-scale processing run with liquefied waste plastic in Finland	https://www.neste.com/releases-and-news/plastics/neste-successfully-completed-its-first-industrial-scale-processing-run-liquefied-waste-plastic
Taking the european chemical industry into the circular economy excutive summary	https://www.accenture.com/us-en/_acnmedia/PDF-45/Accenture-CEFIC-Report-Exec-Summary.pdf
Chemical Recycling: Greenhouse gas emission reduction potential of an emerging waste management route	https://cefic.org/app/uploads/2020/12/CEFIC_Quantis_report_final.pdf
Virtual Exhibition on Chemical Recycling	https://cefic.org/a-solution-provider-for-sustainability/chemical-recycling-making-plastics-circular/
EUROTEX ReHubs	https://euratex.eu/news/rehubs/ https://euratex.eu/wp-content/uploads/Recycling-Hubs-FIN-LQ.pdf

CCU - länkar

OMRÅDE	LÄNKAR
Miljö- och energidepartementet	https://www.regeringen.se/4a0f72/contentassets/7175eecb87cc40b2bc6725c7cd3f7ab1/kompletterande-atgarder-for-att-na-negativa-utslapp-av-vaxthusgaser-dir.-201870
International Energy Agency	https://www.iea.org/reports/ccus-in-clean-energy-transitions/a-new-era-for-ccus#growing-ccus-momentum
The Potential for CCS and CCU in Europe	https://ec.europa.eu/info/sites/info/files/iogp_-_report_-_ccs_ccu.pdf
Low carbon energy and feedstock for the European chemical industry	https://dechema.de/dechema_media/Downloads/Positionspapiere/Technology_study_Low_carbon_energy_and_feedstock_for_the_European_chemical_industry.pdf
The challenges of the CCU industry	https://setis.ec.europa.eu/publications/setis-magazine/carbon-capture-utilisation-and-storage/challenges-of-ccu-industry
Perstorp Project AIR	https://www.perstorp.com/en/news_center/pressreleases/2020/perstorp_producing_sustainable_methanol
Steelanol	http://www.steelanol.eu/en
Bilder:	https://www.globalccsinstitute.com/resources/ccs-image-library/
Phoenix initiative	Hemsida: https://www.phoenix-co2-valorisation.eu/ Sammanfattande presentation: https://www.phoenix-co2-valorisation.eu/lw_resource/datapool/systemfiles/agent/news/6F241C8DF24248FFE0539A695E86D604/live/document/Roth_ACHE_MA_180608_final.pdf

Restvärme - länkar

OMRÅDE	LÄNKAR
EU-översikt om restvärme	https://www.reuseheat.eu/wp-content/uploads/2019/02/D1.4-Accessible-urban-waste-heat.pdf
Waste heat from industries and public premises (In Swedish: Spillvärme från industrier och lokaler)	https://www.researchgate.net/publication/273118925_Waste_heat_from_industries_and_public_premises_In_Swedish_Spillvarme_fran_industrier_och_lokaler
Betänkande: Fjärrvärme i konkurrens	https://www.regeringen.se/49bbac/contentassets/16997649e2184e9a9b0f234869f1b042/fjarrvarme-i-konkurrens-sou-201144

CCS - länkar

OMRÅDE	LÄNKAR
Teknologisk färdplan	IEA, "Technology Roadmap - Carbon Capture and Storage in Industrial Applications UNITED NATIONS" (2011)
Slutförvar	https://www.globalccsinstitute.com/wp-content/uploads/2018/12/Global-CCS-Institute-Fact-Sheet_Geological-Storage-of-CO2.pdf
Teknologier	Rosa M. Cue´llar-Franca, Adisa Azapagic, "Carbon capture, storage and utilisation technologies: A critical analysis and comparison of their life cycle environmental impacts" (2014).
Kostnader/status:	Decarbonization of industrial sectors: the next frontier, McKinsey 2018
Bilder:	https://www.globalccsinstitute.com/resources/ccs-image-library/
Samlade rapporter	https://www.globalccsinstitute.com/resources/publications-reports-research/ Exempelvis: "The Global status of CCS 2017"
Kostnad cement, ammoniak	Industrial Transformation 2050 – Pathways to net-zero emissions from EU heavy industry, Material Economics 2019
Kort, enkel förklaring	https://www.iva.se/globalassets/bilder/projekt/vagval-klimat/201904-iva-vagval-for-klimatet-delrapport1-n_ver2.pdf sidan 11

Vätgas – länkar och rapporter

OMRÅDE	RAPPORT	LÄNKAR
Vätgasproduktion, kostnader, teknologier	Dechema 2017, Low carbon energy and feedstock for the European chemical industry	https://dechema.de/dechema_media/Downloads/Positionspapiere/Technology_study_Low_carbon_energy_and_feedstock_for_the_European_chemical_industry.pdf
Vätgasens framtid och roll i Europa	Material Economics 2020, Mainstreaming Green Hydrogen in Europe	https://materialeconomics.com/publications/mainstreaming-green-hydrogen-in-europe
Aktuellt om vätgas i Europa, länkar till forskning etc		https://hydrogeneurope.eu/
Fullständig teknologigenomgång	IEA 2019, The future of hydrogen	https://webstore.iea.org/download/direct/2803
Teknik och priser	BloombergNEF 2020, Hydrogen Economy Outlook Key messages	https://data.bloomberglp.com/professional/sites/24/BNEF-Hydrogen-Economy-Outlook-Key-Messages-30-Mar-2020.pdf