

Asbjørn Kårstein

**Samfunnsvitenskapelig forskning
om hydrogen: En bibliografi**

STS-arbeidsnotat 04/05

ISSN 0802-3573-179

arbeidsnotat
working paper

Forord

Denne litteraturstudien er en del av den innledende fasen i arbeidet med forskningsprosjektet "Providing hydrogen for transport in Norway: A social learning approach". Arbeidet er finansiert av Norges forskningsråd gjennom RENERGI-programmet. Jeg vil takke Knut H. Sørensen for verdifull hjelp underveis i innsamling og strukturering av materialet som rapporten bygger på. Takk også til Erling Holden fra Vestlandsforskning for kommentarer til utkast underveis.

Mitt håp er at denne litteraturstudien kan tjene som et hjelpemiddel i forskningen på samfunnsvitenskapelige aspekter ved hydrogenteknologi.

Asbjørn Kårstein

Innholdsfortegnelse

1 Innledning	2
2 Oppsummering av resultater	4
3 Bibliografisk oversikt over samfunnsvitenskapelig forskning om hydrogen. 7	
3.1 De optimistiske og visjonære	7
3.1.1 Bøker	7
3.1.2 Rapporter	7
3.1.3 Artikler	8
3.2 De programmatisk	10
3.2.1 Bøker	10
3.2.2 Rapporter	11
3.2.3 Artikler	12
3.3 Teknisk-økonomiske analyser	23
3.3.1 Artikler	23
3.4 De kritiske	25
3.4.1 Artikler	25

Figur 1: Antall publiserte artikler per år i perioden 1982 til januar 2006.....	6
---	---

1 Innledning

Muligheten for å ta i bruk hydrogen som energibærer er i dag gjenstand for et stadig sterkere internasjonalt fokus. Til tross for at de fleste ser at overgangen til et samfunn der de viktigste bærebjelkene i energisystemet vil være hydrogen og elektrisitet trolig ligger langt fram i tid, er forskningen relatert til hydrogen omfattende og økende. Per i dag er det Japan, USA og Canada som er de store foregangslandene når det gjelder hydrogensatsning. Videre retter EU-kommisjonen stadig mer oppmerksomhet mot hydrogen. Formålet med EUs satsning på dette området er først og fremst å bidra til koordinerte aktiviteter og prosjekter med deltakelse fra ulike europeiske land. For å samordne og forsterke de internasjonale aktivitetene på området, er det også etablert flere omfattende internasjonale samarbeidsprogrammer.

Slik det er blitt identifisert – blant annet i NOU 2004:11 – er drivkraften bak den stadig økende internasjonale satsningen på hydrogen i første rekke:

- *forsyningssikkerhet for energi*; hydrogen blir sett på som en mulig fremtidig løsning for å redusere den stadig økende oljeimportavhengigheten ved å gi økt fleksibilitet til å velge andre energikilder.
- *miljøhensyn*; hydrogen kan være en del av løsningen på klimaproblemene. Bruk av hydrogen fører ikke til utslipp av CO₂ og kan også innebære reduksjon av andre utslipp (NO_x, SO_x, støv, m.m.). Den samlede miljøeffekten avhenger i stor grad av hvordan hydrogen blir fremskaffet. Fremstillingen av hydrogen er utslippsfri dersom den er basert på fornybar energi eller fossile energikilder der CO₂ blir tatt hånd om.
- *muligheter for næringsutvikling*; dette er knyttet til mulighetene for leveranse av produkter, utstyr og tjenester som en følge av en storstilt aktivitetsøkning innen utvikling av hydrogenteknologier. Bilindustrien verden over er en av de viktigste drivkreftene.

I denne litteraturstudien, som tar for seg internasjonal samfunnsvitenskapelig forskning på hydrogen i perioden 1982 til januar 2006, har jeg gjennomgått til sammen femtite publikasjoner (bøker, rapporter og artikler). Begrepet "samfunnsvitenskapelig" har blitt definert vidt, fra sosiologi, statsvitenskap, antropologi og samfunnsgeografi til samfunnsøkonomiske og ingeniørvitenskapelige bidrag. Siktemålet med denne studien har vært å kartlegge et heterogent felt for forskning, som ikke er teknologiutviklende,

med fokus på hydrogen.¹ Forskning med et utelukkende teknologifaglig fokus, har således ikke blitt inkludert. Artiklene som er gjennomgått i denne studien har jeg funnet i følgende vitenskapelige tidsskrift: *International Journal of Hydrogen Energy*, *Utilities Policy*, *Technovation*, *Energy Policy*, *Journal of Power Sources*, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *Journal of Cleaner Production*, *The Electricity Journal*, *Energy*, *Transpn. Res.-D*, *Technology in Society* og *Journal of Energy Resources Technology*. Særlig mange av bidragene er funnet i *International Journal of Hydrogen Energy* og *Energy Policy*. Publikasjonene er funnet gjennom søk i databasene BIBSYS, ISI Web of Science og Science Direct. De sentrale søkeordene som er benyttet er "hydrogen economy" og "hydrogen society".

I bibliografien har jeg gjort en inndeling av den gjennomgåtte litteraturen i følgende fire kategorier:

- Optimistiske og visjonære.
- Programmatisk.
- Teknisk-økonomiske analyser.
- Kritiske.

De optimistiske og visjonære er en samlebetegnelse for publikasjoner som ser mange muligheter og få alvorlige hindringer når det gjelder overgangen til hydrogen som en primær energibærer. Videre vektlegger mange av disse tekstene at en slik overgang vil kunne innebære flere store og positive ringvirkninger for samfunn og kultur. Derav også termene hydrogensamfunn og hydrogenøkonomi. Disse publikasjonene er således særlig opptatt av å overbevise om at hydrogen bør bli framtidens energibærer. I denne kategorien har jeg plassert en bok, en rapport og seks artikler.

Under kategorien *de programmatisk* har jeg plassert publikasjoner som er særlig opptatt av å peke på strategier og virkemidler som kan lette overgangen til bruk av hydrogen som energibærer, uten at de av den grunn uten videre kan betegnes som "hydrogenforkjempere". Noen av disse tekstene bygger sine råd og forslag på en mer eller mindre grundig gjennomgang av status og historie når det gjelder hydrogenanvendelse, mens andre også gir råd på bakgrunn av ulike energiframtidsscenarier som trekkes opp. I denne kategorien har jeg plassert en bok, en rapport og tjue artikler.

Under kategorien *teknisk-økonomiske analyser* har jeg plassert publikasjoner som ser på forhold knyttet til blant annet markedsinnføring, kommersialisering, produksjonskostnader og infrastrukturkostnader relatert til hydrogen. Flere av de gjennomgåtte tekstene jeg har plassert under de øvrige tre kategoriene inneholder forøvrig også elementer av teknisk-økonomiske analyser, uten at jeg betrakter dette som det dominerende fokuset for disse

¹ I praksis er imidlertid grensen mellom hva som er og hva som ikke er forskning flytende. Av den grunn vil det nok finnes enkelte oppføringer i denne bibliografien som befinner seg i et grenseland mellom forskning og for eksempel konsulentvirksomhet.

publikasjonene. Videre inneholder tekster plassert under teknisk-økonomiske analyser naturlig nok også implikasjoner angående strategier og virkemidler. I kategorien av publikasjoner som har hovedfokus på teknisk-økonomiske analyser, har jeg plassert ni artikler.

Under kategorien *de kritiske* har jeg plassert publikasjoner som har innvendinger mot – og identifiserer klare svakheter ved – hydrogen som energibærer. Noen av disse er også kritiske til en for stor satsning på hydrogen, og framholder at det vil være mer hensiktsmessig å legge tid og penger i arbeid med andre teknologiske løsninger for å sikre våre framtidige energiforsyningsbehov. I denne kategorien har jeg plassert til sammen fem artikler.

2 Oppsummering av resultater

Angående tematikken i de studerte publikasjonene, er problemstillinger knyttet til om – og eventuelt når og hvordan – gjennombruddet for hydrogen som energibærer vil komme gjennomgående i alle de oppsatte kategoriene. En del av artiklene – særlig plassert under kategorien *de programmatisk* – tar eksplisitt opp problemstillinger knyttet til overgangen fra en energiform til en annen. Hovedbudskapet i mange av disse er at en slik overgang som regel vil kreve flere tiår med hjelpetiltak og incentiver, blant annet i form av økonomisk støtte, skatte- og avgiftsfordeler, FoU-satsning, regulering, etablering av nisjemarkeder og samarbeid mellom industri og myndigheter. I disse vurderingene inngår ofte kvantitative teknisk-økonomiske analyser med bruk av for eksempel Technology Characterisation (TC), Figure of Merit Assessment (FMA) og Energy Research and Investment Strategies (ERIS). Eksempler på dette er Dunn (2002), Adamson (2004), Anderson & Leach (2004), Ewan & Allen (2005) og Turton & Barreto (under trykking). Noen av publikasjonene er imidlertid også basert på mer kvalitativt orienterte casestudier og den surveybaserte Contingent Valuation Method (CVM), se for eksempel Mourato, Saynor & Hart (2004) og O'Garra, Mourato & Pearson (2005), og ulike framtidsscenarier, se for eksempel Barreto, Makihiro & Riahi (2003) og Feng, Wang, Ni & Chen (2004). Gjennomgående i mange av publikasjonene som behandler problemstillinger knyttet til en overgang fra et energisystem til et annet, er at de bygger på den forutsetning at dette er nødvendig blant annet av hensyn til miljø og energisikkerhet. Imidlertid vil det være feil å framstille det som om alle disse er overbevist om at hydrogen representerer den endelige løsningen på disse problemene.

Videre er mange artikler opptatt av i hvilken grad det faktisk er mulig for hydrogen å konkurrere med andre alternative løsninger; for eksempel blir hydrogendrevne kjøretøy sammenlignet med elbiler, se for eksempel Shinnar (2003) og Kreith & West (2004). Noen artikler har hovedfokus på vurderinger av et mulig fremtidig hydrogenmarked. En problematikk som ofte blir

behandlet i denne forbindelse er at ettersom hydrogen er en energibærer, må den produseres fra en energikilde. Dette er en prosess som i seg selv vil forbruke energi og således innebære tap. På bakgrunn av kvantitative teknisk-økonomiske analyser og ulike energiscenarier, og med hjelp av ulike modeller som Mixed Integer Linear Programming (MILP) og US MARKAL model, vurderes basisen for å introdusere hydrogen som drivstoff og man søker å skaffe innsikt i mulighetene for å bygge opp et hydrogenbasert energimarked. Eksempler på dette er blant annet Carleson (1982), Kruger, Blakeley & Leaver (2003), Winter (2003), Tseng, Lee & Friley (2005) og Hugo, Rutter, Pistikopoulus, Amorelli & Zoia (2005). Noen artikler er, på bakgrunn av den samme typen analyser, opptatt av at satsningen på hydrogen som energibærer ikke må fortrenge arbeidet med andre mulige teknologiske løsninger. Se for eksempel Bockris (2002) og Sandén & Azar (2005). Felles for mange av de sistnevnte er en oppfordring til å innta en avventende holdning angående hva som vil representere en optimal løsning på energiforsyningsproblemet vi står overfor.

Noen publikasjoner retter, på bakgrunn av gjennomgang og vurdering av den samtidige internasjonale satsningen på hydrogen som energibærer, hovedfokus mot behovet for en sterkere global samordning og koordinering av dette arbeidet. Poenger som særlig blir vektlagt er betydningen av å fordele ansvar og arbeidsoppgaver, dele kunnskap og erfaringer og å få mer ut av en felles innsats. Se for eksempel Glotsov & Veziroglu (2001), Barreto, Makihiro & Riahi (2003) og Fernandes, Chen & Carvalho (2005).

Til sist retter noen publikasjoner fokus mot betydningen av relevant utdanning og kunnskapsspredning relatert til bestrebelsene på å oppnå en hydrogenøkonomi. Blant forholdene som blir berørt i denne sammenhengen er behovet for teknologiutvikling, sikkerhetsaspekter og publikumsaksept relatert til hydrogen, samt bevisstgjøring angående de miljømessige fordelene man mener overgangen til hydrogen som energibærer kan innebære. Se for eksempel Glotsov & Veziroglu (2002), Sherif, Barbir & Veziroglu (2005) og Winter (2005) som alle bygger på en gjennomgang av status og historie når det gjelder hydrogen som energibærer samt skisser av framtidsscenarier, og videre Mourato, Saynor & Hart (2004) og O'Garra, Mourato & Pearson (2005) som baserer seg på en kvalitativ og kvantitativ casestudie.

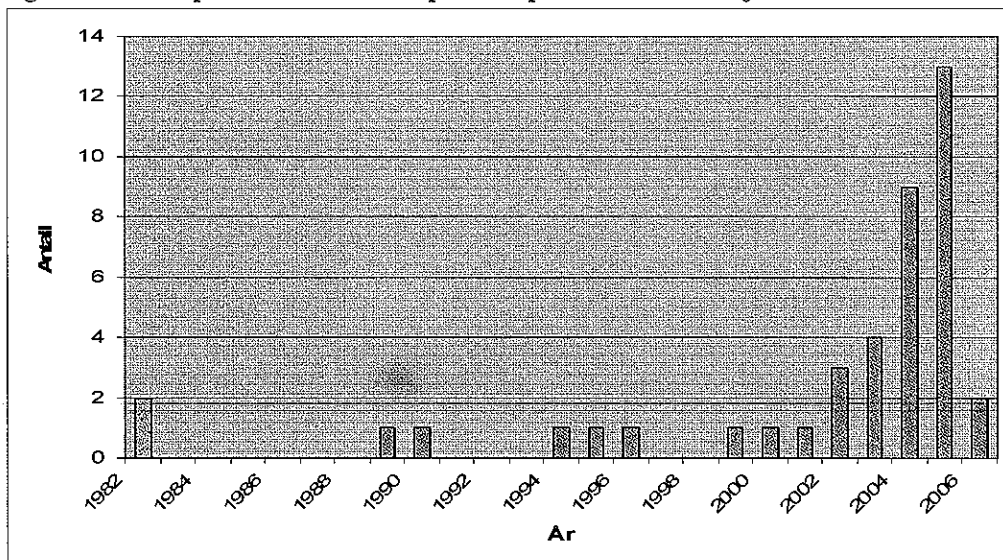
Slik jeg bedømmer det, avspeiler dermed de gjennomgåtte publikasjonene alle de tre drivkreftene bak den stadig økende internasjonale satsningen på hydrogen som er identifisert blant annet i NOU 2004:11. Problematikken som blir berørt i publikasjonene lar seg således relatere både til temaene *forsyningsikkerhet for energi, miljøhensyn og muligheter for næringsutvikling*.

Antallet og fordelingen av artikler som jeg har funnet er publisert innen det undersøkte feltet i perioden 1982 til januar 2006, indikerer at denne typen

forskning først har fått et visst omfang de siste fire-fem årene. Mens jeg har funnet at det i perioden 1982 til og med 2001 ble publisert til sammen ti artikler, har jeg i perioden 2002 til og med januar 2006 funnet at det har blitt publisert trettini artikler. Åtte av disse er imidlertid per i dag under trykking og foreligger foreløpig kun i elektronisk versjon. Innenfor perioden 2002 til 2005 ble det publisert klart flest artikler de siste to årene – ni i 2004 og tretten i 2005. Om denne trenden vil fortsette i 2006 gjenstår å se. Det ser også ut til å være en trend at det blir publisert stadig flere artikler som faller inn under kategoriene jeg har kalt *teknisk-økonomiske analyser* og særlig *programmatisk* jo nærmere 2006 man kommer. Til tross for at mange påpeker at en overgang til hydrogen som energibærer vil innebære betydelige teknologiske og ikke-teknologiske utfordringer, er det bare fem av de gjennomgåtte publikasjonene som er direkte kritiske til denne visjonen. Et siste gjennomgående funn jeg her vil trekke fram, er at de gjennomgåtte publikasjonene som regel ikke opererer med klare skiller mellom samfunnsvitenskap og ingeniørvitenskap generelt, og økonomi og teknologi spesielt.

Nedenfor følger en oversikt over publiserte artikler per år fra 1982 fram til januar 2006. De åtte gjennomgåtte artiklene som per i dag er under trykking, er ikke tatt med i diagrammet.

Figur 1: Antall publiserte artikler per år i perioden 1982 til januar 2006



3 Bibliografisk oversikt over samfunnsvitenskapelig forskning om hydrogen

3.1 De optimistiske og visjonære

3.1.1 Bøker

Rifkin, J. (2002) *The Hydrogen Economy: The next great economic Revolution*, Tarcher & Penguin, New York.

Et hovedpoeng i Rifkins bok er at vår nåværende sterkt sentraliserte, hierarkiske energiinfrastruktur og ledsagende økonomiske infrastruktur, skaper en usikker og potensielt ustabil situasjon, særlig når dette ses i forhold til de sosiale og politiske forskjellene mellom oljeproduserende muslimske land kontra USA og andre vestlige land. Løsningen på dette dilemmaet er ifølge Rifkin å akselerere overgangen til en hydrogenøkonomi. I henhold til Rifkins visjon, vil hydrogenkraft i framtiden bli generert av en myriade av brenselceller og bli levert gjennom desentraliserte nettverk. Rifkin ser dette systemet som analogt med World Wide Web. Kraftkilder vil være lokalt – og ofte offentlig – eiet og drevet. Dette "democratized energy web" som Rifkin kaller det, vil slik han ser det endre den nåværende balansen i vår kraftstruktur. "Energinettet" vil bety at skjebnen til det stadig stigende antallet energibrukere i verden ikke lenger vil være overlatt til en håndfull gigantiske oljeselskaper med stadig dårligere tilgang til råenergi. Mens Rifkin beskriver det grunnarbeid som må utføres for eksempel angående regulering for å få til en overgang til en hydrogenøkonomi, berører han i liten grad øvrige barrierer en slik overgang vil måtte hanskes med. Det kan synes som om Rifkin i sin bok allerede behandler hydrogenkraft og brenselceller som relativt uproblematisk størrelser. Det er da også kun ca 40 sider, i en bok på til sammen 250, som direkte tar for seg aspekter ved hydrogen som energibærer.

3.1.2 Rapporter

"The Hydrogen Society – Reality or Fiction? Referat från ett internationellt seminarium, arrangerat av H₂forum, IVA och MISTRA den 22. november 1999"

Referatet gir – med bare et unntak – uttrykk for et gjennomgående svært optimistisk syn på utviklingsmuligheter angående ulike aspekter ved hydrogen og brenselceller. Det oppfordres til videre arbeid med å løse ulike utfordringer

knyttet til denne teknologien slik at hydrogen kan realiseres som framtidens energibærer.

3.1.3 Artikler

Slotin, L.A. (1982) "The Hydrogen Economy: Future policy implications", *International Journal of Hydrogen Energy*, Vol. 8, Nr. 4, s. 291-294

Forfatteren er tilknyttet Ministry of State, Science and Technology, Canada. Denne artikkelen tar for seg nasjonale mål samt sosiale, juridiske og miljømessige konsekvenser for USA og Canada knyttet til hydrogen som en energiløsning. Forfatteren relaterer hydrogenløsningen til full sysselsetting, rettferdig fordeling, økonomisk vekst, et relativt stabilt prisnivå og en bærekraftig handelsbalanse. Angående sysselsetting og rettferdig fordeling, hevder forfatteren at hydrogenløsningen vil gi et betydelig større antall industrirelaterte arbeidsplasser spredt over et større område, sammenlignet med for eksempel kjernekraftverk plassert nær store byer. Angående økonomisk vekst, et stabilt prisnivå og betalingsbalanse, hevder forfatteren at dette i fremtiden blant annet vil avhenge av utviklingen av en selvstendig energiforsyning. I tillegg framheves at et lands kontroll med egne energiressurser vil ha stor sikkerhetsmessig betydning. Også her vil hydrogen framstå som en god løsning.

Winter, C.-J & J. Nitsch, (1989) "Hydrogen energy – a 'sustainable development' towards a world energy supply system for future decades", *International Journal of Hydrogen Energy*, Vol. 14, Nr. 11, s. 785-796

Forfatterne er tilknyttet Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) i Tyskland. Artikkelen peker på at overgangen fra en energiform til en annen som regel krever flere tiår med hjelpetiltak og incentiver, blant annet i form av økonomisk støtte. Ofte havarerer høye forventninger i rigide, konservative og av og til monopolistiske strukturer, eller på grunn av villedende vurderinger av eksisterende muligheter. Den innebygde tregheten i tekniske og lovgivende prosesser og den ekstraordinære lange omløpstiden (time cycle) for energiinvesteringer, fremmer heller ikke energiinnovasjoner. Når det gjelder vind- og vannkraft, solenergi, biomasse og andre fornybare energikilder, knyttet opp mot hydrogen, mener forfatteren imidlertid at vi står overfor nye muligheter. Denne energien vil være uavhengig av energiråmaterialer, og utnyttelsen vil være dominert av teknologiske vurderinger. Gjennom fraværet av forurensende utslipp vil man også slippe unna såkalt kompensatoriske kostnader. Videre er den nye horisonten karakterisert av innebygd korrigerbarhet, til og med reverserbarhet, og om nødvendig, avsluttbarhet. Dette fordi energikildene er mangfoldige, modulære, salgbare (marketable) og ikke vil være utsatt for monopolistisk eller oligopolistisk utnytting.

Veziroglu, T.N. (2000) "Quarter century of hydrogen movement 1974-2000", *International Journal of Hydrogen Energy*, Nr. 25, s. 1143-1150

Forfatteren er tilknyttet Clean Energy Research Institute, University of Miami. Artikkelen tar for seg et kvart århundres utvikling angående hydrogen. Det framheves at det er gjort framskritt på mange ulike områder – fra aksept av ideen om hydrogen som et svar på globale energi- og miljørelaterte problemer – til forskning, utvikling og kommersialisering. I følge forfatteren har konseptet angående et hydrogenenergisystem nå slått rot for alvor.

Clark, W.W., J. Rifkin, T. O'Connor, J. Swisher, T. Lipman, G. Rambach & Clean Hydrogen Science and Technology Team (2005) "Hydrogen energy stations: along the roadside to the hydrogen economy", *Utilities Policy*, Nr 13, s. 41-50

Artikkelen argumenterer for at forbedring av energieffektivitet, sammen med veloverveide overgangsstrategier, er viktig for å muliggjøre veksten i produksjonen av fornybar energi og utviklingen av teknologier, markeder og infrastruktur for å støtte en hydrogenøkonomi. Innen få år vil det, ifølge artikkelen, imidlertid eksistere hundrevis av regionale hydrogenkraftstasjoner for lokale energiforsyningsbehov. Disse vil etter hvert også kunne forsyne stadig flere kjøretøy med hydrogen. Kraftstasjonene, som skal være kostnadseffektive, vil utgjøre kjernen i den framtidige hydrogenøkonomien. Videre hevdes det at disse distribuerte energistasjonene vil innebære fundamentale endringer i hvordan energisektoren kommer til å drive forretning i framtida.

Johnston, B., M.C. Mayo & A. Khare (2005) "Hydrogen: the energy source for the 21st century", *Technovation*, Nr. 25 s. 569-585

Forfatterne er tilknyttet Athabasca University, Canada. Artikkelen tar sikte på å utforske og forstå utfordringer relatert til overgangen til en hydrogenøkonomi gjennom å vurdere bestrebelsene til noen av de landene som har arbeidet mest intenst med dette, som Island, Canada, USA, Japan og Tyskland. Artikkelen stiller opp ulike utfordringer knyttet til produksjon, lagring og distribusjon av hydrogen, samt organiseringen av dette arbeidet. Artikkelen trekker ingen klare konklusjoner angående hvordan man best kan angripe disse utfordringene, men er overbevist om at de lar seg løse, og slår på den bakgrunn fast at hydrogen er framtidens energikilde – "the energy source for the 21st century".

Forfatterne er tilknyttet henholdsvis Green Hydrogen Scientific Advisory Committee Communications og The Foundations of Economic Trends, USA. Artikkelen argumenterer for at hydrogenøkonomien ikke ligger så langt fram i tid som 40 – 50 år, som noen hevder. Særlig tilsier behovet for reduksjon i CO₂-utslipp og behovet for lokal og global sikkerhet angående energiforsyning, at hydrogenøkonomien slett ikke ligger langt fram i tid. Ut fra dette argumenterer forfatterne for at hydrogenøkonomien trenger kompetente mennesker, risikovillig kapital og samarbeid mellom myndigheter og næringsliv allerede nå for å skape en ny industri. Forfatterne ser ut fra dette store muligheter for at hydrogen blir en primær energibærer i relativt nær framtid.

3.2 De programmatiskke

3.2.1 Bøker

Hoffmann, P. (2001) *Tomorrow's energy: Hydrogen, Fuel cells, and the Prospect for a Cleaner Planet*, Cambridge, The MIT Press

Journalisten Peter Hoffmanns redegjørelse for "Tomorrow's energy", starter med en relativt detaljert gjennomgang av ulike argumenter for hvorfor det i det 21. århundre er nødvendig å løsrive seg fra avhengigheten av fossilt brensel som primær energikilde. De neste to kapitlene tar for seg oppdagelsen av hydrogen og den potensielle bruken av hydrogen som energibærer. To kapitler tar så for seg ulike måter å produsere hydrogen på. De etterfølgende fem kapitlene beskriver ulike måter som hydrogen kan tas i bruk, fra drivstoff for kjøretøy, via oppvarming av hus, til ikke-energi relatert anvendelse. Forfatteren setter av et eget kapittel til en gjennomgang av ulike bidrag angående utnyttelse av hydrogen i brenselceller. Et eget kapittel er også viet til sikkerhetsaspekter ved hydrogenbruk.

Bokens avsluttende kapittel tar for seg muligheter og utfordringer som ideen om hydrogen som energibærer trolig vil stå overfor de neste hundre årene. Her refererer forfatteren blant annet til energiteoretikeren og systemanalytikeren Cesare Marchetti som ved bruk av såkalte substitusjonsrater for ny teknologi, fremsetter en hypotese om at innfasingen av hydrogen vil ta fra 50 til 100 år. Marchetti knytter denne relativt lange innfasingstiden til politiske, økonomiske og teknologiske forhold, men også til det han kaller individuelle og kollektive læreprosesser. Hoffmann er i sin bok forsiktig med å gi uttrykk for egne synspunkter. Likevel kan det være nærliggende å tolke ham slik at han, ved å støtte seg til blant annet Marchetti, advarer mot både å fokusere på for kortsiktig profittstyrte og alt for omfattende og ambisiøse strategier når det gjelder dagens og morgendagens energiutfordringer.

3.2.2 Rapporter

National Research Council & National Academy of Engineering (2004) *The Hydrogen Economy: Opportunities, Costs, Barriers, and R&D Needs*, The National Academies Press, Washington DC.

Rapporten er på 240 sider – hvorav 110 sider er vedlegg – og inneholder følgende hovedkapitler: Introduction, A framework, The demand side, Transportation, distribution, and storage, Supply chains, Implications of a transition to hydrogen in vehicles, Carbon capture and storage, Hydrogen production technologies, Crosscutting issues og Major messages. Rapporten tar gjennom disse kapitlene for seg fem emner angående en mulig overgang til hydrogenøkonomi i USA: nasjonale mål, prioriteringer knyttet til forskning og utvikling (R&D), utfordringer knyttet til en overgang til hydrogen, og innvirkningen av hydrogendrevne lette kjøretøy på energisikkerhet og CO₂-utslipp.

Angående nasjonale mål konkluderer rapporten med at det er mulig å skifte ut all bruk av bensin med hydrogen i løpet av de neste 50 årene med bruk av utelukkende nasjonale ressurser. Når det gjelder prioriteringer knyttet til R&D sier rapporten at utfordringer som bør vies særlig oppmerksomhet er utvikling av kostnadseffektive brenselceller, lagringssystemer for hydrogen, infrastruktur for å forsyne lette kjøretøyer med hydrogen, dramatisk reduksjon av kostnadene ved å framstille hydrogen fra fornybare energikilder, og å utvikle teknologi for å fange og lagre CO₂ i forbindelse med framstilling av hydrogen fra kull. I forhold til utfordringer knyttet til en overgang til hydrogen som drivstoff sier rapporten at man må forvente en relativt lang overgangsperiode der brenselceller og hydrogen ikke kan forventes å være konkurransedyktige i forhold til forbrenningsmotorer og fossilt brensel.

Rapporten sier videre at i en overgangsperiode vil man være best tjent med en distribuert hydrogenproduksjon fordi man da unngår mange av utfordringene knyttet til å bygge ut en type infrastruktur som en sentralisert produksjon vil kreve. Særlig framheves produksjon gjennom gassreforming og elektrolyse på selve fyllstasjonen som interessante løsninger. Den viktigste konklusjonen i rapporten angående effekten av hydrogendrevne lette kjøretøy på energisikkerhet og CO₂-utslipp, er at en overgang til hydrogen mest sannsynlig vil ha liten innvirkning på utslipp av klimagasser og oljeimport de neste 25 årene. Etter dette kan man imidlertid forvente en betydelig reduksjon i utslipp av klimagasser og oljeimport dersom R&D som gjennomføres er vellykket, og dersom det foretas tilstrekkelig store investeringer relatert til hydrogen og brenselceller. Rapporten avslutter med å anbefale økt R&D-innsats i USA angående utvikling av brenselcellekjøretøy, distribuert produksjon av hydrogen, analyse av infrastruktur, CO₂-fangst og håndtering, og CO₂-frie energiteknologier.

3.2.3 Artikler

Winter, C.-J., H. Klaiß & J. Nitsch (1990) "Hydrogen as an energy carrier: What is known? What do we need to learn?", *International Journal of Hydrogen Energy*, Nr. 2, s. 79-91

Forfatterne er tilknyttet Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) i Tyskland. Artikkelen tar for seg effektiv bruk av hydrogen som energibærer, og politiske og økonomiske vurderingen relatert til innføring av hydrogen på markedet. Artikkelens hovedpoeng er at teknologiske problemer synes å bli løst raskere enn ikke-teknologiske. Artikkelen konkluderer med en oppfordring til å satse mer på forsknings- og utviklingsarbeid som inkludere alle relevante teknologiske, økonomiske, økologiske og politiske aspekter ved hydrogen som energibærer.

Lloyd, A.C., J.H. Leonard & R. George, (1994) "Fuel cells and air quality: a California perspective", *Journal of Power Sources*, Nr.49, s. 209-223

Forfatteren er tilknyttet South Coast Air Quality Management District, California. Artikkelen framholder den hydrogenbaserte brenselcellen som særlig interessant i et miljømessig perspektiv på grunn av dens innebygde effektivitet, null- eller nær nullutslipp og lave støynivå. Demonstrasjonsprosjekter i Californiaområdet som involverer brenselceller og hydrogen blir diskutert, så vel som nødvendige planer og incentiver for infrastrukturutvikling – i følge artikkelen en sentral komponent i kommersialiseringen av brenselceller. Artikkelen bringer en oversikt over reguleringsbestrebelser som vurderes for å støtte tidlige marked for brenselceller. Den konkluderer med at demonstrasjonsprosjektene viser at en aktiv reguleringspolitikk kan stimulere både miljøgevinster og en bærekraftig økonomisk utvikling.

Quakernaat, J. (1995) "Hydrogen in a Global long-term perspective", *International Journal of Hydrogen Energy*, Vol. 20, Nr. 6, s. 485-492

Forfatteren er tilknyttet TNO Institute of Environmental and Energy Technology, Nederland. I denne artikkelen skisseres følgende ulike forutsetninger og betingelser som forfatteren mener må legges til grunn i arbeidet med å utvikle en hydrogenøkonomi:

- På grunn av vekst i folketall og velstand vil etterspørselen etter energi fortsette å stige.
- Oljeforsyningen vil ha avtatt til en marginal del av energibehovet i løpet av 40-50 år.
- Den relative økningen i energietterspørselen vil være størst i utviklingsland.

- Utviklingsland vil fortsette å være avhengige av fossilt brensel i enda mange tiår framover.
- Innen femti år bør fornybare energikilder og trygg kjernekraft dekke en vesentlig del av verdens energibehov.
- Publikumsaksept for nye energisystemer, inkludert kjernekraft, må ikke tas for gitt.
- Barrierene mot en global utvidelse av effektiv energiutnyttelse er ikke primært av teknologisk, men av institusjonell karakter. Barrierene vil for eksempel være i form av internasjonal lovgivning, markedskreftenes manglende tilpasning, manglende overføring av kunnskap, særlig langs nord/sør-aksen, samt manglende måtehold knyttet til energibruk.
- Store økonomiske anstrengelser og langsiktige bestrebelser vil være nødvendig for å oppnå for eksempel redusert CO₂-utslipp.
- For at en miljøteknologi skal kunne være bærekraftig, må den være ren, trygg, effektiv, stillegående, rimelig og sosialt akseptabel.
- I et hvert energiregnskap vil man være nødt til å inkludere også de miljømessige kostnadene.

Bockris, J.O'M (1999) "Hydrogen economy in the future", *International Journal of Hydrogen Energy*, Nr. 24, s. 1-15

Dette er et introduksjonsforedrag på "The 12th World Hydrogen Energy Conference, Buenos Aires, Argentina on 21st June, 1998". Foredraget går gjennom ulike aspekter ved den teknologiske utviklingen knyttet til hydrogenøkonomien. Forfatteren gjør forøvrig også et hovedpoeng av at det kreves mye mer enn vitenskapsmenns ideer før noe faktisk kan bli oppnådd. Vitenskapsmennes ideer må treffe tiden, de må også passe inn i eksisterende maktstrukturer. Det er for eksempel liten grunn til å tro at hydrogenproduksjon for transportsektoren gjennom solenergi og elektrolyse umiddelbart ville blitt ønsket velkommen av dem som sitter på store reservoarer av fossilt brensel. Man må først gjennom en overgangsprosess der eierne av fossilt brensel, og samfunnet for øvrig, kan tilpasse seg det nye konseptet. Dette vil i følge forfatterne være en svært krevende prosess som nødvendiggjør spesielle tiltak fra ulike hold.

Glotsov, V.A. & T.N. Veziroglu (2001) "From Hydrogen Economy to Hydrogen Civilization", *International Journal of Hydrogen Energy*, Nr. 26, s. 909-915

Forfatterne er tilknyttet henholdsvis Physics Department, Donetsk State Technical University, Ukraina og Cleav Energy Research Institute, University of Miami, USA. Artikkelen skisserer en overgang til en hydrogensivilisasjon i fem trinn. Første trinn dreier seg om et systematisk vitenskapelig studie av endringer i biosfæren og jordas økosystem der sammenligninger mellom bruk

av fossilt brensel og av energibærere som hydrogen står i sentrum. Andre trinn dreier seg om en bevisstgjøring av verdens befolkning. Her skal kunnskap fremskaffet i første trinn legges til grunn. Tredje trinn dreier seg om betraktninger rundt hvordan verdenssamfunnet bør utvikle sine internasjonale og regionale organisasjoner som FN, WHO, European Council osv, for at disse skal fremme overgangen til en "hydrogensivilisasjon". En verdensomspennende offentlig diskusjon angående disse vurderingene bør følge. Hensikten med dette trinnet er å oppnå mer effektivt internasjonalt samarbeid. I fjerde trinn tar de ulike lands politiske systemer for seg forslaga til lovgivning og regulering som er blitt framsatt i tredje trinn. Det femte trinnet er fasen for en overgang til en hydrogensivilisasjon sikret gjennom vitenskapelig, juridisk og økonomisk grunnarbeid. Dette trinnet kan i følge forfatterne spre seg på en ujevn og fragmentert måte. Her vil verdens industrialiserte land (the "golden billion" countries) måtte bære det tyngste ansvaret.

Bockris, J.O'M. (2002) "The origin of ideas on a Hydrogen Economy and its solution to the decay of the environment", *International Journal of Hydrogen Energy*, Nr. 27, s. 731-740

Forfatteren er tilknyttet Molecular Green Technology, USA. Denne artikkelen diskuterer hydrogen som framtidens energibærer. Slik det ser ut i dag, mener forfatteren det er grunn til å tro at hydrogen kan spille en sentral rolle når det gjelder å løse mange aktuelle problemer knyttet til klima, miljø og energiforsyning. Forfatteren mener at man likevel parallelt med å arbeide for å innføre hydrogen som energibærer, må forbli åpen for andre teknologiske løsninger. Utvikling av superledere i romtemperatur ville for eksempel kraftig redusere behovet for hydrogen til å transportere energi.

Dunn, S. (2002) "Hydrogen futures: toward a sustainable energy system", *International Journal of Hydrogen Energy*, Nr. 27, s. 235-264

Forfatteren er tilknyttet Worldwatch Institute. Artikkelen hovedpoeng er at akkurat som politiske myndigheter spilte en rolle som katalysator i utviklingen av Internet, kan de spille en sentral rolle i en direkte overgang fra fossilt brensel til hydrogen. Utfordringen knyttet til å bygge en hydrogeninfrastruktur vil her være særlig stor. R&D, incentiver, regulering, samarbeid med industrien og sterkere satsning på utdanning, er noen av de faktorene forfatteren mener vil kunne fremme en direkte overgang til en hydrogenøkonomi.

Glotsov, V.A. & T.N. Veziroglu (2002) "A step on the road to Hydrogen Civilization", *International Journal of Hydrogen Energy*, Nr. 27, s. 719-723

I denne artikkelen betegnes oppgaven med å unngå negative tekniske og sosiale fokus og fordommer angående hydrogen som sentralt på det nåværende stadiet i utviklingen av en hydrogensivilisasjon. Som eksempel på et slikt negativt fokus nevnes "Hindenburgsyndromet". For å unngå slike uheldige tendenser og assosiasjoner, pekes det på behovet for informasjonsutveksling på bred front mellom ulike aktører med erfaring, kunnskap og interesse innenfor feltet.

Barreto, L., A. Makihiro & K. Riahi (2003) "The hydrogen economy in the 21st century. A sustainable development scenario", *International Journal of Hydrogen Energy*, Nr. 28, s. 267-284

Forfatterne er knyttet til International Institute for Applied Systems Analysis, Østerrike. Artikkelen skisserer et scenario for overgangen til en "hydrogenøkonomi". Her pekes det blant annet på at det eksisterer et antall tekniske, institusjonelle, politiske og sosiale barrierer mot en overgang til et bærekraftig hydrogenbasert globalt energisystem. Å få til en slik overgang krever dermed vesentlige anstrengelser på en rekke områder, og av mange ulike aktører. Særlig pekes det på at en kombinasjon av tiltak fra styresmakter og handling fra næringslivet er en nødvendig forutsetning for å stimulere vekst i hydrogenenergiindustrien, kommersialisering av teknologien og utviklingen av støttende infrastruktur. Blant de ulike aktørene fremheves det at dagens energileverandører kan spille en nøkkelrolle. Videre argumenteres det for at internasjonalt samarbeid angående forskning, utvikling og demonstrasjonsforsøk er nødvendig for å fordele kostnader og risiko knyttet til overgangen til en hydrogenøkonomi.

Adamson, K.A. (2004) "Hydrogen from renewable resources – the hundred year commitment", *Energy Policy*, Nr. 32, s. 1231-1242

Forfatteren er tilknyttet Institute for Energietechnik, Fuel Cell and Hydrogen Research Centre, Technical University of Berlin. Denne artikkelen tar for seg politiske forhold knyttet til produksjon av hydrogen fra fornybare energikilder i en europeisk kontekst. Artikkelen etterlyser et klarere skille mellom hydrogenproduksjon gjennom dampreforming av naturgass på mellomlang sikt, og fra fornybare energikilder på lenger sikt. Det må komme klart fram av EUs planer og policy at naturgass bare kan representere en bro over til hydrogen produsert gjennom fornybare energikilder. For å kunne skifte over til en fornybar hydrogenøkonomi en gang i framtida, blir det vesentlig at man parallelt med å benytte naturgass, kunstig bygger opp et marked for fornybar hydrogen gjennom aktiv bruk av blant annet subsidier, skatter og avgifter.

Anderson, D & M. Leach (2004) "Harvesting and redistributing renewable energy: on the role of gas and electricity grids to overcome intermittency through the generation and storage of hydrogen", *Energy Policy*, Nr. 32, s. 1603-1614

Forfatterne er tilknyttet Centre of Energy Policy and Technology, Imperial College London. Artikkelen peker på at dersom nye fornybare energiteknologier skal kunne stå for en vesentlig del av en framtidig energiforsyning, er det av avgjørende betydning at energilagringsproblemet blir løst. Artikkelen ser på økonomien knyttet til å ta i bruk hydrogen som energibærer sett opp mot dagens kostnader knyttet til elektrisitet og naturgass. Dette gjøres både i et kortsiktig og et mer langsiktig perspektiv. Artikkelen konkluderer med at dersom hydrogen som energibærer skal bli økonomisk lønnsomt, vil man måtte føre en aktiv politikk for å stimulere en slik utvikling. For det første må man initiere en rekke ulike typer R&D-programmer og demonstrasjonsprosjekter. For det andre bør man gjennomgå ulike aspekter ved dagens politikk angående miljø og energisystemer for å undersøke om de gir optimale vilkår for ny energiteknologi. For det tredje trengs et system av skattemessige incentiver som stimulerer til utforskning av nye muligheter.

Cherry, R.S. (2004) "A hydrogen utopia?", *International Journal of Hydrogen Energy*, Nr 29, s. 125-129

Forfatteren er tilknyttet National Academy of Engineering, USA. Artikkelen framholder at selv om hydrogen trolig vil ha en rekke fordeler av miljømessig og samfunnsmessig art, bør hydrogenforkjemperne også innse at overgangen til en hydrogenøkonomi kan innebærer en rekke potensielle problemer. Blant disse nevner forfatteren en forsinket utvikling av andre energialternativer, risikoaspekter ved katalysatorer og hydridmetaller knyttet til eventuelle ulykker og kondemnering, store endringer og forskyvninger på energiarbeidsmarkedet, konflikter over bruk av landområder særlig knyttet til generering av fornybar energi, samt fristelsen til økt bruk når man får tilgang på "forurensningsfrie" kjøretøyer. En større offentlig bevissthet om utfordringer av denne typen, vil i følge forfatteren øke sjansen for at overgangen til en hydrogenøkonomi blir vellykket.

Feng, W., S. Wang, W. Ni & C. Chen (2004) "The future of hydrogen infrastructure for fuel cell vehicles in China and a case of application in Beijing", *International Journal of Hydrogen Energy*, Nr 29, s. 355-367

Forfatterne er tilknyttet Department of Thermal Engineering, Tsinghua University, Kina. Denne artikkelen diskuterer framtiden for en hydrogeninfrastruktur for brenselcellekjøretøyer i Kina. Først blir elleve mulige planer presentert som forholder seg til eksisterende teknologi for

produksjon, lagring og transport av hydrogen i Kina. Deretter blir disse planene evaluert med hensyn på energimessige, miljømessige og økonomiske ytelser.

Mourato, S., B. Saynor & D. Hart (2004) "Greening London's black cabs: a study of driver's preferences for fuel cell taxis", *Energy Policy*, Nr. 32, s. 685-695

Forfatterne er tilknyttet Department of Environmental Science and Technology, Imperial College London, Storbritannia. Denne studien undersøker preferansene til taxisjåfører i London for å kjøre utslippsfrie brenselcellebiler. Studiet har benyttet en såkalt "contingent valuation method", som er en surveybasert metode. Studien etablerer gjennom denne metoden et hypotetisk marked. Respondentene blir typisk spurt om sin betalingsvillighet på bakgrunn av et sett varierende premisser.

Serveyundersøkelsen ble utviklet på bakgrunn av kvalitative intervjuer gjennomført med 12 sjåfører fordelt på to fokusgrupper. Sjåførenes preferanser undersøkes både på kort sikt gjennom deltakelse i et hypotetisk pilotprosjekt, og på lenger sikt dersom masseproduserte hydrogenbiler skulle bli kommersielt tilgjengelige. Bakgrunnen for studiet er at nesten 25% av alt utslipp av karbon i Storbritannia kommer fra veitransport, noe som gjør alternative kjøretøyer med lav- og nullutslipp svært interessante.

Resultatet av studien viser at villigheten til å delta i et pilotprosjekt synes å være avhengig av taxisjåførenes forventninger om personlig økonomisk vinning. På den andre siden viser det seg at vurderinger knyttet til miljø påvirker sjåførenes mer langsiktige vurderinger angående valg av kjøretøy. Studiet konkluderer med at dersom taxisjåfører skal være interessert i å delta i pilotprosjekter, vil det være en ide å tilby kompensasjon for ulike ulemper som dagens hydrogenkjøretøy trolig vil medføre for sjåførene. Videre konkluderer studien med at det på lenger sikt er viktig å spre informasjon om hvilke fordeler en overgang til brenselcellekjøretøy vil innebære, for eksempel med hensyn til forurensning.

Winter, C.-J. (2004) "The hydrogen energy economy: an address to the world Economic Forum 2004", *International Journal of Hydrogen Energy*, Nr. 29, s. 1095-1097

Forfatterene er tilknyttet International Association for Hydrogen Energy. Artikkelen argumenterer for at tiden for en sterkere internasjonal satsning på hydrogen – ikke minst fra ulike typer entreprenører – nå har kommet. Forfatteren hevder videre at markedsutprøvningsprosjekter må betraktes som R&D så godt som noe.

Fernandes, T.R.C., F. Chen & M.G. Carvalho (2005) "HySociety in support of European hydrogen projects and EC policy" *International Journal of Hydrogen Energy*, Nr. 30, s. 239-245

Forfatterne er tilknyttet Instituto Superior Técnico, Portugal. HySociety-prosjektet tar sikte på å undersøke ikke-teknologiske barrierer knyttet til implementering av hydrogen i EU-landene samt Norge. De ikke-teknologiske barrierene kan bestå av manglende etablering av koder og standarder, bygging av en hydrogeninfrastruktur, brukersikkerhet, sosiale og økonomiske forhold og endrede tendenser innen industrielle strukturer og i den europeiske økonomien. Artikkelen argumenterer for at HySociety skal framskaffe en handlingsplan for en vellykket introduksjon av et rent, trygt og effektivt hydrogensamfunn i Europa. Artikkelens hovedpoeng er at det må skapes en felle bevissthet angående hydrogen slik at man kan stimulere en dialog om utfordringer og fordeler ved hydrogensamfunnet som kan resultere i en ny politikk som fremmer en slik overgang.

Maack, M.H. & J.B. Skulason (2005) "Implementing the hydrogen economy", *Journal of Cleaner Production*, Nr. 14, s. 52-64

Forfatterne er tilknyttet henholdsvis University of Iceland & Icelandic New Energy. Artikkelen tar for seg det EU-initierte prosjektet the Ecological City transport System (ECTOS) hvor tre hydrogenbusser har blitt testet i Reykjavik i perioden 2003-2005. Artikkelens hovedpoeng er at ut fra erfaringene på Island, er hastigheten på utviklingen mot en hydrogenøkonomi først og fremst avhengig av ressursbevilgninger og en generell vilje fra ulike hold til å hankses med de utfordringene en slik overgang vil måtte medføre.

O'Garra, T., S. Mourato & P. Pearson (2005) "Analysing awareness and acceptability of hydrogen vehicles: A London case study", *International Journal of Hydrogen Energy*, Nr. 30, s. 649-659

Forfatterne er tilknyttet Department of Environmental Science & Technology, Imperial College London. Gjennom en surveybasert kvantitativ undersøkelse søker denne artikkelen å peke på faktorer som påvirker befolkningen i London sin aksept av brenselcellekjøretøyer og hydrogen som drivstoff i transportsektoren. Det blir funnet en sterk korrelasjon mellom kunnskap om hydrogenteknologi, årsakene til klimaendringer og aksept for hydrogenteknologi i transportsektoren. De som viser seg å ha mest kunnskap om hydrogenteknologi, er universitetsutdannede menn. Ca. 3/5 av respondentene oppgir at de trengte mer informasjon for å kunne ta stilling til hvorvidt hydrogenteknologi bør implementeres i transportsektoren. Artikkelen konkluderer med at den mest effektive måten å fremme aksept for hydrogenteknologi blant Londons befolkning, vil være spredning av kvalitetssikret informasjon om ulike aspekter ved denne teknologien.

Sandén, B.A. & C. Azar (2005) "Near-term technology policies for long-term climate targets: Economy wide versus technology specific approaches", *Energy Policy*, Nr. 33, s. 1557-1576

Forfatterne er tilknyttet Chalmers University of Technology, Göteborg. Artikkelen tar sikte på å tilby forslag angående en kortsiktig teknologipolitikk knyttet til langsiktige klimagassmålsetninger basert på innsikt i teknologiske endringers iboende "natur". Artiklene skiller mellom det de kaller "economy wide" og "technology specific" politikk. I artikkelen framsettes det to hypoteser: (i) Kyoto-protokollen og andre kortsiktige CO₂-målsetninger kan nås gjennom økonomiske virkemidler som vil medføre en videreutvikling av eksisterende teknologi. (ii) Man trenger teknologispesifikk politikk for å framskaffe ny teknologi. Uten slik ny teknologi kan mer langsiktige utslippsmålsetninger angående klimagasser vise seg vanskelige å nå. Politikken som trengs for å oppnå disse mer langsiktige endringene er kompleks og inkluderer økt innsats angående FoU, demonstrasjoner, skaping av nisjemarkeder, støtte til nettverk innenfor nye industrier, fastsetting av standarder og bygging av infrastruktur. Med for stort fokus på kostnadseffektive og kortsiktige utslippsmål, mener forfatterne at det er en fare for at man forsømmer den mer langsiktige teknologiske utviklingen. Artikkelen konkluderer med at det på dette tidspunktet ikke vil være hensiktsmessig med en ensidig satsning på bare en energiløsning, men at man bør "la de hundre blomster vokse" de nærmeste par tiårene. Hydrogenteknologi framholdes imidlertid som en viktig plante i denne floraen av energiteknologier.

Sherif, S.A., F. Barbir & T.N. Veziroglu (2005) "Towards a Hydrogen Economy", *The Electricity Journal*, Vol. 18, Nr. 6, s. 62-76

Forfatterne er tilknyttet henholdsvis University of Florida, University of Connecticut og University of Miami, USA. I artikkelen hevdes det at mens det forskes intensivt på ulike teknologiske aspekter ved hydrogen som energibærer, vies det mindre oppmerksomhet til sikkerhetsaspekter knyttet til denne teknologien. Artikkelens hovedpoeng er at siden alt tyder på at risiki knyttet til hydrogen ikke er større enn dem knyttet til bensin og gass, bør det gjøres en innsats for å spre informasjon, og dermed fjerne myter angående hydrogen som et spesielt farlig drivstoff.

Winter, C.-J. (2005) "Into the hydrogen economy – milestones", *International Journal of Hydrogen Energy*, Nr. 30, s. 681-685

Forfatteren er tilknyttet The International Association for Hydrogen Energy (IAHE). Artikkelen peker blant annet på at en hydrogenøkonomi vil medføre en overgang fra energiforsyningspolitikk til energiteknologipolitikk. I denne situasjonen vil ingeniørkunnskaper og ferdigheter stå helt sentralt. I den

forbindelse pekes det på betydningen av relevant utdanning og kunnskapsspredning. Kunnskap om energiteknologi vil ifølge forfatteren, i overgangen til en hydrogenøkonomi, få samme verdi som råenergi har i dag. Videre framholdes det i artikkelen at en hydrogenøkonomi, særlig om den skal baseres på fornybare energikilder, vil være avhengig av skattefordeler i en relativt lang overgangsperiode for å kunne bli konkurransedyktig.

Goltsov, V.A., T.N. Veziroglu & L.F. Goltsova (2006) "Hydrogen civilization of the future: A new conception of the IAHE", *International Journal of Hydrogen Energy*, Volume 31, Nr. 2, s. 153-159

Goltsov og Goltsova er tilknyttet Donetsk National Technical University, Ukraina og Veziroglu er tilknyttet University of Miami, USA. Artikkelen hovedpoeng er at ideen om en hydrogensivilisasjon slik den blir omtalt blant annet av The International Association for Hydrogen Energy (IAHE) inneholder to bestanddeler som gjensidig betinger hverandre, en humanistisk-kulturell del og en miljømessig-industriell del. Den førstnevnte bestanddelen er knyttet til at en overgang til en hydrogensivilisasjon vil innebære en global transformasjon av aspekter ved menneskelig eksistens, mentalitet og samfunn. Den andre bestanddelen innebærer at overgangen vil medføre en transformasjon når det gjelder miljømessig og industriell utvikling. Artikkelen hovedpoeng er at den viktigste oppgaven for IAHE og "den globale hydrogenbevegelsen" er å unngå negative tekniske og sosiale tendenser som et "Hindenburgsyndrom". Dette kan best oppnås gjennom kunnskapsspredning.

Chen, F., T.R.C. Fernandes, M.Y. Roche & M.G. Carvalho "Investigation of challenges to the utilization of fuel cell buses the EU vs transition economies", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, In Press, Corrected Proof, Available online 17 May 2005

Forfatterne er tilknyttet Research Group on Energy and Sustainable Development, Technical University of Lisbon. Denne artikkelen sammenligner teknologiske, infrastrukturelle, økonomiske, sosiokulturelle og politiske barrierer basert på en analyse av R&D- og demonstrasjonsprosjekter utført innenfor en EU-kontekst, kontra i overgangsøkonomiene Kina og Brasil. Prosjektene dreier seg om innføring av hydrogendrevne busser. Det hevdes at barrierene innenfor de nevnte områdene vil ha både likheter og forskjeller i overgangsøkonomier kontra i utviklede land. Det settes videre opp en rekke anbefalinger angående hvordan man kan håndtere de ulike identifiserte barrierene som altså er av både teknologisk og ikke-teknologisk art.

Dorain, J.P., H.T. Franssen, D.R. Simbeck, MD "Global challenges in energy", *Energy policy*, In Press, Corrected Proof, Available online 17 May 2005

Forfatterne er tilknyttet henholdsvis International Energy Economist, International Energy Associates Inc. og SFA Pacific, Inc., USA. Artikkelen argumenterer for at uansett hvilket ikke-fossilt brensel som til sist blir valgt, vil en overgang til et nytt drivstoff ta mange år og kreve store ressurser. Artikkelen framholder at hydrogenenergi trolig vil stå sentralt i denne sammenhengen. Dette vil blant annet innebære at man må bygge en ny type infrastruktur. For at dette skal være mulig, må offentlige myndigheter allerede i dag tilby incentiver for å stimulere produksjon og effektiv bruk av energi, særlig gjelder dette innen transportsektoren.

Godoe, H. & S. Nygaard "System failure, innovation policy and patents: Fuel cells and related hydrogen technology in Norway 1990-2002", *Energy policy*, In Press, Corrected Proof, Available online 12 February 2005,

Forfatterne er tilknyttet henholdsvis NIFU-STEP, Norge og Lund Universitet, Sverige. Artikkelen tar for seg perioden 1990-2002 da fire relativt store forsknings- og utviklingsprosjekter, samt et antall mindre prosjekter, tok sikte på å utvikle brenselceller og annen hydrogenteknologi i Norge. Dette resulterte i en rekke oppfinnelser som ble patentert. Imidlertid ble bare et av prosjektene vellykket i et innovasjonsperspektiv. Gjennom å studere denne ene suksessen, og de mange "fiaskoene", setter artikkelen fokus på policyaspekter gjennom å benytte en innovasjonssystemisk tilnærming. Et hovedpoeng i artikkelen er at norske myndigheter må ha en klar plan for hvordan man skal benytte incentiver for å stimulere effektiv teknologisk utvikling og diffusjon.

Hodson, M. & S. Marvin "Reconnecting the technology characterisation of the hydrogen economy to contexts of consumption", *Energy policy*, In Press, Corrected Proof, Available online 11 July 2005

Forfatterne er tilknyttet University of Salford, Storbritannia. Artikkelen tar for seg et perspektiv på hydrogenøkonomi kjent som "Technology characterization" (TC). TC er begrenset til å se ny teknologi i relasjon til kostnader og tekniske karakteristika på et relativt begrenset og abstrakt måte. Som et middel til å se forhold knyttet til forsyning kontra bruk eller appropriering av hydrogenteknologier i en bredere og mer konkret sammenheng, framholder artikkelen at det vil være nyttig å se teknologisk utvikling i lys av "sømløse" systemer av sosiale, politiske og teknologiske komponenter som står i gjensidig forbindelse med hverandre.

Milciuviene, S., D. Milcius & B. Praneviciene "Towards hydrogen economy in Lithuania", *International Journal of Hydrogen Energy*, In Press, Corrected Proof, Available online 7 September 2005

Milciuvine og Praneviciene er tilknyttet Mykolas Romeris University og Milcius er tilknyttet Lithuanian Energy Institute, Litauen. Artikkelenes første del analyserer strategier for kommersialisering av hydrogenteknologi benyttet innenfor EU. Artikkelenes andre del analyserer de spesielle problemene relatert til introduksjon av hydrogenenergiteknologier på det litauenske markedet. Artikkelen identifiserer utviklingen av et juridisk og økonomisk miljø for hydrogenteknologier som særlig presserende for Litauen dersom man skal få til den ønskede satsningen på hydrogen som energibærer.

Suppes, G.J. "Roles of plug-in hybrid electric vehicles in the transition to the hydrogen economy", *International Journal of Hydrogen Energy*, In Press, Corrected Proof, Available online 11 August 2005

Forfatteren er tilknyttet University of Missouri-Columbia. Artikkelen skisserer seks trinn i utviklingen av bilen – fra hybrid-elektriske biler drevet delvis av fossilt brensel, til biler overveiende drevet av hydrogen. Et hovedpoeng i artikkelen er at utviklingstakten for kjøretøy først og fremst vil avhenge av hvor fort prisen på brenselceller faller.

Turton, H. & L. Barreto "Long-term security of energy supply and climate change", *Energy Policy*, In Press, Corrected Proof, Available online 17 May 2005

Forfatterne er tilknyttet henholdsvis International Institute for Applied System Analysis, Østerrike og Paul Scerrer Institute, Sveits. Artikkelen undersøker rollen til ulike policy-instrumenter som kan hanskkes med energisikkerhet på den ene side, og risiko for klimaendringer på den annen, og videre som skal stimulere teknologiske endringer i retning av et mer klimavennlig globalt energisystem på lang sikt. Analysen har blitt gjennomført med såkalt Energy Research and Investment Strategies (ERIS), som blir beskrevet som en multi-regional energisystem "bottom-up" optimaliseringsmodell for teknologilæring. Artikkelenes hovedpoeng er at det kan oppstå synergieffekter dersom man velger å se utfordringene knyttet til energiforsyning og klimaendring i sammenheng, og at dette kan bidra til å fremme en mulig overgang til en hydrogenøkonomi.

3.3 Teknisk-økonomiske analyser

3.3.1 Artikler

Carleson, G. (1982) "Assessment of the potential future market in Sweden for hydrogen as an energy carrier", *International Journal of Hydrogen Energy*, Vol. 7, Nr. 10, s. 821-829

Forfatteren er tilknyttet Studsvik Energiteknik AB, Nyköping i Sverige. Studien som denne artikkelen refererer, ble utført som et bidrag til et program igangsatt av International Energy Agency (IEA) angående R&D for framstilling av hydrogen fra vann. Studien ser på det fremtidige hydrogenmarkedet i perioden 1980-2025, anslår sannsynlige kostnader for hydrogenproduksjon knyttet til ulike produksjonsmetoder og evaluerer forventede markedsandeler i konkurranse med alternative energibærere. Et generelt scenario for økonomisk og industriell utvikling i Sverige blir evaluert. Tre ulike energiscenarier basert på det økonomiske scenariet er videre utviklet. Disse har følgende karakteristika: et er basert på energi fra kjernekraft, et på tilgjengelige fornybare energikilder, og et på fortsatt fri tilgang til import av naturlig og syntetisk drivstoff. For hvert av disse tre scenariene er det foretatt en analyse angående hydrogenets konkurransedyktighet både på forsynings- og etterspørselsiden innen visse sektorer. Hydrogen viser seg å være konkurransedyktig først og fremst dersom scenario nummer to legges til grunn. Helsemessige, miljømessige og sosiale implikasjoner er også forsøkt vurdert i studiet. En kvantifisering av helsemessige og miljømessige faktorer er foretatt gjennom en komparativ risikoanalyse for ulike former for energiproduksjon.

Kruger, P., J. Blakeley & J. Leaver (2003) "Potential in New Zealand for use of hydrogen as a transportation fuel", *International Journal of Hydrogen Energy*, Nr. 28, s. 795-802

Forfatterne er knyttet til School of Civil and Environmental Engineering, New Zealand. Det foretas en evaluering av økonomiske og miljømessige faktorer knyttet til fossile og ikke-fossile energikilder for produksjon av hydrogen. Artikkelen ekstrapolerer historiske data angående populasjon, transport og elektrisk energi, og undersøker basisen for å introdusere hydrogen som drivstoff i nasjonaløkonomien i perioden 2010-2050.

Winter, C.-J. (2003) "On the HYway – sustainable assets in Germany's energy state's portfolio", *International Journal of Hydrogen Energy*, Nr. 28, s. 477-481

Forfatteren er tilknyttet The International Association for Hydrogen Energy (IAHE), Tyskland. Artikkelen tar sikte på å gi innsikt i oppbygningen av hydrogenbaserte energimarkeder.

Ahluwalia, R. K., X. Wang, A. Rousseau & R. Kumar (2004) "Fuel economy of hydrogen fuel cell vehicles", *Journal of Power Sources*, Nr. 130, s. 192-201

Forfatterne er tilknyttet Argonne National Laboratory, USA. Dette er en studie av ulike aspekter ved hydrogenbasert brenselcelleteknologi og økonomi, sett opp mot ulike typer kjøretøy.

Ramírez-Salgado, J. & A. Estrada-Martínez (2004) "Roadmap towards a sustainable hydrogen economy in Mexico" *Journal of Power Sources*, Nr. 129, s. 255-263

Forfatterne er tilknyttet Programa de Ingeniería Molecular, Instituto Mexicano del Petróleo, Mexico. Denne artikkelen diskuterer problemstillinger knyttet til teknologi, infrastruktur og økonomi ved en eventuell overgang til hydrogenøkonomi i Mexico.

Ewan, B.C.R. & R.W.K. Allen (2005) "A figure of merit assessment of the routes to hydrogen" *International Journal of Hydrogen Energy*, Nr. 30, s. 809-819

Forfatterne er tilknyttet University of Sheffield, Storbritannia. Artikkelen tar for seg effektiv bruk av ulike energikilder til hydrogenproduksjon ved å vurdere fire nøkkelmål som reflekterer disse evne til å møte underliggende behov og praktiske krav knyttet til energiteknologier. Målene som kvantifiseres og vurderes, er reduksjonen av CO₂-utslipp, tilgjengelighet av energikilden, implikasjoner angående bruk av landarealer, og kostnader knyttet til produksjon. Fjorten ulike veier til hydrogen blir vurdert ved hjelp av disse fire målene. Gjennom dette tar artikkelen sikte på å bidra til et klarere bilde av implikasjoner forbundet med å følge ulike hydrogenproduksjonsbaner, begrensninger som ligger i visse teknologier samt forsknings- og utviklingsutfordringer som ligger foran oss.

Hugo, A., P. Rutter, S. Pistikopoulos, A. Amorelli & G. Zoia (2005) "Hydrogen infrastructure strategic planning using multi-objective optimization", *International Journal of Hydrogen Energy*, Nr. 30, s. 1523-1534

Hugo, Rutter og Pistikopoulos er tilknyttet Imperial College London, Amorelli og Zoia er tilknyttet British Petroleum. Artikkelen argumenterer for å benytte kvantitativ analyse i form av en optimaliseringsmodell for strategisk langsiktig investeringsplanlegging og design av framtidige hydrogenforsyningskjeder. Ved å benytte såkalt Mixed Integer Linear Programming (MILP) hevdes det at en slik modell er i stand til å identifisere optimale investeringsstrategier og forsyningskjedekonfigurasjoner sett i relasjon til både investeringmessige og miljømessige kriterier.

McLellan, B., E. Shoko, A.L. Dicks & J.C. Diniz da Costa (2005) "Hydrogen production and utilisation opportunities for Australia" *International Journal of Hydrogen Energy*, Nr. 30, s. 669-679

Forfatterne er tilknyttet Australian Research Council, The University of Queensland, Australia. Artikkelen vurderer økonomiske og miljømessige fordeler og ulemper knyttet til ulike ressurser, samt produksjons- og implementeringsteknologier tilgjengelige for en hydrogenøkonomi i Australia.

Tseng, P., J. Lee & P. Friley (2005) "A hydrogen economy: opportunities and challenges", *Energy*, Nr. 30, s. 2703-2720

Tseng er tilknyttet US Department of Energy og Lee og Friley er tilknyttet Brookhaven National Laboratory, USA. I denne artikkelen benyttes en såkalt "US MARKAL modell" for å simulere innvirkningen fra hydrogenteknologier på USAs energisystem for å identifisere potensielle markedsbarrierer.

3.4 De kritiske

3.4.1 Artikler

Hörmandinger, G. & N.J.D. Lucas (1996) "Is clean enough? The influence of environmental externalities on markets for fuel cells in transport", *Transpn. Res.-D*, Vol 1, Nr. 1, s. 63-78

Forfatterne er tilknyttet Center for Environmental Technology ved Imperial College i London. Denne artikkelen tar for seg en sammenligning mellom hydrogendrevne og dieseldrevne busser. Artikkelen peker på at gevinsten i form av lavere miljøomkostninger knyttet til hydrogenbaserte brenselceller mer eller mindre vil bli kansellert av bortfallet av skatt på drivstoff. Det stilles derfor spørsmål ved om miljømessige omkostninger alene kan motivere til et

så stort avvik fra "business as usual" som overgangen til en hydrogenøkonomi vil representere. Artikkelen konkluderer med at dersom en overgang til en hydrogenøkonomi skal være realistisk, må den assosierte teknologien bli vesentlig bedre og rimeligere.

Shinnar, R. (2003), "The hydrogen economy, fuel cells, and electric cars", *Technology in Society*, Nr. 24, s. 455-476

Forfatteren er tilknyttet Dept. of Chemical Engineering, City College of New York, USA. Artikkelen presenterer en analyse av problemer knyttet til en eventuell hydrogenøkonomi. I artikkelen hevdes det blant annet at det vil kreve mer energi for å trekke hydrogen ut fra vann, enn hydrogen selv noen gang vil kunne bære, at det er knyttet store tap også til energioverføringen, samt at hydrogen vil være et uakseptabelt farlig drivstoff. Artikkelen framholder videre fordeler ved å satse videre på el-basert energi, framfor å gå omveien via hydrogen.

Kreith, F. & R. West (2004) "Fallacies of a Hydrogen Economy: A Critical Analysis of Hydrogen Production and utilization", *Journal of Energy Resources Technology*, Vol. 126, s. 249-257

Forfatterne er tilknyttet henholdsvis ASME og University of Colorado, USA. Artikkelen presenterer en kritisk analyse av de viktigste banene for produksjon og bruk av hydrogen som energibærer til produksjon av varme og/eller elektrisitet. Artikkelens hovedpoeng er at ingen aktuelle metoder vil være like effektive som å benytte elektrisitet og varme direkte fra ulike energikilder – altså uten å gå veien om hydrogen. Videre hevder artikkelen at brenselcellebiler er mindre effektive og mer forurensende enn elektriske biler som benytter batteri til å lagre elektrisitet.

Penner, S.S. (2006) "Steps toward the hydrogen economy", *Energy*, Nr. 31, s. 33-43

Forfatteren er tilknyttet Center for Energy Research, San Diego. Artikkelen viser til at det per i dag eksisterer tre primære utgangspunkt for produksjon av hydrogen, fossilt brensel, kjernekraft og fornybare energikilder. Ved å studere kostnadene ved hydrogenproduksjon med utgangspunkt i disse ulike kategoriene av energikilder, trekkes den konklusjon at en hydrogenøkonomi per i dag ikke kan utvikles uten nye oppdagelser og/eller innovasjoner.

Solomon, B.D & A, Banerjee "A global survey of hydrogen energy research, development and policy", *Energy Policy*, In Press, Corrected Proof, Available online 15 September 2004,

Forfatterne er tilknyttet henholdsvis Michigan Technological University, Houghton og University of Delaware, Newark, USA. I denne artikkelen lages en oversikt over den internasjonale statusen angående F&U-arbeid og relatert policy knyttet til hydrogenenergi. Artikkelen konkluderer med at mesteparten av de identifiserte planene, strategiene og målene knyttet til overgangen til en hydrogenøkonomi er usikre og flyktige, og at det dermed kan stilles seriøse spørsmålstegn ved om en slik økonomi faktisk vil være bærekraftig. Artikkelen etterlyser også mer spesifikke mål og planer, særlig knyttet til hydrogenproduksjon basert på fornybare energikilder.