

Hydrogen i det moderne energisystemet

Energiavdelingen - Hallgeir Horne og Jarand Hole

I Norge produseres det i dag 225 000 tonn hydrogen til industriprosesser fra naturgass. Produksjonen av hydrogen fra naturgass, såkalt grå hydrogen, har høyt utslipp av CO₂, men kostnaden av hydrogen produsert på denne måten er kun en tredel av det utslippsfrie alternativet i 2019. Som følge av økende interesse og etterspørsel etter fornybare energiløsninger, kan dette kostnadsforholdet endre seg drastisk fremover. Flere analyser peker mot at grønn hydrogen, som er hydrogen produsert ved elektrolyse, frem mot 2025 kan bli konkurransedyktig med grå hydrogen.

Hydrogenets rolle i et moderne energisystem

I dag brukes hydrogen først og fremst i industriprosesser, men med økende krav til fornybar energi og lavere utslipp fra energi- og transportsektoren, kan bruken endre seg i årene som kommer. Industrien vil fortsette å ha et høyt forbruk av hydrogen fremover, men mye tyder på at de kommer til å gå over til lavutslippsproduksjon av hydrogen. Yara, som i dag er Norges største forbruker av hydrogen, ser nå på hvordan de kan bruke grønn hydrogen i sin produksjon av kunstgjødsel på Herøya.¹

I fremtiden kan hydrogen få en viktig rolle i energisystemet som lager for uregulerbar, fornybar kraft. Overskuddet fra sol- og vindkraftproduksjon kan brukes i produksjon av hydrogen ved elektrolyse, og det produserte hydrogenet kan forbrennes på et tidspunkt hvor det er underskudd på fornybar kraft. I motsetning til elektrokjemiske batterier, gjør hydrogen det mulig å lagre store mengder energi over lengre tid. Dermed har hydrogen et stort potensial som

energilager i områder som ikke er tilkoblet et nasjonalt strømnnett. Eksempelvis kan små øysamfunn som tidligere har vært avhengig av diesellaggregater eller hvor man står overfor en kostbar fornyelse av kabel, benytte seg av hydrogen som energilager i et lokalt energisystem basert på rene energikilder som sol og vind. En slik løsning skal blant annet testes for øysamfunnene på Froan i Trøndelag og Myken i Nordland².

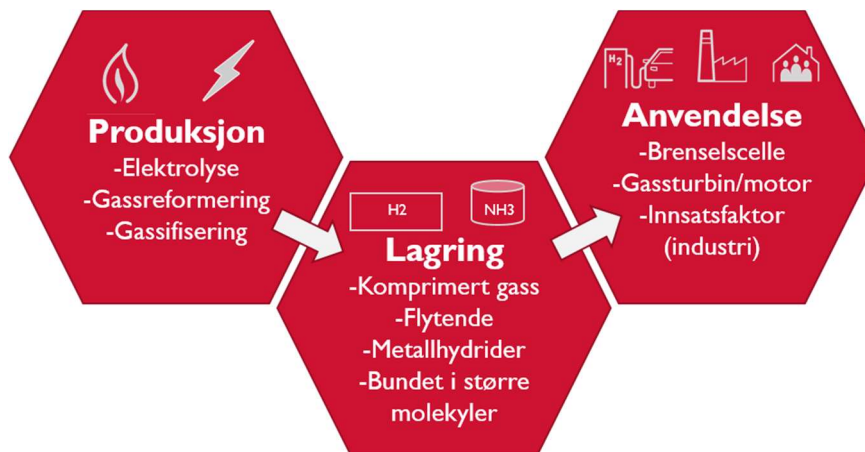
Også i transportsektoren kan hydrogen få en viktig rolle fremover. For personbiler og lokaltransport ser batterielektriske kjøretøy ut til å bli den foretrukne teknologien, men i tyngre kjøretøyer og maritim sektor er hydrogen et aktuelt alternativ for å oppnå utslippsfri transport. Det tar lang tid å lade et litiumionbatteri på flere hundre kilowattimer, mens det går fort å fylle tanken på et tilsvarende hydrogendrevet kjøretøy. Videre krever langdistansetransport på vei og til havs en rekkevidde som ikke kan oppnås med dagens batteriteknologi alene. Hydrogen trekkes derfor fram som et av få mulige

¹ <https://www.yara.com/news-and-media/news/archive/2019/yara-and-nel-carbon-free-hydrogen-for-fertilizer-production/> (03.09.2019)

² <https://www.sintef.no/siste-nytt/hydrogenanlegg-skal-gjore-whisky-o-ya-myken-selvforsynt-med-strom/>

NVE har ansvar for å forvalte landets vann- og energiresurser, utvikle samfunnets evne til å håndtere flom- og skredfare og varsle om naturfare. NVE har hovedkontor i Oslo og regionkontor i Narvik, Trondheim, Hamar, Førde og Tønsberg. I tillegg har vi senter for fjellskredovervåking i Stranda og Kåfjord.

NVE hovedkontor
Middelthunsgt. 29
Postboks 5091, Majorstuen
0301 Oslo
Telefon: (+47) 22 95 95 95
nve@nve.no



Figur 1: Hydrogen som energibærer

alternativer for å gjøre dette transportsegmentet utslippsfritt.

Produksjon av hydrogen

Det er flere metoder som kan benyttes for å produsere hydrogen. Den vanligste er å reformere naturgass til hydrogengass (H₂) og karbondioksid (CO₂). Dersom CO₂ fra denne prosessen ikke fanges og lagres, gir gassreforming store klimagassutslipp, rundt 8 tonn CO₂

	Produksjonsmetode	CO ₂ -utslipp fra produksjon
Grå hydrogen	Reformering av naturgass	Ca. 8 tonn per tonn H ₂ -gass
Blå hydrogen	Reformering av naturgass m/CCS	Opptil 90% reduksjon fra grå H ₂
Grønn hydrogen	Elektrolyse av vann	Ingen CO ₂ (Fra fornybar kraft)

Tabell 1: Ulike måter å produsere hydrogen

pr. tonn H₂. Med dagens teknologi kan 90 prosent av CO₂-utslippet fanges. Hydrogen produsert på denne måten omtales ofte som grå hydrogen, og tilsvarende blå hydrogen, dersom CO₂ fra prosessen fanges og lagres. For utslippsfri produksjon av hydrogen, såkalt grønn hydrogen, er elektrolyse den vanligste produksjonsmetoden. Det er en prosess hvor strøm brukes til å spalte vannmolekyler til hydrogen- og oksyngengass. Typisk behøves 50-55 kWh elektrisitet for å produsere en kilo hydrogengass med et energiinnhold på 33 kWh.

Lagring av hydrogen

Å håndtere hydrogen i sin rene form kan være en utfordring. Hydrogengass har lav volumetrisk energitetthet, og det kreves store volumer dersom gassen skal brukes som energibærer. H₂-molekyler er også svært små, noe som stiller krav til materialet i lagringstankene slik at gassen ikke lekker ut over tid. For å begrense volumet, lagres hydrogengass vanligvis under høyt trykk, typisk på 350 eller

700 bar, noe som krever solide og sikre tanker for å redusere risiko for lekkasje og eksplosjon. For ytterligere plasseffektivitet kan gassen gjøres flytende. Flytende H₂ krever ekstremt høyt trykk eller lav temperatur, siden hydrogen fordampes allerede ved -253 °C under atmosfærisk trykk. Hydrogen kan også lagres bundet i molekyler, for eksempel ammoniakk og metanol. På den måten kan hydrogenet lagres med høyere volumetrisk tetthet, og dermed transporteres i større mengder. Ulempen med å binde hydrogen i slike molekyler, er at man vil ha tap av energi og potensielt utslipp av klimagasser når hydrogenet senere skal hentes ut. Dersom lagerets vekt ikke er en begrensning, kan hydrogen også lagres i såkalte metallhydrid, metallstrukturer som kan ta opp og avgi hydrogengass ved å variere lagerets temperatur.

Forbrenning av hydrogen

For å hente ut energien i hydrogen, er det vanlig å bruke brenselceller. I brenselcellen reagerer hydrogenet med oksygen og frigjør energi i form av elektrisitet og varme. En typisk brenselcelle som brukes til å levere elektrisk energi har en virkningsgrad på 40-60 prosent³. Dette er høyere enn det som vanligvis oppnås med andre teknologier. I tilfeller hvor både elektrisitet og varme kan utnyttes, kan virkningsgraden komme opp mot 85-90 prosent. Forholdet mellom varme og elektrisk energi fra en brenselcelle er normalt sett 1:1 ved optimal drift. Prisen på brenselceller har falt raskt det siste tiåret. I følge det amerikanske energidepartementet er dette prisfallet på hele 60 prosent.⁴ Hydrogen kan også potensielt brukes som brensel i en gassturbin, men det er foreløpig ikke utbredt. I tillegg kan hydrogenet brukes som brensel i en forbrenningsmotor, men det gir lavere virkningsgrad enn en brenselcelle. Det finnes også brennere som tillater hydrogen som brensel for eksempel til matlaging.

³ <https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/fuel-cell-efficiency> (03.09.2019)

⁴ <https://www.energy.gov/eere/fuelcells/fact-month-april-2018-fuel-cell-cost-decreased-60-2006> (19.09.2018)

Norske foregangsprosjekter

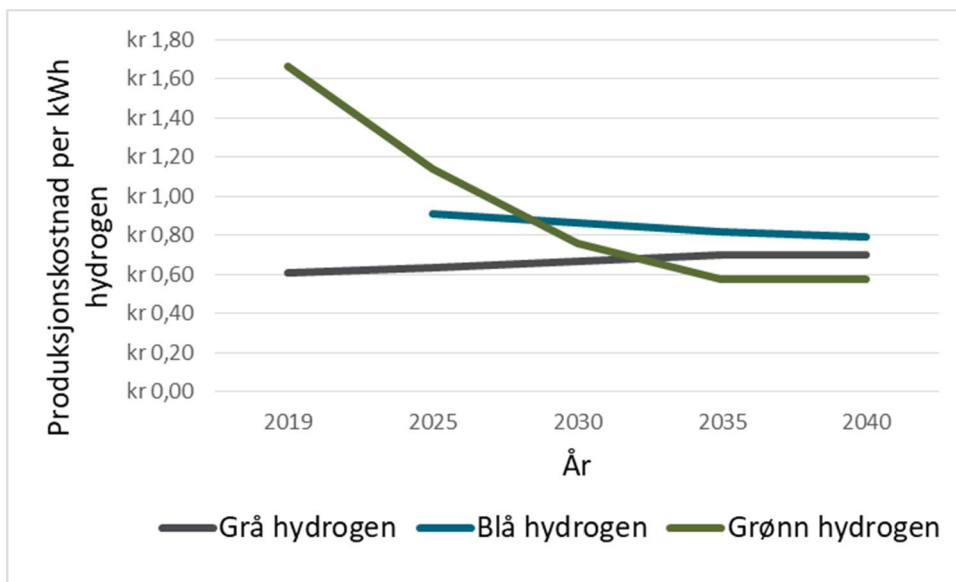
I mange fagmiljøer jobbes det nå hardt med å utvikle løsninger for hydrogen som energibærer. I Norge er flere pilotprosjekter i gang med å teste hydrogen til diverse energiformål.

Et av de mest omtalte hydrogenprosjektene i Norge er den hydrogenelektriske bilfergen som skal gå mellom Hjelmeland, Skipavik og Nesvik i Rogaland. Etter alt å dømme blir dette verdens første hydrogen-ferge når den sjøsettes i 2021. Bilfergen skal fylles med flytende hydrogen og vil anslagsvis bruke mellom 150 og 200 kilo pr. dag. Ifølge kontrakten, må minst 50 prosent av energibehovet dekkes av hydrogen. Resterende energibehov vil bli dekket med batterier.⁵

et EU-prosjekt kalt Haeolus. Raggovidda vindpark ligger i et område med gode vindressurser, men med begrenset kapasitet i kraftnettet. Haeolus-prosjektet skal demonstreres hvordan produksjon av hydrogen kan føre til økt utnyttelse av fornybare energiresurser⁷.

Kostnadsutvikling

I dag er hydrogen produsert fra reformering av naturgass uten karbonfangst- og lagring (CCS⁸) den desidert billigste måten å fremstille hydrogen. Prisen på grå hydrogen er svært avhengig av gass- og CO₂-pris, men ifølge det amerikanske energidepartementet ligger kostnaden for storskala produksjon mellom 40 øre og 68 øre pr. kWh hydrogengass⁹. Det finnes få storskala CCS-prosjekter, og det er derfor vanskelig å anslå en kostnad for fangst og lagring av CO₂. Konsulentfirmaet BCG har i en rapport¹⁰



Figur 2: Kostnadsutvikling for storskala produksjon av hydrogen. Kilde: Statkraft/IRENA(Grønn), BCG/U.S. Dept. of Energy (grå og blå)

Det foregår også noen mindre prosjekter med hydrogen som energilager. Et av disse er nye Vestsiden ungdomsskole i Kongsberg. Skolebygget er bygget som et plusshus, blant annet ved å lagre solenergi i hydrogen. Etter planen vil bygget ha et solcelleanlegg med 300 kilowatt-peak, som gir overproduksjon av energi i sommerhalvåret. Deler av denne energien skal brukes til å produsere hydrogen som lagres i verdens største metallhydridlager med kapasitet på 5,6 MWh⁶.

Også kraftprodusenter jobber med hydrogen. På Raggovidda samarbeider Sintef med Varanger kraft og Berlevåg kommune om å produsere hydrogen fra vindkraft i

fra 2019 anslått at total kostnad for fangst, transport og lagring av CO₂ vil ligge rundt 800 kr/tonn CO₂ i 2030. Gitt et CO₂-utslipp på 8 tonn pr. tonn hydrogengass produsert, vil kostnaden for blå hydrogen ligge mellom 60 og 87 øre pr. kWh i 2030, med forbehold om utbygget infrastruktur for transport og lagring av CO₂. Det er høy usikkerhet knyttet til kostnaden for blå hydrogen fordi det ikke eksisterer fullskala produksjonsanlegg for hydrogen med CCS.

I dag er produksjon av grønn hydrogen betydelig dyrere enn å reformere naturgass. IRENA har i en rapport fra 2018 anslått kostnad for grønn hydrogen på 120 øre - 180

⁵ <https://www.tu.no/artikler/norled-gar-for-flytende-hydrogen-pa-verdens-forste-hydrogenelektriske-ferge/455043?key=fOfYOiBv> (03.09.2019)

⁶ <https://www.tu.no/artikler/astrofysiker-skal-lage-verdens-storste-hydrogenlager-i-metallhydrid/465912?key=cMi2v8la> (03.09.2019)

⁷ <https://www.sintef.no/en/projects/haeolus/> (03.09.2019)

⁸ CCS, forkortelse for Carbon Capture and Storage

⁹ U.S. Dept. of Energy, Hydrogen Production Tech Team Roadmap, 2017

¹⁰ Boston Consulting Group, The Real Promise of Hydrogen, 2019

øre pr. kilo hydrogen avhengig av type elektrolyser¹¹. Dermed er grønn hydrogen i dag 2-3 ganger dyrere enn grå hydrogen. IRENA har i den samme rapporten kommet frem til at grønn hydrogen frem mot 2025 kan oppnå priser som er konkurransedyktige med hydrogen produsert fra naturgass. I et innspillsnotat om fremtidig energiforsyning på Svalbard¹² har Statkraft gjort beregninger for kostnaden av grønn hydrogen produsert med vindkraft på Raggovidda fra 2025. Her antar Statkraft at en kraftpris på ca. 25 øre/kWh vil kunne gi en kostnad på 18,50 kr pr. kg komprimert hydrogen, som tilsvarer 56 øre pr. kWh, produsert ved elektrolyse i 2025. Dette illustrerer at mange fagmiljøer har stor tro på at prisene på grønn hydrogen vil synke raskt i årene fremover.

Elektrolyser produseres i dag i små kvanta, og det er derfor forventet at prisene vil falle drastisk dersom etterspørselen etter ren hydrogen skulle øke og man oppnår stordriftsfordeler i produksjon av elektrolyser.

Figur 2 viser mulig kostnadsutvikling for de ulike produksjonsmetodene. I figuren øker gassprisen noe fremover mens strøm-kostnaden for hydrogenproduksjon synker som følge av billig sol- og vindkraft. I figuren faller kostnaden for grønn hydrogen raskt de kommende årene, men dette forutsetter at etterspørselen etter ren hydrogen øker og prisen på elektrolyser går kraftig ned. Kostnaden for grønn hydrogen flater ut når produksjonen skjer kostnadseffektivt i stor skala.

Energibruk til hydrogenproduksjon

Ren hydrogen er en viktig brikke i fremtidens fornybarsamfunn, men det er usikkert hvor raskt det vil skje og hvilken rolle det får i energisystemet. I følge en rapport DNV GL har produsert på bestilling fra Klima- og miljødepartementet og Olje- og energidepartementet, bruker den norske industrien i dag 225 000 tonn hydrogen¹³. Dersom hydrogenet i dagens norske industri skulle blitt produsert ved elektrolyse ville det kreve 11,25 TWh kraft, hvilket utgjør i underkant av 10 prosent av Norges totale strømforbruk. Det er ikke sannsynlig at alle de norske industriaktørene ønsker eller kan bytte fra grå til grønn hydrogen i sine prosesser, men eksempelet illustrerer hvor store energimengder som kreves ved produksjon av store mengder fornybar hydrogen.

I sin rapport har DNV GL også gjort anslag på fremtidig behov for hydrogen i andre sektorer. Blant annet har de kommet frem til et mulig hydrogenbehov til tungtransport og maritim transport på henholdsvis 29 000 tonn pr. år og 17 900 tonn pr. år i 2030. Dersom behovet skal dekkes

med grønn hydrogen vil det kreve om lag 2,3 TWh med fornybar kraft.

Utenfor Norges grenser er potensialet for hydrogen som energibærer stort også i byggsektoren. Gass brukes til oppvarming i de fleste europeiske land, og hydrogen er et av få null-/lavutslippsalternativer som kan erstatte de store mengdene naturgass som etterspørres i denne sektoren.

Oppsummering

Det er mye som tilsier at grønn hydrogen kan bli en viktig del av fremtidens energisystem. Industri-, transport- og byggsektoren kan alle skape økt etterspørsel etter hydrogen produsert ved elektrolyse. Dette vil kreve store mengder fornybar kraft, men ha stor påvirkning på våre klimagassutslipp. Dersom hydrogen blir et foretrukket alternativ for å redusere utslipp, kan det hende at behovet ikke kan dekkes av grønn hydrogen alene. Et samspill mellom blå og grønn hydrogen kan da være løsningen.

Prosjektet Teknologiovervåking i Energiavdelingen til NVE leverer teknologianalyser og fakta om hvordan modne og nye teknologier kan få innvirkning på energi og kraftsystemet.
Kontaktperson: Hallgeir Horne, haho@nve.no

¹¹ IRENA, Hydrogen from Renewable Power, 2018

¹² Statkraft, Fornybar energiforsyning til Svalbard, Innspillsnotat, 2018

¹³ DNV GL, Produksjon og bruk av hydrogen i Norge, 2019