

COP30 som vendepunkt

NTNU og SINTEFs faglige råd



COP30
BRASIL
AMAZÔNIA
BELÉM 2025



SINTEF og NTNU på COP30

NTNU og SINTEF deltar sammen på FNs klimatoppmøte COP30 – verdens viktigste møteplass for internasjonalt klimaarbeid. Som RINGO-observatør (Research and Independent NGOs) har vi en tredelt rolle, vi skal **formidle forskning** som støtter bærekraftsmålene både globalt og nasjonalt, **bidra med kunnskap** til klimaforhandlerne og andre aktører gjennom å dele status og innsikt, og **fremme bærekraftige løsninger** innen klima og energi.

Gjennom utdanning, forskning og teknologiutvikling bidrar NTNU og SINTEF til å løse store samfunnsutfordringer. Vårt felles mål er å støtte en kunnskapsbasert omstilling til et bærekraftig samfunn - i Norge og internasjonalt.

Bidragsytere

SINTEF

Hagbart Skage Alsos
Rahul Anantharaman
Ida Aursand
Michaël Becidan
Ana K Carvajal
Paul Inge Dahl
Marte Gammelsæter
Stefania Gardarsdottir
Gard Hansen
Atle Harby
Maren Istad
Trond Johnsen
Kristin Jordal
Ingeborg Kaus
Erlend Sandø Kiel
Gerd Kjølle
Konstanze Kölle
Shradda Mehta
Steffen Møller-Holst
Mona Mølnvik
Petter Neksa
Anneli Alatalo Paulsen
Gunhild Reigstad
Nils Røkke
Petter Røkke
Judit Sandquist
Morten Seljeskog
Øyvind Skreiberg
Gaute Stokkan
Julian Straus
Kyrre Sundseth
Petter Støa
Nina Støa-Aanensen
Judith Thomsen
Fride Vullum-Bruer
Kathrin Weber
Kristina Norne Widell

NTNU

Thomas Alan Adams II
Rolee Aranya
Erin Bachynski
Tor Haakon Bakken
Odne Stokke Burheim
Pedro Crespo del Granado
Arild Gustavsen
Armin Hafner
Raquel S. Jorge
Magnus Korpås
Trond Kvamsdal
Leif Lia
Frank Mausest
Michael Muskulus
Kaveh Niayesh
Philip Ringrose
Anita Romsdal
Frode Seland
Sverre Steen
Anders Strømman
Ann Mari Svensson
Asgeir Tomasgard
Steve Völler
Marcos D.B. Watanabe

Redaksjon

Karoline Ski
Anne Steenstrup-Duch

Innhold

1

Samarbeid med
det globale sør

2

Bærekraftig
kjøling

3

Karbonfangst,
transport og -lagring
(CCS)

4

Karbonfjerning
(Carbon Dioxide
Removal, CDR)

5

Kortlevde
klimadrivere

6

Kutte
metangassutslipp

7

Kutte
SF₆-utslipp

8

Strømforsyning
og energisystem

9

Energieffektivisering
i industrien

10

Hydrogen

11

Vannkraft og
energilagring

12

Batterier

13

Havvind

14

Sol

15

Maritim
transport

16

Klimanøytrale,
energieffektive
bygninger, områder
og smarte byer

17

Bioenergi

18

Sirkulær
bioøkonomi

Et utvalg globale SINTEF- og NTNU-prosjekt



1. Brasil, Spania og Canada

Prosjekt: InterOpt

SINTEF og NTNU med partnere, utvikler optimaliseringsmodeller for fornybarbransjen globalt. InterOpt skal sammen med partnere i Brasil, Spania og Canada forske på hvordan maskinlæringsmetoder kan optimalisere produksjon av fornybar energi i de ulike markedene.

2. Nepal

Prosjekt: EnergizeNepal

Forskere fra NTNU og SINTEF har gjennom flere tiår hjulpet nepalske myndigheter og fagpersoner med å utvikle bærekraftig vannkraft. EnergizeNepal er et kompetansebyggende prosjekt for å oppskalere fornybart i Nepal.

3. India

Prosjekt: INDEE+

INDEE+ har som mål å få kjøle og klimaanleggsektoren i India til å bruke mer miljøvennlig teknologi. NTNU leder og SINTEF er forskningspartnere i prosjektet.

4. Sørøst-Asia

Prosjekt: OPTOCE

Gjennom prosjektet har SINTEF bidratt til å redusere tilsiget av plast-forurensning til verdenshavene gjennom å etablere en sirkulær verdikjede hvor plast samles og brukes som innsatsfaktor i sementindustrien.

5. Europa

Prosjekt: ACCESS

ACCESS skal bidra til drastiske kutt i industrielle CO₂-utslipp og netto fjerning av CO₂ fra atmosfæren (CDR). Prosjektet, som ledes av SINTEF, retter seg mot sektorer som papir og sementindustri, avfallsforbrenning og bioraffinering.

6. Europa

Prosjekt: MISSION

MISSION er et EU-prosjekt som utvikler tre SF₆-frie strømbryterteknologier for mellom- og høyspenning. Prosjektet inkluderer 12 partnere fra 9 europeiske land, og ledes av SINTEF.

7. Kina

Prosjekt: CHEERS

EU-prosjektet CHEERS, som ble ledet av SINTEF, har vi vært med på å bygge verdens største grønne forbrenningsanlegg (4 MW) som utnytter metoden kjemisk sirkulasjonsforbrenning (CLC). CO₂-fangst inngår som en naturlig del av forbrenningen og blir derfor nær 70 prosent billigere enn andre fangstmetoder.

8. Afrika

Prosjekt: OpenMod4Africa

Det EU-finansierte prosjektet OpenMod4Africa, skal bidra til bærekraftige, pålitelige og konkurransedyktige energisystemer i Afrika, og er ventet å ha en betydelig innvirkning på kontinentets fremtidige energilandskap. Prosjektet har som mål å utvikle regional kompetanse, et sett av åpne modeller og scenarier for langsiktig utvikling av energisystemet i 26 land i Afrika. Prosjektet ledes av SINTEF.

COP30 som vendepunkt

Asgeir Tomasgard, NTNU og Nils Røkke, SINTEF

COP30 i Belém, Brasil, markerer et avgjørende år for gjennomføringen av Parisavtalen. Vi er allerede inne i tiåret hvor de globale utslippene må nå toppen og begynne å falle dersom vi skal ha en reell sjanse til å opprettholde Parisavtalens intensjoner.



Samtidig ser vi at vi har hatt et helt år med 1.5 grader oppvarming i forhold til før-industriell tid, vi har passert 430 ppm CO₂ i atmosfæren som av flere påpekes som et tap av 1.5 graders målet. Nye studier (production gap report) viser at det er planer om å produsere mye mer fossile brensler og derav utslipp enn det karbonbudsjettet vi står igjen med for å holde oss innenfor Parisavtalen. Samtidig skal de samme landene levere nye og mer ambisiøse nasjonalt fastsatte bidrag (Nationally Determined Contribution - NDC) mot 2035, og oppfølgingen av resultatene fra den første globale gjennomgangen (Global Stocktake) er i gang. Dette gapet mellom planer og ambisjoner viser hvor krevende denne transisjonen er og hvor sent vi er ute for å adressere klima, natur og arealbrukskrisen. Det står også i kontrast til COP28 slutterklæringen som sier «Transitioning away from fossil fuels in energy systems, in a just, orderly and equitable manner, accelerating action in this critical decade, so as to achieve net zero by 2050 in keeping with the science».

Det må dog ikke forhindre oss i å arbeide hardt for å ta igjen forspranget krisen(e) har på oss, fremtiden vil bare bli bedre av en samlet kraftfull innsats.

COP28 erklæringen sier også «Tripling renewable energy capacity globally and doubling the global average annual rate of energy efficiency improvements by 2030». Her er det progresjon til tross for geopolitiske omveltninger eller kanskje på grunn av geopolitiske endringer. Asia leder nå an i utviklingen av fornybar energi og grønne løsninger, som beskrevet i blant annet Draghi rapporten. Regionen investerer tungt og langsiktig, og ser forbi kortsiktige markedssvingninger. Man kan med rette hevde at dette skjer i «non-market economies» men det er realiteten vi må forholde oss til.

Som forsknings- og teknologinasjon med tung kompetanse innen energi og klima har Norge både et ansvar og en mulighet til å bidra internasjonalt. Vår egen historie viser at reguleringer og hensyn til klima og miljø er reelle konkurransefortrinn for vår økonomi selv om det oppfattes konkurransehemmende i første instans. Eksempler som fåkingsforbud, bygging av gassrørledningsnettverk, strenge krav til diffuse utslipp og en egen skatt på utslipp fra petroleumssektoren har styrket og ikke svekket vår posisjon. Vi står nå i et veiskille og nye grep må tas.

I forhandlingene bør vi løfte fram kapasitetsbygging, forskning, innovasjon og teknologi som en integrert del av klimainnsatsen. Det innebærer å ta initiativ til partnerskap for energiomstilling, særlig med land i det globale sør, og å støtte forpliktende mål for både fornybar energi og energieffektivisering i slutterklæringen fra COP30. Norge bør også bidra aktivt til implementeringen av Global Stocktake gjennom egne tiltak, og være en pådriver for åpenhet og vitenskapsbaserte beslutninger.

COP30 blir en test på om Parisavtalen fortsatt har tillit. For første gang skal nye klimamål utformes med utgangspunkt i den globale gjennomgangen. Norge bør være en pådriver for at forhandlingene gir oss konkrete løsninger og partnerskap som virker globalt. En kraftfull innsats fra Norge betinger også et løft på innsatsen i Norge etter flere år med reduksjon i forskningsinnsatsen på kritiske områder for energi og klimateknologiske løsninger samt internasjonalt samarbeid.

Trondheim, 28. oktober 2025

For å lykkes må vi

Øke klimafinansieringen, både gjennom dagens ordninger og nye mekanismer mot målrettede tiltak.

Dele kunnskap og teknologi, slik at alle land får tilgang til de beste og tilpassede løsningene.

Bli enige om standarder og rammeverk for å måle, rapportere og kontrollere utslippskutt.

Hva trengs for å nå 1,5°C og hva Norge kan gjøre

Tredoble den globale kapasiteten for fornybar energi og doble den årlige forbedringstakten for energieffektivitet innen 2030.

→ Norge bør støtte en slutterklæring på COP30 som forplikter land til konkrete mål for fornybar energi og energieffektivisering, og viser til hvordan kunnskap og teknologi skal bidra til å oppnå dem.

Akselerere innsatsen mot nedtrapping av kullkraft uten klimarensingsteknologi.

→ Norge bør arbeide for sterkere språk om utfasing av kull i slutterklæringen, og støtte ordninger for rettferdig overgang i land som er avhengige av kull. Nye kullkraftverk er ikke forenlig med Paris avtalens målsetting.

Fremskynde den globale innsatsen for å nå netto nullutslipp i energisektoren, gjennom tidlig og effektiv bruk av null- og lavkarbonbrenslers.

→ Norge kan vise til egne erfaringer med integrasjon av fornybar energi og satse på partnerskap om teknologiutvikling med det globale sør.

Sikre at overgangen fra fossile brenslers i energisystemer skjer på en rettferdig og ordnet måte.

→ Norge bør bidra til å forankre prinsippet om rettferdig overgang i COP30-slutterklæringen, med vekt på sosial og økonomisk utvikling i sårbare land.

Akselerere null- og lavutslippsteknologier, inkludert fornybar energi, karbonfangst og -lagring, og lavkarbon hydrogenproduksjon.

→ Norge bør løfte fram forskning og utvikling som en del av klimafinansieringen, og vise hvordan teknologier som CCS, hydrogen, havvind kan skaleres raskt.





Vesentlig redusere ikke-CO₂-utslipp globalt, med særlig vekt på metan, innen 2030.

→ Norge bør støtte en utvidelse av Global Methane Pledge til en bredere avtale om kortlevde klimadrivere (SLCPs).

Akselerere reduksjonen av utslipp fra veitransport og maritim transport gjennom ny og forbedret infrastruktur og utrulling av nullutslippskjøretøy og -fartøy.

→ Norge kan dele erfaringer med elektrifisering av transportsektoren og satse på internasjonalt samarbeid om infrastruktur og markeder. Norge er i særstilling på det maritime området innen nærskipfart og passasjertransport.

Avvikle ineffektive subsidier til fossilt brensel så snart som mulig.

→ Norge bør støtte et tydelig budskap i COP30-sluttklæringen om utfasing av fossile subsidier, og bidra til å definere hvilke ordninger som er legitime (som energifattigdom, rettferdig overgang).

Være en pådriver for at det skal være samsvar mellom planlagt produksjon og bruk av fossile brenslers med et større ansvar for scope 3 i hvert land.

→ Utslipp fra fossile brenslers kan i noen grad reduseres avhengig av sektor det brukes i. EU sin «take-back» obligation kan brukes som en mal for en tilsvarende ordning globalt; at produsenter må stille til rådighet kapasitet til å ta imot CO₂ forårsaket fra bruken av produktene.

Hva trengs for å nå 1,5°C og hva Norge kan gjøre

Samarbeid med det globale sør

1



NTNU: Rolee Aranya,

Pedro Crespo del Granado

SINTEF: Kristina Norne Widell, Petter Støa,

Anneli Alatalo Paulsen, Shradda Mehta

For å lykkes med den grønne omstillingen må løsningene tilpasses behovene i lav- og mellominntektsland. Dette krever en helhetlig tilnærming der næringsliv, forskning og myndigheter samarbeider om å utvikle og ta i bruk teknologi som både reduserer utslipp og skaper nye arbeidsplasser.

Anbefalinger

- **Styrk partnerskap mellom næringsliv, forskningsinstitusjoner og myndigheter** for å utvikle klimatilpasset teknologi og kompetanse lokalt.
- **Øk tilgangen til, og redusere risiko knyttet til finansiering for prosjekter i lav- og mellominntektsland**, særlig gjennom innovative finansieringsordninger og offentlig-private samarbeid.
- **Frem åpne plattformer for deling av kunnskap, data og beste praksis** – slik at land i sør kan ta i bruk de mest effektive løsningene uten å gjenta tidligere feil.

Situasjonen i dag

Mange lav- og mellominntektsland har begrenset tilgang til kapital, teknologi og kompetanse som trengs for å gjennomføre en rettferdig grønn omstilling. Samtidig er disse landene ofte hardest rammet av klimaendringene og mest avhengige av naturressurser som står under press. Uten målrettet støtte og inkluderende samarbeid risikerer verden å forsterke ulikhetene mellom nord og sør.

Flere sektorer er særlig viktige for samarbeid med det globale sør, både fordi de har stort potensial for utslippskutt og fordi de er direkte knyttet til utviklingsmål.

Matsystemet står for rundt en tredjedel av de globale klimagassutslippene, og mange lav- og mellominntektsland er store produsenter og eksportører av mat. Samtidig er matsikkerheten i disse landene truet av klimaendringer, tap av biologisk mangfold og ineffektiv transport.

Energisektoren preges ofte av manglende tilgang til ren energi, noe som hemmer både helse, utdanning og økonomisk utvikling. Dette gjelder infrastruktur knyttet til produksjon og distribusjon både på nasjonalt og lokalt nivå.

Helsesektoren er sårbar for klimaendringer og har behov for robuste, utslippsfrie løsninger, særlig innen kjøling, transport og energiforsyning.

Plastforurensning er et økende problem, og mange land mangler systemer for innsamling og gjenvinning, samtidig som de rammes hardest av plast i naturen.

Løsning

Løsningen ligger i å bygge sterke, inkluderende innovasjonsnettverk som kombinerer global kunnskap med lokal erfaring. Ved å investere i teknologioverføring, utdanning og bærekraftig industriutvikling kan vi skape reell endringskraft i land med utviklingsbehov, og samtidig bidra til globale utslippskutt.

Samarbeid bør rettes mot nøkkelsektorer der klima og utvikling møtes:

- I matsystemet kan investeringer i klimavennlig produksjon, kontrollert kjølekjede og redusert matvinn gi store gevinster.
- I energisektoren kan lokal produksjon av fornybar energi og energieffektive løsninger gi umiddelbar effekt for de som har minst, parallelt med at sentrale løsning fremmer industriell verdiskaping på nasjonalt nivå. Begge bidrar til betydelige utslippskutt og fremmer flere bærekraftsmål (SDG).
- I helsesektoren kan samarbeid bidra til utvikling av robuste helsesystemer som tåler klimaendringer, samtidig som de reduserer utslipp. Dette inkluderer bruk av klima- og miljødata til å forutsi klimadrevne sykdomsutbrudd og styrke beredskap ved klimakriser (f.eks. logistikk av medisinsk utstyr), tilgang til ren energi for helseinstitusjoner, klimavennlig medisinsk utstyr, bærekraftige løsninger for avfallshåndtering, og telemedisin som reduserer transportrelaterte utslipp.

- Innen håndtering av plastavfall kan sirkulære modeller og teknologi for innsamling og gjenvinning redusere utslipp og miljøbelastning.

Det er avgjørende å bygge videre på finansierings- og samarbeidsmodeller som allerede har vist god effekt, og som fremmer åpen kunnskapsdeling, lokal kompetansebygging og inkluderende innovasjon. Samtidig må vi sikre at land i sør får muligheten til å hoppe over de klimabelastende fasene som preget industrialiseringen i nord. Erfaringene fra høyinntektsland viser at kortsiktige løsninger og fossilbasert vekst gir langvarige miljøkostnader og dette må ikke gjentas.

Prosjekter i det globale sør bør derfor utformes slik at de gir flere gevinster samtidig: redusert klimapåvirkning, vern av naturressurser, styrket lokal økonomi og bedre levekår for befolkningen. Når klimainnsatsen knyttes tettere til utviklingsmål, kan resultatene bli mer varige og mer rettferdige.

COP30 bør derfor sette søkelys på rettferdig teknologiutvikling og finansiering, slik at alle land kan delta i omstillingen uten å gjenta fortidens feil.



Bærekraftig kjøling

2



NTNU: Armin Hafner

SINTEF: Petter Nekså, Kristina Norne Widell

Kjøling og oppvarming er to sider av samme sak, begge er avgjørende deler av et moderne samfunn. Enten det gjelder komfortkjøling av bygninger, nedkjøling og lagring av mat, lagring av vaksiner eller oppvarming gjennom varmepumper er disse teknologiene helt sentrale både for klimatilpasning og for å redusere utslipp. Med økende temperaturer globalt og et voksende behov for termisk komfort og matsikkerhet, må vi satse på løsninger som er energieffektive, klimavennlige og trygge for fremtiden.

Anbefalinger

- **Prioriter naturlige kuldemedier ved offentlige anskaffelser.** Løsninger basert på CO₂, NH₃, hydrokarboner og damp bør kreves tilbudt i alle anbud.
- **Innfør strenge grenser for GWP.** Innfør en utfasing av fluor-baserte medier i henhold til EUs F-gas forordning og styrk forskning som bidrar til å utvikle løsninger basert på naturlige kuldemedier.
- **Etabler incentiver som sikrer innsamling og destruksjon av alle fluor-baserte kuldemedier,** også PFAS-baserte som ikke omfattes av dagens GWP-baserte returordning.
- **Moderniser standarder for brennbare medier** slik at større fyllingsmengder av hydrokarboner kan brukes i kjøleanlegg og varmepumper for bygg og industri.
- **Støtte utvikling av høytemperatur varme-pumper med naturlige arbeidsmedier** som kan levere 100–200 °C prosessvarme og dermed erstatte fossile varmekilder i industrien.
- **Incentiver teknologioverføring og finansiering av bærekraftige kjøleløsninger til LMIC/UMIC** for å redusere utslipp, energibruk og matsvinn globalt.

Situasjonen i dag

Behovet for kjøling øker kraftig som følge av klimaendringer og høyere temperaturer. Ifølge UNEP er bærekraftig kjøling avgjørende både for klimatilpasning og for å redusere klimagassutslipp. Montrealprotokollen (1989) stoppet bruken av ozon-nedbrytende KFK, men erstatningen – HFK – har vist seg å være svært potente klimagasser. Kigali-tillegget (2019) forplikter til en gradvis reduksjon, men utviklingen går for sakte. Ved å gå over til ozon- og klimavennlige alternativer kan vi unngå mer enn en halv grads temperaturøkning på jorda innen utgangen av århundret.ⁱ

En ny utfordring er erstatningsstoffer for HFK, så kalte HFO-er, som har lav GWP (global warming potential) men faller inn under kategorien PFAS (Perfluorerte stoffer). De brytes helt eller delvis ned til TFA (trifluoreddiksyre) som senere akkumuleres i naturen som «evighetskjemikalier». Det finnes foreløpig ingen restriksjoner for disse stoffene, men 5-lands gruppen, hvor Norge deltar sammen med Tyskland, Nederland, Danmark og Sverige, har foreslått å fase ut stoffeneⁱⁱ.

Kjøling er også svært energikrevende. I land med fossilbasert strømproduksjon gir kjøling store indirekte utslipp. Derfor er høy energieffektivitet, varmegjenvinning og overgang til fornybar energi helt avgjørende for bærekraftig kjøling.

Norge har kommet langt, med avgiftssystem for kuldemedier basert på CO₂-prising og GWP, samt returordning som har bidratt til full utfasing av F-gasser i dagligvaresektoren. Likevel gjenstår utfordringer knyttet til PFAS-baserte medier og standarder som begrenser bruken av naturlige, men brennbare kuldemedier.

Løsning

Overgangen til naturlige kuldemedier (CO₂, NH₃, hydrokarboner, vann og luft) gir både klimavennlige og helsemessig trygge løsninger. Disse stoffene finnes naturlig i biosfæren, har ingen ozon- eller klimaeffekt og er godt dokumenterte i norsk og internasjonal forskning. Å møte behovene for kjøling på en bærekraftig måte kan hjelpe over en milliard mennesker med klimatilpasning og redusere kostnadene knyttet til energitransisjonen fra fossile brensler til fornybare energikilder med anslagsvis 3,5 billioner dollar innen 2030, ifølge UNEP. Mange av landene, spesielt lavinntektsland (A5), kan hoppe direkte over fra HKFK og HFK stoffer til bærekraftige alternativer, uten å gå via midlertidige og kostbare løsninger som må fases ut om få år.

En viktig del av løsningen er å utvikle teknologier for varmepumper og kjøleanlegg som kan erstatte fossile varmekilder til romoppvarming eller industrielle prosesser. Hydrokarboner (HC) og andre naturlige medier er svært godt egnet til dette formålet, men dagens standarder begrenser kapasiteten, spesielt for brennbare medier. Utvikling og tilpasning av standarder som tillater større fyllingsmengder er derfor nødvendig for å utnytte dette potensialet. I tillegg bør det legges vekt på å integrere systemer for utnyttelse av overskuddsvarme, som kan bidra til å redusere energibehovet ytterligere og forberede total energi-effektivitet.

I tillegg til å erstatte potente klimagasser og direkte utslippskutt, kan naturlige kuldemedier også bidra til en energibesparelse. For supermarkeder som bruker CO₂ som kuldemedium, er det blitt demonstrert en reduksjon av strømforbruket på omtrent 35 prosent gjennom å integrere alle behovene for kjøling, frysing, oppvarming og klimakjøling i samme anlegg. Over 150 000 slike anlegg er nå i drift globalt, og flere norske dagligvarekjeder har klart å fase ut sin bruk av F-gasser på gjennom dette.

Et annet eksempel er fiskefartøy, hvor fisken må kjøles eller fryses. I store deler av den globale fiskeflåten brukes fortsatt HKFK 22, som både har ozonnedbrytende effekt og er en betydelig klimagass, mens man i Norge stort sett bare bruker naturlige kjølemedier (NH₃ og CO₂). Med enkle effektive kjøleanlegg kan man opprettholde kvaliteten og sikre mye mat, som trengs til en økende befolkning. Ser man på langtransport med kjølte varer i kjølecontainere (reefer containers) så brukes også stort sett HFK-er til dette. Her er et stort potensial for forbedring, hvis man utvikler og tar i bruk effektive kjølesystemer med CO₂ eller hydrokarboner.

Karbonfangst, transport og -lagring (CCS)

3



NTNU: Philip Ringrose

SINTEF: Mona Mølnvik, Gunhild Reigstad

CCS er en nøkkelteknologi for å nå nullutslipp innen 2050. Den er særlig viktig i sektorer som ikke kan elektrifiseres raskt, som sement, metall og avfall. Norge har en unik posisjon med høy kompetanse, etablert infrastruktur og store lagringsmuligheter for CO₂ på sokkelen, og kan derfor bidra både nasjonalt og internasjonalt til utvikling og oppskalering av CCS.

Anbefalinger

- **Sats på CCS som klimaløsning.** Bruk CCS i sektorer som ikke kan dekarboniseres med andre metoder innen rimelig tid.
- **Klargjør begreper i klimaforhandlingene.** Definer «unabated fossil fuels» tydelig med krav til rask rensing og høy rensegrad basert på beste tilgjengelige teknologi.
- **Utvid utfasing til flere kilder.** Inkluder utslipp fra prosessindustri og fossile innsatsfaktorer, ikke bare brensler, i utfasing av urensede utslipp.
- **Forplikt oljeproduserende land.** Still krav om at land med store fossile ressurser også tilbyr CO₂-lagring i tråd med eksporterte utslipp.
- **Etabler rammer for grensekryssende lagring.** Lag internasjonale standarder for transport og lagring av CO₂ mellom land for å sikre skalering.
- **Utvikle nye forretningsmodeller.** Styrk samarbeid mellom industri, forskning og offentlig kapital for å få fart på oppskalering.

Situasjonen i dag

CCS omfatter teknologi for å fange CO₂, transportere den og lagre den trygt i geologiske formasjoner. Ifølge IPCC er CCS nødvendig i nesten alle scenarier som når klimamålene i Paris-avtalen. CCS er den eneste teknologien som kan dekarbonisere enkelte industrier, som sement- og kalkproduksjon, avfallsforbrenning og noen av prosessene for metallproduksjon. I sektorer som er krevende å dekarbonisere (f.eks. aluminium), vil CCS være avgjørende for å kunne oppnå netto null innen 2050.

For at CCS skal bli en løsning for å bremse klimaendringene må det tilrettelegges for transport og lagring av store mengder CO₂; flere gigatonn hvert år innen 2050. For å klare det må det utvikles standarder og forutsigbarhet slik at CO₂ kan flyte i et nettverk mellom ulike operatører og over landegrenser. Her må politikerne finne den best mulige balansen mellom regulering og frie markedskrefter. CCS er også en helt nødvendig løsning for å kunne

produsere rent hydrogen fra naturgass, såkalt blått hydrogen eller lavkarbon hydrogen. Permanent lagring av CO₂ kan bidra til å realisere hydrogen-infrastrukturen på en kostnadseffektiv måte, som igjen vil støtte overgangen til en fornybar energifremtid.

Realisering av CCS forutsetter at industrien er dypt engasjert i forskningsprosjekter som utvikler de praktiske og kostnadseffektive løsningene som trengs. Nye forretningsmodeller må utvikles for å sikre at implementeringen skjer så raskt som overhodet mulig. Verken stater eller bedrifter kan løse klimakrisen alene, det vil være behov for tilskudd av både offentlig og privat kapital.

Til tross for at CCS er en relativt moden teknologi med et stort potensial, går implementering og oppskalering for langsomt. For eksempel har Norge lagret omtrent 1 millioner tonn CO₂ over 10 år via Sleipner og Snøhvit, mens utslippene fra bruk av eksportert norsk gass er om lag 315 millioner tonn årlig. Dette viser et stort misforhold mellom tiltak og behovet for å oppfylle klimamålene.

Den norske kontinentalsokkelen har et enormt potensial for CO₂-lagring. Interessen for å utvide CO₂-lagring fra hydrokarbonsektoren er derfor høy, men finansieringsmekanismen for disse nye prosjektene er imidlertid svært usikker. Forskning er også nødvendig for å støtte gunstig bruk av lagringsressurser når flere prosjekter er i drift, inkludert effektene av trykkforstyrrelser mellom prosjekter.

Løsning

CCS kan i prinsippet rense nær 100 prosent av CO₂-utslippene fra bruken av fossile materialer, det være seg brenslers slik som kull, olje eller andre prosesser hvor man frigjør fossilt eller biogent CO₂. Selv om teknologien er moden, vil økonomiske insentiver som høyere kvotepriser være avgjørende for å øke fangstgraden.

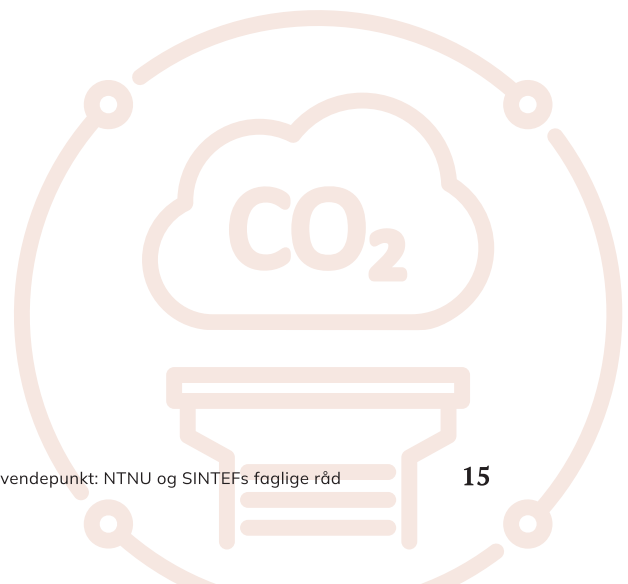
Selv med stor framgang innen produksjon av fornybar energi og energieffektivisering, vil det være nødvendig med CCS-teknologier for å redusere utslipp fra sektorer som er vanskelig å dekarbonisere som tungindustri og energiproduksjon fra fossile brenslers. CCS gir også et viktig grunnlag for CO₂-fangstløsninger fra for eksempel biobaserte prosesser (BECCS), direkte

fangst fra atmosfæren (Direct Air Capture/DAC), eller vann. I tillegg til fossile kilder kan CCS brukes til å fange CO₂ fra biobaserte prosesser, som biogass og avfallsforbrenning, noe som kan gjøre disse prosessene klimapositive.

Norge er en pioner innen CCS-teknologi, med snart 30 års erfaring med sikker lagring og transport på Sleipner-feltet, og 17 år på Snøhvit-feltet knyttet til Melkøya. Fangst og transport av CO₂ er sammenlignbart med annen prosessindustri, og omfatter håndtering av en gass som hverken er eksplosjonsfarlig eller giftig i normale konsentrasjoner. Grundig kartlegging og overvåkning av lagringsstedene under og etter drift er avgjørende for å sikre trygg og permanent lagring.

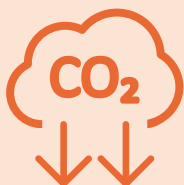
Northern Lights-prosjektet, som er en del av Langskip, representerer Europas første storskala lagringsknutepunkt for CO₂. I fase 1 vil prosjektet transportere og lagre opptil 1,5 millioner tonn CO₂-utslipp fra ulike anlegg industrianlegg på fastlandet. Northern Lights har som mål å lagre 5 millioner tonn CO₂ under havbunnen hvert år i neste fase, med mulighet til ytterligere utvidelse til nærliggende geologiske formasjonerⁱⁱⁱ. Heldigvis har Northern Lights allerede startet fase 2, noe som bekrefter stor interesse for ytterligere CO₂-fangst. Langskip gir oss en mal for hvordan partnerskap mellom offentlige og private kan fungere for å lukke gapet mellom pilotprosjekter og fullskala implementering. Offentlige investeringer på et tidlig stadium gjør det mulig for bedrifter å bli med på CCS-omstillingen og reduserer total-kostnaden i det lange løp.

Samlet sett er CCS et nødvendig verktøy for å kutte utslipp, sikre industrien en fremtid i en lavutslipps-økonomi og bidra til at verden når netto null innen 2050.



Karbonfjerning (Carbon Dioxide Removal, CDR)

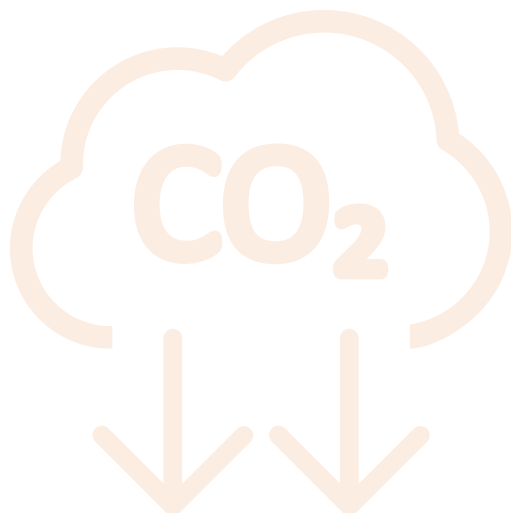
4



NTNU: Philip Ringrose

SINTEF: Kristin Jordal

Utslippskutt alene er ikke nok for å nå netto null innen 2050. Vi må også fjerne CO₂ fra atmosfæren og lagre den trygt. Dette kan gjøres både med naturbaserte løsninger og teknologier som BECCS (bioenergi med karbonfangst og -lagring) og DAC (direkte fangst fra luft). Begge er allerede demonstrert i Norden og vil spille en nøkkelrolle i fremtidens klimapolitikk.



Anbefalinger

- **Løft CDR i klimaforhandlingene.** Finn den riktige balansen og rollen til karbonfjerning som en nøkkel for utslippskutt.
- **Definer nivåer og roller.** Avklar hva som menes med «hard to abate emissions» og sett klare mål for kombinasjonen av kutt og CDR.
- **Sett kvantitative mål.** Etabler konkrete mål for karbonfjerning (negative utslippsteknologi), både for naturbaserte og teknologiske løsninger.
- **Sett nasjonale mål.** Norge bør etablere et mål på minst 500 000 tonn CO₂-fjerning årlig innen 2030 og bygge tilsvarende lagringskapasitet på sokkelen.
- **Standardiser metoder.** Utarbeid internasjonale regler for verifikasjon, måling og rapportering av CDR.
- **Øk finansieringen.** Krev at land med store historiske utslipp bidrar økonomisk til utvikling og implementering av CDR-løsninger.

Situasjonen i dag

Karbonfangst og -lagring (CCS) kutter utslipp fra fossile kilder, men fjerner ikke karbon som allerede er sluppet ut. For å stabilisere klimaet må vi også trekke CO₂ ut av atmosfæren, hav og jord og lagre det permanent, såkalt karbonfjerning (CDR), slik at det ikke slipper tilbake i kretsløpet^v.

De klimagassene vi allerede har sluppet ut har ført til en atmosfærekonsentrasjon av CO₂ som har passert 420 ppm, langt over det førindustrielle nivået på 280 ppm. Ved 450 ppm risikerer vi å overskride 2 graders oppvarming, noe som vil gi alvorlige og irreversible klimaendringer. IPCC anslår at vi må fjerne rundt 6 milliarder tonn CO₂ årlig globalt for å holde oppvarmingen under 1,5 grader.

En særlig utfordring er at enkelte sektorer er svært vanskelige å dekarbonisere. Dette gjelder blant annet landbruk, tungindustri, og langdistanse transport som fly og skipsfart. Disse sektorene vil

sannsynligvis fortsatt generere utslipp selv i 2050, til tross for betydelige teknologiske fremskritt.

Samtidig er utvikling av CDR på etterskudd. Det finnes få insentiver internasjonalt for å fremme slike løsninger, og det mangler både standarder for måling og verifisering av fjernet karbon. Det finnes få internasjonale insentiver, og det mangler standarder for måling, verifisering og rapportering. USA og Sverige har implementert CDR-politikk, men CDR er fortsatt svakt forankret i internasjonale klimaforhandlinger.

Det er viktig å huske at potensialet for CDR er begrenset. Mengden biomasse som kan brukes for CDR begrenses av hensyn til naturmangfold og arealbruk, mens fjerning av CO₂ direkte fra luft (eller fra sjøvann) er meget energikrevende. Det vil alltid være mindre energikrevende å fange og lagre CO₂ fra en energiintensiv industri enn å fange og lagre CO₂ direkte fra luft eller sjøvann. Det er alltid mer effektivt å hindre utslipp enn å fjerne dem i etterkant, men CDR vil være nødvendig som supplement til utslippskutt, spesielt i kombinasjon med eksisterende CCS-infrastruktur.

Løsning

FN og IPPC er tydelige på at det er nødvendig å fjerne store mengder CO₂ fra atmosfæren og havet for å begrense den globale oppvarmingen og oppfylle målene i Parisavtalen. For å realisere dette trenger vi bærekraftige, kostnadseffektive og målbare løsninger, støttet av forskning, innovasjon og internasjonalt samarbeid.

CDR må bli en del av de internasjonale klimaforhandlingene, og det må utarbeides veiledende retningslinjer og standardisering når det gjelder verifikasjon, måling og rapportering. FN må ta internasjonalt lederskap på dette området, for å sikre at utviklingen blir bærekraftig og rettferdig.

Det er behov for økt finansiering av forskning og utvikling av nye CDR-teknologier og løsninger for å få frem teknologi og løsningene vi trenger for å realisere fjerning av CO₂ og andre klimagasser. De landene som historisk sett har stått for de største utslippene må øke innsatsen og sette av finansiering som øremerkes til utvikling av nye løsninger.

Norge bør ta initiativ til at CDR løftes opp i de internasjonale klimaforhandlingene, og at det tydeliggjøres hvilken rolle CDR skal spille. Det er så langt ikke direkte kvantifisert noen konkrete separate mål for hvor mye fossile CO₂-utslipp som må kuttes og hvor mye karbon som må fjernes gjennom CDR. De sektorene hvor det ikke vil være mulig å gjennomføre utslippsreduksjon fra må også defineres.^v

Når det gjelder Norge, har Miljødirektoratet sett på ulike scenarier, og bruker 1 million tonn/år som et eksempel for å anslå behovet i Norge i 2030. Dette er et relativt nytt område med stort behov for forskning og innovasjon – og det haster. Norge er ledende i utvikling av CCS-løsninger, og vi har et godt utgangspunkt for å benytte oss av synergier mellom CCS og CDR også ta lederskap i utviklingen av CDR-teknologi. Det er tilrådelig å styrke samarbeidet med andre nordiske land (Sverige, Danmark og Island) som også er aktive i utviklingen av CDR-teknologi.

Kortlevde klimadrivere

5



NTNU: Anders Strømman

SINTEF: Øyvind Skreiberg

Kortlevde klimadrivere (SLCFs) er stoffer som blir værende i atmosfæren i kort tid – fra dager til tiår – men som likevel har stor effekt på klimaet. Noen, som metan og svart karbon (sot), bidrar til oppvarming, mens andre partikler kan ha en kjølede effekt. Samlet sett har disse utslippene stor betydning for både klima, luftkvalitet og helse. Å redusere utslippene av kortlevde klimadrivere er derfor en viktig del av det grønne skiftet.

Anbefalinger

- **Reduser utslipp fra forbrenning.** Forbedre teknologi, prosesskontroll og automatisering i småskala anlegg for å redusere utslipp fra både fossile og fornybare brensler.
- **Reduser utslipp fra utvinning, produksjon og distribusjon av fossile brensler og materialer** samt reduser utslipp fra transportsektoren og distribusjon av drivstoff
- **Forbedre håndteringen og utnyttelsen av alle avfallsstrømmer** for å minimere utslipp og maksimere materialutnyttelse og sirkularitet.
- **Styrk kunnskapsgrunnlaget.** Øk forskningen på effekten av kortlevde klimadrivere.
- **Forbedre klimamodeller.** Sørg for at modeller inkluderer både oppvarmende og kjølede drivere, og at effektene vurderes separat for hver komponent.
- **Utvikle politikk og teknologi.** Etabler klare krav, støtt innovasjon og sørg for tiltak som reduserer menneskeskapte utslipp av kortlevde klimadrivere til et akseptabelt nivå innen 2050.

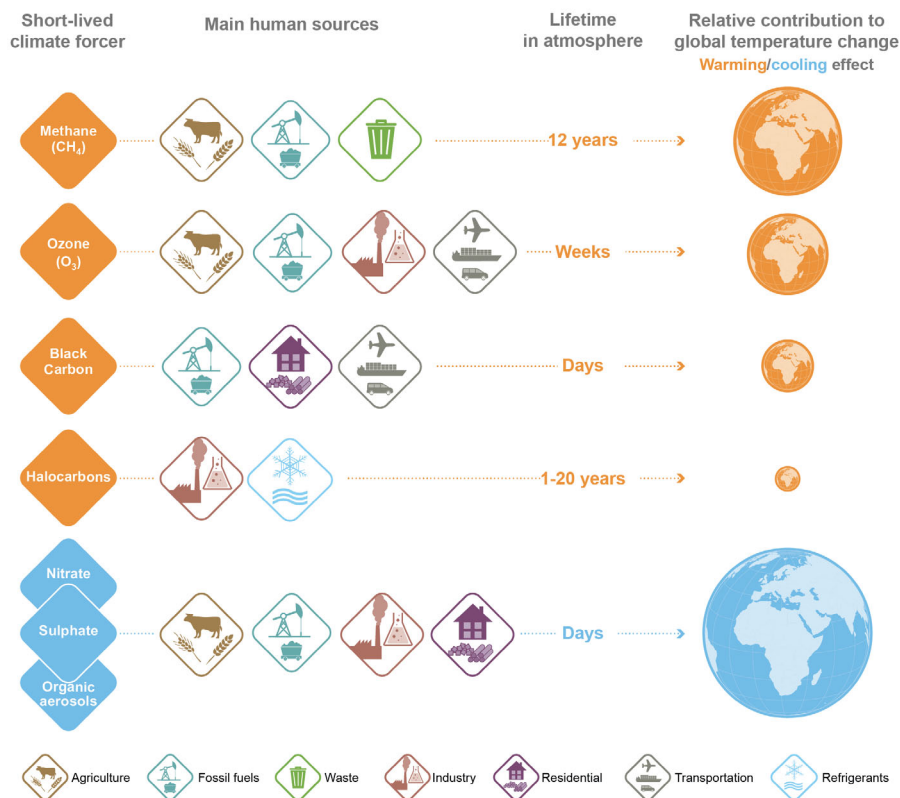
Situasjonen i dag

Menneskeskapte kortlevde klimadrivere kommer fra energiproduksjon, fossile og fornybare brensler, utvinning, produksjon og distribusjon av fossile brensler, prosessindustri, avfallshåndtering, landbruk, næringsvirksomhet og husholdninger, og fra transport på land, til sjøs og i luften. Global oppvarming medfører også en økning i naturlige kilder av kortlevde klimadrivere, f.eks. på grunn av flere og større skogbranner.

Noen partikler, som sulfater og nitrater, kjøler ned atmosfæren ved å reflektere sollys. Andre, som svart karbon (sot), gir oppvarming, særlig når de legger seg på is og snø og reduserer refleksjon av sollys. I tillegg bidrar gasser som metan (CH₄), nitrogenoksider (NO_x), flyktige organiske forbindelser (NMVOC) og karbonmonoksid (CO) til dannelsen av bakkenær ozon (O₃) som er en kraftig klimagass. Metan er den viktigste av de kortlevde drivhus-

FAQ 6.1: What are short-lived climate forcers and how do they affect the climate?

Short lived climate forcers do not remain for very long in the atmosphere, thus an increase or decrease in their emissions rapidly affects the climate system.



Kilde: <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/chapter/chapter-6/>

gassene og har lengre levetid enn de andre. Den omtales derfor mer inngående i eget kapittel.

IPCC har kortlevde klimadrivere på agendaen og det utarbeides i disse dager en rapport om kortlevde klimadrivere^{vi} som skal hjelpe land med å inkludere dem i sine nasjonale utslippsregnskap. Mange land mangler gode data for disse utslippene, noe som gjør det vanskelig å modellere effektene på global oppvarming og luftkvalitet. I motsetning til CO₂, avhenger effekten av SLCFs også sterkt av regionale forhold og hvor utslippene skjer.

Løsning

Reduksjon av utslipp fra kortlevde klimadrivere er nødvendig både for å bedre luftkvalitet og for å redusere den raske oppvarmingen vi ser i dag. Fordi de forsvinner raskt fra atmosfæren, vil tiltak gi raske klimaeffekter.

Tiltakene må spenne bredt – fra energieffektiv forbrenning og renere teknologi i transport og industri, til bedre avfallshåndtering og redusert bruk av fossile brensler. Forbrenningsprosesser må optimaliseres, lekkasjer i verdikjeder for fossile brensler må tettes, og bruk av forurensende brensler i husholdninger og småskala industri må fases ut.

Samtidig må kunnskap og overvåking styrkes. Vi trenger bedre data for å forstå hvor utslippene kommer fra, og hvordan de påvirker klima og helse. Klimamodeller må inkludere både oppvarmende og kjølende drivere for å gi mer presise framskrivninger.

Med et helhetlig fokus på teknologi, kunnskap, politikk og sirkulær ressursbruk kan vi redusere kortlevde klimadrivere til et nivå som er bærekraftig for både klima og helse og oppnå raske, målbare gevinster i kampen mot global oppvarming.

Kutte metangassutslipp



NTNU: Anders Strømman

SINTEF: Julian Straus, Rahul Anantharaman,
Gunhild Reigstad

Metan er den nest viktigste klimagassen etter CO₂ og står for rundt 0,5 °C av dagens oppvarming. Utslippene kommer hovedsakelig fra landbruk, avfall og fossil energi, og har et svært høyt oppvarmingspotensial på kort sikt. Rask reduksjon av metan gir umiddelbar klimaeffekt.

Anbefalinger

- **Gjør «Global Methane Pledge» forpliktende.** Utvid avtalen i samarbeid med industrien (OGCI) med nullvisjon for tekniske utslipp.
- **Styrk kunnskapen om lavkonsentrasjonskilder.** Invester i forskning på teknologier som kan fjerne metan fra landbruk, rismarker og naturmiljøer.
- **Reduser metanutslipp fra olje og gass.** Innfør strengere krav til overvåking, rapportering og bruk av beste tilgjengelige teknologi for å hindre lekkasjer.
- **Gi økonomiske insentiver.** Bruk avgifter og regulering slik at det blir billigere å investere i utstyr enn å slippe ut metan.
- **Utvikle teknologi for konvertering.** Støtt løsninger som kan omdanne metan fra lavkonsentrasjonskilder til CO₂ eller metanol.

Situasjonen i dag

Atmosfærisk metan er den nest viktigste klimagassen etter CO₂ som påvirker global oppvarming. Ifølge den sjette vurderingsrapporten fra IPCC, har metanutslipp fra alle menneskelige aktiviteter bidratt med omtrent 0,5 °C til den observerte globale oppvarmingen. Metan har 30 ganger høyere oppvarmingseffekt enn CO₂ over 100 år, og over 80 ganger høyere i et 20-årsperspektiv.

Metanutslipp utgjør omtrent 14 prosent av klimagassutslippet i EU^{vii}, 10 prosent i Norge^{viii} og 11 prosent i USA (målt i et 100-års-perspektiv^{ix}). Disse utslippene er hovedsakelig drevet av landbruksaktiviteter, avfallshåndtering, og utvinning og bruk av fossilt brensel som olje og gass og kull.

Metanutslipp fra olje- og gassvirksomhet kan oppstå i ulike deler av verdikjeden og man må skille mellom konvensjonelle reserver og skifergass/oljesand. Dette skyldes delvis lekkasjer og delvis valg av teknologier som ventiler som opererer med hydraulisk løsninger som slipper ut metan. U.S. Environmental Protection Agency (EPA) har undersøkt forskjellige kilder til metanlekkasjer fra tekniske

installasjoner, og mange teknologier bidrar til disse utslippene^x.

Selv om metanutslipp fra olje- og gassindustrien samt landbruk og kjøttproduksjon har fått størst oppmerksomhet, kommer en betydelig del av metanutslippene globalt fra risdyrking. Ris er basismat for halvparten av verdens befolkning, og produksjonen er kilden til halvparten av verdens utslipp av metan fra dyrket mark. En annen kilde til metanutslipp som også er viktig, er myrområder. Det er svært utfordrende å fjerne metan fra lavkonsentrasjonskilder fordi konsentrasjonen av metan er 5-200 ganger lavere enn CO₂ i luft.

Analyser og satellittmålinger viser også at metan utslipp er underrapport^{xi}. Det gjør det vanskeligere å få et nøyaktig bilde av problemet. En rapport fra FNs miljøprogram om metan^{xii} viser at å kutte metanutslippene med 45 prosent i dag kan redusere oppvarmingen med 0,28 °C ved midten av århundret – og bidra til å holde verden på fortsatt kurs mot målet om mindre enn 2 °C global oppvarming.

Løsning

USA og EUs lanserte «Global Methane Pledge» (GMP) under COP26 med mål om å redusere globale metanutslipp med 30 prosent innen 2030 fra 2020 nivå. Avtalen har skapt oppmerksomhet, men er frivillig. For å få reell effekt må landene gjøre løftene bindende og etablere nasjonale mål og rapporteringssystemer. EUs regulering av metanutslipp fra energisektoren^{xiii} er viktig for å få en bedre oversikt over metanutslipp og for å få bedriftene til å reparere lekkasjer så raskt som mulig.

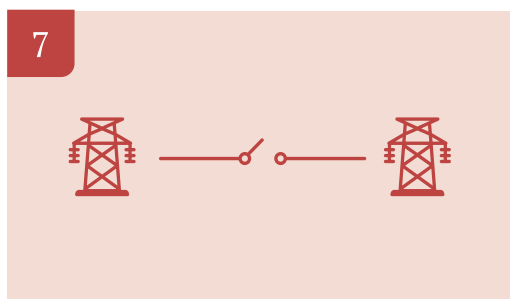
Teknologisk er potensialet stort: Ifølge IEA kan man redusere om lag 35 % av metanutslippene fra olje- og gassindustrien med eksisterende, lønnsomme løsninger^{xiv}. Norge har allerede svært lave lekkasjer, blant annet på grunn av metanskatt og strenge HMS-krav^{xv}. En av de viktigste faktorene for å

oppnå dette er at investeringer i teknisk utstyr er billigere en prisen for utslipp.

Mens reduksjon av metanutslipp fra olje- og gassindustrien er et lavhengende tiltak som kan oppnås med eksisterende teknologi, må vi også fjerne metan fra relativt lavkonsentrasjonskilder for å oppnå reduksjonsnivåer som kan gi en betydelig innvirkning på klimaet. Det utvikles teknologier for å konvertere metan fra disse lavkonsentrasjonskildene til CO₂ eller metanol, men teknologiene er i tidlige utviklingsstadier.



Kutte SF₆-utslipp



NTNU: Kaveh Niayesh, Frank Mausest

SINTEF: Marte Gammelsæter, Nina Støa-Aanensen

SF₆ er den kraftigste klimagassen vi kjenner til, med et oppvarmingspotensial 24 300 ganger høyere enn CO₂ i et 100-årsperspektiv. Gassen har en levetid i atmosfæren på minst tusen år. Bruken i elektriske anlegg og forsvarsindustri gir langvarige utslipp som kan bli mangedoblet med global elektrifisering. Uten raske tiltak vil problemet vokse betydelig.

Anbefalinger

- **Innfør global rapporteringsplikt.** Krev registrering av anskaffelser, bruk og utslipp av SF₆ i alle sektorer, inkludert forsvar.
- **Krev tiltak for å redusere utslipp.** Innfør standardiserte krav til håndtering av SF₆ gjennom hele livsløpet fra produksjon, bruk, til destruksjon.
- **Bruk avgifter som virkemiddel.** Innfør enhetlige avgifter på SF₆ globalt for å begrense bruken og stimulere til alternativer.
- **Planlegg utfasing.** Sett en global tidslinje for å fjerne SF₆ fra nye og eksisterende anlegg.
- **Utvikle alternativer.** Øk forskningen på nye teknologier som kan erstatte SF₆ i elektriske anlegg på alle spenningsnivå.
- **Støtt retrofill-løsninger.** Utvikle metoder for å erstatte SF₆ i eksisterende anlegg med alternative gasser for raskere avviking.

Situasjonen i dag

SF₆ er den sterkeste klimagassen vi kjenner til med 24 300^{xvi} ganger så høyt globalt oppvarmingspotensial (GWP) som CO₂ og en levetid i atmosfæren på minst 1000 år. SF₆ har tidligere hatt vide bruksområder, men i dag er bruken i stor grad begrenset til isolasjonsgass i elektriske koblingsanlegg og diverse formål i forsvarsindustrien.

SF₆ er brukt i nesten alle elektriske koblingsanlegg (effektbrytere, gassisolerte koblingsanlegg, kabelendemuffer etc.) på distribusjons- og transmisjonsnivå (mellom- og høyspenning). Det har vært jobbet systematisk med å redusere lekkasjer av SF₆ fra elektrisk utstyr over mange år, men for nettselskaper er dette likevel deres største enkeltkilde til direkte klimagassutslipp. Særlig er havarier eller menneskelig feil i forbindelse med installasjon og reparasjon kilder til omfattende utslipp.

Etter hvert som verden elektrifiseres, ventes strømmettet globalt å mer enn dobles innen 2050^{xvii}. Hvis denne utbyggingen skjer med dagens teknologi, kan mengden installert SF₆ mange-dobles. Dette gjelder særlig land utenfor Europa, hvor elektrifiseringen skjer raskt.

EU har lagt en plan for utfasing av SF₆ i nye elektriske anlegg innen 2032^{xviii} gjennom den nye F-gass-forordningen, og California har innført lignende tiltak. Flere alternative teknologier er nå tilgjengelige, men implementeringen går sakte fordi løsningene for de høyeste spenningsnivåene har kommet sent og er dyrere enn tradisjonell SF₆-teknologi.

Bruk av SF₆ i forsvarsindustrien er lite omtalt både når det gjelder bruksområder og volumer da det ikke rapporteres til offentlige registre. Manglende åpenhet gjør det vanskelig å få oversikt over totale utslipp og hindrer helhetlig regulering.

Løsning

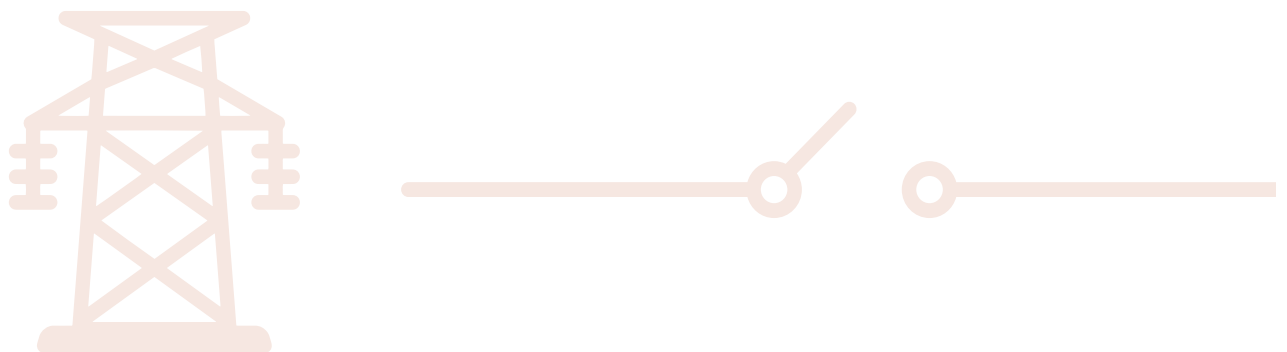
Europa har ledet an globalt med å stille krav til minimering av lekkasjer fra elektriske anlegg via obligatorisk sertifisering av de som jobber med SF₆, samt rapportering av anskaffelser, tap og

avhending av gass, i tillegg til utfasing av SF₆ for nye anlegg. I Norge er SF₆ kraftig avgiftsbelagt som et insentiv for redusert bruk og utslipp^{xix}. Tilsvarende ordninger bør innføres globalt. Slik vil vi få en samlet oversikt over omfanget av negativ klimapåvirkning som følge av SF₆, samt redusere bruken.

Forskning på alternative teknologier til SF₆-fylte elektriske anlegg må intensiveres samtidig som det legges til rette for standardisering og erfarings-utveksling mellom brukere og leverandører. Det er, og bør være, strenge krav til forsyningsikkerhet, og ny teknologi må være like pålitelig som den gamle.

Forskning på hvordan man kan bruke alternative gasser til "retrofill" av eksisterende SF₆-fylte anlegg er svært viktig for å få fortgang i avviklingen av SF₆ da det vil ta lang tid å skifte ut eksisterende SF₆-isolert infrastruktur med ny teknologi.

Rapportering av bruk av SF₆ i forsvarsindustri og forskning på egnede alternativer er også viktig for å få en helhetlig oversikt over bruk og utslipp av SF₆.



Strømforsyning og energisystem

8



NTNU: Magnus Korpås, Pedro Crespo del Grandao

SINTEF: Gerd Kjølle, Erlend Sandø Kiel, Maren Istad

Strømnettet er ryggraden i energiomstillingen. Samtidig opplever mange land, inkludert Norge, mangel på både produksjons- og nettkapasitet. Elektrifisering, ny fornybar kraft og økende forbruk skaper nye driftsmønstre som utfordrer forsyningssikkerheten. For å lykkes må vi ta i bruk smarte nett, fleksible løsninger, lokal produksjon og økt motstandsdyktighet i hele energisystemet.

Anbefalinger

- **Investert i smarte nett og ta i bruk fleksibilitet i produksjon, forbruk og energilager.** Prioriter forskning og utvikling på digitale og automatiserte løsninger og bruk av fleksibilitet for rask kapasitetsøkning og reduserte naturinngrep.
- **Moderniser driftskriteriene.** Gå over til mer fleksibel, risikobasert nettdrift som utnytter kapasiteten bedre og gir en bedre balanse mellom forsyningssikkerhet og kostnader.
- **Legg til rette for lokale energisamfunn.** Gi forbrukere, produsenter og lokalsamfunn insentiver til å bidra med lokal produksjon og fleksibilitet for strømnettet.
- **Forbedre insentivene.** Utvikle regelverk og prissignaler som reflekterer reelle kostnader, rettferdig fordelt, som bidrar til en bedre utnyttelse av strømnettet.
- **Sikre motstandsdyktighet i strømforsyningen.** Skaffe ny kunnskap om hvordan endringene i energisystemet påvirker forsyningssikkerheten, og hvordan vi kan øke risikoforståelse, redusere sårbarheter og jobbe med beredskap, gjennom samarbeid både nasjonalt og på tvers av landegrensene.

Situasjonen i dag

Med økende elektrifisering, står både Europa og verden overfor betydelige utfordringer med å sikre en motstandsdyktig, fleksibel og bærekraftig strømforsyning. Strømnettet vil være ryggraden i fremtidens energisystem og det vil kreve storstilte investeringer og modernisering for å klare å tilknytte store mengder fornybar- og distribuert kraftproduksjon samt nytt elektrisitetsforbruk i industri, transport og andre sektorer, som tiltak for å redusere klimagassutslippene.

Ifølge DNV, vil behovet for nettkapasitet globalt øke med en faktor på 2,5 og det årlige investeringsbehovet vil mer enn doubles innen 2050.^{xx} Økt variabel kraftproduksjon som vind og sol, skaper

større behov for fleksibilitet slik at vi kan balansere produksjon og forbruk. Dagens strømnnett har ofte ikke tilstrekkelig kapasitet verken til å tilknytte store mengder nytt forbruk eller til å håndtere store mengder variabel fornybar energi, noe som fører til flaskehalser, økte priser, manglende nettilknytning og risiko for strømbrudd.

Elektrifiseringen med ny fornybar kraftproduksjon og nye typer forbruk gir endringer i driftsmønstre og økte belastninger på både kraftsystemet og komponentene. Klimaendringer øker sannsynligheten for naturkatastrofer. Geopolitiske spenninger medfører nye trusler mot energiforsyningen i form av fysiske og digitale angrep, og sårbare forsyningskjeder.

Det globale energisystemet blir mer komplekst med fornybare energikilder, digitalisering og nye aktører som fleksibilitetsleverandører og lokale energisamfunn. Forsinket nettutbygging og mangel på nettkapasitet kan bremse overgangen til lav-utslippssamfunnet, og true oppnåelsen av klimamålene. Alt i alt fører nye trusler og påkjenninger, økt kompleksitet, usikkerhet og uforutsigbarhet til et forsterket behov for økt motstandsdyktighet i energisystemet.

Løsning

Løsningen ligger i et smartere, mer fleksibelt og robust strømnnett. Digitalisering og automatisering gjør det mulig å overvåke og styre nettet i sanntid. Ved hjelp av sensorer, datadrevne beslutningssystemer og kunstig intelligens kan vi optimalisere driften, forebygge feil og øke kapasiteten uten store fysiske utbygginger.

Dagens konservative N-1-praksis som brukes av alle systemoperatører i Europa krever reserver for å håndtere feil i enkeltkomponenter. Dette bør suppleres med mer fleksible, risikobaserte kriterier som balanserer forsyningsikkerhet og samfunnsøkonomiske kostnader.

Vi må også fremme lokale løsninger som utnytter fleksibilitetsressurser. Fleksibel kraftproduksjon, lagring og forbruk, både hos enkeltbrukere og i lokale energisamfunn, kan bidra til å balansere systemet, redusere flaskehalser og frigjøre nettkapasitet. Slike løsninger gir også lokal verdiskaping og kan redusere presset på sentralnettet.

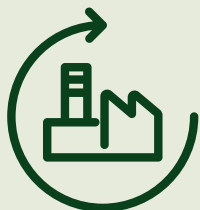
Det er også nødvendig å utvikle bærekraftige nettkomponenter som koblingsanlegg, kabler og transformatorer som tåler fornybar energiproduksjon og batteriladning samt mer ekstremvær. Produksjonen av disse må skje med lavere bruk av kritiske råmaterialer.

Det globale elektrisitetsbehovet dobles fram mot 2050 og det skal investeres massivt i nytt nett de neste årene globalt^{xxi}. Da blir det enda viktigere å øke nettkapasiteten i eksisterende nett. Ved å digitalisere strømnettet, ta i bruk nye teknologier og utnytte fleksibilitet er det mulig å øke nettkapasiteten i dagens nett med minst 20-25 prosent.

Motstandsdyktighet i strømforsyningen forutsetter god forståelse av hvordan endringer i energisystemet påvirker forsyningsikkerheten. Det krever helhetlige risikovurderinger, tiltak for å redusere sårbarheter og styrket beredskap. Det er også avgjørende at dette er basert på koordinert innsats mellom myndigheter, industri og forskningsmiljøer, både nasjonalt og internasjonalt.

Energieffektivisering i industrien

9



NTNU: Armin Hafner, Thomas Alan Adams II

SINTEF: Petter Røkke, Petter Nekså,

Kristina N. Widell

Energieffektivisering er nøkkelen til en vellykket grønn omstilling. Industrien står for en betydelig andel av verdens energibruk, og hvert tiltak som reduserer forbruket kutter både utslipp og kostnader. For å nå klimamålene må tempoet opp – og energieffektivisering må settes først, i tråd med forpliktelsene fra COP28.

Anbefalinger

- **Systematisk energikartlegging.** Etablere krav til industrien om å identifisere og prioritere tiltak som gir bedre utnyttelse eller energibesparelser.
- **Del beste praksis.** Oppdater og ta i bruk dokumenterte løsninger for energieffektivisering på tvers av sektorer.
- **Gi økonomiske insentiver.** Støtt innføring av ny teknologi og prosesser som øker effektiviteten og reduserer utslipp i Norge, samt bidra til teknologiutvikling og -overføring til LMIC land.
- **Sikre rettferdige konkurransevilkår.** Legg til rette for at lavutslipps- og energieffektive teknologier kan konkurrere med fossile alternativer, samt like vilkår for utnyttelse av forskjellige energibærere (strøm og varme).
- **Frem innovasjon og teknologiutvikling.** Prioriter forskning og utvikling av nye teknologier og komponenter for optimal ressursbruk.
- **Lag langsiktige planer og veikart.** Etabler strategier for klimanøytral industri gjennom tett samarbeid mellom kunnskapsmiljø, næringsliv, myndigheter og energiselskaper.

Situasjonen i dag

Økt energieffektivitet er det første og viktigste tiltaket i enhver dekarboniseringsstrategi. Den reneste og rimeligste energien er den som ikke produseres. Til tross for stor teknologisk utvikling har industrien fortsatt et betydelig potensial for bedre energitutnyttelse, både i selve produksjonsprosessene og ved bruk av overskuddsvarme. Industrielle aktører bør derfor kartlegge sin energibruk slik at de kan sette inn de mest effektive tiltakene. Økt effektivitet i industriell produksjon og nye metoder for gjenvinning av energien som blir til overs, er noe av det viktigste vi kan gjøre for at industrien skal kunne utnytte energiresursene enda mer effektivt og dermed også redusere klimaavtrykket, nasjonalt og internasjonalt.

Tiltak for å bruke overskuddsvarme mer effektivt gir både bedriftsøkonomisk og samfunnsmessig gevinst. Men mange energieffektive teknologier har høye utviklings- og investeringskostnader. Derfor trengs økonomiske insentiver som gjør det lønnsomt for industrien å velge langsiktige løsninger fremfor kortsiktige gevinster.

På COP28 ble det slått fast at forbedringen i global energieffektivitet må dobles; fra 2 til 4 prosent per år innen 2030. Samtidig ble prinsippet om at energieffektivisering skal være den første energikilden fremhevet som grunnlag for politikk, planlegging og investeringer.^{xxii}

Den store og åpenbare fordelen med økt energieffektivitet i industrien er at den øker verdiskapningen i verdikjeden ved å redusere energibruk hos enkeltaktører. Derfor har The US Department of Energy's «Industrial Decarbonization Roadmap»^{xxiii} satt industriell energieffektivitet som det første av fem-punkter i sin strategi for å dekarbonisere industrisektoren. Det Internasjonale Energibyrået (IEA) sier i sin Net Zero by 2050 rapport at det energieffektivisering må til for å redusere energibehovet med 7 prosent innen 2030^{xxiv}.

I Norge fastslår «Veikart for grønt industriløft» at Norge skal ha verdens reneste og mest energieffektive prosessindustri^{xxv}. Energi21 strategien peker på avkarbonisering av industrien, energisikkerhet og utvikling av nye grønne industrier som tre hovedutfordringer^{xxvi}. Redusert energibehov gjennom å øke energieffektiviteten i industrielle prosesser svarer på alle de tre utfordringene.

Løsning

Forskningssenteret FME HighEff satte søkelys på disse avgjørende, utfordrende og viktige aspektene i kappløpet mot netto null. I juni 2024 publiserte SINTEF Energi sammen med partnere i EERA (European Energy Research Alliance) et White paper^{xxvii} som identifiserer sentrale teknologigap, barrierer, FoU-behov og gir konkrete anbefalinger til beslutningstakere i EU.

Norge og Europa må styrke forskning, innovasjon og industriprosjekter som utvikler energieffektive prosesser, komponenter og systemer samt sirkulærøkonomi, inkludert industrielle klynger, varmepumpeteknologier og varme-til-kraft prosesser.

Det er behov for teknologier som kan fange og utnytte overskuddsvarme på høy temperatur, slik at energi kan brukes på nytt i samme eller andre prosesser. Dette reduserer både energibruk og klimagassutslipp. En viktig del av arbeidet er å sikre en god oversikt over all ressursbruk i industrien, som råstoff, energi og vann, samt å følge krav fra EU om å registrere denne typen data.

I Norge kom Energikommisjonen^{xxviii} med en klar ambisjon om at energieffektivisering i Norge skal frigjøre energi tilsvarende 20 TWh per år fra 2030. Dette tilsvarer 6-7 prosent av det totale norske primærenergiforbruket (315 TWh i 2022, inkl. olje og gass)^{xxix}.

Økt energieffektivisering vil styrke nasjonal og internasjonal energisikkerhet, redusere kostnader for energi og produkter, og hjelpe til med å utvikle robuste industrielle symbioser og sirkularitet i materialstrømmer.

Hydrogen

10



NTNU: Frode Seland

SINTEF: Nils Røkke, Steffen Møller-Holst,
Kyrre Sundseth, Stefania Gardarsdottir

Implementering av hydrogen og dets derivater som energibærere er avgjørende for å nå klimamålene. Som fleksibel og utslippsfri energibærer kan hydrogen redusere utslipp i sektorer der elektrifisering er krevende som tungtransport, maritim sektor og prosess-industri. Etter hvert som andelen vind- og solkraft øker, blir hydrogen avgjørende for å lagre overskuddsenergi og sikre stabil tilgang på energi når produksjonen fra fornybare kilder varierer.

Anbefalinger

- **Sett en høyere pris på karbonutslipp og oppretthold støtteordninger.** Bruk karbonprising og reguleringer for å gjøre det dyrere å forurense, samtidig som støtteordninger for oppskalering av utslippsfri hydrogenproduksjon styrkes.
- **Etabler globale standarder og håndhev gjennomføringen og implementeringen av sentrale regelverk.** Arbeid for en felles internasjonal klassifisering av hydrogen basert på livssyklusanalyser (LCA). Dette gir et transparent og sammenlignbart grunnlag for handel og investeringer.
- **Bygg og skaler opp marked, infrastruktur og etterspørsel.** Etabler overgangsordninger, inklusive offentlig finansiering, som fremmer oppskalering og etterspørsel i en tidlig markedsfase. Fjern regulatoriske barrierer og støtt etablering av nasjonale og internasjonale markeder og geografiske økosystemer som for eksempel Hydrogen Valleys.
- **Reduser metan- og hydrogenutslipp.** Gi incentiver til bruk av beste tilgjengelige teknologi ved utvinning, transport og bruk av naturgass og hydrogen, for å minimere klimaeffekter.
- **Utvikle internasjonale partnerskap.** Styrk samarbeidet med land som ønsker rask implementering av hydrogen gjennom bilaterale avtaler om handel, kombinert med forskning og teknologiutveksling på en teknologinøytral basis. Støtt videreføring av Clean Hydrogen Partnership under FP10 og samarbeidsprosjekter på tvers av landegrensene.
- **Styrk forskning og innovasjon.** Prioriter utvikling av:
 - mer kostnads- og energieffektive elektrolyse-teknologier og lavkarbonproduksjonsteknologier
 - nye løsninger for transport, lagring og sluttbruk i industri og transportsektoren
 - sikkerhet og bærekraft langs hele verdikjeden, inkludert klima- og miljøeffekter og forretningsmodeller for konkurransedyktig implementering i markedet

- Stimuler forskning og innovasjon som sikrer bruk og avtak av hydrogen i små, medium og stor skala.

Situasjonsbeskrivelse

Nesten alt hydrogen som brukes i dag produseres fra fossile kilder uten CCS, noe som bidrar til nesten 1 milliard tonn CO₂ per år på global basis. Hydrogen brukes i dag hovedsakelig i industrielle prosesser som produksjon av ammoniakk, kunstgjødsel samt petrokjemi. Hydrogen brukes stort sett der det produseres, fordi det er et krevende stoff å transportere og lagre. Fremtidig bruk vil omfatte nye industrielle prosesser som produksjon av stål, glass, aluminium og metallegeringer, samt som drivstoff i energikrevende sektorer som maritim sektor, langtransport og muligens luftfart.

Utslippsfritt hydrogen kan produseres ved elektrolyse, mens lavkarbon hydrogen kan fremstilles fra naturgass kombinert med karbonfangst og lagring (CCS). For å nå netto null, må utslippene fra eksisterende hydrogenproduksjon fjernes, samtidig som vi øker produksjonsvolumet betydelig, fra 100 millioner til 400-500 tonn årlig innen 2050^{xxx}.

Land uten tilgang på naturgassressurser vil basere sin hydrogenproduksjon på elektrolyse eller import; dette gjelder Europa, Japan, Korea og flere andre. Naturgassproduserende land kan konvertere naturgass til hydrogen med nær 100 prosent fjerning og lagring av CO₂. Det er spesielt attraktivt for land hvor fornybar kraft er begrenset. De fleste land, inkludert EU, mangler fornybar elektrisitet i de mengder som trengs. EU har i gjennomsnitt 39 prosent fornybar kraft i sin kraftmiks, mens Norge har 97 prosent om vi holder utenfor offshore olje og gassvirksomhet. Inkluderer vi alle sektorer, er den totale energimiksen i Norge omtrent 50 prosent fornybar.

Utviklingen går imidlertid for sakte. Kostnadene for grønt og blått hydrogen er fremdeles høye, etterspørselen lav, og manglende forutsigbarhet har ført til at mange prosjekter er utsatt eller kansellert. Likevel har de globale investeringene økt med rundt 50 % hvert år siden 2020^{xxxi}. Installert og operativ kapasitet for vannelektrolyse i Europa er nå 177 MW_{el}, en økning fra 142 MW_{el} ved utgangen av 2024^{xxxi}. I samme kilde forventes den totale hydrogenetterspørselen å bli

2.3 Millioner tonn i 2030, hvorav 0.6 Millioner tonn blått hydrogen.

Hydrogen kan også gi store gevinster gjennom sektorintegrasjon der produksjon, lagring og bruk samles i geografiske klynger (Hydrogen Valleys). Slike løsninger gir skalafordeler, reduserer kostnader og øker konkurranseevnen.

Løsning

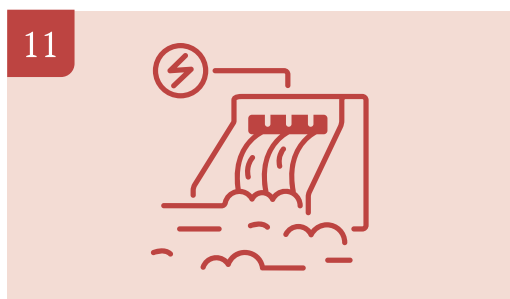
Hydrogen er en nøkkel til lavere CO₂-utslipp dersom vi etablerer rammeverk som gjør det konkurransedyktig mot fossile alternativer. Karbonprising og reguleringer som øker kostnaden for utslipp vil gjøre null- og lavutslippsløsninger mer attraktive, mens støtteordninger for produksjon og bruk kan skape nødvendig etterspørsel.

Strengt krav til utslippsintensitet vil sikre at hydrogen utvikles i takt med fornybar energi og hindrer at løsningen blir en ny kilde til utslipp. Tidlige investeringer i infrastruktur og verdikjeder er avgjørende. Det krever koordinert innsats mellom myndigheter, industri og forskningsmiljøer, samt klare prioriteringer og krav til lønnsomhet og bærekraft.

Å opprettholde bevilgninger til forskning og utvikling er avgjørende for å gjøre hydrogenløsninger mer kostnad- og energieffektive og øke etterspørselen. Et tett samarbeid mellom næringsliv, myndigheter og forskningsmiljøer, kombinert med regionale initiativer og sektor-kobling av prosjekter, vil være nødvendig for å bygge kompetanse og infrastruktur. I tillegg bør land som ønsker rask implementering av hydrogen inngå bilaterale avtaler for å dele teknologi, erfaring og markeder, noe som kan akselerere utviklingen globalt.

Hydrogen er ikke løsningen alene, men et nødvendig verktøy i verktøykassen for å oppnå netto null. Med riktig politikk, teknologi og samarbeid kan det bli en nøkkel i den globale energiomstillingen.

Vannkraft og energilagring



NTNU: Tor Haakon Bakken, Leif Lia

SINTEF: Atle Harby

Vannkraft er den viktigste kilden til fornybar energi globalt og vil få en stadig større rolle i framtidens energisystemer. Etter hvert som vind- og solkraft bygges ut, øker behovet for fleksibel og regulerbar energi. Modernisering og oppgradering av vannkraftverk er avgjørende for å sikre både fleksibilitet, lagringskapasitet og miljøhensyn.

Anbefalinger

- **Øk fleksibiliteten.** Utvikle løsninger som gir mer regulerbar effekt samtidig som miljøhensyn ivaretas.
- **Bygg ut pumpekraft.** Modernisere eksisterende anlegg til pumpekraft for å styrke lagring og systembalansering.
- **Sats på tekniske forbedringer.** Invester i forskning på turbiner, styringssystemer og digital drift.
- **Kartlegg og reduser miljøvirkninger.** Dokumenter effekter på økosystemer og integrer miljøtiltak i oppgraderingene.
- **Tilpass markedsordninger.** Innfør reguleringer og prismekanismer som belønner fleksibilitet og lagring.

Situasjonen i dag

Den globale energiomstillingen vi nå står ovenfor, fordrer at vi klarer å skaffe trygg, bærekraftig energi til en fornuftig kostnad. For å nå målene i Parisavtalen må vi bruke teknologier som allerede finnes, og vannkraft er den mest modne og effektive fornybare energikilden vi har.

Dagens vannkraftsystemer ble i stor grad bygget for et stabilt energisystem med mange fleksible kilder. I framtiden vil energisystemet være langt mer væravhengig, dominert av vind- og solkraft, og samtidig ha mindre lagringskapasitet. Det stiller nye krav til vannkraftens rolle som balanserende og lagrende energikilde.

Mange vannkraftverk i Europa og Nord-Amerika er aldrende og bygget etter eldre standarder. Det er behov for omfattende oppgradering og modernisering for å sikre fremtidig drift, fleksibilitet og miljøhensyn. Samtidig må nye tiltak balanseres mot natur- og lokalsamfunnshensyn.

Løsning

Vannkraft er i dag den klart største kilden til fornybar energi med større produksjon enn fra vind og sol til sammen, og er ifølge IEA forventet å doubles innen 2050. Likevel blir trolig vannkraftens viktigste rolle i framtiden å sørge for integrering av variabel energiproduksjon fra vind og sol. Med en massiv overgang fra fossile kilder over til vind- og solkraft i strømmettet, vil det være et stort behov for balansering og lagring av energi på tidsskalaer som går fra sekunder til dager, uker og sesong. Dette må utvikles basert på analyser av kraftnettet, tilpassing av markedsmodeller og optimal produksjonsplanlegging.

Det er ingen andre fornybare teknologier enn vannkraft som er så fleksibel og regulerbar og som samtidig har stor lagringskapasitet til en akseptabel kostnad. Pumpekraft, som representerer godt over 90 prosent av all nett-

tilknyttet energilagring er også essensielt for å lykkes med overgangen til fornybarsamfunnet. Det urealiserte vannkraftpotensialet i verden finnes i dag stort sett i Asia, Latin-Amerika og Afrika, men det er også et visst potensial igjen i Europa og Nord-Amerika.

Disse tiltakene vil til sammen bidra til å gjøre vannkraften mer bærekraftig og øke den sosiale aksepten. Modernisering kan gi betydelig økt effektinstallasjon (økt kapasitet), mer fleksibel drift og bedre utnyttelse av energilagring. I tillegg må moderniseringen bidra til gode miljøtiltak som to-veis vandringsløsninger for fisk, slipp av miljøbaserte vannføringer og andre tiltak for å bedre økologisk tilstand i regulerte elver, og andre tjenester vannmagasin kan bidra med, slik som flomdemping, jordvanning, vannforsyning, navigasjon og rekreasjon.



Batterier

12



NTNU: Odne Stokke Burheim, Ann Mari Svensson

SINTEF: Frida Vullum-Bruer, Ingeborg Kaus,
Paul Inge Dahl

Batterier er avgjørende for utslippsfri transport og for å balansere kraftsystemer med økende innslag av vind og sol. Den globale batteriverdikjeden preges i dag av geopolitiske spenninger og store regionale forskjeller i produksjonskapasitet. For å sikre forsyningssikkerhet, bærekraft og lavere klimaavtrykk må vi utvikle ny teknologi, styrke resirkulering og bygge stabile og transparente verdikjeder.

Anbefalinger

- **Reduser karbonfotavtrykket.** Still globale krav om lavutslippsproduksjon og minst mulig naturinngrep i hele batteriverdikjeden.
- **Styrk forskning og innovasjon.** Prioriter mer bærekraftige Li-ion-løsninger, nye batterikjemier, nye batteriteknologier og bedre resirkulering.
- **Innfør internasjonale standarder.** Etabler sertifiseringer for klima- og miljøavtrykk, materialopprinnelse og resirkuleringsandel.
- **Frem industriell oppskalering.** Forenkle tillatelser og finansieringsordninger slik at nye bedrifter raskere kan starte produksjon.
- **Styrke og utvide nordisk samarbeid.** Styrk insentiver og virkemidler for felles forsknings- og industriprosjekter i Norden.

Situasjonen i dag

Batterier er en nøkkelteknologi i overgangen til et lavutslippssamfunn. De muliggjør utslippsfri transport og bidrar til å balansere strømmettet ved å lagre energi når produksjonen fra vind og sol er høy. De brukes også til frekvensregulering og reduksjon av effekttopper, som igjen kan begrense behovet for ny netttutbygging – særlig i områder med begrenset kapasitet. Ifølge COP29-anslag må den globale batterikapasiteten seksdobles fra 2022 til 2030 for å støtte elektrifiseringen^{xxxiii}. Batterier vil også være viktige for energilagring i mikronett i lav- og middelinntektsland.

I dag domineres markedet av litium-ion-batterier (Li-ion), som brukes både i elbiler og i økende grad i stasjonære energilagringssystemer. Produksjonen er sterkt konsentrert i Asia, og særlig i Kina, som også kontrollerer store deler av forsyningskjeden for råmaterialer som litium, kobolt og grafitt. Denne avhengigheten skaper sårbarhet i en tid preget av økende geopolitisk spenning og handelsrestriksjoner. Innføring av eksportkontroll på kinesiske høyenergi-batterier og produksjonsutstyr fra Kina^{xxxiv} og en sannsynlig opphevelse av

Inflation Reduction Act (IRA) i USA^{xxxv} svekker den vestlige verdens posisjon ytterligere.

Europa har forsøkt å bygge opp en konkurranse-dyktig batteriindustri, men utviklingen har gått sakte på grunn av høye kostnader, lang regulerings-prosess og sterk priskonkurranse fra Asia. Etablering av store batterifabrikker krever betydelig kapital og rask tilrettelegging, noe som i dag tar langt lengre tid i Europa enn i Kina.

Kina er i dag også en dominerende eksportør av råmaterialer for battericelleproduksjon. Det nye europeiske direktivet for kritiske råmaterialer^{xxxvi} inneholder mange materialer som i dag er essensielle bestanddeler i dagens batterier, særlig innenfor Li-ion-teknologier. I tillegg til dette er de sirkulære verdikjedene ikke godt etablert, og vil ikke kunne støtte opp om en batteriindustri i rask vekst. Den asiatiske, og særlig den kinesiske, dominansen er en utfordring både når det gjelder forsynings-sikkerhet^{xxxvii}, karbonfotavtrykk og bærekraft.

EUs omfattende batteriforordning^{xxxviii, xxxix} stiller strenge krav til bærekraft, resirkulering og dokumentasjon i hele verdikjeden. Dette inkluderer digitale «batteripass», informasjon om karbon-fotavtrykk, opprinnelse og andel resirkulerte materialer. Kravene innføres gradvis fram mot 2027 og vil påvirke produsenter, importører og avfallsaktører over hele Europa. Målet er å bygge en sirkulær, konkurransedyktig batteriindustri i Europa som både skaper verdier og reduserer miljøbelastningen.

Løsning

Batterier vil være en hjørnestein i et framtidig utslippsfritt energisystem. Både for transport og for integrering av fornybar kraft. For å realisere dette må vi kombinere teknologisk utvikling, industriell oppskalering og bærekraftig verdikjedeutvikling.

Forskning og utvikling må prioriteres for å forbedre dagens litium-ion-teknologi og utvikle neste generasjons batterier, som natrium-ion, faststoff- og resirkulerbare systemer. Nye teknologier må være tryggere, mindre ressurskrevende og basert på tilgjengelige råmaterialer. Batterier vil være en essensiell del av fremtidens hybride energisystemer, for eksempel koblet mot vannkraft i hybride kraftverk der det ikke er mulig å gjøre vannkraften mer fleksibel av miljøhensyn^{xl}.

Det må samtidig bygges opp lokale verdikjeder for batteriproduksjon i Europa og Norden, fra utvinning av råmaterialer til resirkulering og gjenbruk. Dette vil redusere avhengigheten av import fra ustabile markeder og styrke forsyningssikkerheten. Norden har et særskilt potensial gjennom tilgang på fornybar energi, kritiske råmaterialer og høy teknologisk kompetanse.

Raskere tillatelser, stabile rammevilkår og målrettede insentiver er avgjørende for å tiltrekke investeringer. Et tettere samarbeid mellom forskningsmiljøer, industri og myndigheter, både nasjonalt og nordisk, kan bidra til å bygge opp en konkurransedyktig batterisektor i tråd med EUs grønne industripolitikk.

For Europa og Norge ligger konkurransefortrinnet ikke først og fremst i pris, men i bærekraft, sikkerhet og dokumentert sporbarhet. Produksjon basert på fornybar energi og sirkulære løsninger kan bli en tydelig merkevare og et strategisk eksportfortrinn^{xli}.

Havvind

13



NTNU: Trond Kvamsdal, Michael Muskulus, Erin Bachynski

SINTEF: Gard Hansen, Konstanze Kölle, Hagbart Skage Alsos

Havvind har et enormt globalt potensial og kan bli en sentral bærebjelke i framtidens fornybare energisystem.

Teknologien kan produsere store mengder utslippsfri kraft, men krever forutsigbare rammer, industriutvikling og tett samarbeid mellom myndigheter, forskning og næringsliv. Norge og Europa kan spille en nøkkelrolle – men det krever målrettet satsing nå.

Anbefalinger

- **Forsterk Nordsjøsamarbeidet.** Utvid NSEC-samarbeidet for koordinert utvikling av havvind og tilhørende havnett.
- **Skap forutsigbarhet.** Innfør årlige utlysninger av nye havvindområder for å sikre stabile rammer for industrien.
- **Still krav til innovasjon.** Inkluder forpliktelser om forskning, utvikling og kompetansebygging i lisens- og støtteordninger.
- **Del måledata.** Pålegg utbyggere å gjøre innsamlede data tilgjengelige for forskning og videre teknologiutvikling.
- **Utvikle kraftsystemet.** Bygg ut tilknytning både til havs og på land for effektiv integrering av havvind med vannkraft, hydrogen og annen fornybar energi og lagring.
- **Planlegg infrastruktur.** Etabler rammeverk for langsiktige investeringer i nødvendig infrastruktur som havner, kabler og servicefartøy.

Situasjonen i dag

Havvind utgjør i dag en liten del av verdens totale vindkraftkapasitet, men potensialet er enormt og mange ganger større enn dagens globale strømforbruk^{xlii}. Havvind kan bygges nær store befolknings- og industrisentre og gir ofte færre konflikter og mindre miljøpåvirkning enn vindkraft på land.

Økte kostnader og press på lønnsomhet er en utfordring for havvindsatsingen. Kostnaden for havvind har blitt kraftig redusert fram til for få år siden, men har deretter økt på samme vis som andre energiteknologier som en følge av krigen i Ukraina med en omveltning av verdensøkonomien med økte priser på råvarer, kapital og arbeidskraft. Det er flere store aktører som har tatt betydelige tap, men utviklingen er i ferd med å snu og det er gjennomført flere vellykkede auksjoner.

Flytende havvind er fortsatt på et tidlig utviklingsstadium og dyrere enn bunnfast teknologi, men potensialet er stort. Rundt 80% av verdens havvindressurser ligger i områder med så dypt vann at de krever flytende løsninger. Kostnadene vil gå ned gjennom læring, innovasjon og oppskalering når det legges til rette for å bygge mer flytende havvind. Teknologisk utvikling og en forutsigbar satsing på havvind på dette området er derfor avgjørende både for Norge og internasjonalt.

For å realisere planene for havvind må også kraftsystemet tilpasses. Nye overføringsforbindelser må bygges ut, både til havs og til lands, slik at havvind kan integreres med andre fornybare energikilder, hydrogen og vannkraft. Samtidig må hensynet til natur og sameksistens med andre næringer ligge til grunn for utviklingen.

Løsning

Vindkraft på land har vokst til en stor industri som årlig installerer over 100 GW ny vindkraftkapasitet. En tilsvarende utbyggingstakt med havvind er fullt mulig, men krever utvikling av industri og leverandørkjeder, infrastruktur og kompetanse. Miljødesign er en forutsetning for bærekraft og vil bli et viktig konkurranseparameter framover og bidra til å sikre at utbygging skjer med respekt for naturen og mennesker.

I Europa er målet for nordsjølandene å øke fra totalt 30 GW installert havvind ved utgangen av 2022 til å ha installert 300 GW havvind innen 2050^{xliii}. Dette kan redusere utslippene med opptil 1 000 millioner tonn CO₂ dersom havvind erstatter kullkraft, og om lag 500 millioner tonn dersom det erstatter gasskraft. De samlede investeringene er anslått til rundt 1 000 milliarder euro og utgjør et enormt marked for norsk og internasjonal leverandørindustri.

Langsiktig forutsigbarhet er avgjørende. Industrien trenger stabile rammer og tydelige signaler om fremtidige utlysninger for å kunne investere i produksjonskapasitet. Auksjoner som kun vektlegger pris per kWh kan presse kostnader, men bidrar ikke nødvendigvis til teknologiutvikling eller bærekraftige løsninger. Tildelinger bør derfor også stille krav til innovasjon, samarbeid med forskningsmiljøer og deling av data.

En helhetlig og forsterket satsing på forskning, innovasjon og utdanning er en forutsetning for å lykkes med ambisjonene innen havvind. Kunnskap, ny teknologi, effektive løsninger og arbeidskraft med den riktige kompetansen er helt sentrale suksesskriterier. Ledende europeiske forskningsinstitusjoner har i samarbeid med store industri-selskaper pekt på to forskningsområder som er særlig viktige^{xliiv}; flytende havvind og storskala integrasjon av havvind i kraftsystemet.

Visjonen er at havvind vil være en bærebjelke for det fremtidige energisystemet, utviklet med respekt for naturen og samfunnet, og for å gi velstand med ren og rimelig energi for alle.



Sol

Sol

14



NTNU: Steve Völler

SINTEF: Gaute Stokkan

Solenergi vokser raskt globalt og er nå den største kilden til investeringer i ny kraftproduksjon. Teknologien er skalerbar, rimelig og fleksibel, men krever bærekraftige løsninger, effektiv arealbruk og en sterkere europeisk verdikjede.

Anbefalinger

- **Frem sol på bygg.** Bruk lovverk og insentiver for rask utrulling av solceller på tak og fasader.
- **Sats på storskala løsninger.** Utvikle solanlegg med todelt arealbruk (for eksempel kombinasjon av sol og landbruk) for å redusere arealkonflikter.
- **Sikre sirkularitet.** Design paneler for resirkulerbarhet og bygg en sirkulær verdikjede for sol.
- **Motvirk monopoler.** Gjenoppbygg europeisk solindustri for å redusere avhengigheter og global dominans fra enkeltland.
- **Samordne regelverk.** Etabler felles insentiver og standarder på tvers av land.
- **Integrer med lagring og nett.** Utvikle lagringsløsninger, digitale styringssystemer og prognoseverktøy.
- **Sats på ny teknologi.** Prioriter silisiumbaserte tandemceller for høyere virkningsgrad.

Situasjonen i dag

Solceller omdanner sollys direkte til elektrisitet uten å gå via andre energibærere. Teknologien er svært fleksibel; den kan brukes i alt fra små spesialapplikasjoner til store solparker, og strøm kan produseres der behovet er. Dette har ført til en årlig vekst i produksjon av solcellesystemer på rundt 26 prosent årlig mellom 2013 og 2023^{xlv}. I dag er de globale investeringene i solceller større enn alle andre genererings-teknologier til sammen^{xlvi}, og er ventet å bli den største bidragsyteren til fornybar elektrisitet i 2028^{xlvii}.

Solceller vil i likhet med all fornybar energi trenge mye areal. I dag er det beregnet at 2,2 prosent av Europas totale areal kan brukes til energiproduksjon fra sol og vind, og kun 0,2 prosent av dette er solceller på hustak^{xlviii}. En rask skaling av solkraft vil derfor kunne skape arealkonflikter. Samtidig har teknologien et stort materialbehov, og etter hvert som eldre solpaneler fases ut, vil volumet av avfall øke. Dette gjør sirkularitet og resirkulering avgjørende for en bærekraftig verdikjede.

Virkningsgraden for kommersielle solpaneler har økt fra 16 til over 22 prosent i løpet av de siste ti årene. De mest avanserte solcellene nærmer seg den teoretiske grensen for dagens teknologi, og videre framgang krever nye materialer og produksjonsmetoder.

Det er politisk og sikkerhetsmessig nødvendig å sikre lokal produksjonskapasitet for å unngå at enkelte land og regioner får monopol. Europa, og i svært stor grad Norge, var tidligere viktig i verdikjeden for produksjon av solcellepanel, men nå har Asia (94 prosent), og spesielt Kina (86 prosent) tatt over og er totalt dominerende. En re-etablering av sol-industri i Europa og Norge vil kreve politiske grep og utvikling av produksjonsteknologi som også tar hensyn til krav til miljøavtrykk og arbeidsmiljø.

Solenergi er av natur svært variabel, knyttet til variasjoner mellom sommer og vinter, dag og natt og godt og dårlig vær. Dette fører til utfordringer knyttet til balansering av last mot forsyning. Dette er en faktor som kan virke svært bremsende på innfasing av solenergi og må løses med innsats på en rekke områder knyttet til nett og lagringsløsninger. Ut over dette, er utfordringene knyttet til selve solcellesystemene fokusert på digitale løsninger for forutsigbar energileveranse gjennom bruk av datamodeller og kunstig intelligens.

Løsning

Solenergi fra bygninger må utnyttes raskt og fullt ut. For å lykkes må alle aktører i verdikjeden ha stabile og forutsigbare rammebetingelser som gjør langsiktige investeringer mulig. Det er også behov for mer kunnskap om solenergi under nordiske og arktiske forhold, der lave temperaturer og spesielle lysforhold påvirker både ytelse og levetid. For eksempel har lav temperatur positiv innvirkning på bestandighet for systemene; dette har direkte innvirkning på investeringens lønnsomhet.

Men sol på bygg alene er ikke nok. Løsninger for storskala solenergi må utvikles parallelt. Virkninger på natur og miljø må kvantifiseres slik at faktabaserte avveininger kan gjøres. Ordninger som krever todelt bruk av areal, blir en viktig del av løsningen. Vi bruker store areal til matproduksjon, og dersom solceller og tradisjonell matproduksjon deler på arealet, er det mulig å få en svært effektiv arealutnyttelse uten negativ påvirkning på matforsyning. Flytende solcelleanlegg utnytter også areal som kan være mindre konfliktfylt. Her er det viktig å kartlegge og ta hensyn til påvirkningen anleggene har på livet i og under vannoverflaten og utvikle robuste og kostnadseffektive strukturer.

Silisium vil trolig forbli hovedmaterialet i solceller i overskuelig framtid, men videre forskning på kombinasjoner med andre materialer, såkalte tandemsolceller, er nødvendig for å øke virkningsgraden og åpne nye bruksområder. I tillegg må solpaneler designes for resirkulerbarhet, slik at materialene kan brukes på nytt og miljøbelastningen reduseres.

I tillegg til grep knyttet til energilagring og nettverk, er det viktig å utvikle digitale løsninger som kan forutsi variasjonene i forsyningen fra forskjellige typer solanlegg for best mulig integrering. Her blir det vesentlig å utnytte mulighetene som utviklingen av kunstig intelligens har gitt oss.

For å sikre lokal energiforsyning og unngå et marked som er dominert av få, store globale aktører, må næringslivet sikres gode økonomiske forutsetninger og beskyttes mot urettferdig konkurranse. For Europa er det vesentlig at det utvikles teknologi som tar hensyn til standarder for HMS og arbeidsmiljø. En styrket europeisk verdikjede der nasjonale og regionale styrker utnyttes, vil være avgjørende for å bygge en bærekraftig og motstandsdyktig solenergisektor.

Maritim transport

15



NTNU: Sverre Steen

SINTEF: Trond Johnsen, Kristina Norne Widell

Maritim sektor står for betydelige utslipp globalt og i Norge. For å nå nullutslipp må næringen kombinere energieffektivisering, nye drivstoff og utvikling av nødvendig infrastruktur. Internasjonale avtaler peker ut retningen, men rask implementering er avgjørende.

Anbefalinger

- **Øk energieffektiviteten.** Still krav, og gi støtte til energisparende teknologi og optimaliserte skipsdesign.
- **Støtt grønne drivstoff.** Bruk differansekontrakter for å utjevne kostnadsforskjellen mot fossile alternativer.
- **Bygg grønne korridorer.** Etabler havner og infrastruktur for utslippsfri transport.
- **Sikre klimavennlige kuldeløsninger.** Støtt utvikling av naturlige kjølemedier i skip.

Situasjonen i dag

Den maritime sektoren står for om lag 3 prosent av de globale klimagassutslippene og rundt 9 prosent av Norges nasjonale utslipp. Avkarbonisering av skipsfarten er derfor en nøkkel for å nå både nasjonale og internasjonale klimamål. I juli 2023 ble det enighet om IMOs strategi for reduksjon av drivhusgasser fra skip, med målsetting om 20-30 prosent reduksjon i 2030, 70-80 prosent reduksjon innen 2040 og nullutslipp i 2050, mot referanse i 2008^{xlix}. Dette ble fulgt opp med innføringen av IMO Net-Zero Framework i 2025, som gjør skipsfarten til den første sektoren med globale utslippsreguleringer.

Utfordringen ligger i gjennomføringen. Grønne drivstoff som hydrogen, ammoniakk, metanol og biodrivstoff, er foreløpig dyre, plasskrevende og utilgjengelige i store nok volumer. Samtidig er skipsfarten sterkt kostnadsdrevet, og lav- og nullutslippsløsninger konkurrerer fortsatt dårlig mot fossile alternativer. Dette gjør at utviklingen må støttes både av politikk, økonomiske virkemidler og teknologiutvikling.

I tillegg spiller energieffektivisering en avgjørende rolle. Tiltak som bedre logistikkplanlegging, optimal rutestyring, moderne skrogdesign og nye fremdriftssystemer kan redusere drivstoffbruket betydelig. Likevel er dagens drift ofte styrt av økonomisk gevinst uten hensyn til utslipp.

For varer som transporteres kjølt, er det nødvendig å ha kjøleanlegg om bord. I dag bruker disse anleggene i stor grad kjølemedier med høy GWP. Hele 96 prosent av kjølecontainere (reefer containers) bruker R134a¹, som har en GWP på 1430. Det er en risiko for at aktørene bytter til kjølemedier med lav GWP, men som er klassifisert som PFAS og som dermed har uønskede helse- og miljøeffekter. Naturlige kjølemedier bør benyttes, men dette krever utvikling og bruk av system som er sikre og energieffektive.

Løsning

Enigheten om IMOs strategi for reduksjon i drivhusgasser² åpner muligheten for å implementere et regelverk som vil drive fram omstilling i den maritime sektoren. Det er avgjørende å klare å følge opp det gode arbeidet som er gjort, og få til et slikt regelverk. For internasjonal skipsfart, som naturligvis utgjør den store majoriteten av utslipp fra skipsfarten globalt, så er reguleringer fra IMO det klart viktigste virkemiddelet.

Den andre driveren man ser at kan virke er at vareeierne stiller krav til klimagassutslipp fra transport av deres varer. For enkelte segmenter, slik som containerfrakt, kan det bidra til omstilling. Regionale reguleringer har også vist seg å kunne ha effekt, da skipseiere og operatører ønsker at skipene de opererer skal være i stand til å seile i flest mulig av verdens havområder. Dette gir en mulighet for regioner (eksempelvis Nord-Europa) til å påvirke utviklingen globalt ved å innføre regionale regler og restriksjoner.

Omstillingen av maritim sektor må bygge på helhetlige tiltak som kombinerer effektivitet, teknologi og infrastruktur. Det er nødvendig da det foreløpig ikke finnes null- eller lavutslipps-løsninger som kan konkurrere økonomisk med de tradisjonelle løsningene. Bunnplanken for disse tiltakene er økt samarbeid langs de maritime verdikjedene for å bygge tilstrekkelig underlag for investering. Dette gjelder blant annet samarbeid mellom vare-eier og fraktselskap, finansiering av maritime prosjekter med lave utslipp, samarbeid mellom transport-aktør og havn for å unngå venting ved havn, samarbeid mellom ulike transport-ledd fra leverandør til mottaker og samarbeid om tilgjengeliggjøring av drivstoff gjennom blant annet grønne skipskorridorer.

Energieffektivisering kan oppnås gjennom flere ulike tiltak, og bør understøttes gjennom forskning på en rekke temaer som blant annet: optimalisert skipsdesign inkludert bruk av moderne seil-teknologi, bedre logistikkplanlegging for å øke fyllingsgraden på frakteskipene, realisere "just-in-time" havneanløp for å muliggjøre lavere seilings-hastigheter, bruk av effektive elektriske drivlinjer med batterier (gjelder kun spesialskip, ikke relevant for den dominerende, tradisjonelle deep-sea flåten), og rensing av begroing på skroget for å redusere friksjonsmotstanden. Utvikling av nye typer bunnstoff og/eller bruk av luftsmøring for reduksjon av friksjonsmotstand.

Maritim sektor er mangfoldig, og man har derfor mange ulike behov for utslippsfrie konsepter som kan tilpasses det enkelte skip. Det finnes allerede en rekke teknologier og systemer som er tilpasset ulike grønne drivstoff, men videre utvikling og oppskalering vil senke kostnadene og er avgjørende for å få fart på omstillingen. I tillegg er det avgjørende med økte investeringer i fornybar kraftproduksjon for å få tilstrekkelig store volumer drivstoff med lavt CO₂ avtrykk.

Fangst og lagring av CO₂ om bord kan være et alternativ til lavutslipps- eller nullutslipps drivstoffer. Benyttet sammen med karbonholdige nullutslippsdrivstoff (eksempelvis biodrivstoff) kan man oppnå negative netto utslipp. Fangst og lagring av CO₂ om bord er tilgjengelig teknologi, men effektive kjeder for mottak av CO₂ må etableres for å gjøre løsningen attraktiv.

For å redusere utslippene fra kjølt varetransport til sjøs, må det satses på sikre og energieffektive kuldeløsninger basert på naturlige kjølemedier. Dette krever utvikling og implementering av nye systemer som er tilpasset maritime forhold, og som oppfyller både klimakrav og sikkerhetsstandarter. En veldig konkret utfordring er at skip som går over hele verden kan utsettes for temperaturer fra -30°C til opp mot 50°C. Offentlig støtte til pilotprosjekter og standardisering av teknologi vil være viktig for å få fart på overgangen. I tillegg bør det stilles krav til at kjølemedier skal ha lav GWP og ikke gi PFAS-utslipp, slik at man unngår utilsiktede helse- og miljøkonsekvenser. Det aller beste er å gå for de naturlige kuldemediene. Ved å kombinere teknologisk innovasjon med tydelig regulering, kan kjølt transport bli en del av løsningen i den grønne omstillingen av maritim sektor.

Klimanøytrale, energieffektive bygninger, områder og smarte byer

16



NTNU: Arild Gustavsen

SINTEF: Judith Thomsen

Bygg, byer og tettsteder står for en stor del av energibruken og klimagassutslippene globalt. For å nå klimamålene må vi redusere energibehovet, ta i bruk fornybar energi, og utvikle smartere og mer fleksible løsninger som integrerer bygg, transport og energisystemer.

Anbefalinger

- **Reduser energi- og elektrisitetsbehov** gjennom energieffektivisering, spesielt av eksisterende bygningsmasse.
- **Bruk bygningsintegrerte solenergianlegg** (for elektrisitet og varme) og fjernvarme.
- **Lag integrerte bystrategier** som kombiner energi, transport, bygg og arealbruk i tråd med EUs fornybardirektivⁱⁱⁱ og el-markedsdirektivet.ⁱⁱⁱ
- **Innfør tydelige prissignaler.** Utform tariffer som sluttbrukere enkelt kan reagere på, og som gir ønsket samfunnseffekt.
- **Tilrettelegg for fleksibilitet.** Støtt koordinerte løsninger på område- og bynivå for bedre ressursutnyttelse.
- **Styrk samarbeidet.** Øk innsatsen mellom næringsliv, academia og offentlig sektor for å utnytte digitalisering og miljøvennlig byutvikling.
- **Involver innbyggerne.** Sikre at teknologi brukes inkluderende, med innbyggerengasjement som forbedrer livskvaliteten.

Situasjonen i dag

Dagens byer står for en stor del av verdens klimagassutslipp på grunn av høy energibruk og ineffektiv ressursforvaltning. Klimanøytrale og smarte byer er byer som skal balansere sine utslipp av klimagasser med tiltak som reduserer, fanger eller kompenserer for disse utslippene, slik at netto klimagassutslipp blir null. EU og Norge har mål om 55 prosent klimagassreduksjon i 2030 og klimanøytralitet i 2050.^{iv}

Boliger og yrkesbygg står for rundt halvparten av det årlige strømforbruket i Norge.^{iv} Dersom energibruk i bygg og områder i større grad følger produksjonen fra fornybare energikilder, vil dette bidra til å redusere utslipp.^{vi} For å oppnå målet om et utslippsfritt Europa innen 2050, må andelen fornybar energi øke betraktelig. Denne energien er ofte væravhengig (sol og vind) og vanskelig å regulere. For å kunne opprettholde balansen i kraftsystemet er det derfor nødvendig at slutt-

bruken av elektrisitet blir mer fleksibel enn tidligere. Smart teknologi må utnyttes bedre for å samle og analysere data i sanntid, noe som muliggjør for eksempel bedre energistyring.

Selv om vi etter hvert har betydelig kunnskap om planlegging av og fordelene ved nullutslippsbygg og nullutslippsområder, blant annet gjennom FME ZEB og ZEN, går implementeringen fortsatt for sakte. Markedet er fragmentert, og leverandører av varer og tjenester har ikke den nødvendige kompetansen til å tilby, realisere og drifte gode helhetsløsninger. Kostnadene blir derfor høyere enn nødvendig på grunn av prising av risiko. Det å investere i klimanøytrale- eller nullutslippsløsninger krever kapital. Regelverk, systemer og strukturer er tilpasset dagens praksis og fremmer ikke innovasjon og nye praksiser.^{lvii} Det mangler også nye forretningsmodeller og tjenester som reflekterer fremtidens krav og muligheter i forhold til nullutslippsområder.

Løsninger

Omstillingen til klimanøytrale og energieffektive byer krever et helhetlig samarbeid mellom forskning, næringsliv, offentlig sektor og innbyggere. Forskning har vist at det er mulig å halvere energibruken i bygningsmassen innen 2050.^{lviii} Dette vil frigjøre store mengder elektrisk energi (40TWh) som kan brukes til å forsyne det økende behovet for utslippsfri elektrisitet i transport- og industrisektorene. I tillegg viser forskningen at det er mulig å halvere klimafotavtrykket fra materialbruk i forhold til dagens løsninger.^{lix}

For å få realisert potensialet for å halvere klimafotavtrykk og energibruken i bygningsmassen, trengs både samhandling, kompetanseøkning og betydelige tiltak og virkemidler fra både offentlige og private aktører. For å ha en effekt før 2030/50 må disse tiltakene iverksettes raskt.

Selv om klimanøytrale og nullutslippsløsninger krever kapital i starten, er det dokumentert at de likevel kan være lønnsomme i et livsløpsperspektiv.^{lx} Nye teknologier og løsninger har potensiale for kostnadsreduksjon etter hvert som disse videreutvikles og blir normen. Også redusert energibruk samt egenprodusert energi gir besparelser og mulig inntekt.

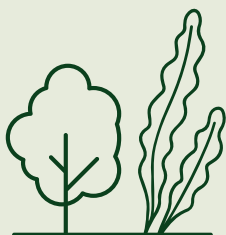
Energifleksibilitet må utnyttes enda bedre enn i dag gjennom smart styring og optimalisering. Fleksibilitet er tilgjengelig i enkeltbygg, og fleksible energiresurser kan utnyttes på områdenivå. Slike ressurser kan være knyttet til det termiske energisystemet (fjern- eller nærvarmesystem) eller kraftnettet.

Forbildeprosjekter kan vise nyskapende løsninger og ha stor effekt på læring og kompetanseheving, samt påvirke priser og fremme innovasjon.^{lxi} Klimanøytrale og smarte løsninger i bygg, nabolag og byer vil også kunne skape nye arbeidsplasser.

Et forpliktende internasjonalt samarbeid om felles standarder og mål for klimanøytrale bygg og byer er nødvendig for å oppnå raske, rettferdige og kostnadseffektive utslippskutt globalt.

Bioenergi

17



NTNU: Marcos D.B. Watanabe, Raquel S. Jorge

SINTEF: Kathrin Weber, Øyvind, Skreiberg,

Michaël Becidan, Judit Sandquist, Morten Seljeskog

Bioenergi kan brukes til alt fra oppvarming og kraftproduksjon til biodrivstoff og biokarbon. Siden biomassen inngår i det naturlige karbonkretsløpet, kan den være klimanøytral dersom ressursene forvaltes bærekraftig. For å ta ut potensialet må vi utvikle effektive og miljøvennlige løsninger som utnytter biomassen optimalt, også som grunnlag for karbonfangst og -lagring (BioCCS).

Anbefalinger

- **Etabler en nasjonal strategi for moderne bioenergi** som anerkjenner dens rolle i energiomlegging, karbonfjerning (CDR) og beredskap,
- **Legg til rette for lokal utnyttelse av avfall og sidestrømmer fremfor eksport**, gjennom insentiver, regulering og bedre logistikk.
- **Bygg ut fjernvarme og andre bioenergiløsninger** for å avlaste strømmettet og redusere sårbarheten i varmemarkedet.
- **Støtt utvikling og bruk av biokull** som en kritisk innsatsfaktor for grønn metallindustri og som effektiv CDR-teknologi.
- **Øk forskningsinnsatsen på bioenergi**, inkludert digitalisering og bruk av kunstig intelligens for optimalisering av verdikjeder.
- **Utvikle industriell produksjon av bærekraftige biodrivstoff** (inkludert SAF og fornybare, lavkarbon drivstoff for maritim transport) og biobaserte kjemikalier som grunnlag for ny verdiskaping og styrket nasjonal beredskap.

Situasjonen i dag

Bioenergi utgjør et sentralt, men underutnyttet element i overgangen til et fornybart energisystem. Den kan erstatte fossile råstoff i kjemisk industri, levere karbon til metallproduksjon og bidra til utslippskutt i transportsektorer der elektrifisering er vanskelig – som luftfart og langdistanse sjøfart.

I Norge eksporteres betydelige mengder avfall og reststoffer som kunne vært brukt i nasjonal varme-produksjon. Samtidig er energisystemet sterkt elektrisitetsbasert, og store deler av strømforbruket går til oppvarming. Dette gir økt press på strømmettet, høyere sårbarhet ved prisendringer og redusert beredskap ved strømbrydd.

Bioenergi kan avlaste kraftsystemet, bidra til mer diversifiserte energikilder og styrke nasjonal energisikkerhet. I tillegg spiller den en nøkkelrolle i utviklingen av karbonfjernings-teknologier (CDR), som blir stadig viktigere for å begrense global oppvarming.

Løsning

Biomasse representerer en fleksibel, lagringsbar ressurs som kan gi både energi, karbon og råstoff til grønn industri. Norge og Europa har store uutnyttede ressurser som kan forvaltes bærekraftig for å styrke energiomlegging, verdiskaping og beredskap. I stedet for å eksportere avfall og sidestrømmer bør de brukes lokalt til produksjon av varme, drivstoff og materialer. Utbygging av fjernvarme og bioenergiløsninger kan avlaste strømmettet betydelig, særlig fordi romoppvarming utgjør en stor del av energibruken i husholdninger.

Teknologier som pyrolyse, gassifisering og hydrotermiske prosesser kan konvertere biomasse til varme, gass eller flytende drivstoff og samtidig produsere sekundære råstoff som kan erstatte fossile innsatsfaktorer. Dette åpner for nye verdikjeder i kjemisk industri, tekstil, bygg og anlegg, metallurgi og transport. Det bør også utforskes hvordan marine biomasser kan inngå i slike løsninger.

Bioenergi er sentral for utvikling av karbonfjernings-teknologier (CDR). Kombinasjonen av bioenergi og karbonfangst og -lagring (BECCS) har potensial til å levere negative utslipp i stor skala, fordi den utnytter fornybare biomasseressurser samtidig som den permanent fjerner CO₂ fra atmosfæren.

På kort sikt er biokull den mest tilgjengelige CDR-teknologien. Det produseres fra ulike råstoff med eksisterende teknologi, bidrar til jordforbedring og sirkulær ressursutnyttelse, og kan gi negative utslipp i stor skala. På lengre sikt vil BECCS kunne supplere biokull som en storskala-løsning, særlig i sektorer med høye punktutslipp og tilgang til biogene ressurser.

Biokull spiller også en avgjørende rolle i grønn metallindustri, der karbon er nødvendig i reduksjonsprosesser som produksjon av silisium, mangan, titan og krom. Etablering av bærekraftige

produksjonskjeder for biokull vil styrke forsynings-sikkerheten, redusere utslipp og bevare industriarbeidsplasser i Europa.

Biogen CO₂ kan brukes i karbonnyttiggjøring (CCU), eksempelvis i produksjon av syntetiske drivstoff som e-SAF. Biodrivstoff utgjør et særlig viktig område: såkalte drop-in fuels kan benyttes i eksisterende infrastruktur og gir høy energitett-het. Dette er avgjørende for transportsektorer som luftfart, der alternativer som batterier og hydrogen vil være realistiske for kortere distanser. Betydelige støtteordninger er nødvendige for å etablere industriell produksjon av Sustainable Aviation Fuels (SAF) i tråd med ReFuelEU-kravene.

For maritim transport kan bioenergi også spille en avgjørende rolle i å redusere utslipp, ettersom drop-in biodrivstoff kan erstatte konvensjonelle fossile drivstoff direkte og dermed redusere utslipp fra den eksisterende flåten. Lokal produksjon av biodrivstoff vil dessuten være viktig for beredskap og forsvar.

Bioenergi gir ikke bare varme og strøm, men også tilgang til karbon og hydrokarboner – grunnstoffer og byggesteiner som industrien er avhengig av for å gjennomføre det grønne skiftet. Utvikling av slike verdikjeder kan redusere avhengigheten av fossile råstoff, styrke sirkulærøkonomien og skape ny industriell verdiskaping.

Sirkulær bioøkonomi

18



NTNU: Anita Romsdal

SINTEF: Ida Aursand, Ana K Carvajal

Sirkulær bioøkonomi handler om å utnytte biologiske ressurser bedre og skape verdier med lavere klimaavtrykk. Norge har store bioressurser, høy teknologisk kompetanse og sterke forsknings- og innovasjonsmiljøer. For å realisere potensialet trengs et samspill mellom politikk, næringsliv, teknologi og forskning som muliggjør en mer effektiv og lønnsom ressursforvaltning.

Anbefalinger

- **Styrk koblingen mellom sektorer.** Frem samarbeid mellom havbruk, landbruk, industri og energi for bedre utnyttelse av biprodukter og reststrømmer.
- **Utvikle digital og fysisk infrastruktur.** Bygg plattformer, transportløsninger og standarder som legger til rette for deling og sirkulær ressursflyt.
- **Moderniser regelverk og virkemidler.** Tilpass lover og insentiver for trygg og lønnsom bruk, transport og omsetning av biologiske biprodukter, og for å støtte etablering og skalering av industrielle symbioser.
- **Frem innovasjon og kompetanse innen sirkulær bioøkonomi.** Øk innsatsen innen bioteknologi, materialgjenvinning, sirkulær logistikk, verdikjedeutvikling og forretningsmodeller som gjør sirkularitet lønnsom.
- **Koble land- og sjøbaserte verdikjeder.** Tilrettelegg for effektive, lavutslipps verdikjeder som styrker matsikkerhet og verdiskaping.
- **Etabler testarenaer for sirkularitet.** Prøv ut helhetlige løsninger der teknologi, markeder og regulering utvikles sammen.

Situasjonen i dag

Norge har store mengder biologiske ressurser fra havbruk, fiskeri, landbruk og skogbruk, men utnyttelsen av disse er ofte fragmentert. Mange biprodukter går til lavverdi anvendelser eller blir ikke brukt i det hele tatt. Industriell symbiose er fortsatt i en tidlig fase. Det finnes gode eksempler, men manglende oversikt over ressursstrømmer og juridiske barrierer gjør det vanskelig å skalere opp samarbeidet mellom bedrifter. I tillegg er verdikjedene svakt koblet sammen, og både markeder, logistikk og teknologi må utvikles for å støtte sirkularitet. Manglende lønnsomhet, uklare ansvarsforhold og usikkerhet om kvalitet og stabilitet i ressursflyten hemmer investeringer.

Sirkulær bioøkonomi har fått økt politisk oppmerksomhet, men det mangler helhetlige strategier og virkemidler som kobler ressursgrunnlaget med industriell utvikling og matberedskap. Norge har høy kompetanse innen bioteknologi, prosessindustri, digitalisering og logistikk, men dette potensialet utnyttes ikke fullt ut. Det er behov for mer kunnskap om hvordan markeder, regulering og teknologi kan virke sammen for å skape verdier basert på fornybare ressurser.

Det norske samfunnet er i dag beregnet til å være om lag 2 prosent sirkulært^{xii}. Det illustrerer et stort forbedringspotensial, men også behovet for prioriteringer og avveininger. Spørsmål om lønnsomhet, ansvarsfordeling, transportdistanser og faktisk behov for gjenbrukte materialer må håndteres helhetlig – både lokalt, nasjonalt og globalt.

Løsning

Overgangen til en sirkulær bioøkonomi krever et systemskifte der teknologi, regulering, marked og samarbeid utvikles parallelt. Digitale verktøy for ressurskartlegging og deling kan være en nøkkel for å realisere industriell symbiose, men må kombineres med gode markeder og tydelige rammebetingelser.

Et slikt systemskifte krever samordning på tvers av sektorer og forvaltningsnivåer. Myndighetene må utvikle en mer koordinert politikk for sirkulær bioøkonomi, der nærings-, klima-, landbruks- og fiskeripolitikken trekker i samme retning. Det bør etableres nasjonale mål for sirkularitet, samt indikatorer som måler ressursutnyttelse og verdiskaping.

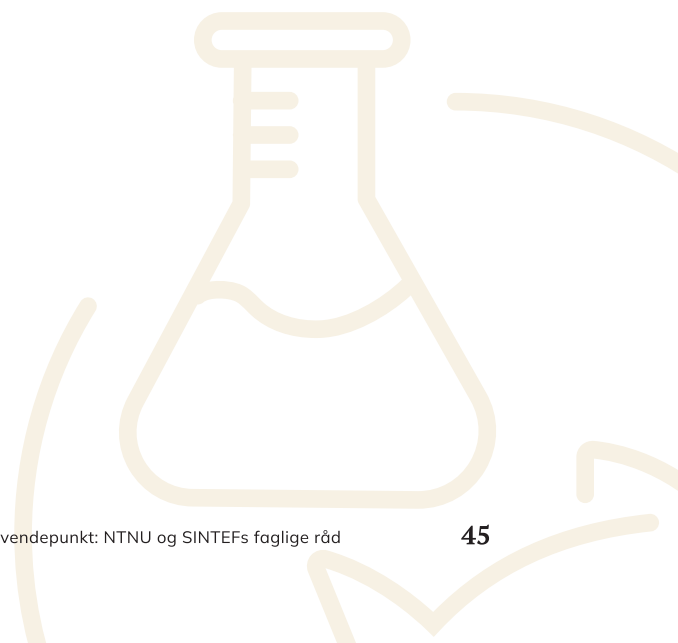
Markedsutvikling er like viktig som teknologi. For å sikre lønnsomhet må det utvikles fungerende markeder for sekundære råvarer og biologiske biprodukter. Offentlige anskaffelser kan spille en

nøkkelrolle ved å etterspørre sirkulære løsninger og dermed stimulere ny verdiskaping.

Sirkulær bioøkonomi krever at ressursene forvaltes på tvers av sektorer – fra produksjon og prosessering til transport, forbruk og gjenvinning. Et helhetlig perspektiv gjør det mulig å koble verdikjeder, redusere avfall og skape ny verdiskaping basert på biologiske råvarer.

Teknologier for bioprosessering, materialforbedring, sensorer og digital sporbarhet kan bidra til økt effektivitet, men like viktig er sosiale og økonomiske insentiver, kompetanseutvikling og samarbeidsarenaer som gjør løsningene skalerbare.

Helhetlige testarenaer og demonstrasjonsprosjekter kan bidra til å koble teknologi, markeder, regulering og logistikk i praksis. Ved å utvikle slike økosystemer kan erfaringer fra nordiske og europeiske land deles internasjonalt og bidra til globale løsninger for bærekraftig ressursbruk. En mer sirkulær bioøkonomi vil ikke bare redusere avfall og utslipp, men også styrke matsikkerhet, verdiskaping og grønn omstilling – og vise hvordan økonomisk vekst kan kombineres med varige utslippskutt.



Noter

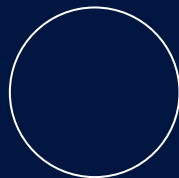
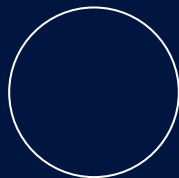
- i <https://www.epa.gov/climate-hfcs-reduction/frequent-questions-phasedown-hydrofluorocarbons>
- ii <https://echa.europa.eu/hot-topics/perfluoroalkyl-chemicals-pfas>
- iii Tillatelse til CO₂-lagring - Oljedirektoratet (npd.no)
- iv Net Zero Roadmap: A Global Pathway to Keep the 1.5 °C Goal in Reach – Analysis – IEA
- v <https://www.wri.org/research/international-carbon-removal-governance>
- vi <https://www.ipcc.ch/report/methodology-report-on-short-lived-climate-forcers/>
- vii <https://www.eea.europa.eu/en/analysis/publications/annual-european-union-greenhouse-gas-inventory-2025>
- viii SSB utslipp til luft, tabell Statistikkbanken kildetabell 13931
- ix <https://www.epa.gov/ghgemissions/inventory-us-greenhouse-gas-emissions-and-sinks-1990-2022>
- x <https://www.epa.gov/natural-gas-star-program/methane-mitigation-technologies-platform>
- xi <https://www.iea.org/reports/global-methane-tracker-2025>
- xii Global Methane Assessment: Benefits and Costs of Mitigating Methane Emissions, UNEP, 2021
- xiii <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2024/1787/oj/eng>
- xiv <https://www.iea.org/reports/global-methane-tracker-2022/strategies-to-reduce-emissions-from-fossil-fuel-operations#abstract>
- xv <https://acp.copernicus.org/articles/22/4303/2022/>
- xvi I et 100-års perspektiv, IPCC AR6 report
- xvii DNV Energy Outlook 2023
- xviii https://climate.ec.europa.eu/eu-action/fluorinated-greenhouse-gases/eu-rules_en Besøkt 27.09.24
- xix <https://www.skatteetaten.no/satser/sf6/#:~:text=Satsen%20er%205%20523%20kroner%20per%20kg%20gass> Besøkt 27.09.24
- xx <https://www.dnv.com/publications/new-power-systems-report/>
- xxi <https://www.dnv.com/publications/new-power-systems-report/>
- xxii <https://www.cop28.com/en/global-renewables-and-energy-efficiency-pledge>
- xxiii US DOE: DOE Industrial Decarbonization Roadmap.
- xxiv IEA, Net Zero by 2050 – A Roadmap for the Global Energy Sector (2021)
- xxv Regjeringen: Veikart for grønt industriløfte (2022)
- xxvi Energi21: National strategy for research and innovation within new climate friendly energy technology (2022)
- xxvii EERA: "The Role and Impact of Energy Efficiency in Decarbonising European Industry", 2024.
- xxviii Regjeringen: Mer av alt – raskere. Report from the Energy commission (2023)
- xxix NVE: Summary of Norwegian energy consumption (2023)
- xxx https://iea.blob.core.windows.net/assets/9e3a3493-b9a6-4b7d-b499-7ca48e357561/The_Future_of_Hydrogen.pdf
- xxxi Hydrogen Council, Global Hydrogen Compass 2025
- xxxii Hydrogen Europe, Clean Hydrogen Monitor 2025
- xxxiii COP29 Global Energy Storage and Grids Pledge
- xxxiv <https://en.cnesa.org/latest-news/2025/10/13/chinas-ministry-of-commerce-the-general-administration-of-customs-imposes-export-controls-on-lithium-batteries-with-an-energy-density-of-300-whkg>
- xxxv <https://www.congress.gov/bill/119th-congress/house-bill/191>
- xxxvi Critical Raw Materials Act - European Commission (europa.eu)
- xxxvii https://www.finansavisen.no/finans/2023/10/20/8047922/kina-innforer-eksportkontroll-pa-graftitt?zephrr_sso_att=Wv-VJOb#:~:text=Kina,%20som%20dominerer%20globale
- xxxviii <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32023R1542>
- xxxix <https://www.regjeringen.no/no/sub/eos-notatbasen/notatene/2021/jan/batteriforordningen/id2828700/>
- xl <https://www.xflexhydro.com/news/vogelgrun-france>
- xli Batterifabrikk i Norge er liv laga – vi kan mye som Kina ikke kan | DN
- xlii IEA (2019) Offshore wind outlook 2019. World energy outlook special report.
- xliii <https://www.regjeringen.no/contentassets/78bfc87bb-04044c0933002ad7dd6e0f1/erklaring-energiministere.pdf>
- xliv <https://www.northwindresearch.no/news/ighthouse-initiatives-on-offshore-wind-explained-i-3-minutes/>
- xlv Frauhofer ISE Photovoltaics report, juli 2024
- xlvi IEA World Energy Investments 2024
- xlvii IEA Renewables 2023
- xlviii [European Environmental Bureau: Land for Renewables, juli 2024](https://www.eea.europa.eu/en/land-for-renewables)
- xlix <https://www.imo.org/en/OurWork/Environment/Pages/2023-IMO-Strategy-on-Reduction-of-GHG-Emissions-from-Ships.aspx>
- i <https://www.containerownersassociation.com/wp-content/uploads/2018/03/TG-08-Reefer-Containers-Regulatory-Issues-Concerning-Refrigerant-F-Gases.pdf>
- ii <https://www.imo.org/en/OurWork/Environment/Pages/2023-IMO-Strategy-on-Reduction-of-GHG-Emissions-from-Ships.aspx>
- iii European Commission. (n.d.). Renewable Energy Directive. Retrieved August 8, 2024, from https://energy.ec.europa.eu/topics/renewable-energy/renewable-energy-directive-targets-and-rules/renewable-energy-directive_en
- iiii European Commission. (n.d.). Electricity market design. Retrieved August 8, 2024, from https://energy.ec.europa.eu/topics/markets-and-consumers/electricity-market-design_en
- liv Energidepartementet (2024) Energifakta Norge - Energibruk i bygg. <https://energifaktanorge.no/et-baerekraftig-og-sikkert-energisystem/baerekraftige-bygg/> (lest 13.4.24)
- lv NVE (2024). Webside: Energibruk i bygg.

- lvi Backe et al. (2023). Exploring the link between the EU emissions trading system and net-zero emission neighbourhoods. *Energy and Buildings*.
- lvii Glicker, J., Toth, Z., Volt, J., Jeffries, B., Fabbri, M., Barrett, M., & Gaitani, N. (2022). Positive energy neighbourhoods drivers of transformational change. *Report from the EU projects oPENlab and syn.ikia*.
- lviii Sandberg, N. H.; Dokka, T. H.; Lien, A. B. G.; Sartori, I.; Skeie, K.; Manrique Delgado, B.; Lassen, N. Energisparepotensialet i bygg fram mot 2030 og 2050 – Hva koster det å halvere energibruken i bygningsmassen? *ZEN Rapport No. 50*; 2023. SINTEF og NTNU, Trondheim.
- lix Wiik, M. K., Fuglseth, M., Resch, E., Lausset, C., Andresen, I., Brattebø, H., & Hahn, U. (2020). Klimagasskrav til materialbruk i bygninger - Utvikling av grunnlag for å sette absolutte krav til klimagassutslipp fra materialbruk i norske bygninger. *ZEN Rapport No. 24*; 2023. SINTEF og NTNU, Trondheim.
- lx Lien, A. B. G., Vågbø, P. C. B., Wigenstad, T., Jenssen, B., & Backe, S. (2024). Merknader ved ZEN. En case studie av Nidarvollutbyggingen i Trondheim. *ZEN Rapport No. 59*. SINTEF og NTNU, Trondheim.
- lxi Almås, A.-J., Hauge, Å. L., & Klinski, M. (2015). Markedseffekter av forbildeprogrammer. *SINTEF report SBF20150247*, Oslo/Trondheim.
- lxii https://www.circularity-gap.world/norway?utm_source=chatgpt.com#Subscribe



COP30
BRASIL
AMAZONIA
BELEM 2025

 NTNU



 SINTEF