

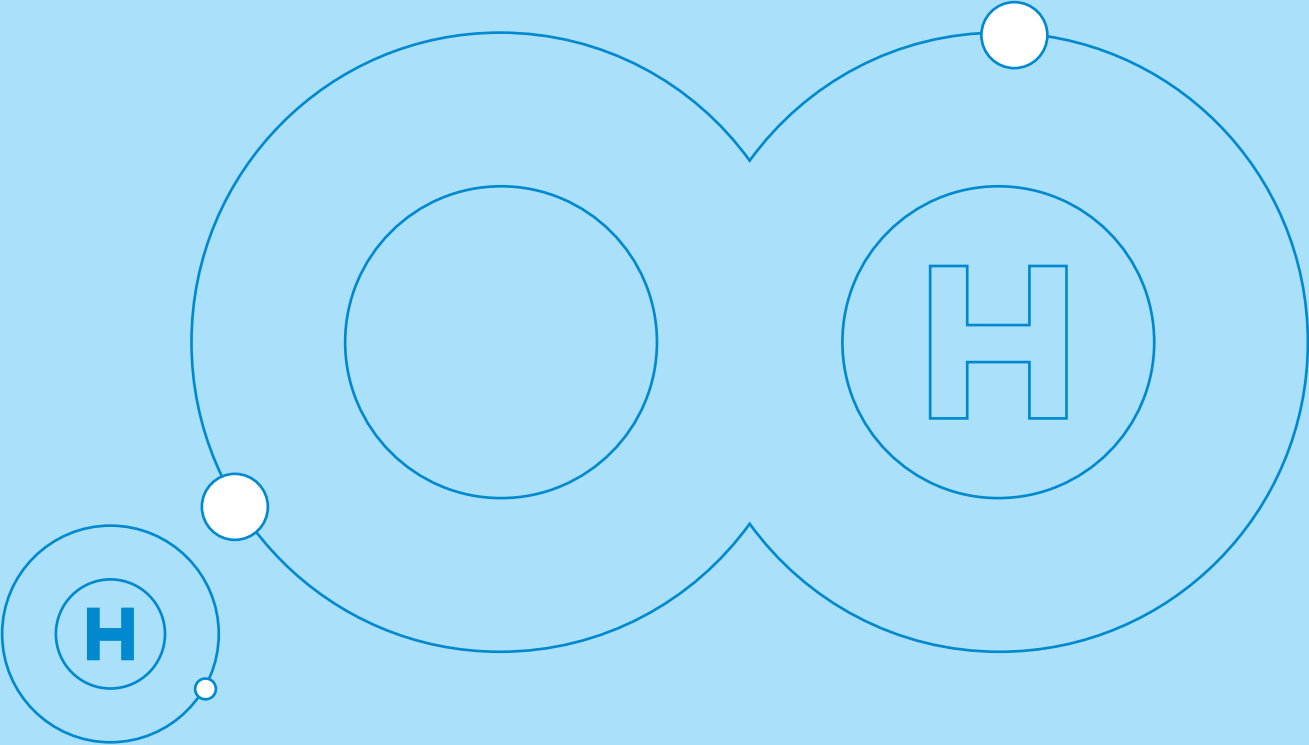


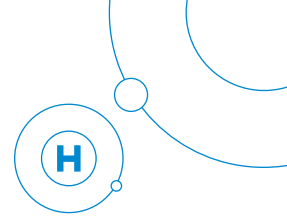
Olje- og energidepartementet
Klima- og miljødepartementet

Strategi

Regjeringens hydrogenstrategi

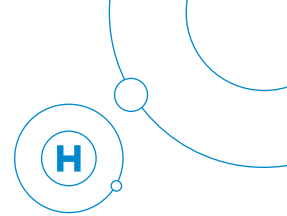
på vei mot lavutslippssamfunnet





INNHold

	Forord	5
	I Innledning	6
Del 1	Sikker bruk og produksjon av hydrogen med lave utslipp	12
	1 Hydrogen med lave utslipp – fra produksjon til forbruk	12
	1.1 Produksjon	12
	1.2 Tilstandskonvertering, lagring og distribusjon	16
	1.3 Forbruk	17
	2 Sikkerhet og regelverk	20
	2.1 Sikker bruk av hydrogen i skipsfart	22
Del 2	Hydrogen i Norge	24
	3 Transport	27
	3.1 Maritim transport	30
	3.2 Landtransport	34
	3.3 Annen transport (Luftfart og jernbane)	36
	3.4 Drivstoffinfrastruktur	38
	4 Industrien	39
	5 Kraftsektoren	42
	6 Nasjonal forskning og utvikling (FoU)	44
Del 3	Norge og hydrogen internasjonalt	46
	7 Europeiske ambisjoner	46
	8 Internasjonalt samarbeid om hydrogen	50
	8.1 Nordisk samarbeid	50
	8.2 Norsk deltakelse i internasjonalt forskningssamarbeid	52



Forord

Norge skal bli et lavutslippssamfunn i 2050. Regjeringen har et mål om at klimagassutslippene i 2050 reduseres i størrelsesorden 90 og 95 pst. sammenlignet med 1990-nivå. Som varslet i regjeringens lavutslippsstrategi for 2050, arbeider regjeringen med å endre utslippsintervallet i det lovfestede klimamålet for 2050. Norge har, som en del av oppfølgingen av Parisavtalen, meldt inn et forsterket klimamål om å redusere utslippene med 50 pst. og opp mot 55 pst. i 2030 sammenlignet med 1990.

Regjeringen fører en ambisiøs klima- og miljøpolitikk med tiltak for å redusere klimagassutslippene. Skal vi klare å nå de ambisiøse klimamålene må vi utvikle og ta i bruk ny teknologi som bidrar til å redusere utslippene. Derfor har regjeringen over flere år lagt til rette for og støttet at forskningsmiljøene og næringslivet i Norge skal utvikle og ta i bruk nye klimaløsninger. Dette arbeidet må fortsette også når vi kommer ut av de økonomiske utfordringene forårsaket av virusutbruddet. Regjeringen varslet derfor i den siste av krise-pakkene som ble lagt frem for Stortinget i mai 2020 en styrket satsing på hydrogenrelatert forskning og teknologiutvikling som et tiltak for å møte disse utfordringene.

Denne hydrogenstrategien er et bidrag til arbeidet med å utvikle ny lavutslippsteknologi og nye lavutslippsløsninger. En styrket satsing på hydrogen i Norge er i tråd med målet om å ha et internasjonalt konkurransedyktig næringsliv som utvikler teknologi og løsninger som svarer på morgendagens utfordringer. Vi skal utnytte mulighetene i det grønne skiftet.

Hydrogen er en energibærer som har betydelig potensial til å bidra til å redusere utslipp, lokalt, nasjonalt og globalt, og til å skape verdier for norsk næringsliv. For at hydrogen skal være en lav- eller utslippsfri energibærer, må det produseres med ingen eller svært lave utslipp, som ved elektrolyse av vann med ren kraft, eller fra naturgass med CO₂-håndtering. Hydrogen byr på spennende muligheter for Norge, både som energinasjon og teknologinasjon.

Denne strategien legger grunnlaget for regjeringens videre arbeid med hydrogen. Teknologier og nye løsninger utvikler seg raskt. Regjeringen følger med på utviklingen og vil tilpasse virkemidlene etter behov for å legge til rette for en videre utvikling av hydrogenløsninger, både for å få ned utslippene og for å bidra til verdiskaping.



Tina Bru
Olje- og energiminister



Sveinung Rotevatn
Klima- og miljøminister

I Innledning

Hydrogen har en rekke bruksområder og vil kunne være relevant i flere sektorer som et ledd i omstillingen til lavutslippssamfunnet. I hvilke sektorer og på hvilke bruksområder det i Norge vil være hensiktsmessig å ta i bruk hydrogen vil avhenge av flere forhold. Hydrogen kan være en løsning for bruksområder hvor det i dag finnes få eller ingen andre nullutslippsalternativer. Samtidig kan hydrogenproduksjon og utvikling av hydrogenteknologi bidra til verdiskaping i Norge.

Hydrogen er en energibærer, ikke en energikilde. Hydrogen må på lik linje med andre energibærere, for eksempel bensin, elektrisitet og fjernvarme, produseres fra en energikilde. Disse produksjonsprosessene krever energi og medfører energitap. Dette gjør hydrogen mer kostbart enn å bruke f.eks. elektrisitet direkte. Hydrogen kan lagre energi på en fleksibel og komprimert måte.

Det brukes i dag om lag 70 mill. tonn hydrogen globalt, hovedsakelig i kjemisk industri og i oljeraffinering. Om lag 90 pst. av hydrogenet som brukes i Europa produseres i dag fra naturgass, noe som medfører betydelige utslipp.

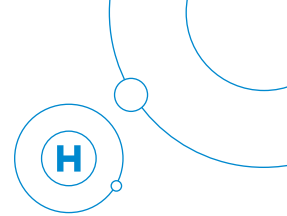
For at hydrogen skal være en lav- eller utslippsfri energibærer må det produseres med ingen eller svært lave utslipp. Dette enten ved elektrolyse av vann fra fornybar kraft, eller fra naturgass eller andre fossile kilder med CO₂-håndtering. I denne strategien omtales lav- og nullutslippshydrogen som rent hydrogen eller bare hydrogen.

Interessen for hydrogenløsninger internasjonalt har økt de siste årene. I EUs lavutslippstrategi mot 2050¹ inngår hydrogen i ulike scenarier og flere nasjoner som Nederland, Tyskland, Japan og Australia har utviklet eller utvikler egne hydrogenstrategier. Det internasjonale energibyrået (IEA) påpeker i en analyse av hydrogenmarkedet² at det aldri har vært mer oppmerksomhet blant næringsliv og myndigheter for å kommersialisere hydrogen, og at forholdene ligger ekstra godt til rette for skalerbare løsninger og kostnadsreduksjoner.

Den 27.mai la EU fram sitt langtidsbudsjett (MFF) for perioden 2021- 2027³. Samtidig la EU fram en tiltakspakke som ble presentert i "*Europe's moment: Repair and Prepare for the Next Generation*"⁴. Budsjettet og tiltakspakken skal sammen sparke i gang oppbygging og omstillingen i Europa. Covid-19-krisen har forsterket budskapet fra European Green Deal om viktigheten av å investere i sektorer og infrastruktur med positiv innvirkning på menneskers helse og miljø for å sikre robuste tilbud av miljøvarer og tjenester.

Tiltakspakken skal øke investeringene til fornybar energi og havvind, men også batterier og en økt satsing på hydrogen er inkludert. Bruk av ny teknologi som karbonfangst og lagring (CCS) er også med. Forskningsprogrammet Horisont Europa skal styrkes ytterligere

-
- 1 European Commission, Directorate-General for Climate Action (2018), A clean planet for all - A European strategic long-term vision for a prosperous, modern, competitive and climate neutral economy, COM 2018 (773), Brussels.
 - 2 IEA (2019), The Future of Hydrogen, IEA (2019, Paris), Hentet 25 mai 2020 fra <https://www.iea.org/reports/the-future-of-hydrogen>.
 - 3 «The EU budget powering the recovery plan for Europe» (COM(2020) 442 final).
 - 4 Europe's moment: Repair and Prepare for the Next Generation" (COM(2020) 456 final).



Det er flere større prosjekter i gang internasjonalt. For eksempel i Nord-England undersøker Equinor, Northern Gas Networks og Cadent i prosjektet H21-North of England mulighetene for å avkarbonisere 3,7 mill. husstander og 40.000 bedrifter ved å bruke hydrogen i stedet for naturgass til oppvarming. Svenske Vattenfall arbeider i Nederland med et prosjekt hvor de skal konvertere et gasskraftverk til hydrogendrift. Vattenfall er også med i prosjektet HYBRIT i Sverige hvor de jobber med utslippsfri stålproduksjon ved bruk av hydrogen. I Nord-Amerika har selskapet Nikola Motors planer om å etablere et nettverk med 700 fyllestasjoner for hydrogendrevne lastebiler⁵. I Sveits har et konsortium av lastebileiere gått sammen om å anskaffe 1 600 hydrogenlastebiler innen 2025⁶. Lastebilene skal blant annet leveres av Hyundai. Togprodusenten Alstom skal levere hydrogendrevne tog til blant annet LNVG i Tyskland til 2022⁷. Det er også igangsatt lignende initiativ i Storbritannia for å bytte ut dieseltog⁸. Japanske Kawasaki har sammen med blant annet Shell utviklet og sjøsatt verdens første transportskip for flytende hydrogen⁹.

Utvikling og bruk av hydrogenbaserte løsninger kan bidra til både verdiskaping og viktige utslippsreduksjonene i Norge. Hydrogens allsidighet muliggjør bruk i ulike sektorer. I Norge peker bruk i noe industri og deler av transportsektoren, herunder skipsfart og tungtransport, seg ut som sektorer der hydrogen er mest aktuelt. Dette er bruksområder hvor det i dag er få eller ingen nullutslippsalternativer, og hvor det kan bli utfordrende å erstatte fossile energikilder med ren elektrisitet og batterier, eller bærekraftige biobaserte løsninger.

Norge har gode forutsetninger og norsk næringsliv er godt posisjonert til å ta del i et økende marked for hydrogen:

- Norge har lang industriell erfaring fra hele hydrogenverdikjeden og gode forutsetninger for produksjon og bruk av ren hydrogen. Flere norske selskaper og teknologimiljøer utvikler og leverer allerede utstyr og tjenester for produksjon, distribusjon, lagring og bruk av hydrogen til ulike sektorer.
- I Norge har vi store gassressurser og potensial for økt kraftproduksjon fra fornybar energi.
- For å omdanne naturgass til ren hydrogen er fangst og -lagring av CO₂ en forutsetning. Norsk sokkel kan potensielt fungere som lager for CO₂.
- Gjennom petroleumsindustrien har vi solid erfaring med alt fra håndtering av gass til gjennomføring av store industriprosjekter.
- Norge har konkurransedyktige og kompetente teknologimiljøer og maritim industri som dekker store deler av den maritime verdikjeden. Næringen har allerede erfaring med utvikling og implementering av nye høyteknologiske løsninger i sjøtransport, blant annet innenfor batterier og flytende naturgass (LNG). Flere prosjekter i næringen ser allerede nærmere på hydrogen eller ammoniakk som energibærere.

5 <https://www.trucks.com/2019/04/22/nikola-ambitious-plan-hydrogen-service-network/> (hentet fra nettside 25.mai 2020).

6 <https://hyundai-hm.com/en/2020/02/06/hyundai-hydrogen-mobility-ag-hhm-selects-au-to-ag-truck-as-service-partner-in-switzerland/> (hentet fra nettside 25.mai 2020).

7 <https://www.alstom.com/press-releases-news/2019/1/alstom-presents-hydrogen-train-six-federal-states-germany> (hentet fra nettside 25 mai 2020).

8 <https://www.bbc.com/future/article/20200227-how-hydrogen-powered-trains-can-tackle-climate-change> (hentet fra nettside 25. mai 2020).

9 https://global.kawasaki.com/en/corp/newsroom/news/detail/?f=20191211_3487 (hentet fra nettside 25 mai 2020).

Strategien bygger videre på, og må ses i sammenheng med, andre relevante handlingsplaner, strategier og stortingsmeldinger som regjeringen har lagt fram eller arbeider med. Dette inkluderer klimaplan for 2021-2030, handlingsplan for grønn skipsfart, handlingsplan for infrastruktur for alternative drivstoff og planen for fossilfri kollektivtransport innen 2025. I tillegg vil handlingsplanen for grønne offentlige anskaffelser og handlingsplan for fossilfri anleggsvirksomhet innen transportsektoren som begge er under arbeid være relevant.

Mye av faktagrunnlaget i strategien er blant annet bygget på rapporten "Produksjon og bruk av hydrogen i Norge"¹⁰ utarbeidet av DNV GL på oppdrag fra Olje- og energidepartementet og Klima- og miljødepartementet, og andre relevante rapporter. Det har vært arrangert innspillsmøte og enkeltmøter hvor selskaper og organisasjoner har fått anledning til å gi innspill muntlig og skriftlig.

Strategien består i tillegg til den innledende delen av tre deler:

- 1) Sikker bruk og produksjon av hydrogen med lave utslipp
- 2) Hydrogen i Norge
- 3) Norge og hydrogen internasjonalt

Hovedelementer i regjeringens hydrogenstrategi

Regjeringen ønsker å prioritere innsatsen på de områdene der Norge har særlige fortrinn, hvor Norge og norske bedrifter og teknologimiljøer kan påvirke utviklingen, og hvor det er muligheter for økt verdiskaping og grønn vekst.

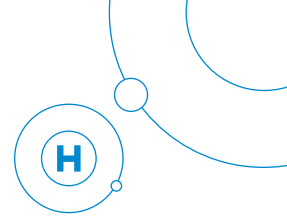
Skal hydrogen bli et reelt nullutslippsalternativ både i Norge og globalt, må det være sikkert og tilgjengelig både teknologisk og økonomisk. I mange anvendelser i næringslivet er energikostnadene viktig for bedrifters globale konkurransekraft. Med dagens energi- og utslippskostnader, energitap fra produksjonen og lagringskostnader for hydrogen, er det mindre lønnsomt å bruke rent hydrogen enn både fossile energikilder og andre lav- og nullutslippsløsninger. Hydrogen er per i dag ikke konkurransedyktig i mange av anvendelsesområdene som kan være aktuelle.

Prising av utslipp gjennom avgifter og kvotesystemet skal bidra til å fremme lavutslippsløsninger. Et strammere kvotemarked vil sammen med regjeringens varslede opptrapping av CO₂-avgiften gjøre utslippsintensive løsninger dyrere. I Granavolden-plattformen ble det varslet at regjeringen vil trappe opp den flate CO₂-avgiften med 5 pst. årlig for alle sektorer frem til 2025.

Den nødvendige teknologiutviklingen

Som beskrevet i Klimakur 2030, er teknologimodenhet og høye kostnader en sentral barriere for bruk av hydrogen i transportsektoren og som en innsatsfaktor i industri. Skal hydrogen og hydrogenbaserte løsninger som ammoniakk tas i bruk på nye områder, må teknologien og løsningene være tilgjengelige. Demonstrasjon og pilotering av hydrogen og hydrogenbaserte løsninger vil kunne føre til bruk av hydrogen som energibærer innenfor nye anvendelsesområder. Utvikling av teknologien vil kunne påvirke både tilbudssiden,

10 DNV GL (2019), Produksjon og bruk av hydrogen i Norge, DNV GL Energy Markets & Technology N&MEA (2019, Høvik)



gjennom reduserte produksjonskostnader, og etterspørselssiden gjennom nye markeder. Teknologiutvikling og innovasjon i et verdikjedeperspektiv vil kunne bidra til at potensielle synergier mellom næringer utnyttes.

Et viktig mål for regjeringen er å øke antall pilot- og demonstrasjonsprosjekter i Norge, og gjennom dette bidra til teknologiutvikling og kommersialisering. Målet understøttes av en bred satsing på nullutslippsteknologier- og løsninger gjennom hele virkemiddelapparatet. Norges forskningsråd, Innovasjon Norge og Enova bidrar til utvikling og demonstrasjon av energi- og kostnadseffektive metoder og verdikjeder for produksjon, transport og lagring og bruk av rent hydrogen, blant annet gjennom felles utlysninger i PILOT-E.

- Regjeringen vil gjennom dagens virkemidler, fortsette å støtte den nødvendige teknologiutviklingen. Myndighetene vil følge med på utviklingen og justere virkemidlene dersom det er behov for det.
- Regjeringen vil i forbindelse med Klimaplanen for 2030 vurdere virkemiddel for å fremme utvikling og bruk av hydrogen i Norge.
- Regjeringen vil fortsette å støtte forskning, utvikling og demonstrasjon av hydrogenteknologier gjennom relevante programmer, med fokus på prosjekter av høy vitenskapelig kvalitet og potensial for næringsutvikling.

Konkurransedyktig produksjon av ren hydrogen

For at rent hydrogen skal bli en konkurransedyktig energibærer, må produksjonskostnadene reduseres. For hydrogen fra elektrolyse innebærer dette å redusere kostnadene for selve elektrolyseanlegget, men også å utvikle produksjonsanlegg som mer energieffektivt omdanner elektrisitet til hydrogen. Gjennom Norges forskningsråd, Innovasjon Norge og Enova bidrar det offentlige til utvikling og demonstrasjon av mer energi- og kostnadseffektive metoder for produksjon av ren hydrogen. Kraft som leveres til bruk ved elektrolyse har i dag fritak fra elavgiften.

- Regjeringen vil bidra til å utvikle teknologi for fangst, transport og lagring av CO₂, og har ambisjon om å realisere en kostnadseffektiv løsning for fullskala CO₂-håndteringsanlegg i Norge gitt at dette gir teknologiutvikling i et internasjonalt perspektiv. CO₂-håndtering er en forutsetning for å produsere ren hydrogen fra naturgass.

Utslippsfri transport

Regjeringen har en bred satsing på nullutslippsløsninger i transportsektoren. Det inkludere også hydrogen. Hydrogenbiler har de samme avgifts- og bruksfordelene som batterielektriske biler.

I forbindelse med statsbudsjettet for 2017, fattet Høyre, Frp, Venstre og Krf vedtak om at fordeler tilsvarende for elbiler videreføres for brenselcellebiler til 2025/50.000 biler. Momsfritak er notifisert og godkjent av ESA til 2023 for brenselcellebiler.

Skal hydrogen bli et konkurransedyktig null- og lavutslippsalternativ i transportsektoren må løsninger tas i bruk etter at de er pilotert og demonstrert. For å bidra til en raskere markedsintroduksjon og -vekst, støtter regjeringen gjennom Nullutslippsfondet hydrogenløsninger i næringskjøretøy- og fartøy.

Regjeringen opprettet i 2019 en særskilt satsing på 25 mill. kroner for å styrke fylkeskommunenes arbeid med å fremme null- og lavutslipps hurtigbåter. Hurtigbåtsatsingen ligger under støtteordninga Klimasats som forvaltes av Miljødirektoratet. I budsjettet for 2020 ble denne hurtigbåtsatsingen styrket med et budsjett på 80 mill. kroner. Med støtte fra denne ordningen kan det blant annet organiseres en prosess med utviklingskontrakter. Bruk av utviklingskontrakter vil kunne være viktig for skape gode økonomiske forhold

for at teknologimiljøer kan konkurrere om å utvikle de beste nullutslippsløsningene for utvalgte hurtigbåtsamband. For å sikre at en prosess med utviklingskontrakter kan igangsettes i 2020 foreslår regjeringen å øke bevilgningen med 20 mill. kroner til hurtigbåtsatsingen under Klimasats.

Tilgang på hydrogen og ammoniakk er en forutsetning for at disse alternativene skal være reelle nullutslippsløsninger i transport. Regjeringen støtter derfor, gjennom Enova, etablering av fylleinfrastruktur i den tidlige fasen. Gjennom Nabil for infrastruktur på land og Kystverket for infrastruktur for maritim transport, sørger regjeringen for at det finnes en offentlig tilgjengelig oversikt over infrastruktur for alternative drivstoff til vei- og sjøtransport i Norge.

- Regjeringen vil kartlegge alle fergesamband, hurtigbåtsamband og annen maritim rutetrafikk for å synliggjøre hvilke nullutslippsteknologier som kan egne seg. Dette for at myndigheter og private aktører skal få bedre oversikt over hvor det kan være aktuelt med bruk av lav- og nullutslippsteknologier i maritim sektor, inkludert bruk av hydrogen

Grønne offentlige anskaffelser

Det offentlige bruker over 500 mrd. kroner til innkjøp hvert år. Det omfatter alt fra store anskaffelser som fergetjenester og bygg, til kontorrekvisita. Utvikling av nye klima- og miljøvennlige varer og tjenester skjer i stort tempo, og det offentlige kan gjennom sine anskaffelser være en viktig drivkraft for innovasjon og omstilling i norsk økonomi.

- Regjeringen vil utarbeide en handlingsplan for å øke andelen klima- og miljøvennlige offentlige anskaffelser og grønn innovasjon.

Transport og lav- og nullutslippsløsninger er noen av de prioriterte områdene der offentlige anskaffelser er vurdert som særlig egnet som virkemiddel for å nå Norges klima- og miljømål og som vil bli nærmere belyst i handlingsplanen.

Sikkerhet og standarder

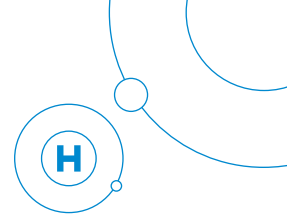
Bruk av hydrogen og hydrogenbaserte løsninger skal være trygt. Dette er helt avgjørende for at ny teknologi og nye løsninger skal tas i bruk, og for at hydrogen kan være en reel løsning.

- Regjeringen vil fortsette arbeidet med å utvikle regelverk og standarder nasjonalt og internasjonalt for bruk av hydrogen og hydrogenbaserte løsninger innenfor nye bruksområder, og i takt med teknologi- og markedsutviklingen.
- Regjeringen vil sørge for at Sjøfartsdirektoratet og Kystverket har god kapasitet og kompetanse for nye løsninger innenfor grønn skipsfart, herunder utvikling av regelverk for bruk av hydrogen i maritime næringer.

Forskning nasjonalt

Norge har sterke forskningsmiljøer på en rekke teknologiområder knyttet til hydrogen og har gjennom Norges forskningsråd de ti siste årene støttet hydrogenrettet forskning med om lag 500 mill. kroner. Det mest sentrale virkemiddelet er det brede energiforskningsprogrammet ENERGIX, der hydrogen inngår som et prioritert temaområde. I tillegg har norske miljøer styrket sin hydrogenkompetanse gjennom andre offentlig støttede satsinger, eksempelvis innenfor samfunnsvitenskap, matematiske fag, materialteknologi og gjennom deltakelse i andre offentlige pilot- og demonstrasjons prosjekter.

Myndighetene bidrar til forskning og utvikling av nye hydrogenløsninger og -teknologier som gjør at næringslivet raskere kan oppskalere bruken på en kostnadseffektiv og sikker måte. Dette er spesielt viktig for å tilpasse teknologien til nye bruksområder, som maritim sektor og tungtransport.



- Regjeringen vil styrke forskningsinnsatsen for omstilling til lavutslippssamfunnet, jf langtidsplanen for forskning og høyere utdanning (2019-2028). Regjeringen vil også prioritere utvikling av teknologi og løsninger for det grønne skiftet.

En økt forskningsinnsats og utvikling av grønne teknologier og løsninger inkluderer også forskning og utvikling av hydrogenteknologier og hydrogenbaserte løsninger.

I lys av COVID19 situasjonen foreslår regjeringen å bevilge 120 mill. kroner til ENERGIX-programmet i Norges forskningsråd. Satsingen skal gå til innovasjonsprosjekter for næringslivet for å opprettholde innovasjonsaktiviteten og stimulere omstillingen av norsk næringsliv. Hydrogenrelaterte teknologier og løsninger vil ha en sentral plass i denne satsingen slik at nye teknologier og løsninger kan utvikles og implementeres i markedet, og norsk næringsliv kan videreutvikle sin kompetanse og portefølje på området.

Internasjonalt samarbeid og forskning

Det meste av teknologiutvikling og fremtidig etterspørsel etter hydrogenløsninger vil komme utenfor Norge. Det er derfor viktig for norske myndigheter og norske forsknings- og teknologiaktører å delta i internasjonalt samarbeid, både for at vi skal kunne dra nytte av det som skjer utenfor Norge og for at vi skal kunne påvirke utviklingen internasjonalt gjennom leveranser av kunnskap og teknologi. Som et eksempel varslet Europakommisjonen nylig etablering av en "Clean Hydrogen Alliance" der det kan bli aktuelt med norsk deltakelse.

Internasjonalt samarbeid vil være avgjørende for å etablere et fungerende marked som stimulerer til økt bruk av ren hydrogen.

- Regjeringen vil fortsette å legge til rette for deltakelse i relevante internasjonale fora som bidrar til å fremme og etablere bærekraftige teknologier og markeder for hydrogen som lavutslippsløsning.

Del 1

Sikker bruk og produksjon av hydrogen med lave utslipp

1 Hydrogen med lave utslipp – fra produksjon til forbruk

Produksjon og bruk av hydrogen avhenger av faktorer som kostnader, energisystemets utforming, teknologiens modenhet, alternative teknologier, og økonomiske og politiske rammebetingelser. Det gjelder for alle energibærere. Slike faktorer varierer mellom land og påvirker hvor og i hvilket omfang hydrogen tas i bruk. I dette kapitlet er det forsøkt å gi en oversikt over de rammene og forutsetningene som ligger til grunn for hydrogen som teknologi, fra produksjon til lagring og distribusjon, til bruk og de ulike sikkerhetsaspektene ved dette.

1.1 Produksjon

De mest utbredte metodene for å produsere hydrogen er reformering av naturgass og gassifisering av kull. Etterspørselen etter hydrogen globalt er om lag 70 mill. tonn¹¹. Rundt 3 pst. av det globale energiforbruket går med til å produsere denne mengden. Størsteparten av den globale hydrogenproduksjonen produseres fra naturgass (76 pst.), etterfulgt av kull (23 pst.). Kun 1 pst. kommer fra elektrolyse av vann.

¹¹ DNV GL (2019), Produksjon og bruk av hydrogen i Norge

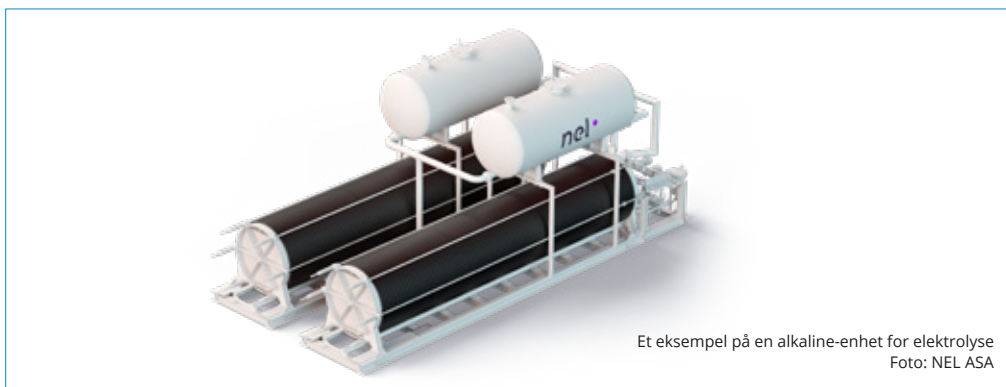
For at hydrogen skal anses å være en lav- og nullutslippsenergibærer, er det en forutsetning at det produseres tilnærmet utslippsfritt. Dette kan bl.a. gjøres ved elektrolyse av vann basert på fornybar elektrisitet, eller ved å integrere fangst og-lagring av CO₂ ved reformering av naturgass. Hydrogenproduksjon fra fossile energikilder, naturgass og kull, skjer i dag uten fangst og -lagring av CO₂. Globalt medfører dette til utslipp på om lag 830 mill. tonn CO₂ per år¹², som tilsvarer om lag de totale klimagassutslippene fra Tyskland i 2018.

I Norge er det fritak for elavgift på elektrisitet brukt til produksjon av hydrogen ved elektrolyse. Det bidrar til å senke kostnadsnivået for når hydrogen kan bli konkurransedyktig sammenlignet med andre energibærere. I 2020 er elavgiften 16,13 øre/kWh.

To produksjonsmetoder: Elektrolyse og dampreformering med CO₂- håndtering

Elektrolyse innebærer, veldig forenklet, å skille de to hydrogenatomene og oksygenatomet i vannmolekyl fra hverandre ved hjelp av elektrisitet. Elektrolyse krever rundt 9 liter vann for å kunne produsere 1 kilo hydrogen. Biproduktet er varme og 8 kilo oksygen, som kan samles opp og leveres til medisinsk bruk eller til bruk i ulike industrier som metall og kjemisk industri. Avsetting av oksygenet og utnyttelse av spillvarme kan bidra til å bedre økonomien fra produksjonen.

For elektrolyse er det hovedsakelig to teknologier som er kommersielt tilgjengelig på markedet i dag; alkalisk elektrolyse og polymer-elektrolytt membran (PEM) elektrolyse. Begge teknologiene er relativt modne, men med fortsatt rom for videre utvikling. Både energieffektiviteten og levetiden er noe høyere ved alkalisk elektrolyse. PEM anlegg er per i dag i snitt dyrere, blant annet fordi det brukes edle metaller (som platina og iridium) i anleggene og de har noe kortere levetid enn alkalisk. Fordelen er at anleggene er mer kompakte og krever mindre plass, og er mer fleksible. Alkalisk elektrolyse har i dag en anslått energieffektivitet på rundt 55-70 pst. mot 55-66 pst. for PEM (dvs. et energitap på 30 – 45 pst.), og en anslått levetid på 60-90 tusen timer mot 30-90 tusen timer for sistnevnte. Det anslås at levetiden mot 2030 kan økes til 65-100 tusen timer for et 100 MW alkalisk anlegg og til 30-85 tusen timer for PEM¹³. For produsere en kilo hydrogen (med et energiinnhold på 33 kWh trengs det rundt regnet 50-55 kWh elektrisitet¹⁴, men det vil være avhengig av, som nevnt, energitapet i elektrolyseanlegget. Indirekte utslipp av klimagasser ved produksjon av hydrogen ved elektrolyse avhenger av hvordan elektrisiteten som anvendes er fremstilt. Eksempelvis vil det være betydelige indirekte klimagassutslipp dersom hydrogen produseres ved bruk av elektrisitet basert på kullkraft.

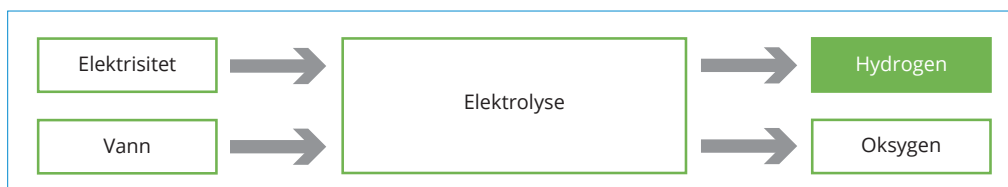


Et eksempel på en alkaline-enhet for elektrolyse
Foto: NEL ASA

12 IEA (2019), The Future of Hydrogen

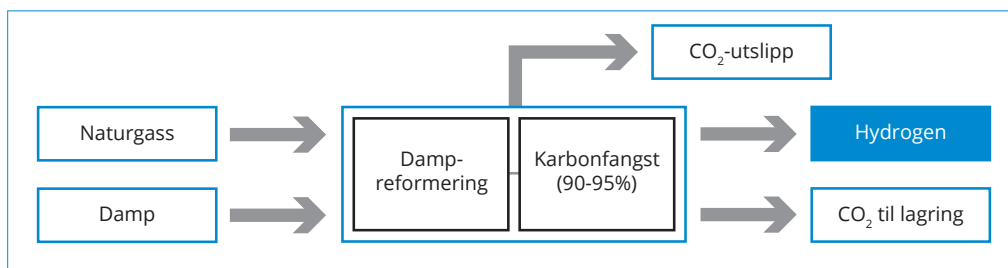
13 DNV GL (2019), Produksjon og bruk av hydrogen i Norge; IEA (2019), The Future of Hydrogen

14 Home, Hallgeir; Hole, Jarand (2019), Hydrogen i det moderne energisystemet i NVE Faktaark (2019:12), NVE (2019, Oslo), Hentet 25 mai 2020 fra http://publikasjoner.nve.no/faktaark/2019/faktaark2019_12.pdf



Figur 1-1 Elektrolyse – spalting av vann gjennom elektrisitet til hydrogen og oksygen

Dampreforming innebærer at naturgass, som i stor grad består av metan, reagerer med vanddamp under høyt trykk og høy temperatur. Denne prosessen produserer hydrogen og karbondioksid. For at prosessen skal gi rent hydrogen må fangst og -lagring av CO₂ integreres i prosessen. Dampreforming har rundt 70-85 pst. energieffektivitet. Uten fangst av CO₂ fra dampreforming av gass vil produksjon av ett tonn hydrogen gi omtrent 8 tonn CO₂¹⁵. Sammenlignet med elektrolyse er produksjonsanlegget, og dermed produksjonsvolumet, betydelig større. Et storskala dampreformeringsanlegg kan produsere rundt 120-240 tonn hydrogen per døgn. Til sammenligning opplyser det norske børsnoterte selskapet NEL AS (Norsk Hydro Electrolysers AS), som produserer elektrolysører og fyllestasjoner, at en av deres alkaliske moduler kan produsere opp mot 8 tonn hydrogen per døgn¹⁶. Dampreformere kan også bygges i mindre skala, men kostnaden per produsert enhet blir da betraktelig høyere. På samme måte som strømprisen er en viktig kostnadsdriver for elektrolyse, er gassprisen en betydelig del av produksjonskostnaden ved dampreforming. Dersom CO₂-håndtering tas i bruk vil dette gi et betydelig tillegg til produksjonskostnaden.



Figur 1-2 Dampreforming med fangst og -lagring av CO₂ som klimavennlig løsning

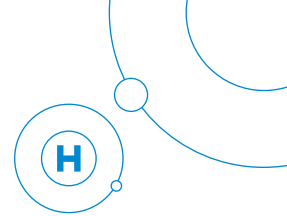
Produksjonskostnader

De ulike produksjonsmetodene har ulike produksjonskostnader. Det er viktig å skille mellom produksjonskostnad og total kostnad som også vil inkludere kostnader forbundet med frakt, lagring og tilstandskonvertering. IEA anslår at hydrogen produsert fra fossile kilder uten fangst av CO₂, vil være rimeligst fram mot 2030. En høyere pris for utslipp av CO₂ globalt er helt nødvendig for at hydrogen produsert fra fornybar energi eller fra fossile kilder med CO₂-fangst og lagring skal bli lønnsomt. Et eksempel på en alkaline-enhet for elektrolyse

Gitt dagens gass- og kraftpriser anslås dampreforming av naturgass med fangst og lagring av CO₂ å være billigere per kilo produsert hydrogen enn elektrolyse ved storskala produksjon, men dette forutsetter blant annet tilgang til naturgassinfrastruktur og at fangst og lagring av CO₂ er mulig. Forutsetningene legger begrensninger på hvor slike anlegg kan plasseres, og kan i noen tilfeller medføre større avstand mellom

15 Hallgeir; Hole (2019), Hydrogen i det moderne energisystemet

16 NELhydrogen.com (2020), Atmospheric Alkaline Electrolyser, Hentet 25 mai 2020 fra <https://nelhydrogen.com/product/atmospheric-alkaline-electrolyser-a-series/>.



produsent og forbrukere, noe som kan føre til økte transportkostnader. Eventuell storskala hydrogenproduksjon via elektrolyse forutsetter tilgang til store mengder fornybar energi. Energikostnad, og parametere som påvirker denne kostnaden (som produksjonsmetodens energieffektivitet), er den klart viktigste kostnadsfaktoren for begge disse produksjonsmetodene¹⁷. I dampreforming brukes naturgass og for elektrolyse brukes kraft. Forskjellig utvikling i gasspris og kraftpris kan derfor føre til forskjellig kostnadsutvikling for produksjonsmetodene framover. Andre faktorer som kostnadsutviklingen for CO₂ håndtering og elektrolysører kan også spille en rolle.

Ved mindre mengder hydrogen fordelt på flere forbrukspunkter, som bruk i kjøretøy eller fartøy, vil elektrolyse kunne være billigere i et verdikjedeperspektiv når kostnader til transport og lagring regnes med. Elektrolyseanlegg har også den fordel at de er modulære, og derfor relativt enkelt kan oppskaleres og justeres i forhold til etterspørselen. Gjennomsnittlig størrelse på nye installeringer av elektrolyseanlegg de seneste årene er 1 MW¹⁸. I følge IEA er det prosjekter under utvikling med elektrolyse anlegg på 10 MW og oppover. Ettersom større anlegg er bygd opp av flere enheter er kostnadsfordelene ved å bygge store anlegg i seg selv begrenset. Det kan likevel være betydelige stordriftsfordeler knyttet til selve lagringen og tilstandskonverteringen (f.eks. for flytendegjøringsanleggene) av hydrogen. Det forventes at enhetsprisen på elektrolysører vil bli redusert både som følge av teknologisk utvikling og skala i produksjonen (se figur 1-3).

Et alternativ til dedikert hydrogenproduksjon via elektrolyse eller dampreforming med CO₂-håndtering er å utnytte sidestrømmer fra eksisterende industrianlegg hvor hydrogen allerede produseres som en integrert del av prosessen. Disse industrianleggene fanger og lagrer i dag ikke CO₂. Utnyttelse av overskuddsvarme fra elektrolyseanlegg som produserer hydrogen, f.eks. ved å koble produksjonsanlegget til fjernvarmenettet, øke utnyttelsesgraden og økonomien i hydrogen produsert fra elektrolyse. Hvilken produksjonsmetode som gir lavest total kostnad vil med andre ord avhenge av geografi, tilgjengelig infrastruktur, beregnet etterspørsel og prisen på innsatsfaktorene (hovedsakelig strøm- og gassprisen).

Hydrogen er en energibærer som må omdannes fra elektrisitet, naturgass eller kull, noe som medfører energitap i produksjonen. For at hydrogen skal kunne konkurrere med fossile energikilder globalt i dag er det viktig med en tilstrekkelig høy pris for utslipp av CO₂. Teknologit utvikling er også nødvendig for å redusere produksjonskostnadene for rent hydrogen. For elektrolyse vil dette innebære å redusere kostnadene for selve elektrolyseanlegget, men også å utvikle produksjonsanlegg som mer energieffektivt omdanner elektrisitet til hydrogen. I tillegg til bedre effektivitet, vil utviklingen i kraftprisen være viktig siden kraftprisen er en betydelig del av produksjonskostnaden for hydrogen ved elektrolyse. IEA anslår at kostnaden for å produsere hydrogen fra fornybar strøm kan falle med 30 pst. mot 2030 som et resultat av fallende kostnader for fornybar kraft og oppskalering av produksjonsanlegg.

Forskning og uttesting av mer effektive elektrolyseanlegg pågår blant annet med støtte fra Norges Forskningsråd, Pilot-E og Enova. Yara fikk for eksempel i 2018 støtte gjennom Pilot-E til et prosjekt hvor de skal ta i bruk en ny generasjon elektrolysør i samarbeid med NEL hvor målet er å redusere produksjonskostnadene. I 2019 fikk NEL støtte fra Enova til et prosjekt for forbedret prosess for produksjon av elektroder. Etter hvert kan også storskala elektrolyse bidra til å redusere kostnadene ytterligere. Tidspunktet for når storskala produksjon bygges bør være markedsstyrt, og vil i stor grad avhenge av utvikling på etterspørselssiden, kjøretøy, fartøy og industrielle prosesser.

17 IEA (2019), The Future of Hydrogen

18 IEA (2019), The Future of Hydrogen

	Alkalisk elektrolyse		PEM elektrolyse	
	I dag	2030	I dag	2030
Elektrolyse effektivitet (%*)	63-70	65-70	56-60	63-68
System kostnad (USD/kW)**	500	400	1100	650
	-	-	-	-
	1400	850	1800	1500

Figur 1-3 Estimerte energieffektivitet og systemkostnad for elektrolyse (IEA, 2019)

*Effektivitet er basert på lavere brennverdi. Brennverdi er den energien som blir frigitt ved fullstendig forbrenning av en gitt mengde brensel. Nedre brennverdi betegner total brennverdi minus mengden som kan frigjøres ved fordampning av vann, som ofte ikke vil kunne nyttegjøres. Dette gjelder for eksempel hvis vanddamp fra forbrenning eller en brenselcelle slippes ut gjennom en pipe eller eksosrør.

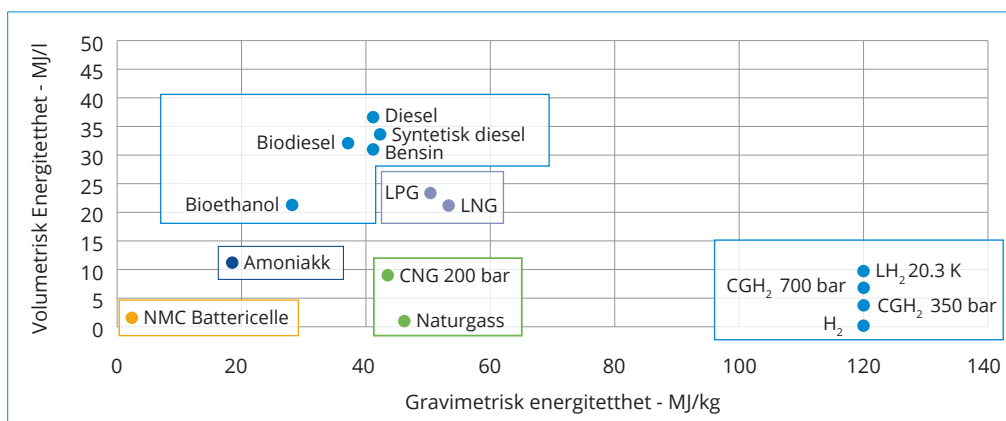
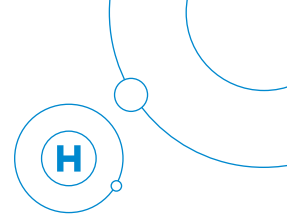
**Systemkostnad reflekterer ulike systemstørrelser og usikkerhet i framtidige estimater.

1.2 Tilstandskonvertering, lagring og distribusjon

Ettersom hydrogen ved normalt trykk har lav energitetthet per volumenhet sammenliknet med andre energibærere (se figur 2-4), er det nødvendig å øke energitettheten for å muliggjøre effektiv lagring, transport og bruk. Dette kan gjøres ved at hydrogengass enten komprimeres, gjøres flytende, eller omdannes til andre hydrogenrike stoffer. Slik tilstandskonvertering krever energi, og øker derfor kostnaden for potensielle brukere. Hvilken løsning som egner seg best avhenger av blant annet lagringsbehov, distribusjonsavstand og anvendelse.

Komprimert hydrogengass kan egne seg godt for korte distribusjonsavstander og anvendelser som krever moderate mengder energi. Ved 50 bar¹⁹ oppnår man eksempelvis en lagringstetthet på 4 kg hydrogen per kubikkmeter, mens et trykk på 700 bar gir 40 kg hydrogen per kubikkmeter. I personbiler er standarden bruk av tanker som kan lagre hydrogen med 700 bars trykk. Trykksatt hydrogen kan transporteres i gasstanker på lastebil, tog eller skip på tilsvarende måte som komprimert naturgass og biogass transporteres i dag. I likhet med naturgass kan hydrogengass også distribueres over lengre avstander i rørledning. For lengre distribusjonsavstander eller for bruksområder hvor det er behov for store mengder energi over lengre perioder, som i maritime fartøy, kan flytende hydrogen være bedre egnet.

¹⁹ 1 bar er tilnærmet lik det atmosfærisk trykket ved havnivå.



Figur 1-4 Sammenligning av energitetthet for hydrogen og andre relevante drivstoff/energibærere. Y-aksen er volumetrisk energitetthet – hvor mye energi de ulike bærerne har per volumenhet (liter). X-aksen er gravimetrisk energitetthet – hvor mye energi de ulike bærerne har per vektenhet (kg).

Kilde: Shell (2017), Shell hydrogen study: Energy of the future? Sustainable mobility through fuel cells and hydrogen, figur hentet fra DNV GL (2019).

Hydrogengass går over i flytende tilstand når den kjøles ned til -253°C. Flytende hydrogen har en lagringstetthet på om lag 71 kg hydrogen per kubikkmeter. Nedkjølingsprosessen er energikrevende, noe som medfører ekstra kostnader. I Europa finnes det i dag kun tre anlegg for flytendegjøring av hydrogen. Flytende hydrogen kan transporteres i tanker på skip, lastebiler og tog.

Hydrogen kan også konverteres til andre energibærere i væskeform som enklere lar seg frakte over lengre distanser med eksisterende transportløsninger. Ett alternativ er å benytte rent hydrogen til produksjon av ammoniakk. Ammoniakk kan inneholde over 17 pst. hydrogen, noe som tilsvarer 121 kg hydrogen per kubikkmeter. Et annet alternativ er å benytte flytende hydrogenbærere, hvor hydrokarboner berikes til høyere hydrogeninnhold. Som andre konverteringsprosesser innebærer den også energitap gjennom verdikjeden. Fordeler ved flytende hydrogenbærere er at transport og lagring kan skje under atmosfærisk trykk og temperaturer nærmere null grader. Det kan også utnytte eksisterende infrastruktur i større grad.

Anlegg for produksjon, lagring, omtapping, fylling og bunkring av hydrogen krever relativt store areal på grunn av behovet for sikkerhetssoner. Behovet for sikkerhetssoner avhenger av hydrogenmengde, type teknologi, lagringsform og om store mengder hydrogen er samlet i tanker over eller under bakken i luft eller i vann. Dette kan være en begrensende eller fordyrende faktor. Arealbehovet vil trolig kunne reduseres når det opparbeides mer erfaring med den delen av teknologien som er ny.

1.3 Forbruk

Energiinnholdet i hydrogen kan enten utnyttes ved at hydrogen omdannes til elektrisitet gjennom brenselceller, eller til kraft- og varmeproduksjon ved forbrenning på samme måte som naturgass. I tillegg kan hydrogen erstatte fossile innsatsfaktorer i industriprosesser. Fortsatt forskning og utvikling trengs for å forbedre teknologien og å gjøre den billigere. Nasjonal og internasjonal forskning på hydrogen er beskrevet senere i kapittel 6 og 7.4.

Brenselceller

I en brenselcelle omdannes hydrogen og oksygen til elektrisitet med vanndamp som eneste utslipp. Det finnes flere typer brenselceller med ulike styrker og svakheter. Valg av brenselcelle vil derfor avhenge av hvilket bruksområde den skal betjene. Faktorer som temperatur, effekt, energieffektivitet, levetid og materialvalg varierer fra type til type, noe som også gir ulike kostnader. Kostnaden har gått vesentlig ned de siste årene samtidig som effektiviteten er forbedret²⁰. Levetid kan variere fra rundt 5.000 til opp mot 90.000 timer. Det er imidlertid ikke i alle anvendelser at brenselcellen må gå kontinuerlig. I et kjøretøy vil man for eksempel kunne greie seg med færre timer enn i stasjonære anlegg for kraft- og varmeproduksjon. Virkningsgraden, det vil si hvor mye energi som går til selve fremdriften, for brenselceller i kjøretøy ligger rundt 60 pst. Til sammenlikning er virkningsgraden i en vanlig forbrenningsmotor som bruker bensin rundt 20 pst.²¹. Det forventes at virkningsgraden vil forbedres noe i årene fremover. I følge IEA²² kan den samlede effektiviteten være under 30 pst., dersom hele energiforbruket (tapet) i verdikjeden inkluderes, fra konvertering av elektrisitet til hydrogen, transport og lagring, og konvertering tilbake til strøm igjen. Dette vil gjenspeiles i den totale brukskostnaden og delvis også i prisen for hydrogen.

Gassturbiner

Gasskraft står for en betydelig del av kraftproduksjonen i Europa og verden for øvrig. Gasskraftverk kan relativt raskt regulere produksjonen opp og ned, og slik bidra til å balansere kraftsystemet i takt med strømforbruket. Denne fleksibiliteten gjør også gasskraftverk velegnet som back-up for variabel fornybar energiproduksjon i perioder hvor solen ikke skinner og ikke blåser og i perioder hvor etterspørselen etter kraft og varme er spesielt høy – for eksempel sesongmessige variasjoner. Som for brenselceller er det også energitap i gasskraftverk. Virkningsgraden på et typisk kombigasskraftverk er i underkant av 60 pst.²³. Dersom overskuddsvarmen også utnyttes til varmeformål, kan virkningsgraden komme opp i 80 pst.

Dagens gassturbiner kan modifiseres til å enten bruke en blanding av naturgass og hydrogen, eller bare hydrogen. Dette vil gi kraft- og varmeproduksjon med reduserte eller ingen utslipp av CO₂. En vil også kunne oppnå reduserte utslipp ved å fange CO₂ fra kraftverkens eksosgass. Gassturbiner som utelukkende driftes med hydrogen er foreløpig ikke hylleware. Turbinprodusentene er imidlertid i gang med å tilpasse produktene sine for å imøtekomme en fremtid hvor hydrogendrift kan bli aktuelt. Eksempelvis har alle de store produsentene som leverer gassturbiner til det europeiske markedet sammen erklært at alle nye turbiner som leveres fra 2020 skal kunne drives med naturgass iblandet opp til 20 pst. hydrogen, og med 100 pst. hydrogen fra 2030²⁴.

Hydrogen som kjemisk innsatsfaktor

Ved siden av bruken som energibærer brukes hydrogen også som kjemisk innsatsfaktor i industrien. I dag er det denne bruken som er mest utbredt og da særlig i produksjon av ammoniakk og i raffinering.

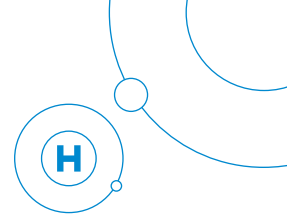
20 IHS Markit (2019). Hydrogen: The missing piece of the zero-carbon puzzle. An IHS Markit study considering the potential role of hydrogen in a net-zero carbon Europe, IHS Markit (2019, London)

21 IEA (2019), The Future of Hydrogen

22 IEA (2019), The Future of Hydrogen

23 Hofstad, Knut. (2019, 15. oktober). kombikraftverk. I Store norske leksikon. Hentet 3. april 2020 fra <https://snl.no/kombikraftverk>

24 EUTurbines (2019). The gas turbine industry's commitment to drive the transition to renewable-gas power generation. https://powertheeu.eu/wp-content/themes/euturbines/dl/EUTurbines_renewable-gas-commitments_2019.pdf



AMMONIAKK SOM DRIVSTOFF I TRANSPORT

Ammoniakk kan være et nullutslippsalternativ på linje med hydrogen. Bruk av ammoniakk har noen fordeler sammenlignet med hydrogen. Ammoniakk er en gass ved normale temperaturer og atmosfærisk trykk, men blir flytende ved 10 bars trykk og 25 °C, eller -33 °C ved atmosfærisk trykk. Til sammenlikning må rent hydrogen være minus 253°C for å bli flytende. Ammoniakk har også høyere energitetthet. Per volumenhet inneholder flytende ammoniakk 50 pst. mer energi enn flytende hydrogen. Således kreves mindre lagringsplass, og lengre seiletid tillates alt annet likt.

Ammoniakk kan både være en hydrogenbærer, og brukes direkte som drivstoff. Ammoniakk kan i prinsippet brukes i både forbrenningsmotorer og brenselceller. Det er i dag ingen marine motorer på markedet som kan anvende ammoniakk som drivstoff uten tekniske tilpasninger, men det foregår utviklingsarbeid som innen få år er ventet å gi motorer som kan brenne ammoniakk. Motorprodusenter rapporterer at motorer klargjort for ammoniakk kan være på markedet tidligst innen tre år²⁵.

Brenselceller som kan benytte ammoniakk ligger lengre frem i tid og er i dag på forskningsstadiet. Blant utfordringene ved bruk av ammoniakk, er forbrenningsegenskapene og utslipp av NOx. Ammoniakk er giftig og kan også være korrosivt. Som for hydrogen er det i dag ingen bunkringsinfrastruktur tilgjengelig for ammoniakk som drivstoff for skip.

Kostnadene knyttet til bruk av ammoniakk ombord antas å være sammenlignbart med bruk av LPG, dvs. at kostnad for motoren er noe høyere enn for tradisjonell dieseldrift, samt merkostnader til lagringstanker. Kostnadene er imidlertid lavere enn for LNG²⁶.

Når det gjelder produksjonskostnadene for ammoniakk vil den ligge noe høyere enn hydrogen, som følge av at hydrogenet må omdannes videre til ammoniakk. Dersom lagringskostnader inkluderes kan kostnadene være lavere, fordi det er rimeligere å lagre enn hydrogen. Hva som er det rimeligste alternativet vi blant annet avhenge av produksjonskostnad (inkludert konvertering/flytendegjøring), lagringskostnad og energieffektiviteten ved bruken.

Boks 1-5 Ammoniakk som drivstoff i transport

²⁵ Miljødirektoratet, Statens vegvesen, Kystverket, Landbruksdirektoratet, Norges vassdrags- og energidirektorat, Enova (2020), Klimakur 2030, Hentet 24 mai 2020 fra <https://www.miljodirektoratet.no/klimakur>

²⁶ DNV GL (2019), Reduksjon av klimagassutslipp fra innenriks skipstrafikk, Rapport nr. 2019-0939

2 Sikkerhet og regelverk

Bruk av hydrogen og hydrogenbaserte løsninger skal være trygt. Sikker bruk er helt avgjørende for at aktuelle brukere skal ta i bruk ny teknologi og nye løsninger, og at hydrogen og hydrogenbaserte løsninger skal kunne være reelle bruker alternativer. Erfaringer samlet gjennom hydrogenprosjekter vil være viktig for norske myndigheters arbeid med utvikling av regelverk for bruk av hydrogen og andre hydrogenbaserte løsninger som ammoniakk. Det vil også være behov for opplæring og kunnskap for personell i hele hydrogenverdikjeden. I tillegg til krav til de teknologiske løsningene bør det derfor også vurderes krav til opplæring av personell som skal arbeide med hydrogen eller hydrogenbaserte løsninger. Dette gjelder særlig for bruk i skipsfart hvor bruken er i tidligfase. Hydrogengass er fargeløs, luktfri og er ikke giftig.

Hydrogengass er fargeløs, luktfri og er ikke giftig. Gassen er klassifisert som brannfarlig gass, og antenning av hydrogen i blanding med luft kan føre til eksplosjon. Hydrogen er tennbar i blanding med luft i konsentrasjon fra 4 til 75 pst. av volumet, og sammenliknet med andre brannfarlige stoffer kreves svært lav energi for å antenne gassen. For eksempel kan hydrogengass antennes av statisk utladning fra klær og utstyr og ved selvantenning.

Hydrogen er lettere enn luft - en lekkasje vil derfor stige til værs. For utendørs håndtering av hydrogen bidrar dette positivt til sikkerheten, da en lekkasje raskt vil tynnes ut. Det er likevel viktig å ha høyt fokus på å forebygge utilsiktede utslipp, med tanke på at hydrogen er svært lett antennelig. Ved håndtering av hydrogen i lukkede rom vil utlekket hydrogen samle seg langs taket/ høyeste punkt, og gode systemer for utlufting/ ventilasjon og deteksjon vil ofte være en forutsetning for sikker drift.

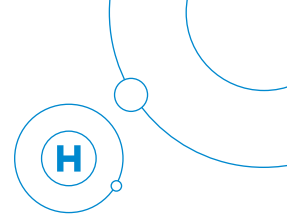
Det er til dels ulike utfordringer knyttet til om hydrogen er i gassfase eller om hydrogenet er flytende. Hydrogen i gassfase oppbevares ofte ved svært høyt trykk – opp til 1000 bar ved fyllestasjoner for personbiler. Hydrogenmolekylet er dessuten minst av alle molekyler, og det er utfordrende å tette tilstrekkelig der utstyr sammenføres. Videre diffunderer hydrogen inn i stål og annet metall, hvilket kan svekke materialet og gi brudd (kjent som hydrogensprøhet).

For flytende hydrogen er det utfordringer knyttet til den lave temperaturen (- 253 °C). I tillegg til den åpenbare faren for frostskaider for personell som håndterer flytende hydrogen, er smeltepunktet til luftgassene oksygen, nitrogen og argon høyere enn temperaturen til flytende hydrogen. Dette betyr at luft som kommer i kontakt med flytende hydrogen eller utstyr med samme temperatur, vil fryse. Som et resultat vil konsentrasjonen av oksygen øke, hvilket gir økt fare for antenning.

Standard Norges speilkomité SN/K 182 Hydrogenteknologi følger standardiseringsarbeidet i CEN-CLC/TC 6 "Hydrogen in energy systems" og ISO/TC 197 "Hydrogen Technology". Komitéen deltar med eksperter i arbeidsgrupper i regi av både ISO og CEN, og mottar utkast til nye standarder for kommentarer og avstemning.

I Norge er det Direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap (DSB) som er fagmyndighet for brannfarlig, reaksjonsfarlig, trykksatt og eksplosjonsfarlig stoff, herunder hydrogen. Direktoratet er også fagmyndighet for landtransport av farlig gods.

DSB er også forvaltningsmyndighet når det gjelder elsikkerhet, dvs. krav til sikker utførelse og bruk av forsyningsnett og elektriske installasjoner. Dette omfatter også installasjoner for produksjon av hydrogen, batterilagre, ladestasjoner for elektriske kjøretøy og landtil-



kobling for skip. DSB forvalter i tillegg regelverk som stiller krav til utførelse av elektriske installasjoner om bord i skip.

Lov om vern mot brann, eksplosjon og ulykker med farlig stoff og om brannvesenets redningsoppgaver (brann- og eksplosjonsvernloven) gir hjemmel til å fastsette forskrifter om sikker håndtering av brannfarlig stoff, for eksempel på energistasjoner med hydrogen. Dette er nærmere omtalt i Handlingsplanen for infrastruktur for alternative drivstoff (2019)²⁷.

REGELVERK OG DIREKTIVER

Håndtering av hydrogen er regulert i forskrift om håndtering av farlig stoff²⁸. Forskriften regulerer også bunkring av hydrogen, med avgrensning mot Sjøfartsdirektoratets regelverk der bunkringsslangen kobles til skipet. I driftsfasen er også forskrift om helse og sikkerhet i eksplosjonsfarlige atmosfærer²⁹ relevant for hydrogenanlegg. Stasjonært utstyr som skal benyttes til håndtering av hydrogen må være i henhold til kravene i forskrift om trykkpåkjent utstyr³⁰. Hydrogen skal transporteres i henhold til kravene i forskrift om landtransport av farlig gods³¹. Virksomheter som oppbevarer 5 tonn hydrogen eller mer vil i tillegg være omfattet av storulykkeforskriften³². De fire sistnevnte forskriftene er direktivbaserte, hvilket betyr at kravene i disse forskriftene er tilsvarende regelverket i andre EU/EØS-land. Forskrift om håndtering av farlig stoff er en nasjonal forskrift.

Forskrift om håndtering av farlig stoff stiller blant annet krav om at det skal utarbeides risikovurdering for hydrogenanlegg og at anleggene skal bygges og kontrolleres etter anerkjent norm. For å oppnå tilstrekkelig sikkerhet for tredjeperson, er det viktig at håndtering av hydrogen foregår i tilstrekkelig avstand fra omkringliggende objekter. Forskriften stiller krav om at virksomhetene skal dokumentere hvorvidt det er behov for arealmessige begrensninger rundt anlegg for håndtering av hydrogen. Det er viktig å ta sikker plassering i betraktning når hydrogenanlegg skal etableres. DSB har utarbeidet en temaveiledning med sikkerhetsavstander for blant annet fyllestasjoner for hydrogen til personbiler.

Boks 2-1 Regelverk og Direktiver

27 Departementene (1. juli 2019), Handlingsplan for infrastruktur for alternative drivstoff i transport, Samferdselsdepartementet og Klima- og miljødepartementet (2019, Oslo)

28 Forskrift 8. juni 2009 nr. 602 om håndtering av brannfarlig, reaksjonsfarlig og trykksatt stoff samt utstyr og anlegg som benyttes ved håndteringen

29 Forskrift 30. juni 2003 nr. 911 om helse og sikkerhet i eksplosjonsfarlige atmosfærer

30 Forskrift 10. oktober 2017 nr. 1631 om trykkpåkjent utstyr

31 Forskrift 1. april 2009 nr. 384 om landtransport av farlig gods

32 Forskrift 3. juni 2016 nr. 569 om tiltak for å forebygge og begrense konsekvensene av storulykker i virksomheter der farlige kjemikalier forekommer

2.1 Sikker bruk av hydrogen i skipsfart

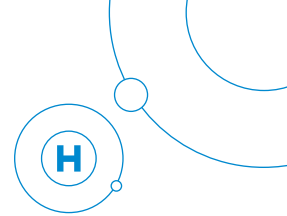
Det er viktig at regelverk er i stand til å håndtere både ny teknologi og nye digitale løsninger. Utvikling av internasjonalt regelverk for fremtiden er en forutsetning for at norsk maritim industri skal kunne markedsføre ny teknologi internasjonalt, og for at den maritime næringen skal kunne operere internasjonalt med ny innovativ teknologi utviklet i Norge. Regjeringen vil at Norge skal fortsette å være en pådriver i utvikling av regelverk og standarder for å kunne ta i bruk nye løsninger og teknologier i maritim sektor.

I 2015 vedtok IMO «the International Code of Safety for Ships using Gases or other Low-flashpoint Fuels (IGF koden). Norge tok initiativ til å sette koden på IMOs agenda. Koden inneholder funksjonskrav og spesifikke krav til brennstoffsystemer, tanker og operasjonelle krav for skip som bruker LNG som drivstoff, men åpner også for bruk av andre gasser og brennstoff med lavt flammepunkt, som f.eks. hydrogen gjennom å dokumentere tilfredsstillelse av funksjonskrav.

Sjøfartsdirektoratet forvalter det sentrale regelverket på sjøsikkerhets- og miljøområdet. Næringens innovative prosjekter utfordrer det maritime regelverket. Sjøfartsdirektoratet deltar aktivt i arbeidet med ny teknologi, og godkjenner og sertifiserer nye drivstoffløsninger som bl.a. hydrogen, metanol og brenselceller. Sjøfartsdirektoratet jobber med et samarbeidsprosjekt med næringen for å blant annet kartlegge kunnskap og forskning på hydrogen, med hensikt å etablere en Håndbok for hydrogen. Dette, sammen med erfaring høstet gjennom prosjekter som følger alternative design, vil etter hvert bidra til å etablere regelverk for hydrogen. I FNs sjøfartsorganisasjon, IMO, deltar direktoratet aktivt i arbeidet med "Interim Guidelines for Fuel Cells" som etter planen skal godkjennes av FNs sjøsikkerhetskomite (MSC) i 2021.

Det pågår også prosjekter i Norge som vil bidra til videreutvikling av regelverk og standarder for bruk av hydrogen. Det samme vil gjelde for bruk av ammoniakk som drivstoff. En viktig del av Statens Vegvesens utviklingskontrakt for en hydrogenelektrisk ferje på sambandet rv. 13 Hjelmeland – Nesvik – Skipavik er sikker bruk av hydrogen. Utviklingskontrakten har gitt rom for tett samarbeid mellom deltagerne i konkurransen, Statens vegvesen som oppdragsgiver samt DSB og Sjøfartsdirektoratet som myndighetsansvarlige på sikkerhetssiden. Sjøfartsdirektoratet, DSB og SVV fikk følge rederienes ni konsepter fra skissestadiet til detaljerte løsninger. Dette har gitt en bred plattform for utvikling av regelverk. Det store antallet bidragsytere i hvert konsept har bidratt til å gi norsk maritim næring et fundament for realisering av flere hydrogenprosjekter.

I forbindelse med utviklingskontrakten har Statens vegvesen tatt initiativ til testing av sikker bruk av hydrogen. Testingen gjennomføres som et samarbeidsprosjekt der norske miljøer som har jobbet med hydrogensikkerhet i en årrekke kan dele erfaringer basert på hydrogenforskning knyttet opp mot potensielle tekniske løsninger for maritim hydrogenbruk.



Del 2

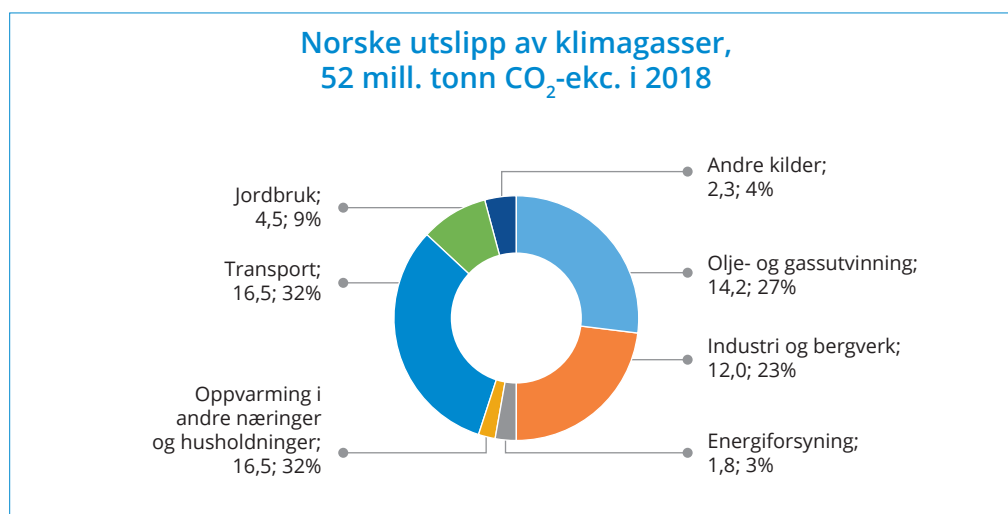
Hydrogen i Norge



Hydrogen har en rekke bruksområder og vil kunne være relevant i flere sektorer som et ledd i omstillingen til lavutslippssamfunnet. I hvilke sektorer og bruksområder det i Norge vil være hensiktsmessig å ta i bruk hydrogen som lavutslippsløsning eller satse på teknologiutvikling vil avhenge av flere faktorer. Disse faktorene inkluderer blant annet om det er mulig å påvirke teknologiutviklingen, om hydrogenproduksjon og utvikling av hydrogenteknologi bidrar til verdiskaping i Norge. Om hydrogen og hydrogenbaserte løsninger velges som lav- og nullutslippsalternativ for aktuelle bruksområder vil avhenge av pris og konkurranse mot alternative løsninger og teknologier.

Denne delen av strategien tar for seg ulike bruksområder som kan være aktuelle i Norge. I dag ser det ut til at noen av de mer aktuelle bruksområdene er maritim sektor, tungtransport og i industrielle prosesser. Det er fortsatt usikkerhet knyttet til dette, da teknologien for flere av disse bruksområdene er på et tidlig stadium. Flere bruksområder som vurderes i andre land er lite aktuelle i Norge. Dette gjelder spesielt bruk av hydrogen som energilager for variabel kraftproduksjon og til oppvarming, da vi i Norge allerede har en solid regulerbar vannkraftforsyning og nærmest utelukkende utslippsfri oppvarming.

Klimamål og politiske ambisjoner



Figur 3-1 Norske klimagassutslipp i 2018, mill. tonn CO₂-ekv. og % av totale utslipp.
Kilde: SSB

Norge skal bli et lavutslippsamfunn i 2050. Med lavutslippsamfunn menes et samfunn hvor klimagassutslippene, ut fra beste vitenskapelig grunnlag, utslippsutviklingen globalt og nasjonale omstendigheter, er redusert for å motvirke skadelige virkninger av global oppvarming som beskrevet i Parisavtalen. Regjeringen har et mål om at klimagassutslippene i 2050 reduseres i størrelsesorden 90 og 95 pst. sammenlignet med 1990-nivå. Norge har, som en del av oppfølgingen av Parisavtalen, meldt inn et forsterket klimamål om å redusere utslippene med 50 pst. og opp mot 55 pst. i 2030 sammenlignet med 1990. Det er derfor behov for å redusere Norske utslipp av klimagasser. Som Figur 3-1 viser, var norske utslipp av klimagasser i 2018 på 52 mill. tonn CO₂-ekvivalenter. Transportsektoren står for om lag en tredjedel av de totale utslippene og om lag 60 pst. av de ikke-kvotepliktige utslippene. Om lag 50 pst. av utslippene, hovedsakelig fra industri virksomhet og olje og gassutvinning, er en del av det europeiske kvotesystemet (EU ETS).

Verdikjeder

For at hydrogen skal bli et reelt nullutslippsalternativ, må det være et tilgjengelig, sikkert og økonomisk bærekraftig alternativ. Når det gjelder konkurranseforholdet mellom forskjellige energibærere, er det viktig å se på hele verdikjeden med samlet kostnad for produksjon og transport fram til forbruker. For hydrogen vil konkurranseforholdet, i tillegg til prisen på innsatsfaktorer som strøm eller gass, avhenge blant annet av avstand fra produksjon til forbruker, behovet for lagring, etterspurt volum, kostnad og energitap forbundet med tilstandskonvertering. For bruk av hydrogen i kjøretøy/fartøy er det viktig å understreke at også den samlede vekten av drivstoff, tank, fremdriftssystem samt plassbehov vil være av betydning.

For å støtte opp under verdikjedetilnærmingen, etterlyste den nasjonale støtteordningen PILOT-E i sin 2019-utlysning helhetlige løsninger for en konkurransedyktig og energieffektiv leveransekjede for hydrogen, jf. Boks 3-2. Erfaringene fra blant annet PILOT-E-utlysningene viser at det som er begrensende for hydrogensatsingen på nåværende tidspunkt er manglende demonstrasjon av teknologi som kan ta i bruk hydrogen som energibærer. Særlig er det få prosjekter med sluttbruker erfaring med bruk av hydrogen under reelle driftsbetingelser. Regjeringen har derfor som mål å øke antall pilot- og demonstrasjonsprosjekter i Norge, understøttet av støtteordninger som PILOT-E.

Storskala hydrogenproduksjon er mulig med eksisterende teknologi. Derimot er kostnaden for hydrogen fra elektrolyse høy og ikke konkurransedyktig med andre energibærere. En mer energi- og kostnadseffektiv produksjon er derfor nødvendig for å oppnå storskala produksjon med en påfølgende reduksjon av kostnadene.

Videre vil det, som det påpekes i kapittel 1, først være relevant med en større utbygging av offentlig tilgjengelig infrastruktur når teknologien på brukssiden er demonstrert og utprøvd.

PILOT-E

PILOT-E er et samarbeid mellom Norges forskningsråd, Innovasjon Norge og Enova som skal bidra til det grønne skiftet ved å akselerere energiteknologiprojekter gjennom hele utviklingsløpet fra idé til marked. I 2019 utlyste PILOT-E midler til prosjekter som skal få frem helhetlig leveransekjeder for hydrogen. To konsortsier fikk støtte på til sammen 71 mill. kroner:

I det første konsortiet ledet av BKK AS i Bergen skal prosjektet utvikle en storskala forsyning for flytende hydrogen som er tenkt som et første skritt mot en nasjonal infrastruktur for hydrogen.

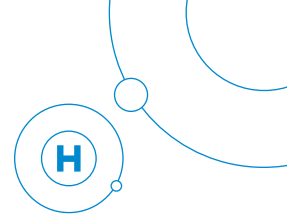
Det andre prosjektet ledes av Flakkgruppen AS, som gjennom prosjektet Hellesylt Hydrogen Hub vil etablere en funksjonell og kommersielt bærekraftig verdikjede for hydrogen på Nord-Vestlandet. Prosjektet har som mål å utvikle og demonstrere en komplett leveranse-kjede for grønt hydrogen i Geiranger.

Også i 2016, 2017 og 2018 ble det tildelt støtte til hydrogenprosjekter blant annet til skip, i landtransport og i industrien.

Boks 3-2 Pilot-E

Synergier

Synergier på tvers av bruksområder kan, i tillegg til effektive verdikjeder, være en viktig bidragsyter til bedre lønnsomhet i hydrogenprosjekter. En utfordring i dag er at det kreves skala i produksjonen av hydrogen og tilstrekkelig avsetning for at det skal bli lønnsomt. Det samme gjelder for lønnsomhet i infrastruktur for fylling. Dersom potensiell etterspørsel kan samles gjennom økt samarbeid på tvers av sektorer og brukere, kan det legges til rette for bedre lønnsomhet. Arealbehov for å ha tilstrekkelige sikkerhetsoner ved produksjons-, lagrings- og fylleanlegg kan dessuten tale for å samlokalisere flere forbrukere. Det er viktig at aktører som planlegger å ta i bruk hydrogenløsninger undersøker hvordan deres prosjekter kan knyttes opp mot andre prosjekter, sektorer og bruksområder. Slike koblinger kan redusere kostnader, skape synergier og bidra til mer lønnsom produksjon.



3 Transport

Hydrogen og andre hydrogenbaserte løsninger har potensial til å redusere utslipp i transportsektoren. I tillegg til pris, vil potensialet avhenge av både hydrogenets egenskaper og egenskapene til de andre lav- og nullutslippsalternativer som batterier, biogass og biodrivstoff. Ettersom batterier med dagens teknologi blir for tunge om de skal lagre mye energi, og biodrivstoff er en begrenset ressurs, kan hydrogen blant annet egne seg for transport som går over lengre avstander eller der vekt og fylletid er viktige faktorer. Tungtransport på land og maritim sektor peker seg dermed ut som potensielle segmenter i dette perspektivet. Dette er bruksområder som vil kreve større mengder hydrogen og som dermed kan bidra til etterspørsel som understøtter mulig lønnsom produksjon av hydrogen. Så lenge både hydrogenteknologier og alternative teknologier er i rask utvikling, er det imidlertid vanskelig å si hvor hydrogen vil ha sitt konkurransefortrinn, særlig i et lengre perspektiv.

Transportsektoren står for om lag en tredjedel av norske utslipp og om lag 60 pst. av ikke-kvotepiktige utslipp. I tillegg til de overordnede klimamålene har regjeringen en ambisjon om å halvere utslippene fra transportsektoren innen 2030 sammenlignet med 2005. Halveringsambisjonen er basert på forbedringer av teknologisk modenhet i ulike deler av transportsektoren. Dette innebærer at det er et stort behov for introduksjon og videreutvikling av nullutslippsteknologier i transportsektoren.

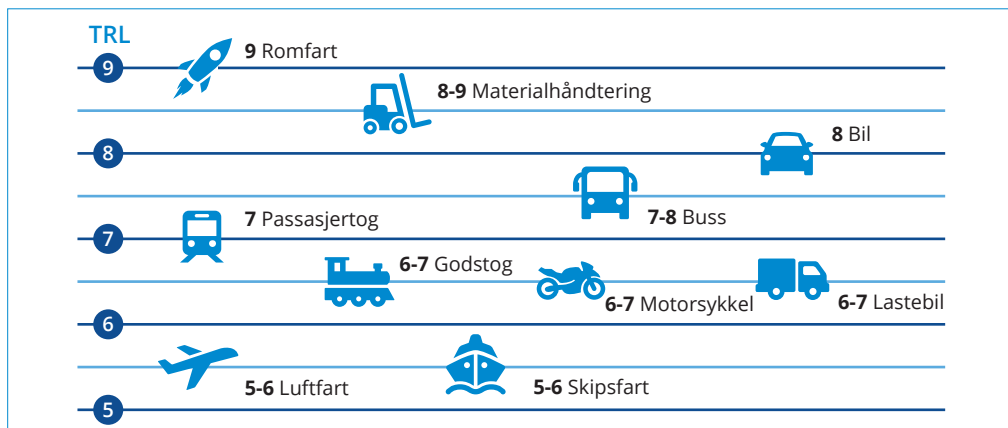
Bruk av hydrogen i de fleste transportsegmenter er i dag på et tidlig stadium og det gjenstår fortsatt forskning, teknologiutvikling og uttesting før hydrogen blir et kommersielt tilgjengelig alternativ. Kostnadsanslagene for bruk av hydrogen- og ammoniakk i Klimakur 2030³³ ligger i øvre kostnads-sjikt (kostnadene er over 1500 kr/tonn CO₂). Dette er usikre anslag, men illustrerer at utstrakt bruk av hydrogen i mange bruksområder er helt avhengig av kostnadsreduksjoner fra framtidig teknologiutvikling som skjer utenfor Norge. Dette gjelder spesielt nye løsninger innenfor landtransport.

Behovet for teknologiutvikling illustreres også godt i figuren fra en studie gjennomført av Shell, hvor de vurderte modenheten for brenselceller for mobile anvendelser. Figur 3-3 viser teknologimodenhet (TRL)³⁴ for bruk av hydrogen til ulike mobile formål. Teknologier øverst på skalaen er kommersielt tilgjengelig og har vært i drift over tid under kommersielle rammer og i alle forventede driftssituasjoner. Teknologier lengre ned på skalaen krever mer testing, pilotering og utvikling for å bli modne. Transportøkonomisk institutt (TØI) konkluderer i en rapport om nullutslipps tungtransport også med at introduksjon av brenselcellekjøretøy ligger et stykke frem i tid³⁵.

33 Miljødirektoratet, Statens vegvesen, Kystverket, Landbruksdirektoratet, Norges vassdrags- og energidirektorat og Enova (2020), Klimakur 2030, Hentet 24 mai fra <https://www.miljodirektoratet.no/klimakur>

34 Teknologimodenhet måles ofte på en såkalt TRL-skala. Denne skalaen sier noe om hvor langt man har kommet i utviklingsprosessen og hvilken demonstrasjon som finnes for teknologiens ytelse, og på hvilken skala. Laboratorieskala-uttesting er utført med systemløsning under relevante driftsbetingelser. Hentet 26 mai fra <https://www.enova.no/bedrift/industri-og-anlegg/tema/technology-readiness-levels-trl/>

35 Jordbakka, Guri Natalie; Amundsen, Astrid Helene; Sundvor, Ingrid; Figenbaum, Erik; Hovi, Inger Beate (2018), Technological maturity level and market introduction timeline of zero-emission heavy-duty vehicles, TØI Rapport 1655/2018, Transportøkonomisk institutt (Oslo)



Figur 3-3 Teknologimodenhet (TRL) til brenselcelle. Kilde: Shell (2017) Shell hydrogen study: Energy of the future? Sustainable mobility through fuel cells and hydrogen. Figur hentet fra DNV GL (2019), Produksjon og bruk av hydrogen i Norge

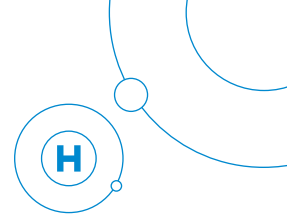
Støtte til forskning og teknologiutvikling er derfor fortsatt viktig. I Energi21, Norges nasjonale strategi for forskning, utvikling og kommersialisering av klimavennlig energiteknologi, er hydrogen et anbefalt satsingsområde og gjennom Norges forskningsråd, Innovasjon Norge og Enova bidrar myndighetene til forskning, utvikling og demonstrasjon av nullutslippsløsninger for transport, herunder hydrogen. Gjennom MoZEES (Mobility Zero Emission Energy Systems), et forskningssenter for miljøvennlig energi (FME), bidrar Norges forskningsråd til å styrke kunnskapen om batteri- og hydrogenteknologier i transportsektoren ved blant annet å bidra til design og utvikling av sikre, pålitelige og kostnadseffektive nullutslippsløsninger og fremdriftssystemer for tungtransport. Flere hydrogenrelevante forskningsprogrammer er nærmere beskrevet i kapittel 6.

Norges forskningsråd, Innovasjon Norge og Enova har støttet flere pilotering- og demonstrasjonsprosjekter for hydrogen og understøtter regjeringens målsetning om å øke antall pilot- og demonstrasjonsprosjekter i Norge. Gjennom Nullutslippsfondet som ble opprettet i 2019, vil Enova i tillegg støtte både kjøretøy og fartøy etter hvert som teknologien blir tilstrekkelig moden.

Offentlige anskaffelser

Regjeringen vurderer at det er prioriterte områder der offentlige anskaffelser særlig er egnet som virkemiddel for å nå Norges klima- og miljømål, som oppdragsgiverne særlig bør se på når de skal gjennomgå anskaffelsespraksisen sin og vurdere hvordan de kan oppnå best mulig klimagevinst. Transport og lav- og nullutslippsløsninger er områder hvor offentlige anskaffelser kan egne seg.

Gjennom offentlige anskaffelser kan det offentlige både legge til rette for innovasjon og aktivt søke det. Oppdragsgivere kan åpne for innovative løsninger gjennom å benytte åpne kravspesifikasjoner som angir oppdragsgiverens behov heller enn å spesifisere en bestemt løsning. Denne typen anskaffelser omtales gjerne som innovasjonsvennlige anskaffelser. Offentlige oppdragsgivere kan også aktivt søke etter innovative løsninger. Dette omtales gjerne som anskaffelse av innovasjon og kan være aktuelt i tilfeller hvor det offentliges behov ikke kan dekkes gjennom de løsningene som allerede er tilgjengelig i markedet. I denne sammenheng er det viktig at anskaffelsene utformes på en måte som sikrer tilstrekkelig rom for utvikling av teknologien der hvor dette er nødvendig, slik at løsningene som leveres dekker både behov og funksjonskrav på en tilfredsstillende måte. God innkjøpskompetanse er med andre ord en forutsetning for gode innovative anskaffelser.



For å realisere potensialet for utvikling og implementering av ny teknologi gjennom offentlige anskaffelser, er det en forutsetning at det er virksom konkurranse i det aktuelle markedet. Innkjøper må derfor ha et bevisst forhold til markedet og vurdere både tilbyders og egen risiko. Som varslet i Melding St. 22 (2018-2019) *Smartere innkjøp – effektive og profesjonelle offentlige anskaffelser*, arbeider regjeringen med en handlingsplan som skal bidra til å øke andelen klima- og miljøvennlige offentlige anskaffelser og grønn innovasjon.

KONKURRANSEPREGET DIALOG

Anskaffelsesprosedyren "konkurransepreget dialog" kan være godt egnet for å bidra til teknologiutvikling gjennom tett offentlig-privat samarbeid. Statens vegvesen har benyttet denne prosedyren for å introdusere både batterielektriske (Ampere) og hydrogenelektriske ferjer. Den hydrogenelektriske ferjen på sambandet rv. 13 Hjelmeland – Nesvik – Skipavik har planlagt driftsoppstart i oktober 2021. Denne prosedyren gir rom for tett samarbeid mellom deltagerne i konkurransen, der Statens vegvesen er oppdragsgiver og DSB og Sjøfartsdirektoratet er myndighetsansvarlige på sikkerhetssiden. Alle aktørene har kunnet følge ni konsepter fra skissestadiet til detaljerte løsninger. Dette har gitt en bred plattform for utvikling av regelverk. Det store antallet bidragsyttere i hvert konsept har dessuten bidratt til å gi norsk maritim næring et fundament for realisering av flere hydrogenprosjekter.

Boks 3-4 Konkurransepreget dialog

Det er flere aktører som på ulike måter arbeider med innovative offentlige anskaffelser. Innovasjon Norge har støtteordninger for innovasjon i offentlige anskaffelser, gjennom ordningen med innovasjonskontrakter. Nasjonalt program for leverandørutvikling («Leverandørutviklingsprogrammet») er et samarbeid mellom blant annet NHO, KS, Digitaliseringsdirektoratet, Innovasjon Norge og Forskningsrådet og har som formål å øke innovasjonseffekten av offentlige anskaffelser. Klimasats kan og har gitt støtte for å muliggjøre gode anskaffelser. Blant annet har Trøndelag fylkeskommune fått støtte til å gjennomføre en innovativ anskaffelsesprosess som har ledet til utvikling av flere hurtigbåtkonsepter, herunder hydrogendrevne, i regi av fem konsortsier.

HYDROGEN I FORSVARSSEKTOREN

Forsvarssektoren arbeider med å ta frem framtidsrettede strømforsyningsløsninger for operative enheter som fartøyer, kjøretøyer og landstasjoner. Nye strømforsyningsløsninger med hydrogen som energibærer kan redusere sannsynlighet for uønsket deteksjon av egne militære enheter, samt drivstoffutgifter og negativ miljøpåvirkning som følge av Forsvarets aktivitet. Forsvaret er blant annet i ferd med å anskaffe nye ubåter med brenselcelle-teknologi. Forsvaret kan også få nytte av hydrogen som energibærer til andre kategorier av fartøy og kjøretøy, samt til generering av strøm i felt hvor andre strømkilder er mindre hensiktsmessige eller tilgjengelige. Forsvaret vil trolig være en liten aktør sammenliknet med potensiell bruk i sivil sektor.

Boks 3-5 Hydrogen i Forsvarssektoren

3.1 Maritim transport

Med produkter som dekker hele verdikjeden, inkludert design og teknologiutvikling, har norsk maritim næring en unik mulighet til å bidra til både utslippsreduksjoner så vel som økt verdiskaping. Ammoniakk- og hydrogenløsninger er foreløpig ikke kommersielt tilgjengelig, men det pågår flere pilot- og demoprojekter i Norge. Hovedbarrieren er i dag at teknologien er umoden. For å bygge ned barrierene vil regjeringen fortsette å støtte utvikling og implementering av nye teknologier og løsninger gjennom Enova, Innovasjon Norge og Forskningsrådet.

Innenriks sjøfart og fiske står for om lag 8,6 pst. av de norske utslippene. Regjeringen har en ambisjon om å halvere disse utslippene innen 2030.

Regjeringen vektla i Handlingsplan for grønn skipsfart maritim næringsmulighet til både å få til utslippsreduksjoner og økt verdiskaping, gjennom utvikling og kommersialisering av null- og lavutslippsløsninger. Regjeringen skal legge til rette for at norsk maritim næring har erfaring og kompetanse som gjør den godt rustet til å bli en betydelig leverandør for den kommende omstillingen i den globale skipsfarten. Flere av regjeringens mål og tiltakspunkter i handlingsplanen er relevante også for hydrogen, se Boks 3-7.

Den norske maritime næringen er internasjonalt ledende og består av rederier, maritime tjenester, verft og utstyrsleverandører. I 2018 bidro den maritime næringen til 8 pst. av verdiskapningen i Norge, og 17 pst. av norsk eksport. Næringen har sterkt fokus på utvikling og utprøving av teknologi for miljøvennlig skipsfart, null- og lavutslippsteknologi. Fergeanbudene og utvikling av elektriske ferger har gitt norsk maritime utstyrsleverandører nye muligheter. Høyteknologiske løsninger innen autonomi og grønn skipsfart er et av næringens viktigste konkurransefortrinn internasjonalt. En økende andel skip bruker i dag null- og lavutslippsteknologi³⁶.

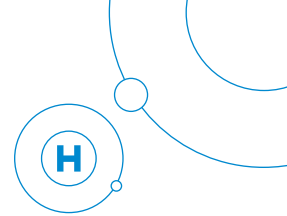
På de fem årene siden Ampere, den første batterifergen, kom i drift på sambandet Lavik-Opedal, har utviklingen innen nullutslippsteknologi på skip vært formidabel. I løpet av 2021 er det forventet å være opp mot 80 ferjer med installerte batterier i norske fjorder. I Norge er det rundt 200 ferjer. Batterier installeres også i andre skipssegmenter, og Menon³⁷ estimerer at det frem til juni 2019 har vært investert om lag 4,5 milliarder kroner i batterier i maritim sektor i Norge, hvorav omtrent halvparten knyttet til ferjer. DNV GL³⁸ estimerer at det i mars 2020 var over 200 skip med batteri i drift, hvorav over halvparten utenfor Norge.

Foruten bruk av flytende naturgass (LNG) med innblanding av biogass og bruk av batterihybrider, finnes i dag få kommersielt tilgjengelige lavutslippsteknologier for fartøy som seiler over lengre distanser eller i høye hastigheter, og som dermed har svært stort energibehov. Når det gjelder nullutslippsløsninger er det per i dag ingen kommersielt tilgjengelige teknologier for fartøyskategorier med høyt energibehov og lang seiletid. Flytende biogass (LBG) kan være en aktuell løsning, men biogass produseres ikke i tilstrekkelige mengder, og både produksjon av biodiesel og biogass vil være begrenset av tilgangen på bærekraftig råstoff. Batterier blir for tunge og ladebehovet for stort. Selv om arealbehovet for lagring av hydrogen og hydrogenbaserte løsninger som ammoniakk er større enn for konvensjonelt drivstoff, peker disse seg ut som relevante.

36 Departementene (2019), Handlingsplan for grønn skipsfart, Klima og miljødepartementet (Oslo).

37 Menon (2019), Grønn maritim - Status for omsetning, eksport, sysselsetting og investeringer, Publikasjon 66/2019

38 DNV GL (2020), Alternative Fuels Insights Platform, Hentet 26 mai 2020 fra <https://afi.dnvgl.com/>



LAV- OG NULLUTSLIPPSSKIP

I underlagsrapportene til Regjeringens handlingsplan for grønn skipsfart har DNV GL definert lavutslippsskip som fartøy som har redusert utslipp av klimagasser med minst rundt 40 pst. sammenlignet med konvensjonell teknologi. Dette kan oppnås med hybride fremdriftssystemer, som for eksempel deelelektrifisering eller bruk av LNG med innblanding av biogass

Nullutslippsskip er definert som et fartøy som har redusert utslipp av klimagasser med minst rundt 95 pst. sammenlignet med konvensjonell teknologi. Dette er ikke gjennomførbart med bruk av fossile drivstoff. Eksempler er bruk av batterier og hydrogen på brenselceller.

Boks 3-6 Lav- og nullutslippsskip

Hydrogen og ammoniakk kan være aktuelt for flere skipstyper, men valg av energibærer må tilpasses og optimaliseres for det enkelte fartøy og dets energibehov og driftsprofiler. I Norge er det beregnet at i overkant av 2/3 av energibehovet i ferjesektoren kan komme fra elektrisitet³⁹. De resterende sambandene kan være aktuelle for hybridløsninger med hydrogen og batterier. Når det gjelder hurtigbåter er det større krav til lav vekt og energibehov, noe som tilsier at hydrogen kan være mer aktuelt for en større andel av disse sambandene. Det vil også være mulig gjennom en kombinasjon av tekniske og operasjonelle tiltak (for eksempel optimalisering av skrog, propell og framdriftsmaskineri, lavere fart eller mer automatiserte styringssystemer).

³⁹ Statens vegvesen (2019), En stille revolusjon i norske fjorder, Hentet 24 mai fra https://www.vegvesen.no/_attachment/2796219/binary/1341772?fast_title=En+stille+revolusjon+i+norske+fjorder.+Innovasjon+

RELEVANTE PUNKTER FRA REGJERINGENS HANDLINGSPLAN FOR GRØNN SKIPSFART⁴⁰

Regjeringen vil:

- Stimulere til ytterligere grønn vekst og konkurransekraft i norsk maritim næring, og legge til rette for økt eksport av lav- og nullutslippsteknologi i maritim sektor
- Stimulere til null- og lavutslippsløsninger i alle fartøyskategorier
- Ved fremtidige revisjoner av kostnadsnøkene i inntektssystemet for fylkeskommunene ta hensyn til kostnadsøkninger som følger av at fylkeskommunene har stilt krav om lav- og nullutslippsløsninger i ferge- og hurtigbåtsamband
- Følge opp vedtaket om å innføre krav om nullutslipp fra turistskip- og ferjer i verdensarvfjordene så snart det er teknisk gjennomførbart, og senest innen 2026, og komme tilbake til stortinget på egnet tidspunkt.
- Vurdere utvidelse av miljøkravene som stilles til skip i verdensarvfjordene til andre norske fjorder
- Vurdere en miljøfordelsordning for null- og lavutslippsskip i NIS og NOR
- Sørgje for at Sjøfartsdirektoratet og Kystverket har god kapasitet og kompetanse for nye løsninger innenfor grønn skipsfart, herunder utvikling av regelverk for bruk av hydrogen i maritime næringer
- Vurdere å stille krav om lav- og nullutslippsløsninger i offentlige ferge- og hurtigbåtanbud, der det ligger til rette for dette
- Vurdere krav om innføring av null- og lavutslippsløsninger for servicefartøy i havbruksnæringen
- Vurdere å innføre krav om null- og lavutslippsløsninger for nye driftsfartøy i forbindelse med petroleumsproduksjon

Boks 3-7 Relevante punkter fra regjeringens handlingsplan for grønn skipsfart

I Klimakur 2030⁴¹ vurderes teknologimodenhet som en vesentlig barriere for bruk av hydrogen og ammoniakk. Bruken av hydrogenelektrisk fremdrift i fartøyer er fortsatt på utviklingsstadiet, og det pågår en rekke pilot- og demoprojekter, se boks 3-8. Som nevnt tidligere skal hydrogen testes ut på ferjesambandet Hjelmeland-Nesvik-Skipavik fra 2021 og i SINTEFs batterilaboratorium samarbeider de med ABB om å teste hydrogenteknologi sammen med batterier og dieselmotorer. Flere av prosjektene, blant annet Havyard sitt med Havila Kystruten og flere av hurtigbåtkonseptene, har til felles et fokus på redusert energibehov. Dette er viktig for å kunne ta i bruk både hydrogen og batterier ettersom begge har lavere energitetthet enn fossile drivstoff. Foreløpig jobbes det med ombyggingen av en hurtigbåt på sambandet Haugesund-Røvær og en i Lysefjorden til batterielektrisk drift. Prosjektene er støttet av hhv. Klimasats og Enova. Samtidig ser flere prosjekter, særlig for de lengre segmentene, på konsepter som innebærer bruk av hydrogen.

For å gjøre det enklere for både aktører og myndigheter å få oversikt over hvor lav- og nullutslippsteknologier kan være relevante vil regjeringen kartlegge alle fergesamband, hurtigbåtsamband og annen maritim rutetrafikk for å synliggjøre hvilke nullutslippsteknologier som kan egne seg. Egenskaper som seillengde, tonnasje, frekvens og dagens energibruk er nyttig informasjon for vurderinger av aktuelle løsninger.

⁴⁰ Departementene (2019), Handlingsplan for grønn skipsfart, Klima- og miljødepartementet (Oslo)

⁴¹ Miljødirektoratet m.fl. (2020), Klimakur 2030

ET UTVALG HYDROGENPROSJEKTER I MARITIM SEKTOR

Som nevnt i øvrig tekst har Statens vegvesen tegnet kontrakt med rederiet Norled AS som skal utvikle, bygge og drive en hydrogenelektrisk ferje for sambandet Hjelmeland-Nesvik-Skipavik fra og med 2021. Minimum 50 pst. av ferjens energibehov skal dekket av hydrogen. Norled har også et EU-støttet utviklingsprosjekt hvor de ser på å bruke hydrogen på en av ferjene på Finnøy-sambandet utenfor Stavanger.



Foto: Norled

Havyard Group ASA leder et prosjekt med ambisjoner om utslippsfri drift i verdensarvfjordene og i deler av den ordinære ruten for nye Kyststruten, gjennom å kombinere batterier og hydrogen.

Samskip AS skal med støtte fra PILOT-E utvikle og realisere lønnsom containertransport på sjø med hydrogen og brenselceller som gir utslippsfri fremdrift og gjør det mulig å flytte transport av last fra vei til sjø. Autonom lasthåndtering står sentralt for å oppnå kostnadseffektivitet for en utslippsfri løsning.

Det er flere aktører som jobber for å få realisert hydrogendrevne hurtigbåter, blant annet 3 av 5 konsortier i Klimasats-prosjektet "Fremtidens hurtigbåt" drevet av Trøndelag fylkeskommune. To av aktørene i disse konsortiene, Selfa Arctic AS og Flying Foil AS, leder med støtte fra PILOT-E hvert sitt samarbeidsprosjekt knyttet til utslippsfrie hurtigbåter. De skal utvikle løsninger som øker energieffektiviteten og dermed gjør nye elektriske fremdriftsløsninger basert på batteri- eller brenselcelledrift mulig.

Et konsortium bestående av 14 europeiske selskaper, deriblant Eidesvik, Equinor, Proton AS, Wärtsilä og NCE Maritime CleanTech fikk tidlig i 2020 støtte fra EUs forskningsprogram Fuel Cells and Hydrogen Joint Undertaking (FCH 2 JU) til prosjektet ShipFC, der de skal teste bruk av ammoniakk i brenselceller på Viking Energy⁴². Planen er at det ombygde skipet skal seile på ammoniakk produsert fra elektrolyse i en testperiode på ett år fra 2024. Skipet driftes nå med LNG. Ammoniakk skal kunne dekke 60-70 pst. av energibehovet om bord under testperioden, mens skipet fortsatt vil kunne benytte LNG og resten med batterier. Det femårige prosjektet har et budsjett på 230 mill. kroner.

Boks 3-8, Et utvalg av hydrogenprosjekter i maritim sektor

På infrastruktururområdet er det videre et potensiale for kunnskapsutveksling med nærliggende næringer som for eksempel i bruk og utvikling av flytende naturgass (LNG). Infrastruktur for maritim sektor er omtalt nærmere i kap. 3.2. LNG-aktørenes kunnskap om stasjonære bunkringsanlegg i kombinasjon med fleksibel bunkring fra tankbiler vil være viktig for maritime hydrogenanvendelser over lengre avstander, da hydrogen har en lavere energitetthet i forhold til fossilt drivstoff og biodrivstoff.

⁴² NCE Maritime CleanTech (2020), Major project to convert offshore vessel to run on ammonia-powered fuel cell, Hentet 25 mai 2020 fra <https://maritimecleantech.no/2020/01/23/major-project-to-convert-offshore-vessel-to-run-on-ammonia-powered-fuel-cell/>

3.2 Landtransport

Regjeringen satser bredt på nullutslippsløsninger i transportsektoren, som også inkluderer hydrogen. For at hydrogen skal bli et konkurransedyktig null- og lavutslippsalternativ i landtransport, må imidlertid teknologien utvikles. For Norges del, som ikke har produksjon av kjøretøy, kan vi bidra til dette først og fremst gjennom pilot- og demonstrasjonsprosjekter. Etter hvert som teknologien modnes kan vi også bidra til en raskere markedsintroduksjon og markedsvekst, noe regjeringen blant annet støtter gjennom Nullutslippsfondet for næringstransport.

Landtransport, som består av både veigående og ikke-veigående kjøretøy og maskiner (for eksempel gravemaskiner), står for om lag 23 pst. av de norske utslippene. Veigående kjøretøy er den største kilden til utslipp i transportsektoren, med om lag 17 pst. av nasjonale utslipp. Regjeringen har en ambisjon om å halvere utslippene fra transportsektoren innen 2030, sammenlignet med 2005. Dette forutsetter forbedringer av teknologisk modenhet i ulike deler av transportsektoren. I Nasjonal transportplan (NTP) 2018-2019 ble det i tillegg etablert måltall for nullutslippskjøretøy, se boks 3-9.

MÅLTALL FOR NULLUTSLIPPSKJØRETØY INNEN VEITRAFIKK

- Legge til grunn følgende måltall for nullutslippskjøretøy i 2025:
 - o Nye personbiler og lette varebiler skal være nullutslippskjøretøy i 2025.
 - o Nye bybusser skal være nullutslippskjøretøy eller bruke biogass i 2025.
- Innen 2030 skal nye tyngre varebiler, 75 pst. av nye langdistansebusser og 50 pst. av nye lastebiler være nullutslippskjøretøy.
- Innen 2030 skal varedistribusjonen i de største bysentra tilnærmet være nullutslipp.
- Offentlige etater skal i størst mulig grad benytte biodrivstoff, lav- og nullutslippsteknologi i egne og innleide kjøretøy og fartøy.
- I 2050 skal transporten være tilnærmet utslippsfri/klimanøytral.

Forbedringer av teknologisk modenhet i kjøretøysegmentene, slik at nullutslippskjøretøy blir konkurransedyktige med konvensjonelle løsninger, ligger til grunn for måltallene.

Boks 3-9 Måltall for nullutslippskjøretøy innen veitrafikk, Nasjonal transportplan 2018-2019.

Tyngre landtransport er et potensielt område hvor hydrogen kan spille en rolle for å redusere utslipp. Dette som følge av lavere systemvekt i forhold til rekkevidde sammenlignet med batterier, og at det kan bli begrensninger i tilgang på bærekraftig biobaserte drivstoff. Hydrogen kan dessuten fylles omtrent like raskt som en dieseltank, noe som er vesentlig raskere enn det tar å lade et tilsvarende batterikjøretøy. Dette kan være fordelaktig dersom tid er en viktig faktor, med mindre lading med svært høy ladeeffekt er tilgjengelig eller dersom det kan lades samtidig med varelevering eller lovpålagte hvilepauser.

Så lenge alternativene til hydrogen også er i rask utvikling, er det imidlertid ikke enkelt å si hvor hydrogen vil ha sitt konkurransefortrinn, særlig i et lengre perspektiv. Dersom for eksempel autonomi i fremtiden blir mer utbredt, vil kostnadsdriveren ved ladetid, i form av personalkostnader, reduseres. Da vil fordelene hydrogen har med kortere fylletider bli mindre. På utvalgte hovedveier med mye godstrafikk kan også lading i fart bli aktuelt og dermed øke rekkevidden for batterielektriske kjøretøy samtidig som ladetid/behov reduseres. I dag fremstår hydrogen imidlertid som en potensielt god løsning særlig for tyngre kjøretøy.

Ved utgangen av 2019 var det registrert 149 hydrogenbiler, 1 lett varebil, 5 hydrogenbusser og 1 hydrogenlastebil i Norge. Til sammenlikning var det til samme tid registrert 260 581 elbiler og 7331 elektriske varebiler, 199 elektriske busser og 21 elektriske lastebiler ved utgangen av 2019. Utviklingen av batterielektriske løsninger har kommet lengst i personbilsegmentet, men også for lette varebiler og bybusser. I de tyngre segmentene produseres både elektriske og hydrogendrevne kjøretøyer ved å bygge om fossilbaserte kjøretøyer, om enn i svært små produksjonsserier. I Trondheim tester for eksempel ASKO ut lastebiler ombygd til hydrogendrift. Flere selskaper har imidlertid planer om produksjon av større serier, blant annet har norske selskaper forhåndsbestilt om lag 70 hydrogenlastebiler fra Nikola Motor. Disse er enda ikke i produksjon, og selskapet opplyser at det tidligst kan ventes leveranse fra 2023⁴³.

For tyngre kjøretøyer er det behov for fortsatt utvikling og uttesting før teknologien er moden for å tas i bruk. For å bidra til dette vil regjeringen fortsette å støtte utvikling og implementering av nye teknologier og løsninger gjennom Enova, Innovasjon Norge og Forskningsrådet. Demo- og pilotprosjekter som gir sluttbruker erfaring med bruk av hydrogen under reelle driftsbetingelser vil være særlig viktig for videre teknologiutvikling. Enova har støttet flere hydrogenprosjekter, blant annet hos ASKO, for å testet ut kjøretøyer med tilhørende infrastruktur, se boks 3-10, og vil være et viktig virkemiddel for å understøtte regjeringens mål om å øke antall pilot- og demonstrasjonsprosjekter i Norge.

ASKO

I januar 2020 satt ASKO i drift verdens første hydrogendrevne lastebiler. Lastebilene har en rekkevidde på 500 kilometer med totalvekt 26 tonn og skal frakte dagligvarer til blant annet NorgesGruppens butikker med utgangspunkt i Trondheim. ASKO har i alt bestilt fire lastebiler som alle produseres av Scania med støtte fra blant annet ENOVA.



ASKO tar hydrogendrevet brenselcelle Scania i bruk på veien. Foto: Henrik Throstensen, Norsk Scania AS

Hydrogenet til bilene framstilles lokalt, med energi fra 9000 kvadratmeter solceller på taket til hos ASKO MIDT-NORGE.

Fyllestasjonen som også står på ASKO's

område er støttet av Enova som en integrert del av lastebilprosjektet. Hydrogen som produseres skal ikke bare brukes på de nye lastebilene, men også på biler og trucker i egen virksomhet.

Boks 3-10, ASKO

Tyngre kjøretøyer produseres generelt i mye mindre serier enn personbiler, noe som øker muligheten for å påvirke produksjonsavgjørelser gjennom mindre bestillinger. Flåtebestillinger eller samlebestillinger fra flere aktører kan i en tidlig fase gjøre det mer attraktivt for kjøretøysprodusenter å sette i gang produksjon og bidra til rimeligere innkjøp. Med opprettelsen av Nullutslippsfondet for næringstransport har regjeringen styrket Enovas

43 CNH Industrial N.V. (2020), CNH Industrial brands IVECO and FPT together with Nikola Motor Company announce future Nikola TRE production in Ulm, Germany, Hentet 24 mai 2020 fra <https://www.globenewswire.com/news-release/2020/02/06/1981067/0/en/CNH-Industrial-brands-IVECO-and-FPT-together-with-Nikola-Motor-Company-announce-future-Nikola-TRE-production-in-Ulm-Germany.html>

evne til å sette fart på markedsintroduksjonen og -veksten av nullutslippsteknologi i næringstransporten. Gjennom fondet vil Enova blant annet støtte innkjøp av tynge hydrogengkjøretøy når de har nådd tilstrekkelig modenhet.

I Norge får hydrogendrevne kjøretøy de samme kjøps- og bruksfordelene som elektriske kjøretøy, se boks 3-11. Som vi har sett for elektriske kjøretøy, kan disse fordelene gi en svært rask utvikling i salget når det kommer et tilstrekkelig utvalg modeller på markedet til en fornuftig pris.

KJØPS- OG BRUKSINSENTIVER FOR HYDROGENBILER

Kjøps- og bruksfordeler for hydrogendrevne kjøretøy (brenselcellebiler) er de samme som for batterielektriske kjøretøy. I forbindelse med statsbudsjettet for 2017, fattet Høyre, Frp, Venstre og Krf vedtak om at fordeler tilsvarende for elbiler videreføres for brenselcellebiler til 2025/50.000 biler. Momsfritak er notifisert og godkjent av ESA til 2023 for brenselcellebiler.

Avgifter

- Elbiler er fritatt for engangsavgift og merverdiavgift. I Granavolde-plattformen er det varslert at regjeringen vil videreføre fritakene for engangsavgift og merverdiavgift ut stortingsperioden.
- Fra 1. januar 2018 er de fritatt for trafikkforsikringsavgift (tidligere lav sats i årsavgiften) og omregistreringsavgiften.
- I 2020, 40 pst. rabatt på listepreisen ved beregning av fordelen det er å disponere firma-bil sammenlignet med de ordinære reglene.

Bruksinsentiver

- Nullutslippsbiler har tidligere hatt fritak for bompenger, og gratis ferge, parkering og tilgang til kollektivfelt. I dag er det opp til lokale myndigheter å avgjøre om de ønsker å gi gratis passering av bomstasjoner, og gratis parkering. Det er etablert en nasjonal regel som sikrer at nullutslippsbiler ikke betaler mer en halv pris av normal takst for bompengpasseringer og ferge. Det jobbes med en tilsvarende regel for parkering, men denne er ennå ikke innført, i påvente av endelige avklaringer om virkeområde.

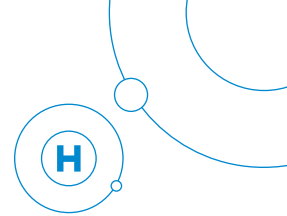
Boks 3-11, Kjøps- og bruksinsentiver for hydrogenbiler

3.3 Annen transport (Luftfart og jernbane)

Luftfart

Innen luftfart i dag ser de kjente alternativene til fossilt drivstoff (Jetdrivstoff og flybensin) ut til å være bærekraftig jet biodrivstoff, syntetisk drivstoff (e-fuels) (jf. tekstboks 3-12) og elektrifisering. Utenom for mindre fly hvor det testes ut løsninger i dag, er det ifølge "Forslag til program for introduksjon av elektriske fly i kommersiell luftfart" fra Avinor og Luftfartstilsynet fra mars 2020, antatt mulig å sertifisere og sette i regulær sivil rutetrafikk elektrifiserte fly med inntil 19 passasjerer fra 2025–2030, og større fly etter det.

På grunn av energi-innholdet per vektenhet kan en se for seg at hydrogen kan bli relevant som energibærer på lange flygninger, men det er alt for tidlig å forskuttere teknologiutviklingen.



Det stilles generelt svært strenge krav til sikkerhet i luftfarten, noe som også vil være tilfellet for bruk og lagring av hydrogen og andre alternative løsninger.

SYNTETISK DRIVSTOFF (E-FUELS)

Flere aktører jobber med å lage syntetisk drivstoff eller e-fuel fra strøm, vann og fanget CO₂. Teknologien er umoden og kostnadene er foreløpig svært høye. Hydrogen produseres fra elektrolyse som deretter reageres med fanget CO₂ og videreforedles til syntetisk metanol eller diesel. Prosessen krever mye karbonfri kraft. Norge trekkes ofte fram i diskusjonene om e-fuels på grunn av den høye fornybarandelen i elektrisitetsproduksjonen i landet. Den syntetiske dieselen kan erstatte fossile produkter og redusere CO₂ utslipp fra andre prosesser, men CO₂ vil slippes ut igjen når produktet/drivstoffet forbrennes. Sammen med karbonavtrykket til kraften, vil CO₂ kilden påvirke klimaegenskapene til syntetisk drivstoff. Syntetisk drivstoff kan også produseres fra plast.

Boks 3-12, Syntetisk drivstoff (e-fuels)

Jernbane

I dag drives om lag 80 prosent av togtrafikken i Norge med elektrisitet. De resterende 20 prosent drives med dieseltog:

- Trønder- og Meråkerbanen (200 km)
- Solørbanen (93,6 km)
- Rørosbanen: Hamar-Støren (382 km)
- Nordlandsbanen: Steinkjer-Bodø (602 km)
- Raumabanen (115 km).

De årlige klimagassutslippene ligger på om lag 50 000 tonn CO₂-ekvivalenter.

Stortinget har bedt regjeringen vurdere oppstart av forsøk med hydrogentog i mindre skala, for å få teste ut om teknologien kan skaleres opp til og benyttes på de lange strekningene som bruker dieselfremdrift i dag. Som grunnlag for vurdering av dette ba Samferdselsdepartementet Jernbanedirektoratet utarbeide en utredning som vurderer kostnader og gjennomførbarhet for et slikt forsøksprosjekt. Utredningen har vært en del av et større pågående prosjekt i Jernbanedirektoratet, kalt «Null-utslippsløsninger For Ikke-elektrifiserte Baner (NULLFIB)»⁴⁴. Prosjektet har utredet batteritog og batteridrift med delelektrifisering, samt fremdriftsløsninger med enten biodiesel, biogass eller hydrogen for ikke-elektrifiserte banestrekninger.

De foreløpige kostnadsestimatene for gjennomføring av et prøveprosjekt spenner fra 545 til 1900 mill. kr. Det er utfordringer knyttet til sikkerhet som følger bruk av eksplosjonsfarlige gasser (som hydrogen) i jernbanen. Dette gjelder særlig i tunneller der gass kan samle seg fordi de ikke er konstruert for å lede bort gass. Jernbaneforetakene har selv ansvar for sikker drift, og de kan ikke overprøves dersom deres egne vurderinger av sikkerhet konkluderer med at en aktivitet ikke er sikkerhetsmessig forsvarlig.

⁴⁴ NULLFIB-prosjektet har ført til en rekke delrapporter, herunder Delrapport 4: Hydrogen, biogass og biodiesel. For mer informasjon, besøk nettsiden <https://www.jernbanedirektoratet.no/no/strategier-og-utredninger/utredninger/vurderer-flere-nullutslippslosninger/gi-innspill-til-nullutslippslosninger-for-ikke-elektrifiserte-baner-nullfib/>

Basert på utredningen anbefaler Jernbanedirektoratet at man foreløpig ikke går videre med konkretisering av pilotprosjekt for prøvedrift med hydrogen, men følger aktivt med på relevant FoU og erfaringer med hydrogen som energibærer for tog. Jernbanedirektoratets vurdering er at batteribasert teknologi er mest aktuell for å være en varig og robust løsning for å erstatte bruken av fossilbasert diesel i jernbanen. Dette konseptet er også kompatibelt med dagens teknologi, og kan dermed benyttes på hele det eksisterende jernbanenettet forutsatt at det kombineres med infrastrukturtiltak av ikke-elektrifiserte strekninger⁴⁵.

3.4 Drivstoffinfrastruktur

I juli 2019 la samferdselsministeren og klima- og miljøministeren frem Handlingsplan for infrastruktur for alternative drivstoff i transport. Den planen legger de overordnede føringene for regjeringens politikk på området. En viktig forutsetning er at utbygging av infrastruktur for alternative drivstoff skal være markedsdrevet, og på et tidligst mulig stadium skje uten støtte. Myndighetenes virkemidler skal i en tidlig fase bygge opp under markedsutviklingen. Infrastruktur for lading og fylling av alternative drivstoff må sees i sammenheng med utviklingen på kjøretøy- og fartøysiden.

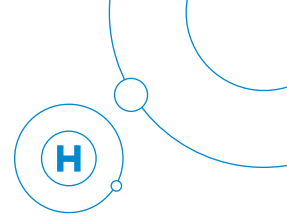
Tilgang på hydrogen er en forutsetning for bruk, på samme måte som tilgang på kjøretøy og fartøy. Utviklingen av fyllinfrastruktur vil dermed avhenge av i hvilke segmenter hydrogen tas i bruk og hvor raskt kjøretøy- og fartøysflåten vokser. Dersom det viser seg at behovet for hydrogen blir størst for tyngre kjøretøy eller skip, vil behovet for infrastruktur være annerledes enn om det er bruk i personbiler som blir hovedfokuset. Behovet i en tidlig fase vil uansett ikke være det samme som i et fullt utviklet marked.

Regjeringen slo i sin handlingsplan for infrastruktur for alternative drivstoff i transport fast at en sentral forutsetning for et velfungerende marked er god brukerinformasjon. Tiltak som å sikre informasjon om tilgjengelige fyll- og ladestasjoner for alternative drivstoff og sammenlignbar prisinformasjon vil senke barrierene for å ta i bruk alternative drivstoff. Gjennom Nobil for infrastruktur på land og kystverket for infrastruktur for maritim transport, sørger regjeringen for at det finnes en offentlig tilgjengelig oversikt over infrastruktur for alternative drivstoff til vei- og sjøtransport i Norge.

Den maritim næringen er sammensatt av mange ulike skipssegmenter med ulikt bruksmønster, og det er trolig behov for ulike løsninger. For eksempel kan ammoniakk være aktuelt for gods- og bulkskip, mens hydrogen (flytende eller komprimert) kan være aktuelt for ferger og hurtigbåter. Det er i dag ikke klart hvilke teknologier og løsninger som vil vinne fram for de ulike fartøyskategoriene. Det vil være ressurskrevende å etablere fulldekkende infrastruktur for alle teknologier over hele landet. Utvikling av infrastrukturen må derfor, spesielt i en tidligfase, skje i tråd med at nye løsninger blir aktuelle eller der de testes ut. Det bør derfor være samsvar mellom utviklingen på skipssiden og utvikling av infrastruktursiden.

På lengre sikt, for at hydrogen, ammoniakk og biogass (LBG) skal bli reelle alternativer må det finnes lager- og fyllinfrastruktur slik at drivstoffet er tilgjengelig der skipene har behov for det. Prosjekter som er under planlegging og som diskuteres i maritim sektor i dag har gjerne faste anløp, og i slike tilfeller er det relativt enkelt å planlegge hvor det er behov for bunkring og hvor store mengder hydrogen som må være tilgjengelig.

⁴⁵ Jernbanedirektoratet (2019), Gi innspill til Nullutslippsløsninger for ikke-elektriske baner (NULL-FIB), Hentet 24 mai fra <https://www.jernbanedirektoratet.no/no/strategier-og-utredninger/utredninger/vurderer-flere-nullutslippslosninger/gi-innspill-til-nullutslippslosninger-for-ikke-elektrifiserte-baner-nullfib/>



Bunkring fra skip er også et alternativ som utforskes. Dette kan redusere behovet for anlegg på land og kan mer fleksibelt tilpasses bruks- og seilemønster. Et konsortium bestående av Equinor, Wilhelmsen, Moss Maritime og DNV GL har sammen utviklet et komplett skipsdesign for et bunkringsskip for hydrogen.

For prosjekter hvor hydrogen testes ut i tyngre kjøretøy, er det på samme måte som for bruk i fartøy i startfasen trolig ikke behov for et landsdekkende nettverk med fyllestasjoner. Flåter av kjøretøy, for eksempel regionbusser eller lastebiler brukt til regulær vare-distribusjon (f.eks. matvaregrossister), vil i stor grad kunne greie seg med et lite antall fyllestasjoner innenfor sitt operasjonsområde. For langdistansebusser og annen vare-transport er det mulig å starte med de mest trafikkerte korridorene for slike kjøretøy, for deretter å utvide nettverket gradvis.

I en tidligfase må fyllinfrastrukturen planlegges som del av prosjektet, slik som i lastebilprosjektet til ASKO og fergeprosjektet til Statens Vegvesen. Etter hvert som kjøretøy- og fartøysteknologien demonstreres og modnes, kan større prosjekter bli aktuelle. Det vil fortsatt være fornuftig å bygge ut infrastruktur i takt med prosjektene som realiseres og utviklingen i bruken av disse, framfor utbygging av større skala offentlig tilgjengelig infrastruktur. Det er viktig at aktører som planlegger å ta i bruk hydrogenløsninger undersøker hvordan deres prosjekter kan knyttes opp mot andre prosjekter, sektorer og bruksområder. Slike koblinger kan redusere kostnader, skape synergier og bidra til mer lønnsom produksjon.

Som statens virkemiddel vil Enova støtte utviklingen av infrastruktur for alternative drivstoff i den tidlige fasen hvor det er behov for offentlig støtte. Enova har så langt støttet ni fyllestasjoner for hydrogen, samt infrastruktur i ASKOs hydrogenprosjekt. Totalt har Enova gitt støt-
tetilsagn på rundt 82 mill. kroner til etablering av offentlig tilgjengelige hydrogenstasjoner.

4 Industrien

Norge har gode rammebetingelser for forskning, utvikling og implementering av ny prosesseteknologi i industrien. Norges forskningsråd, Innovasjon Norge og Enova har til sammen virkemidler som dekker hele teknologiutviklingsløpet fra grunnforskning til fullskala uttesting. Norge er og skal fortsette å være et attraktivt land for fremtidsrettet industri å investere i. Derfor er det viktig å legge til rette for en effektiv og konkurransedyktig industri som vil gi verdiskaping også i lavutslippssamfunnet.

Bruk av hydrogen i prosessindustrien faller i tre kategorier: Bruk som innsatsfaktor i produksjonen, som energibærer eller til bruk i selve prosessen. Det er i tillegg noen industriprosesser hvor det i dag produseres hydrogen som et biprodukt. Dette hydrogenet kan utnyttes i andre sektorer.

Nesten all hydrogen som i dag brukes i Norge anvendes som innsatsfaktor i kjemisk industri og i raffinering av petroleumsprodukter. I slike anvendelser blir hydrogenet en del av sluttproduktet. I gjødselsproduksjon brukes hydrogen for å produsere ammoniakk som så brukes til å produsere kunstgjødsel. Hydrogenet som i dag brukes er nesten utelukkende produsert ved reformering av naturgass uten fangst og lagring av CO₂ (CCS). Det medfører store utslipp. Dersom CCS blir anvendt eller produksjonen gjøres ved elektrolyse, vil utslippene bli redusert betydelig.

Bruk som energibærer innebærer at hydrogenet omdannes til elektrisitet og / eller varme gjennom forbrenning eller i en brenselcelle. Utover det som allerede er elektri-

fisert, dekkes industriens energibehov i dag i stor grad av fossile energiprodukter som olje, naturgass og LPG. I teorien kan hydrogen erstatte disse fossile energibærere og gi utslippsreduksjoner dersom hydrogenet er produsert uten utslipp. Eksempelvis kan hydrogen forbrennes istedenfor olje eller gass der hvor det trengs varme, eller gassturbiner kan oppgraderes slik at de kan drives med hydrogen eller ammoniakk i stedet for naturgass.

Hvor vidt hydrogen tas i bruk som energibærer eller som innsatsfaktor kommer i stor grad an på hva som er lønnsomt for den enkelte bedrift og hvilke alternative som finnes. Dette avhenger av prisen på de fossile produktene, avgifter og kostnaden ved utslippsfri hydrogen eller bruk av andre lavutslippsløsninger. For de anleggene som er underlagt kvotesystemet, er kvoteprisen med på å legge føringer for hva som er lønnsomt, mens det særlig er avgift og eventuelt krav i utslippstillatelser som legger føringene for ikke-kvotep-liktige anlegg. Kvotesystemet skal i prinsippet sikre at det er de billigste tiltakene innenfor systemet som iverksettes først.

Den siste kategorien hvor hydrogen kan komme til anvendelse er i industrielle prosesser hvor energibærere i dag anvendes for deres kjemiske egenskaper, som reduksjonsmiddel. I dag er det kull som i stor grad anvendes. I noen prosesser er det teoretisk mulig å bytte ut kullet med hydrogen som reduksjonsmiddel. Prosesser hvor det er mulig å benytte hydrogen som reduksjonsmiddel er i stålproduksjon, reduksjon av titanoksid og i manganproduksjon. I Norge produseres det ikke stål fra jernmalm, men i blant annet Sverige og Tyskland vurderes og testes bruk av hydrogen som reduksjonsmiddel i stålproduksjon. I Norge har TiZir i Tyssedal et prosjekt hvor de jobber med å utvikle og teste teknologi som skal til for å bruke hydrogen som reduksjonsmiddel i titanoksidproduksjon, se boks 4-1. Den første fasen er støtte av Enova.

TIZIR TYSSDAL – HYDROGENREDUKSJON AV ILMENITT

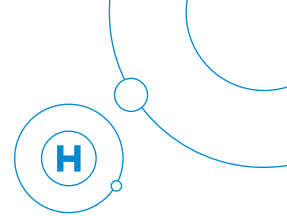
TiZir Titanium og Iron AS jobber med et prosjekt hvor de skal erstatte kull med hydrogen som reduksjonsmiddel i produksjonen av titanslagg og rent råjern. Enova har støttet TiZir med til sammen 127 mill. kroner som har gått til forprosjektering av demoanlegg og verifisering av ny ovnsteknologi som er et første skritt på veien for å kunne realisere hydrogenprosjektet.



Nåværende produksjonsprosess har kald innmating til smelter, noe man taper energi på. Planlagt prosess med hydrogen skal sørge for varm innmating til smelter. Ved bruk av hydrogen i stedet for kull er spesifikt utslipp estimert å gå ned med 90 pst. mens energiforbruket anslås å bli redusert med 40 pstt.

I forbindelse med prosjektet skal det også installeres nye renseanlegg som skal redusere diffuse støvutslipp og redusere støv-konsentrasjonen i rensed avgass. Hydrogen skal produseres fra vann med vannelektrolyse basert på kraft. Teknologien som utvikles vil være mulig å overføre til annen produksjon og andre bransjer.

Boks 4-1, TiZir Tyssedal – hydrogenreduksjon av limenitt



Bruk av hydrogen som reduksjonsmiddel griper langt inn i kjerneprosessene og krever derfor omlegging av store deler av selve produksjonsprosessen. Dette er kostbart og gir økt finansiell risiko. Teknologien som må til for å anvende hydrogen som reduksjonsmiddel er på forsknings- og utviklingsstadiet. Det vil kreve betydelig forsknings- og utviklingsaktivitet før hydrogen kan tas i bruk i stor skala, ikke minst før det blir en lønnsom investering. Slike teknologiutviklingsløp tar gjerne lang tid. Det er viktig at utvikling av nye teknologier og løsninger fortsetter dersom bruk av hydrogen skal kunne ta over for deler av dagens prosesseteknologi i framtiden.

Industri og petroleumssektoren i Norge er en del av det europeiske kvotesystemet (EU ETS) (se boks 4-2). Årlige reduksjoner i tilgjengelige kvoter gjør at kvotesystemet vil bidra til vesentlige reduksjoner i utslipp. Etter 2020 vil de årlige kuttene i kvotemengden utgjøre nesten 50 mill. tonn CO₂-ekvivalenter. Om nedtrappingen av kvotemengden holder samme takt etter 2030 vil antall kvoter som blir tilgjengelig for bedriftene ha falt fra 2 mrd. kvoter i 2013 til 365 mill. kvoter i 2050. Det tilsvarer at utslippene er omtrent 86 pst. lavere enn utslippene i 1990. Dette innebærer at kvotepliktige virksomheter må kutte sine utslipp kraftig frem mot 2050. Dersom EU beslutter et mål om klimanøytralitet i 2050 vil det innebære behov for ytterligere kutt i ikke-kvotepliktige utslipp.

Teknologiutvikling er kostbart og risikofyllt og i stor grad avhengig av offentlig støtte for å bli gjennomført. Virkemidlene i Forskningsrådet, Innovasjon Norge og Enova er viktige og vil fortsette å støtte dette arbeidet. Videre er dette en problemstilling som adresseres i strategien Prosess 21.

EUs KVOTESYSTEM

EUs kvotesystem er et virkemiddel som skal medvirke til klimagassreduksjoner. Utslippene i et kvotesystem kan ikke overstige antall tilgjengelige utslippskvoter i systemet. Klimakvotesystemet setter dermed et tak på utslippene. Kvoteaket blir redusert med et bestemt antall kvoter hvert år. Eus kvotesystem dekker rundt 45 pst. av de totale klimagassutslippene i EU fra over 11 000 bedrifter, og rundt 50 pst. av utslippene i Norge fordelt på ca. 120 bedrifter.

Boks 4-2, EUs kvotesystem

5 Kraftsektoren

De fornybare energiresursene og den velfungerende energisektoren i Norge er et konkurransefortrinn. Norsk kraftforsyning er fornybar, fleksibel, sikker og har konkurransedyktige priser som muliggjør rimeligere produksjon av hydrogen i Norge. Samtidig er verdien av hydrogen mindre i det norske kraftsystemet enn i Europa på grunn av vannkraftens lave priser og fleksibilitet. For noen spesifikke anvendelser som mangler nettilgang er hydrogenløsninger konkurransedyktige i dag.

Norsk kraftforsyning har den høyeste fornybarandelen og de laveste utslippene i Europa. Kraftforsyningen i Norge består i all hovedsak av vannkraft, vindkraft og varmekraft, der vannkraften er klart dominerende. Norges vel over 1 600 vannkraftverk har en samlet installert effekt på i overkant av 32 000 MW og står for om lag 95 pst. av den norske produksjonskapasiteten.

Et særtrekk ved den norske vannkraften er muligheten til å lagre energi i vannmagasiner. Norge har halvparten av Europas magasinkapasitet. Magasinkraftverkene har høy fleksibilitet og produksjonen kan justeres opp og ned raskt etter behov, og til lave kostnader. Om lag tre fjerdedeler av den norske produksjonskapasiteten er derfor regulerbar.

Hydrogenproduksjon og lagring som en kilde til fleksibilitet i kraftsystemet vil i Norge måtte konkurrere direkte med regulerbar vannkraft eller andre fleksible lagringsløsninger. Vannkraften har en mye lavere kostnad samt betydelig bedre effektivitet enn elektrolyse. Ettersom gass i svært liten grad anvendes til oppvarming og elektrisitetsproduksjon i Norge er det heller ikke et alternativ å bruke hydrogenet til slike formål. I en studie gjennomført av Thema Consulting i mai 2019⁴⁶ ble hydrogens potensielle rolle i norsk energiforsyning undersøkt gjennom en rekke spesifikke case-studier både innenfor energiproduksjon, nett, og forsyningssikkerhet. De fant generelt at verdien av hydrogen som fleksibilitetsreserve er mindre i Norge enn i Europa på grunn av vannkraftens fleksibilitet.

Hydrogenproduksjon fra småkraftanlegg og vindkraft som mangler nett kan bli lønnsomt dersom flere anvendelser er med på å dekke de faste kostnadene ved hydrogenproduksjon, eksempelvis salg av oksygen til havbruk. Kostnadene ved transport og lagring trekkes også frem som en viktig økonomisk barriere og lønnsomheten vil være fullstendig avhengig av helheten i verdikjeden for hydrogen. Vindkraftverket på Raggovidda er et eksempel på denne type anvendelse av såkalt inntengt kraft til hydrogenproduksjon.

Hydrogen er også undersøkt som en mulig løsning for reserver i det norske strømmettet gjennom to case-studier fra Thema: Den første studien undersøkte lønnsomheten i en "power to power"-hydrogenkjede som alternativ til å oppgradere en transformatorstasjon som får overbelastning noen få timer i året. Her fant Thema at transformatoroppgradering i dag er rimeligere enn både batteri og hydrogen. Konkurranseevnen for hydrogen som leverandør av balansetjenester i nettet i Europa er også vurdert i et perspektiv frem mot 2025. Thema vurderer at hydrogenløsninger vil få sterk konkurranse fra batteriløsninger og trolig kun være aktuelt i områder der vannkraft ikke kan levere tilstrekkelig mengde.

⁴⁶ Thema (2019), Systemvirkninger og næringsperspektiver ved hydrogen, Thema Consulting Group (Mai, 2019, Oslo)

HAEOLUS OG RAGGOVIDDA

Vindkraftverket på Raggovidda i Berlevåg kommune har svært høy brukstid på grunn av mye og stabil vind. NVE ga konsesjon på inntil 200 megawatt (MW) på Raggovidda i 2010, men forutsatte at ledig kapasitet i strømnettet måtte dokumenteres ved utbygging av mer enn 30 MW. Varanger Kraft har bygget 15 turbiner med en samlet kapasitet på 45 MW på Raggovidda, men nettforholdene i området begrenser hvor mye mer vindkraft som kan knyttes til nettet. Varanger Kraft har undersøkt



Vindkraftverkene ved Raggovidda. Kredittering: Varanger KraftVind. Bilde: Bjarne Riester

alternative måter å bruke eventuell overskuddskraft på, og hydrogenproduksjon ved elektrolyse pekte seg ut som en mulighet. På bakgrunn av dette fikk Berlevåg kommune laget en mulighetsstudie om hydrogenproduksjon basert på overskuddskraft fra vindparken ved elektrolyse. Etter et forprosjekt i regi av Varanger Kraft og SINTEF, søkte de sammen med flere europeiske universiteter og forskningsinstitusjoner om utviklingsstøtte fra EU. Resultatet ble en tildeling på 50 mill. kroner fra forskningsprogrammet Horizon 2020 for å etablere en hydrogenfabrikk. Fabrikken er under bygging og skal stå ferdig i 2020.

Boks 5-1, HAEOLUS og Raggovidda

En viktig innsatsfaktor i elektrolyse er elektrisitet. Lønnsomheten ved hydrogen produsert på denne måten vil derfor påvirkes både av kraftpris, nett-tariffer og avgifter på elektrisitet. Elavgiften er hovedsakelig fiskalt begrunnet og man skiller mellom ordinær sats for vanlige forbrukere og redusert sats for bl.a. kraftkrevende industri. Kraft levert til bruk ved kjemisk reduksjon eller i elektrolyse, metallurgiske og mineralogiske prosesser er blant gruppene av bestemte formål som er fritatt for elavgift. Dette følger også av EUs energiskattedirektiv.

Nettselskapene skal utforme sine tariffer slik at de så langt som mulig bidrar til en effektiv utnyttelse og utforming av nettet. Nettselskapene har i dag anledning til å tilby reduserte tariffer for utkoblbart forbruk, såkalt utkoblbar tariff, til forbruk som kan kobles ut når det er kapasitetsutfordringer i strømnettet. Dette kan være aktuelt for ulike typer forbrukslaster som kan kobles ut på kort varsel og som tåler utkobling over en viss tidsperiode, gjerne opp til flere dager, f.eks. et produksjonsanlegg for hydrogen. På denne måten kan forsyningssikkerheten i strømnettet ivaretas, samtidig som man unngår unødvendige og kostbare nettinvesteringer.

En forutsetning for at nettselskapet skal kunne tilby enkelte kunder utkoblbar tariff er at dette har positive effekter for strømnettet i nettselskapets område. Det er et grunnleggende prinsipp at tariffene skal være ikke-diskriminerende. Dette innebærer at dersom f.eks. et produksjonsanlegg for hydrogen får utkoblbar tariff må alle andre få anledning til det samme. Dette gjelder innenfor hele nettselskapets konsesjonsområde, og kan ikke begrenses til eventuelle områder med kapasitetsutfordringer.

6 Nasjonal forskning og utvikling (FoU)

Hovedmålene for regjeringens satsing på energi- og petroleumsforskning er økt langsiktig verdiskaping og sikker, kostnadseffektiv og bærekraftig utnyttelse av de norske energiresursene. Med en kraftforsyning nesten utelukkende basert på fornybar energi, et velfungerende kraftmarked og stor tilgang til ytterligere fornybare energiresurser, har vi et godt utgangspunkt. Norske forsknings- og utdanningsinstitusjoner og norsk næringsliv har i tillegg betydelig kompetanse innenfor en rekke klima- og energiteknologier, inklusive hydrogen.

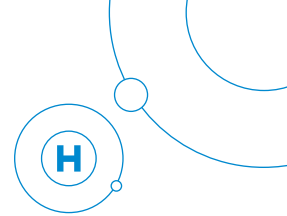
De siste 10 årene har det blitt bygget opp en betydelig FoU-kompetanse i Norge på hydrogenområdet. En bevisst og langsiktig satsing på forskning og utvikling har gitt Norge sterke forsknings- og teknologiaktører med spisskompetanse innenfor en rekke hydrogenområder. Blant annet har norske forskningsmiljøer sterk kompetanse innen høytemperatur brenselceller og elektrolysører, med et spesielt fokus på protonledende keramer. Innen dette feltet har vi grunnleggende materialkompetanse i verdensklasse. Norske forskningsmiljøer har også høy kompetanse innen lavtemperatur brenselceller og elektrolysører, inkludert alkalisk elektrolyse, samt på forbrenning av hydrogen og hydrogenlagring i metallhydrid. I tillegg har vi internasjonalt ledende aktivitet innen modellering og analyse av hydrogensystemer og verdikjeder for hydrogen, samt på tilknyttede hydrogenområder som fyllestasjonsteknologi og hydrogentanker. Norske aktører er også tidlig ute innen utvikling av hydrogenteknologier til maritime formål.

Gjennom Norges forskningsråd har myndighetene støttet forskning og utvikling knyttet til hydrogen, brenselceller og vannelektrolyse med om lag 550 mill. kroner fra 2009 til 2019. Det mest sentrale forskningsprogrammet i så måte er det tematisk brede energiforskningsprogrammet ENERGIX. Programmet skal bidra til å realisere energi- og næringspolitiske mål og er et viktig virkemiddel i implementeringen av FoU-strategien Energi21. Satsingen knyttet til hydrogen ivaretas i ENERGIX gjennom forskning og utvikling av nye materialer, konverteringsprosesser og løsninger for produksjon og bruk av hydrogen og hydrogenteknologier. Med bakgrunn i forsknings- og teknologiaktørenes interesse og kompetanse, egne vurderinger og føringer, samt anbefalinger fra Energi21-strategien, lyser Forskningsrådet ut årlige midler på hydrogenområdet. ENERGIX støtter også opp om deltagelse i internasjonale FoU-prosjekter.

I tillegg støtter forsknings- og demoprogrammet CLIMIT forskning og utvikling på produksjon av hydrogen fra naturgass med CO₂-håndtering. De har blant annet støttet demonstrasjon av Hydrogen Mem-Tech sin membranteknologi på Tjeldbergodden.

Energi21, den nasjonale strategien for forskning, utvikling, demonstrasjon og kommersialisering av ny klimavennlig energiteknologi, trekker frem særlig to satsingsområder relevant for hydrogen; klimavennlige energiteknologier til maritim transport, og klimavennlig og energieffektiv industri inklusive CO₂ håndtering (CCS). Innen maritim transport vurderes hydrogen som en av tre viktige løsninger. På industriområdet representerer økt bruk og omlegging til utslippsfritt hydrogen viktige satsinger for fremtiden.

Tilsvarende som for Energi21 har OG21-strategien for petroleumsforskningen satt hydrogen høyere på agendaen og har gjennomført et prosjekt om hydrogen fra naturgass med CCS. Studien understreker viktigheten av FoU når det gjelder avkarbonisering av naturgass og CCS, og behovet for å se offshore og onshore energisystemer i sammenheng for å få til klima- og kostnadseffektive løsninger.



I tillegg til den teknologisk rettede forskningen, er det viktig å forske på mer samfunnsfaglige problemstillinger knyttet til hydrogen. Eksempler på forskningstemaer kan være; å bidra til et forskningsbasert kunnskapsgrunnlag om teknologisk modenhet og potensiell kostnadseffektivitet for de forskjellige applikasjonene for hydrogen; forskning på samfunnets aksept knyttet til bruk av hydrogen i større omfang og på nye bruksområder; og det offentliges rolle knyttet til utvikling av hydrogen i lavutslippssamfunnet.

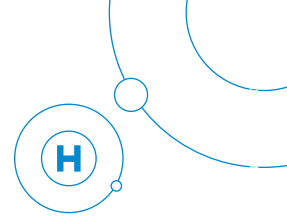
Del 3

Norge og hydrogen internasjonalt

7 Europeiske ambisjoner

Europa har høye ambisjoner for energiomstilling, og både EU og enkeltland viser en økende interesse for hydrogenløsninger. Interessen er særlig rettet mot bruksområder som er vanskelig og kostbart å elektrifisere som langtransport, oppvarming og enkelte industriprosesser. Det er derfor ventet at forbruket av hydrogen i Europa vil øke på sikt. I EUs lavutslippsstrategi mot 2050⁴⁷ inngår hydrogen i ulike scenarier, og flere europeiske land har nylig utarbeidet strategier, veikart og støtteordninger for økt bruk av hydrogen. EU la nylig frem (mars 2020) en strategi for europeisk industri som viser til at europeisk industri vil ha en nøkkelrolle for å nå målene i "European Green Deal" om klimanøytralitet og sirkulærøkonomi. Kommisjonen viser til at hydrogenteknologi kan bidra til å redusere klimagassutslipp i sektorer som luftfart, transport og tungindustri. Det vil etableres samarbeid om utvikling av hydrogenteknologi i 2020, hvor virksomheter fra ulike EU-land vil delta ("European Clean Hydrogen Alliance").

⁴⁷ European Commission, Directorate-General for Climate Action (2018), A clean planet for all - A European strategic long-term vision for a prosperous, modern, competitive and climate neutral economy, COM (2018) 773, Brussels



EU's LANGTIDSBUDSJETT OG KRISEPAKKE

Covid-19-krisen har forsterket budskapet fra "European Green Deal" om viktigheten av å investere i sektorer og infrastruktur med positiv innvirkning på menneskers helse og miljø for å sikre robuste tilbud av miljøvarer og tjenester.

Den 27. mai 2020 la EU-kommisjonen frem et forslag til et nytt langtidsbudsjett for EU for perioden 2021-2027⁴⁸. Budsjettforslaget inneholder også en ekstra tiltakspakke (krise-pakke) som skal bidra til gjenoppbygging av Europa på bakgrunn av konsekvensene av covid-19. Tiltakene for gjenoppbygging ble lagt frem i meldingen "Europe's moment: Repair and Prepare for the Next Generation"⁴⁹.

EU-kommisjonen foreslår to nye finansieringsstrømmer for å redde utsatte selskaper og investere i strategiske verdikjeder. Den siste av disse, "Strategic Investment Facility" under InvestEU er ment å styrke Europas motstandskraft ved å bygge strategisk uavhengighet i viktige forsyningskjeder på europeisk nivå. Dette kan være investering i teknologier som er essensielle for overgangen til ren energi, inkludert fornybar energi, teknologi for energilagring, ren hydrogen, batterier, karbonfangst- og lagring og infrastruktur for bærekraftig energi.

Boks 7-1, EU's langtidsbudsjett og krisepakke

I europeisk sammenheng ses det blant annet på hvordan inntektene fra fornybar kraftproduksjon kan omdannes til hydrogen og benytte eksisterende rørinfrastruktur for å unngå kostbare og upopulære investeringer i ny kraftnettkapasitet.

Flere europeiske land utarbeider nå egne hydrogenstrategier. For eksempel er Tyskland i ferd med å utarbeide en hydrogenstrategi, Storbritannia gjennomfører flere studier og prosjekter knyttet til utvikling av en hydrogenøkonomi og Nederland jobber med konkrete hydrogenprosjekter.

Både i EU og i flere av medlemslandene pågår det en diskusjon rundt regulering av ulike former for hydrogen, spesielt ulike former for rent hydrogen. Et av spørsmålene som diskuteres er hvorvidt det skal få konsekvenser for reguleringen om hydrogen er produsert med elektrolyse basert på fornybar kraftproduksjon (ofte kalt "grønn hydrogen") eller ved reformering av naturgass, med CO₂-håndtering (ofte kalt "blå hydrogen"). Rundt 90 pst. av produksjonen av hydrogen i Europa er i dag basert på reformering av naturgass uten CO₂-håndtering. Ved storskala produksjon er det estimert at naturgassreformering med CO₂-håndtering vil ha lavere kostnader enn hydrogen produsert fra vannelektrolyse. Naturgass kan derfor bli en viktig kilde til rent hydrogen.

Flere aktører som er involvert i CO₂ fangst og-lagringsprosjekter i Europa og Norge, blant annet gjennom EU's PCI-ordning (Projects of Common Interest)⁵⁰, ser på muligheten for å bytte fra kull eller naturgassbasert hydrogen til hydrogen produsert fra naturgass med CO₂ håndtering. Equinor er involvert i flere studier i flere europeiske land for å se på muligheten for å bidra til at blå hydrogen kan benyttes av europeisk industri i stedet

48 «The EU budget powering the recovery plan for Europe» (COM(2020) 442 final).

49 «Europe's moment: Repair and Prepare for the Next Generation» (COM(2020) 456 final)

50 PCI (projects of common interest) – en kategori prosjekter som EU har identifisert som en hovedprioritet for å sammenkoble Europas energisysteminfrastruktur. Disse prosjektene er kvalifisert for å motta felleseuropeiske midler. PCI-listen blir gjennomgått annethvert år.

for naturgass og kull og dermed redusere utslippene av klimagasser betydelig. Ulike muligheter for å tilby blå hydrogen vurderes; blant annet å produsere hydrogen nær sluttbruker og frakte CO₂ til et lager i Nordsjøen. På lang sikt vurderes, bl.a. av Equinor, også muligheten for å produsere hydrogen i Norge fra gass med kort vei til lagring av CO₂ og transport av hydrogen gjennom rør, eventuelt på skip i form av ammoniakk. Dette for på sikt å skissere for Europa at de i fremtiden kan få utslippsfri gass, dvs. hydrogen, dersom det skulle være begrenset etterspørsel etter naturgass uten CO₂-håndtering. Da eksport av hydrogen fra Norge til Europa vil trenge betydelig skala for å kunne rettferdiggjøre investering i ny infrastruktur (rør), vurderes etablering av hydrogenproduksjon nær kundene med transport av CO₂ tilbake til Norge å være mer hensiktsmessig i en tidlig fase hvor markedet utvikles for bruk av hydrogen i stedet for naturgass eller kull. Lykkes man med denne omleggingen av energisystemet, vil en på lengre sikt kunne vurdere produksjon i Norge.

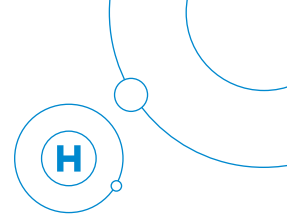
Om det blir kommersielt attraktivt å eksportere blått hydrogen fra Norge i fremtiden blir opp til markedsaktørene å vurdere.

Norge dekker i dag om lag 3 pst. av verdens etterspørsel etter naturgass. Eksporten skjer i stor grad i rør til Europa. Norsk eksport av naturgass utgjør om lag 1/4 av Europas gassforbruk. Det tilsvarer alene en energimengde 3 til 4 ganger Europas totale forbruk av hydrogen i dag.

Regjeringen vil legge til rette for langsiktig produksjon av olje og gass på norsk sokkel. Gass produsert effektivt og med lave utslipp på norsk sokkel, vil kunne bidra til å dekke et fremtidig behov for gass til fremstilling av ren hydrogen i Europa.

I dag fremstår ikke storskala naturgassbasert hydrogeneksport fra Norge som et realistisk alternativ. Det er imidlertid en mulighet for dette på lengre sikt, dersom faktorer som strengere krav til klimagassutslipp, etterspørsel og betalingsvillighet for blå hydrogen er tilstede. På nåværende tidspunkt er det mest realistisk at norsk naturgass kan spille en viktig rolle i en *europaisk* hydrogenstrategi.

Norske myndigheter vil arbeide for at naturgassreforming med CO₂-håndtering kan konkurrere på like vilkår med hydrogen fra vannelektrolyse i det europeiske energimarkedet.



TEKNISK MULIG Å EKSPORTERE HYDROGEN FRA NORGE

Det vil teknisk sett være mulig å eksportere hydrogen som produseres i Norge – gjennom naturgassreforming eller ved vannelektrolyse – til resten av Europa gjennom eksisterende gassrørledninger, gitt at det er ledig kapasitet, eller ved bruk av skip. Hydrogenproduksjon basert på gass i forbrukslandene på kontinentet vil gjøre at de kan produsere hydrogen også fra gass kjøpt fra andre produsenter enn de på norsk sokkel. Som følge av høyere transportkostnader per leverte energienhet for hydrogen enn for naturgass, vil det per i dag være mer effektivt med hydrogenproduksjon nærmere sluttbruker enn i Norge.

Dersom eksisterende rørledninger skal benyttes til transport av ren hydrogengass, må disse tilpasses og rekvalifiseres, siden hydrogen har andre egenskaper enn naturgass. Alternativ bruk av gassinfrastrukturen krever et marked med blant annet et tilpasset distribusjonsnett for hydrogen.

En annen mulighet kunne være å blande inn hydrogen i naturgassen som sendes i rørtransportsystemet til Europa – og bidra til gradvis oppbygging av et marked. Per i dag er det mer rasjonelt å etablere produksjonen og innblanding av hydrogen i gassnettverket nær brukerne i Europa.

For eksport av hydrogen i *mindre* skala – produsert med elektrolyse eller gassreforming – kan skipstransport være et mulig alternativ. Flytende hydrogen kan eksporteres med spesialbygde skip etter samme prinsipp som LNG. Verdens første skip for transport av flytende hydrogen ble sjøsatt i 2019. Et annet alternativ er å omdanne hydrogen til andre hydrogenrike stoffer som enklere kan transporteres med eksisterende skip, for eksempel ammoniakk eller organiske hydrogenbærere i væskeform. Slike løsninger forutsetter at det finnes etterspørsel og mottaksterminaler for flytende hydrogen i eksportmarkedet. For ammoniakk er det et globalt marked i dag hvor transporten skjer blant annet på skip.

Boks 7-2, Teknisk mulig å eksportere hydrogen fra Norge

8 Internasjonalt samarbeid om hydrogen

Internasjonalt samarbeid om utvikling og bruk av hydrogen og hydrogenteknologier vil være svært viktig framover for å etablere et globalt marked for hydrogen. Dette inkluderer erfaringsutveksling, deltakelse i større fellesprosjekter, utforming av felles standarder og tilrettelegging for global handel.

Eksempel på en internasjonal myndighetsarena er Hydrogen Energy Ministerial Meeting i regi av Japan, hvor myndigheter fra land som har kommet lengst på hydrogenområdet (herunder Norge) møtes for å diskutere ulike løsninger for hydrogen. Formålet med initiativet er å fremskynde et bredt kommersielt gjennombrudd for hydrogen. Harmonisering av standarder og reguleringer samt informasjonsdeling rundt verdikjeder, forskningssamarbeid og sikkerhet er identifisert som viktige tiltak. Disse følges nå opp i eksisterende plattformer for energisamarbeid, som Clean Energy Ministerial (CEM), Mission Innovation (MI) og International Partnership for Hydrogen and Fuel Cells in the Economy (IPHE), der også Norge deltar. Videre benyttet Japan sitt formannskap i G20 til å sette hydrogen på agendaen under G20-toppmøtet i 2019.

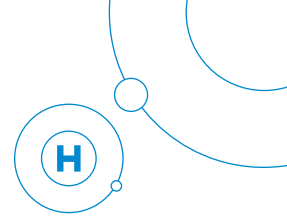
Det pågår også initiativ for å bedre koordineringen på europeisk nivå. Europakommisjonen etablerte i 2018 en ekspertgruppe for å identifisere hvilke strategisk viktige verdikjeder Europa bør satse på for å opprettholde industriens konkurransekraft i årene fremover⁵¹. Seks verdikjeder, blant dem hydrogenteknologi, ble trukket frem som særlig viktige i mobiliseringen av investeringer og politisk handlekraft fremover. Videre varslet Europakommisjonen gjennom en nylig fremlagt industristrategi, etablering av en egen "Clean Hydrogen Alliance". Det vil også utarbeides flere EU strategier der hydrogen er ventet å spille en sentral rolle, bl.a. "strategy for smart sector integration" og "EU Strategy for Clean Steel".

8.1 Nordisk samarbeid

I flere av våre naboland er det økt interesse for hydrogen som energibærer. Dette kan være grobunn for nordiske samarbeid på området. De nordiske landene har alle ambisiøse klimamål og bruk av hydrogen og hydrogenbaserte løsninger kan bidra til at målene nås. Det at landene ligger nær hverandre og allerede har et etablert og godt samarbeid på flere viktige samfunnsområder, gjennom blant annet Nordisk Ministerråd, gir muligheter for å etablere felles løsninger og infrastruktur som legger til rette for at hydrogen kan benyttes på tvers av landene.

I Helsinki sommeren 2019 vedtok de nordiske statsministrene en ny visjon for det nordiske samarbeidet: at Norden skal bli verdens mest bærekraftige og integrerte region. I Helsinki-erklæringen besluttet de nordiske statsministrene å arbeide mot å fjerne barrierer for lavutslippsløsninger samt avkarbonisere transportsektoren, som et ledd i intensjonen om at Norden skal bli karbonnøytral. På denne bakgrunn besluttet Nordisk Ministerråd å utvikle samarbeidet om grønn transport. Alle de fem nordiske landene har signalisert at en satsing på hydrogen basert på fornybar kraft er interessant. Tre av landene (Danmark, Finland og Norge) har i tillegg vurdert hydrogen som alternativt drivstoff i maritim sektor.

⁵¹ Strategic Forum for Important Projects of Common European Interest (IPCEI) (E03583) (2018), Hentet 26 mai 2020 fra <http://ec.europa.eu/transparency/regexpert/index.cfm?do=groupDetail.groupDetail&groupID=3583&NewSearch=1&NewSearch=1>



NORDISK SAMARBEID

I september 2019 ble det på Norges oppfordring arrangert en hydrogenkonferanse i regi av Nordisk energiforskning under Nordisk råd i København. Konferansen samlet relevante aktører fra flere nordiske land og bidro til å synliggjøre muligheter, felles initiativ og prosjekter på hydrogenområdet. Som en oppfølging av konferansen ble prosjektet "*Nordic P2X for sustainable road transport*" startet opp. Nordisk Energiforskning har fått i oppgave å lede prosjektet. Prosjektet skal se på mulighetene for å konvertere grønn elektrisitet (spesielt overskuddselektrisitet) til hydrogen (via elektrolyse) og eventuelt videre til grønne brensler som ammoniakk eller syntetiske drivstoff (Power-to-X). Prosjektet skal ende opp i en rapport som kartlegger og analyserer potensialet for Power-to-X i Norden, og som skal danne grunnlaget for videre politikk på området. Prosjektet anslås slutført i løpet av 2020.

Nordisk Energiforskning har også planer om å gjennomføre en egen utlysning på prosjekter innenfor temaet "Nordic Sustainable Maritime Fuels and Efficiency" (arbeidstitel). Alternative brensler og fremdriftssystemer med lavt karbonavtrykk vil stå sentralt i forskningsprogrammet. Nordic Innovation har i dag "*Nordic Smart Mobility and Connectivity*" som et av sine hovedsatsingsområder. Det er etablert bedriftsklynger og gitt prosjektstøtte til innovative løsninger for smart mobilitet av mennesker og gods på en rekke områder, herunder hydrogen.

Gjennom det nordiske miljøsamarbeidet (embetskomitéen for klima og miljø i Nordisk Ministerråd) ble det i oktober 2019 besluttet å utvikle det nordiske samarbeidet om grønn transport, herunder grønn luftfart, grønn maritim transport, veitransport og togtransport i Norden. I lys av dette foreligger det et forslag om en nordisk satsing for innføring av karbonnøytralt drivstoff i skipsfart. Forslaget bygger blant annet på et eksisterende hydrogeninitiativ, der målet er en fullskala infrastrukturplan for hydrogen i Norden rettet mot maritim sektor, men der synergier mot andre bruksområder undersøkes, f.eks. hydrogen til lastebiler/tungtransport fra fyllestasjoner i havn. Hydrogeninitiativet er i oppstartsfasen, med bred deltakelse fra offentlige og private aktører.

Boks 8-1, Nordisk samarbeid

8.2 Norsk deltagelse i internasjonalt forskningssamarbeid

Det meste av teknologiutviklingen på hydrogenområdet skjer utenfor Norge. Skal Norge lykkes med en satsing på hydrogen, må norske miljøer delta aktivt på de mest relevante internasjonale forskningsarenaene. Den viktigste av disse er forsknings- og innovasjons-samarbeidet innenfor EU.

EU-arenaen

SET-planen (European Strategic Energy Technology Plan) er EUs rammeverk for strategiutvikling innen forskning og innovasjon på lav-karbon energi. Samarbeidet har materialisert seg i 14 implementeringsplaner på utvalgte teknologiområder. Ingen av disse har hydrogen som hovedfokus, men likevel representerer både hydrogen, elektrolyse, brenselceller og hydrogenproduksjon fra naturgass med CO₂-håndtering viktige energiteknologier i flere av de tematiske strategiene. Dette viser hvor viktig hydrogen er for å koble ulike sektorer og at det handler om å fase inn hydrogen i hele energisystemet, ikke bare innen transport.

The **Fuel Cells and Hydrogen Joint Undertaking** (program nr. 2) (**EUs FCH 2 JU**) er EUs offentlig-private partnerskap for støtte til forskning og innovasjon av hydrogen- og brenselcelleteknologier i Europa. Det strategiske formålet til programmet er å innen 2020 demonstrere hydrogen- og brenselcelleteknologier som en av pilarene i det fremtidige europeiske energi- og transportsystemet, for derigjennom å bidra til overgangen til lavutslippssamfunnet innen 2050. Norges forskningsråd er norsk representant i styringsgruppen og norske forsknings- og teknologimiljøer har deltatt aktivt i programmets utlysningesrunder og har hatt god uttelling.

ACT (Accelerating CCS technologies) er et ERA NET Cofund etablert under EUs rammeprogram for forskning og innovasjon, Horisont 2020, der forskningsfinansierende myndigheter i de deltagende landene, inkl. EU-kommisjonen og enkelte ikke-europeiske land, samarbeider om fellesutlysninger og kunnskapsdeling knyttet til CO₂-håndteringsteknologier. Norges forskningsråd er koordinator for ACT-samarbeidet. Utlysningene åpner for prosjekter innen produksjon av hydrogen fra naturgass koblet med CO₂-håndtering.

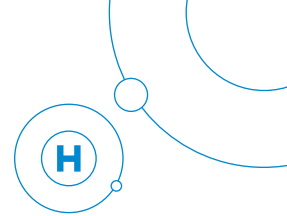
ZEP (Zero Emission Platform) er den europeiske teknologiplattformen for CO₂-håndtering. Aktører fra akademien, industri, myndigheter og miljøbevegelsen deltar, og målet er å gi anbefalinger for hvordan CO₂-håndtering kan utvikles og kommersialiseres i Europa. Produksjon av hydrogen fra naturgass koblet med CO₂-håndtering er et av mange tema som inkluderes i ZEPs anbefalinger.

Horisont Europa (2021-2027) er EUs neste store rammeprogram for forskning og innovasjon (etter Horisont 2020). Programmet har satt hydrogen høyt på agendaen. Innholdet i arbeidsprogrammene og mulige partnerskap på utvalgte temaer er under utvikling. EU-kommisjonen har blant annet foreslått et partnerskap på "Clean Hydrogen".

Andre viktige forskningsarenaer for hydrogen

I regi av det **Internasjonale energibyrået (IEA)** er det etablert ulike samarbeidsprogrammer på forskning innenfor en rekke temaområder. Samarbeidsavtalene undertegnes og styres på myndighetsnivå, mens forsknings- og teknologimiljøer deltar i de ulike arbeidspakkene innenfor programmene. Norge er for tiden med i 21 slike programmer, der to er relevante for hydrogen:

IEA Hydrogen TCP skal akselerere global implementering og utnyttelse av teknologier for produksjon, lagring og distribusjon av hydrogen knyttet til både kraft, varme, mobilitet og industri. Hovedarbeidsområdene er koordinert forskning, utvikling og demonstrasjonsaktiviteter for å fremme kunnskap og teknologier for produksjon, lagring og integrasjon av hydrogen i energisystemet, hydrogenanalyser, inklusive tekniske studier og markedsvur-

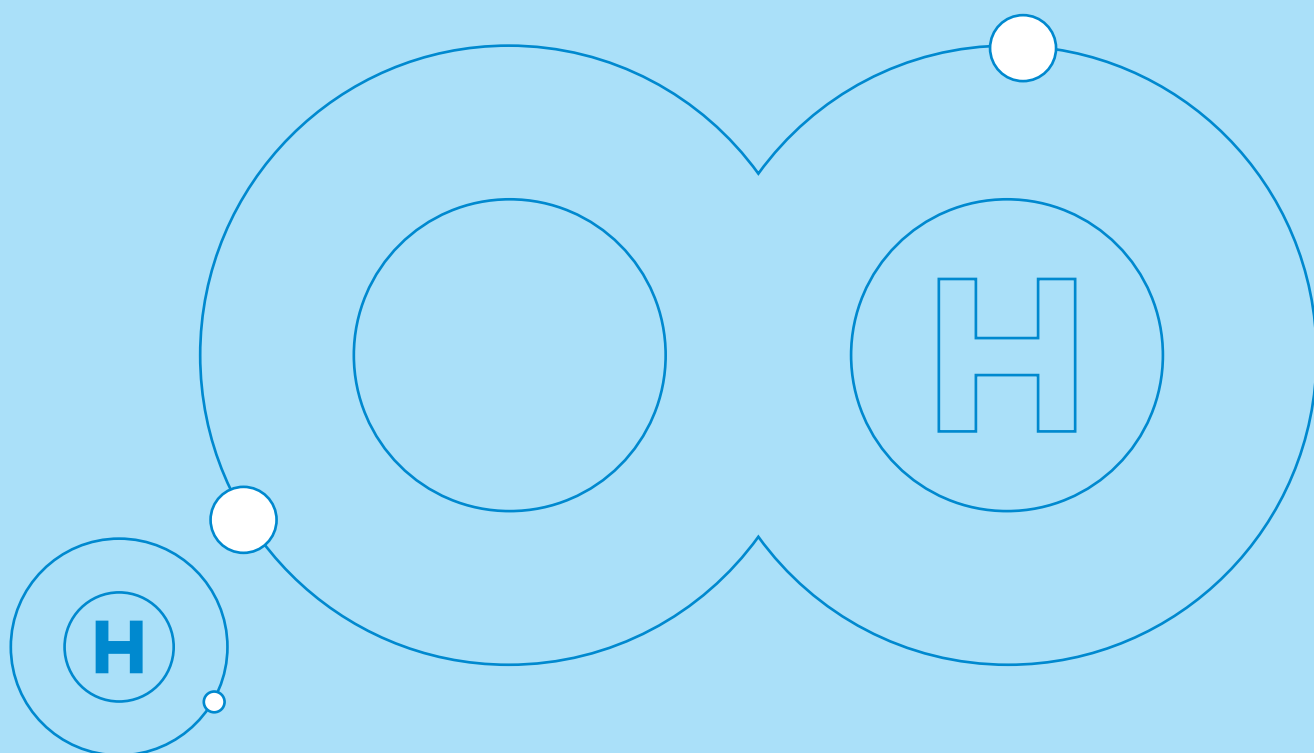


deringer, og informasjonsspredning for økt forståelse, oppmerksomhet og sosial aksept knyttet til hydrogen, inkludert sikkerhet rundt bruk av hydrogen.

IEA Greenhouse Gas R&D (GHG TCP) adresserer muligheter for og utvikling av CO₂-håndteringsteknologier og andre teknologier som kan redusere utslipp av drivhusgasser. Programmet adresserer blant annet produksjon av hydrogen fra naturgass med CCS og bruk av hydrogen i industrien.

International Partnership for Hydrogen and Fuel Cells in the Economy (IPHE) har som formål å legge til rette for og akselerere overgangen til rene og effektive energi- og transportsystemer gjennom bruk av hydrogen- og brenselcelleteknologier i ulike anvendelser og sektorer. IPHE informerer brede grupper av interessenter, inklusive beslutningstakere og offentlig sektor, om fordeler og utfordringer knyttet til etablering av kommersielle hydrogen- og brenselcelleteknologier i økonomien. I dag er det 20 partnere med som organiserer, koordinerer, fremmer og iverksetter samarbeid på forskning, utvikling og spredning av disse teknologiene globalt.

Carbon Sequestration Leadership Forum (CSLF) er et internasjonalt initiativ på ministernivå med fokus på klimaendringer gjennom utvikling og implementering av kostnads-effektive teknologier for CO₂-fangst og lagring. 25 land pluss EU-kommisjonen deltar. Det er blant annet etablert en arbeidsgruppe på CO₂-håndtering og hydrogen som ledes av Norges forskningsråd. CSLF samarbeider blant annet med IEAs samarbeidsprogrammer på hydrogen i oppfølgingen av hydrogenarbeidet.





Utgitt av:
**Olje- og energidepartementet og
Klima- og miljødepartementet**

Publikasjoner er tilgjengelige på:
www.regjeringen.no
Publikasjonskode: Y-0127 B
Foto forside: NEL ASA
Design og ombrekking: Konsis Grafisk