

NOU

Norges offentlige utredninger **2004: 11**

Hydrogen som fremtidens energibærer

Utredning fra et utvalg oppnevnt ved kongelig resolusjon 20. juni 2003.
Avgitt til Olje- og energidepartementet og Samferdselsdepartementet 1. juni 2004.

Statens forvaltningstjeneste
Informasjonsforvaltning

Oslo 2004

ISSN 0333-2306
ISBN 82-583-0777-0

PDC Tangen

Til Olje- og energidepartementet og Samferdselsdepartementet

Ved kongelig resolusjon av 20. juni 2003 ble det oppnevnt et utvalg som skulle fremme forslag til videre norsk satsing på hydrogen som energibærer gjennom utforming av et nasjonalt hydrogenprogram. Utvalget skulle blant annet basere sitt arbeid på innspill fra to ekspertgrupper, en for produksjon og stasjonært bruk av hydrogen nedsatt av Olje- og energidepartementet, og en for bruk av hydrogen i transportsektoren nedsatt av Samferdselsdepartementet. Ekspertgruppenes rapporter er å finne som særskilte vedlegg til utredningen.

Utredningen er enstemmig.

Oslo, 1. juni 2004

Sverre Aam
leder

Ole Gjørberg Elisabet Fjermestad Hagen
Ane Hansdatter Kismul

Hanne Lekva
Trygve Riis

Trond Moengen
sekretariatsleder

Tore Grunne
Eirik Midtsundstad
Ann Ingeborg Hjetland
Trond Kråkenes

Innhold

Del I	Innledning	7	5.3	USA og Canada	43
			5.3.1	Bakgrunnen for hydrogensatsingen i USA	43
1	Utvalgets sammensetning, mandat og arbeid	9	5.3.2	Målene for hydrogensatsingen og prosessen bak	44
1.1	Mandat og sammensetning	9	5.3.3	Virkemidler	45
1.2	Bakgrunn for oppnevningen av utvalget	10	5.3.4	Offentlig støtte	48
1.2.1	Oppnevning av to ekspertgrupper ..	10	5.3.5	Canada	48
1.3	Avgrensning og presisering av utvalgets mandat	12	5.4	EUs hydrogensatsing	49
1.4	Utvalgets arbeid	13	5.4.1	EUs energipolitikk	49
1.5	Veiledning for leseren	14	5.4.2	Hydrogenstrategien i EU	50
			5.4.3	Organiseringen av hydrogensatsingen i EU	51
2	Sammendrag og anbefalinger ...	15	5.4.4	Noen direktiver med relevans for hydrogen og brenselceller	52
2.1	Sammendrag	15	5.4.5	Satsinger i utvalgte europeiske land	53
2.2	Utvalgets anbefalinger	21	5.5	Norsk offentlig deltagelse i internasjonalt hydrogenrelatert samarbeid	55
Del II	Hydrogen som energibærer og situasjonen i Norge og internasjonalt	23	5.5.1	Deltagelse i EUs rammeprogram ..	55
			5.5.2	Det internasjonale energibyrået (IEA)	55
3	Norsk kompetanse og ressursgrunnlag på energiområdet	25	5.5.3	Nordisk energiforskning	55
3.1	Norge som energiproducent	25	5.5.4	International Partnership for a Hydrogen Economy – IPHE ..	55
3.1.1	Vannkraft	26	5.5.5	Carbon Sequestration Leadership Forum – CSLF	56
3.1.2	Nye fornybare energikilder	26	5.5.6	Bilateralt samarbeid med Japan ...	56
3.1.3	Olje og gass	28	5.5.7	Bilateralt samarbeid med USA ...	56
3.2	Hydrogen – Norske erfaringer ...	28			
3.2.1	Produksjon av hydrogen i Norge ..	28			
3.2.2	Lagring, transport og distribusjon av hydrogen i Norge	29	Del III	Videre norsk satsing på hydrogen som energibærer	57
4	Hydrogen som energibærer	30	6	Hvorfor satse på hydrogen i Norge?	59
4.1	Litt hydrogenhistorie	30	6.1	Introduksjon	59
4.2	Nærmere om hydrogen	30	6.2	Begrunnelser for en norsk satsing på hydrogen	60
4.2.1	Hva er hydrogen?	30	6.3	Norske gassressurser	60
4.2.2	Hydrogen er en energibærer	31	6.3.1	Bakgrunn	60
4.2.3	Produksjon av hydrogen	32	6.3.2	Kompetanse på renseteknologi for gasskraft	61
4.2.4	Lagring og distribusjon av hydrogen	33	6.3.3	Muligheter for transport og lagring av utskilt CO ₂	62
4.2.5	Sikkerhet og standarder	35	6.4	Miljø som drivkraft for satsing på hydrogen i Norge	63
4.2.6	Sluttbruk av hydrogen	35	6.4.1	Stasjonær energiforsyning	63
5	Internasjonal satsing på hydrogen	39	6.4.2	Mulig bruk av hydrogen i transportsektoren	65
5.1	Innledning – oppsummering	39	6.5	Næringsutvikling på hydrogenområdet	66
5.2	Japan	39			
5.2.1	Bakgrunnen for hydrogensatsingen	39			
5.2.2	Samspillet mellom myndigheter, industri og akademia	40			
5.2.3	Målsetninger	41			
5.2.4	Virkemidler	42			
5.2.5	Offentlig støtte	43			

6.5.1	Norge som internasjonal leverandør av hydrogen	66	8.2.1	Forskning, utvikling og demonstrasjon	82
6.5.2	Norske leverandører av hydrogenteknologi	66	8.2.2	Tidlig bruker av hydrogenkjøretøy .	84
6.5.3	Norske leverandører av kompetanse	69	8.2.3	Nyskaping, forretningsutvikling og innovasjon	84
6.6	Økt internasjonal aktivitet som begrunnelse for en norsk satsing ..	69	8.2.4	Samfunnsaksept, opplæring og informasjon	84
7	En norsk hydrogensatsing	70	8.2.5	Internasjonalt samarbeid	85
7.1	Satsingsområder	70	8.3	Organisering og finansiering av et hydrogenprogram	85
7.1.1	Miljøvennlig produksjon av hydrogen fra naturgass	70	8.3.1	Organisering av et hydrogenprogram	85
7.1.2	Tidlige brukere av hydrogenkjøretøy	73	8.3.2	Finansiering av et hydrogenprogram	86
7.1.3	Lagring av hydrogen	74	8.4	Andre tiltak i en hydrogenstrategi ..	87
7.1.4	Utvikling av en hydrogenteknologinæring	75	9	Økonomiske og administrative konsekvenser	89
7.2	Mulig bruk av demonstrasjonsprosjekter i en satsing	76	Referanser	91	
Del IV	Utvalgets anbefalinger	79	Særskilt vedlegg nr. 1 til NOU 2004:11	Rapport utarbeidet av en ekspertgruppe for produksjon og stasjonært bruk av hydrogen	
8	Et nasjonalt hydrogenprogram ..	81	Særskilt vedlegg nr. 2 til NOU 2004:11	Rapport utarbeidet av en ekspertgruppe for hydrogen i transportsektoren	
8.1	Introduksjon	81			
8.2	Aktiviteter i et norsk hydrogenprogram	82			

Del I
Innledning

Kapittel 1

Utvalgets sammensetning, mandat og arbeid

1.1 Mandat og sammensetning

Regjeringen nedsatte ved kongelig resolusjon av 20. juni 2003 et utvalg som skulle fremme forslag til videre norsk satsing på hydrogen som energibærer gjennom utforming av et nasjonalt hydrogenprogram. Utvalget ble gitt følgende mandat:

«Hydrogen kan komme til å få en viktig rolle i framtidens energisystem både som energibærer og som bidrag til bedre miljø ved at hydrogen ikke har noen miljøskadelige utslipp ved bruk.

Norge har solid erfaring i produksjon av hydrogen, både på basis av fornybar energi og fossile råstoffer, og har etablert industri innenfor ulike hydrogenområder. Det fins samtidig forskningskompetanse av høy kvalitet innenfor viktige nisjeområder. Norge har også store gassressurser som representerer en naturlig kilde for storskala hydrogenproduksjon. Forholdene ligger derfor godt til rette for økt bruk av hydrogen i Norge, og for framtidig norsk eksport av hydrogenrelatert teknologi og kompetanse.

Med dette som utgangspunkt, vil det være et mål for myndighetene å legge forholdene best mulig til rette for økt satsing på utvikling av hydrogenrelatert teknologi og hydrogen som energibærer i Norge.

Utvalget skal formulere nasjonale mål og nødvendige tiltak for å utvikle hydrogen som energibærer og virkemiddel for innenlands verdiskaping og bedre miljø. Utvalget skal identifisere behov for offentlig medvirkning og rammebetingelser, og skal foreslå ansvarsforhold, organisering, ressursbehov og faglig innhold knyttet til et nasjonalt hydrogenprogram.

Utvalget skal utrede økonomiske og administrative konsekvenser av foreslåtte tiltak. Minst ett forslag skal baseres på uendret ressursbruk.

Utvalget skal ha nær dialog med Norges forskningsråd, og de tiltak som foreslås innenfor FoU, skal ses i sammenheng og samordnes med Forskningsrådets strategier og tiltak på området.

Det nasjonale hydrogenprogrammet skal omfatte hydrogen både til stasjonært bruk og til

transportformål. Internasjonalt er utviklingen kommet lengst innenfor transportsektoren. Programmet må vurderes i lys av internasjonale aktiviteter på hydrogenområdet og muligheter for norsk deltakelse i internasjonale forsknings-, utviklings- og demonstrasjonsaktiviteter. De tiltak som foreslås lagt til programmet må være av en slik art at de faller innenfor rammene til statsstøttereglene i EØS-avtalen.

Som utgangspunkt for arbeidet med å utforme et nasjonalt hydrogenprogram, skal utvalget identifisere og kartlegge muligheter og barrierer knyttet til produksjon, lagring, distribusjon og sluttbruk av hydrogen i Norge. Det skal gjøres en drøfting av hydrogen som energibærer i forhold til alternative løsninger.

Utvalget skal i sitt arbeid gjenspeile det utredningsarbeidet som gjøres i ekspertgruppen som er etablert under utvalget og basere sine anbefalinger på dette. Ekspertgruppen for produksjon og stasjonært bruk skal bygge sitt arbeid på det faktagrunnlag og den omtalen av hydrogen som allerede foreligger i Gassteknologiutvalgets innstilling og i Gassmeldingen. Gruppen skal videre gjennomføre utredninger som er nødvendig for å bygge opp under utvalgets arbeid for å løse sitt mandat. Ekspertgruppen for transport skal ta utgangspunkt i mandatat til Samferdselsdepartementets ekspertgruppe. Arbeidet fra ekspertgruppene skal legges frem for de respektive ministrene innen 1. mai 2004.

Utvalget skal legge frem sin innstilling senest 1. juni 2004.»

Utvalget har bestått av:

Sverre Aam (leder), adm. direktør, Trondheim
Elisabet Fjermestad Hagen, seksjonssjef, Hole
Hanne Lekva, direktør, Stavanger
Ole Gjølberg, professor, Rygge
Trygve Riis, seksjonsleder, Oslo
Ane Hansdatter Kismul, leder, Vefsn

Olje- og energidepartementet har vært ansvarlig for sekretariatet sammen med Samferdselsdepartementet. Sekretariatet har bestått av seniorrådgiver Trond Moengen, Energidata AS, som har ledet sekretariatets arbeid, avdelingsdirektør Ann Inge-

borg Hjetland, Olje- og energidepartementet, rådgiver Tore Grunne, Olje- og energidepartementet, førstekonsulent Eirik Midtsundstad, Olje- og energidepartementet og rådgiver Trond Kråkenes, Samferdselsdepartementet.

1.2 Bakgrunn for oppnevningen av utvalget

I bakgrunnen for oppnevningen av utvalget, Kongelig resolusjon av 18. juni 2003, heter det:

«Regjeringen har i St.meld. nr. 9 (2002–2003) Om innenlands bruk av naturgass mv. (Gassmeldingen) gått inn for å øke satsingen på hydrogen og legge til rette for et større nasjonalt hydrogenprogram, som skal bidra til kompetansebygging for en videre utvikling av hydrogenteknologier i Norge.

En samlet energi- og miljøkomité ber i innstillingen til Gassmeldingen Regjeringen om å opprette et nasjonalt hydrogenutvalg, jf. vedtak VI i Innst. S. nr. 167 (2002–2003):

«Stortinget ber Regjeringen om å opprette et bredt sammensatt nasjonalt hydrogenutvalg som skal formulere nasjonale mål og nødvendige tiltak for å utvikle hydrogen som energibærer og virkemiddel for innenlands verdiskaping. Utvalget skal identifisere behov for offentlig medvirkning og rammebetingelser og foreslå ansvarsforhold, organisering og ressursbehov for et nasjonalt hydrogenprogram, og legge fram en innstilling så snart det lar seg gjøre, men senest våren 2004.»

Samferdselsdepartementet har nylig opprettet en ekspertgruppe som har fått som oppgave å vurdere hvordan Norge kan bidra til å fremskynde den internasjonale utviklingen av nullutslippsteknologi i transportsektoren, herunder hydrogen.

Det er viktig å få koordinert Stortingets vedtak og arbeidet som Samferdselsministeren har tatt initiativ til.

På bakgrunn av dette legger Olje- og energidepartementet frem forslag om at Kongen i statsråd nedsetter et offentlig utvalg som skal se på hydrogen både til stasjonært bruk og til transportformål. Utvalget skal bygge på grunnlagsarbeid fra to ekspertgrupper, en for produksjon og stasjonært bruk og en for transport. Forslaget fremmes i samarbeid med Samferdselsdepartementet.

Mandatet for utvalget er utformet i tråd med de føringer som er lagt av Stortinget.»

1.2.1 Oppnevning av to ekspertgrupper

Samferdselsdepartementet oppnevnte sin ekspertgruppe 6. mars 2003. Ekspertgruppen skulle legge frem en rapport for Samferdselsministeren i løpet av første kvartal 2004. Da Hydrogenutvalget skulle opprettes 20. juni 2003, var det viktig å se utvalget og ekspertgruppen i sammenheng og søke å samordne initiativene. Regjeringen valgte å løse dette gjennom å opprettholde ekspertgruppen under Samferdselsministeren for å synliggjøre satsingen på 0-utslippsteknologi i transportsektoren og samtidig opprette en ekspertgruppe under Olje- og energidepartementet som skulle ta for seg stasjonært bruk av hydrogen. Begge lederne av ekspertgruppene ble en del av utvalget. Det ble besluttet at stasjonærgruppen også skulle dekke produksjon og lagring av hydrogen. Ekspertgruppene fikk betegnelsene «Ekspertgruppen for produksjon og stasjonært bruk» og «Ekspertgruppen for transport».

Ekspertgruppenes overordnede mandat var å gi et faglig grunnlag for Hydrogenutvalgets arbeid med å løse sitt mandat. Ekspertgruppenes rapporter er presentert som separate vedlegg til utredningen.

1.2.1.1 Ekspertgruppen for produksjon og stasjonært bruk

Ekspertgruppen for produksjon og stasjonært bruk har hatt følgende mandat:

«Ekspertgruppen skal utarbeide en rapport som skal danne et faglig grunnlag for Hydrogenutvalgets arbeid med å løse sitt mandat.

Gruppen skal redegjøre for status når det gjelder produksjon, lagring og distribusjon av hydrogen, samt stasjonært bruk av hydrogen til energiformål, både nasjonalt og internasjonalt, herunder:

- teknologisk status
- funksjonalitet
- kostnader
- infrastruktur
- tidsaspekter knyttet til FoU og markedsintroduksjon
- virkemidler

Det legges til grunn at det er god kontakt mellom ekspertgruppene for henholdsvis stasjonært bruk og transport slik at man kan oppnå en god arbeidsdeling og i størst mulig grad unngår dublering av arbeid.

Gruppen skal videre:

- identifisere og kartlegge muligheter, barrierer og drivkrefter (både tekniske og ikke

tekniske/økonomiske) knyttet til produksjon, lagring, distribusjon og sluttbruk av hydrogen i Norge

- drøfte alternative virkemidler og rammebetingelser knyttet til en fremtidig satsing på hydrogen i Norge (for eksempel støtte til FoU, demo, infrastruktur, avgifter, fond, særskilte lover og regler, etc.)
- fokusere på områder hvor økt innsats fra Norges side kan bidra til å påvirke utviklingen på hydrogenområdet nasjonalt og internasjonalt

Drøfting av nasjonale mål og hvilken rolle hydrogen skal spille i en framtidig norsk energipolitikk, vil være utenfor ekspertgruppen sitt mandat. Samtidig blir det viktig for gruppen å omtale energiforsyningsalternativer som utgangspunkt for å vurdere ulike praktiske muligheter for overgang til bruk av hydrogen i stasjonær energiforsyning.

Gruppen skal blant annet utnytte det faktagrunnlag og den omtalen av hydrogen som allerede foreligger i Gassteknologiutvalgets innstilling og i Gassmeldingen.

Gruppen kan gjennomføre særskilte utredninger som er nødvendig for å bygge opp under utvalgets arbeid for å løse sitt mandat. Dette skal diskuteres med Hydrogenutvalget på forhånd. Hydrogenutvalget kan også be ekspertgruppen ta ansvaret for å gjennomføre aktuelle utredninger.

Det forutsettes at Enova trekkes inn i ekspertgruppens arbeid på en hensiktsmessig måte. Det forutsettes også tett kontakt med Ekspertgruppen for transport.

Hydrogenutvalgets sekretariat skal kunne ha mulighet til å delta som observatør på ekspertgruppemøtene.

Rapporten fra ekspertgruppene skal legges frem for de respektive ministrene innen 1. mai 2004.»

Ekspertgruppen for produksjon og stasjonært bruk har bestått av:

Hanne Lekva (leder), direktør, Statoil ASA
 Ragne Hildrum, prosjektleder, Statkraft SF
 Geir Vollsæter, Commercial Advisor, AS Norske Shell
 Ronny Glöckner, forsker, Institutt for energiteknikk
 Johan E. Hustad, professor, NTNU, Institutt for termisk energi og vannkraft

Norges forskningsråd fikk ansvaret for sekretærfunksjonen og har leid inn Fritjof Salvesen, Kan-Energi, til oppdraget.

1.2.1.2 Ekspertgruppen for transport

Samferdselsdepartementet oppnevnte 6. mars 2003 en ekspertgruppe som skulle utrede spørsmål omkring nullutslippsteknologi og hydrogen i transportsektoren. Gruppens mandat var:

«Utvalget skal vurdere hvordan Norge best kan bidra til å fremskynde den internasjonale utviklingen av 0-utslippsteknologi i transportsektoren. Arbeidet bør i hovedtrekk konsentreres om følgende oppgaver:

- Redegjøre for status når det gjelder bruk av hydrogen i vegtransport, herunder:
 - Funksjonalitet, miljøegenskaper og kostnader sammenlignet med bensin- og dieselt teknologi og forventet utvikling av disse egenskapene
 - Kjøretøyproducentenes satsing og planer for markedsintroduksjon
 - Utbygging av infrastruktur
 - Bruk av virkemidler i andre land
- Lage et miljøregnskap for hydrogen inkludert produksjon, lagring og distribusjon sammenlignet med andre drivstoffer, i dag og i 2010
- Gi en oversikt over norsk forskning og utvikling med relevans for bruk av hydrogen til transport
- Drøfte teknologiske og økonomiske barrierer for introduksjon av hydrogen til transport i Norge
- Drøfte mulige mål og foreslå konkrete virkemidler i en politikk for å fremme utvikling og bruk av hydrogen- og 0-utslippsteknologi i transportsektoren»

I forbindelse med at et nytt hydrogenutvalg og en ekspertgruppe for produksjon og stasjonært bruk ble oppnevnt, ble det foretatt noen justeringer i gruppens mandat og sammensetning for å sikre nødvendig samordning og unngå overlapp. Ekspertgruppens fortolkning av mandatet i henhold til den nye situasjonen var som følger:

«Som grunnlag for arbeidet i Hydrogenutvalget gis ekspertgruppen for transport i oppdrag å redegjøre for status og forventet utvikling av nullutslippsteknologi og drøfte mulige mål og virkemidler for å bidra til økt bruk av hydrogen og nullutslippsteknologi i transportsektoren.

Med utgangspunkt i et ønske om å fremskynde utviklingen mot overgang til nullutslippsteknologi i transportsektoren, vil ekspertgruppen fokusere på områder hvor økt innsats fra Norges side kan påvirke utviklingen nasjonalt og internasjonalt.

Nullutslipp innebærer strengt definert at det ikke oppstår miljøskadelige utslipp i hele verdikjeden (produksjon, distribusjon, lagring

og bruk, "well to wheel"). Grappa vil betrakte nullutslipp som en visjon langt fram i tid. Det vil være viktig å behandle teknologier og drivstoff som ikke representerer nullutslipp, men som kan framskynde en mulig overgang til nullutslipp på et senere tidspunkt. Konvensjonell teknologi og teknologier med svært lave utslipp vil bli behandlet som referanseteknologier, som potensielle nullutslippsteknologier og overgangsteknologier kan vurderes i forhold til.

De to ekspertgruppene må basere seg på de samme verdikjedene og forutsetningene for produksjon, distribusjon og lagring av hydrogen. Videre er det viktig å avklare hvilke deler av de aktuelle verdikjedene som skal vurderes i de to ekspertgruppene. Transportgruppa skal i hovedsak konsentrere seg om løsningene knyttet til infrastruktur for tanking, lagring i kjøretøy og skip, drivverket og annen energi- bruk om bord.

Ekspertgruppa skal primært gi faglig grunnlag for arbeid i Hydrogenutvalget, herunder drøfte alternative mål, veivalg og virkemidler i transportsektoren. Samtidig blir det viktig for gruppa å samarbeide med ekspertgruppa for produksjon om energiforsyningsalternativer som utgangspunkt for å vurdere ulike løsninger for overgang til bruk av nullutslippsteknologi i transportsektoren.

Gruppa vil fokusere på vegtrafikk og sjøtransport. Mulighetene for å ta i bruk hydrogen i transportsektoren synes å være størst innenfor vegtransport. Samtidig utgjør sjøtransport en viktig del av Norges transportvirksomhet i tillegg til at Norge besitter mye spisskompetanse innen skipsfartsteknologi. Det er derfor naturlig at gruppa også fokuserer på sjøtransport.

Ekspertgruppa vil redegjøre for status for bruk av hydrogen når det gjelder funksjonalitet, miljøegenskaper, kostnader, produsentenes planer, infrastruktur og virkemiddelbruk. I tillegg vil ekspertgruppa identifisere drivkrefter, blant annet ut fra kartlegging av status og aktiviteter i andre land.

Ekspertgruppene skal samarbeide om energi- og miljøvurderinger for hydrogen inkludert produksjon, lagring og distribusjon sammenlignet med andre drivstoffer, i dag og i 2010. Videre vil det gis en oversikt over norsk og internasjonal forskning og utvikling med relevans for bruk av hydrogen til transport.

Ekspertgruppa vil drøfte sentrale barrierer og drivkrefter for introduksjon av hydrogen til transport i Norge.

Ekspertgruppa vil drøfte mulige og realistiske mål og hvilke type virkemidler og tiltak som kan bidra til å nå disse målene i en politikk for å fremme utvikling og bruk av hydrogen- og

0-utslippsteknologi i transportsektoren. Drøftingen skal gi et faglig grunnlag for Hydrogenutvalgets politiske anbefalinger.»

Ekspertgruppen for transport har bestått av:
 Elisabet Fjermestad Hagen (leder), seksjonssjef, Hydro Energi
 Rolf Hagman, forsker, Transportøkonomisk institutt
 Gerd Petra Haugom, prosjektleder hydrogen, Det norske Veritas
 Steffen Møller-Holst, seniorforsker, SINTEF
 Kjell Olav Skjølvsvik, gruppeleder, MARINTEK
 Gunnar Vesterby, markedsdirektør, Bertel O. Steen

Samferdselsdepartementet har vært ansvarlig for ekspertgruppens sekretariat.

1.3 Avgrensning og presisering av utvalgets mandat

De tre innledende avsnittene i utvalgets mandat gir en introduksjon til hydrogen som energibærer og til norske erfaringer og muligheter innenfor området. Med dette som utgangspunkt, settes det som et mål for myndighetene å legge forholdene best mulig til rette for økt satsing på utvikling av hydrogenrelatert teknologi og hydrogen som energibærer i Norge. Utvalget har lagt denne ambisjonen til grunn for sin utredning.

Utvalget legger videre til grunn at det skal ta for seg hydrogen som energibærer innenfor områdene stasjonær energiforsyning og transportsektoren. Hydrogen som tilsetningsstoff i andre drivstoff som brukes til energi eller transportformål vil også ligge innenfor mandatet. Hydrogen til andre formål, som for eksempel som industrielt råstoff til kunstgjødselproduksjon eller andre produkter, ligger utenfor det utvalget skal se på. I den grad utviklingstrekk, nyvinninger eller andre forhold innenfor annet bruk av hydrogen kan påvirke utviklingen innenfor hydrogen på energiområdet, vil det bli behandlet.

Mandatet fremhever både produksjon, lagring, distribusjon og sluttbruk av hydrogen. Utvalget ser det som naturlig å utvide dette til å dekke teknologier knyttet til hele verdikjeden for hydrogen, fra kilde, via produksjon, distribusjon, lagring og omvandling, og frem til bruk av hydrogen. Hydrogen til energi- og transportformål kan således representere en rekke teknologiske løsninger og mange energikjeder. Disse ulike kjedene er i

større og mindre grad overlappende og utvalget vil ikke ta for seg alle, men fokusere på de nøkkelteknologier og anvendelser man anser som mest realistiske.

De mest sentrale punktene i mandatet, slik utvalget ser det, er at:

«Utvalget skal formulere nasjonale mål og nødvendige tiltak for å utvikle hydrogen som energibærer og virkemiddel for innenlands verdiskaping og bedre miljø. Utvalget skal identifisere behov for offentlig medvirkning og rammebetingelser, og skal foreslå ansvarsforhold, organisering, ressursbehov og faglig innhold knyttet til et nasjonalt hydrogenprogram...

Som utgangspunkt for arbeidet med å utforme et nasjonalt hydrogenprogram, skal utvalget identifisere og kartlegge muligheter og barrierer knyttet til produksjon, lagring, distribusjon og sluttbruk av hydrogen i Norge. Det skal gjøres en drøfting av hydrogen som energibærer i forhold til alternative løsninger.»

Utredningen skal være fremoverskuende. Utvalget vil vurdere hydrogen med hensyn på kostnader, barrierer, miljøeffekter, virkningsgrad og teknologisk utvikling. En uttømmende kostnadssammenligning vil imidlertid vanskelig kunne gjøres utover det som implisitt kommer frem gjennom virkningsgrad, kompleksitet med mer. Utvalget vil se på alle former for barrierer som ligger til hinder for at de uttykte målene skal kunne nås. Både tekniske og ikke-tekniske barrierer vil identifiseres og behandles.

Det registreres at det i mandatet står «hydrogenprogram», ikke hydrogenforskningsprogram. Dette innebærer at utvalget vil se på virkemidler og tiltak som går ut over forskning og utvikling, slik som demonstrasjonsprosjekter og pilotanlegg. Andre relevante rammebetingelser vil også kunne behandles, også rammebetingelser som måtte ligge utenfor Olje- og energidepartementets og Samferdselsdepartementets ansvarsområde.

Utvalget vil utrede økonomiske og administrative konsekvenser av foreslåtte tiltak. Utvalget vil se dette i forhold til virkemiddelbruken over de offentlige budsjetter. Utvalget vil i begrenset grad se på de samlede samfunnsøkonomiske konsekvensene av satsingen.

Utvalget vil ha et bevisst forhold til de aktivitetene og den ressursbruk som skjer internasjonalt. Dette er av stor betydning for den teknologiske utviklingen og mulighetene for utbredelse av hydrogen som energibærer, men også for de muligheter som kan åpne seg for oppbygging av norsk kompetanse og norsk næringsutvikling. For å få høyest mulig avkastning på de ressurser som

settes inn nasjonalt, er en slik avvegning mot internasjonal aktivitet avgjørende.

Utvalget tar også inn over seg at tiltak som foreslås skal være av en slik art at de faller innenfor rammene til statsstøttereglene i EØS-avtalen.

1.4 Utvalgets arbeid

Utvalget avholdt konstituerende møte i Olje- og energidepartementet 13. august 2003, og har i alt hatt 11 møter. Møtene har vært avholdt i Oslo og på Gardermoen. Utvalget har også gjennomført en studietur til Washington der det ble avholdt møter med Department of Energy (DOE), National Hydrogen Association, Federation of American Scientists, ChevronTexaco, National Academies/National Research Council, Senator Dorgan's Office og World Resource Institute. Det ble også gjennomført en rundbordskonferanse i den norske ambassaden i Washington, der representanter fra Los Alamos National Laboratory, Pacific Northwest National Laboratory, Air Products, University of North Dakota og Millenium Cell deltok.

Utvalget har lagt stor vekt på å få innspill fra norske miljøer som har interesser innenfor hydrogenområdet. Det ble blant annet i brev til utvalgte miljøer bedt om innspill på sentrale problemstillinger i forhold til mandatet utvalget var satt til å løse. Forespørsler ble sendt til forskningsinstitusjoner, industriselskaper, energiselskaper, interesseorganisasjoner, direktorater og underliggende etater. Følgende miljøer ga innspill: Bellona, CMR-gruppen (Christian Michelsen Research, Gexco AS og Prototech AS), Direktoratet for samfunnsikkerhet og beredskap, Gasnor ASA, Hexagon Composites ASA og Raufoss Alternative Fuel Systems AS, Høgskolen i Buskerud, Institutt for energiteknikk, NTNU – Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet, Norges Naturvernforbund, AS Norske Shell, Norsk Hydro ASA, Statens forurensningstilsyn, SINTEF, Stor-Oslo Lokaltrafikk AS, Statens vegvesen, Statoil ASA, Det Norske Veritas, Zero Emission Resource Organisation og Think.

Utvalget har sett det som en del av arbeidet å foreta vurderinger rundt og evaluering av status for ulike teknologier. Dette har gitt sentrale bidrag til arbeidet med utredningen og har vært en viktig basis for de anbefalinger som utvalget har kommet med. I disse evalueringene har utvalget i stor grad benyttet seg av den ekspertise og det nettverk som de to ekspertgruppene representerer. Det er valgt å legge det meste av den teknologiske statusbeskrivelse i de to særskilte vedleggene til utredningen.

Utvalget vil spesielt takke SINTEF Energiforskning, SINTEF Materialteknologi og Institutt for energiteknikk for verdifullt utredningsarbeid og konstruktive bidrag til utvalgets utredninger og ekspertgruppens rapporter. Det meste av fakta-grunnlaget som utredningen og rapportene bygger på er basert på dette arbeidet. Utvalget står imidlertid selv ansvarlig for alle tall og fakta som det vises til, herunder eventuelle feil og mangler i utredningen.

Utvalget vil også takke den norske ambassaden i Washington for uvurderlig bistand i forbindelse med opplegg og gjennomføring av studieturen til Washington.

1.5 Veiledning for leseren

Utredningen må ses i sammenheng med rapportene fra de to ekspertgruppene.

De to gruppens rapporter er å finne som vedlegg til denne utredningen:

- Særskilt vedlegg nr. 1 Rapport fra «Ekspertgruppen for produksjon og stasjonært bruk»
- Særskilt vedlegg nr. 2 Rapport fra «Ekspertgruppen for transport»

Utvalget har i utredningen valgt å beskrive problemstillinger på et mer overordnet nivå, mens ekspertgruppene i sine rapporter opererer med høyere detaljeringsgrad og dybdebeskrivelser. I sær gjelder dette innenfor de ulike teknologibeskrivelsene.

I utredningen er de to ekspertgruppene «Ekspertgruppen for produksjon og stasjonært bruk» og «Ekspertgruppen for transport» gjerne omtalt som «Stasjonærgruppen» og «Transportgruppen».

Generelt vil bruken av begrepet «hydrogen» i utredningen referere til «hydrogen som energibærer», dersom ikke annet er spesifisert.

Referanser til generelle kilder og litteratur er samlet i en egen oppstilling til slutt i utredningen. Ord og uttrykk samt spesifikke kilder er forklart og oppgitt løpende i tekst eller fotnoter etter hvert som de benyttes.

En egen samling av viktige begreper og betegnelser er i tillegg satt opp i Stasjonærgruppens rapport, jf. Særskilt vedlegg nr. 1.

Utredningen er delt inn i 4 hoveddeler:

Del I Innledning:

Kapittel 1 er en oppsummering av utvalgets mandat og bakgrunn for oppnevningen.

Kapittel 2 er sammendrag av rapporten samt oppsummering av utvalgets anbefalinger.

Del II Hydrogen som energibærer og situasjonen i Norge og internasjonalt:

Kapittel 3 presenterer norsk kompetanse og ressursgrunnlag på området.

Kapittel 4 skisserer hydrogenets karakteristika og egenskaper som energibærer.

Kapittel 5 summerer opp den internasjonale aktiviteten som nå foregår på hydrogenområdet.

Del III Videre norsk satsing på hydrogen som energibærer:

Kapittel 6 går igjennom hvilke begrunnelser som legges til grunn for en norsk satsing.

Kapittel 7 identifiserer hvilke områder en norsk satsing skal omfatte.

Del IV Utvalgets anbefalinger:

Kapittel 8 kommer med forslag til utforming av et nasjonalt hydrogenprogram.

Kapittel 9 oppsummerer de administrative og økonomiske konsekvensene av utvalgets anbefalinger.

Kapittel 2

Sammendrag og anbefalinger

2.1 Sammendrag

I *kapittel 1* er det gitt en beskrivelse av bakgrunnen for opprettelsen av utvalget, samt utvalgets mandat og arbeid.

I *Kapittel 3* er det gitt en oversikt over norske ressurser og kompetanse på petroleums- og energiområdet generelt, samt på hydrogenområdet spesielt.

Norge er en stor produsent av elektrisitet basert på vannkraft og en betydelig produsent og eksportør av olje og gass. Vår industri er i stor grad bygget på dette. Parallelt med fremveksten av Norge som energinasjon har norske industri- og forskningsmiljøer blitt konkurransedyktige leverandører av produkter, tjenester og teknologi, både til norsk sokkel og til internasjonale aktiviteter. Dette er et godt utgangspunkt for at Norge også kan ha en rolle innenfor en internasjonal hydrogensatsing.

Innenlands energiforsyning. Produksjonen i det norske vannkraftsystemet i et normalår er anslått til om lag 119 TWh. Dette gjør Norge til verdens sjette største vannkraftprodusent. Vannkraften står for nær all elektrisitetsproduksjon i Norge og gir verken klimautslipp eller lokale utslipp. Den norske vannkraftproduksjonen er beregnet å kunne variere fra 90 TWh til 150 TWh i året som en følge av variasjoner i nedbør. Elforbruket de senere årene har omtrent vært i balanse med produksjonen. Norsk energiforsyning er sårbar for svikt i nedbøren. Dette kompenseres delvis ved at Sverige, Finland, Danmark og Norge er integrert i et felles nordisk kraftmarked.

Vannkraften er dominerende i den norske energiforsyningen, men det er et betydelig potensial også for andre fornybare energikilder i Norge. I Norge har installert effekt for vindkraft økt fra 13 MW i 1999 til mer enn 100 MW i 2002. I 2003 representerte dette en årlig produksjon på 220 GWh. Bioenergi står for en årlig energiproduksjon på om lag 15 TWh. Dette er primært knyttet til ved og bruk av restprodukter fra treforedlingsindustrien. Norge har også store potensial og forskningsaktivitet knyttet til blant annet solvarme, bølgekraft, tidevannskraft og saltkraft.

Petroleumssektoren er Norges største næring. Den stod i 2002 for 19,2 prosent av brutto nasjonalproduktet. Dette tilsvarer omtrent tre ganger verdiskapingen i annen industri. I 2002 kom 24 prosent av statens inntekter fra petroleumsvirksomheten.

Norge er rangert som nummer syv blant verdens oljeprodusenter, og er verdens tredje største eksportør av råolje etter Saudi-Arabia og Russland. Norsk kontinentalsokkel står for om lag 4,3 prosent av den totale oljeproduksjonen i verden. Oljeproduksjonen forventes å holde seg på dagens nivå de nærmeste årene, for deretter å avta gradvis. Det er anslått at Norge vil fortsette å produsere olje i mer enn 50 år fremover.

Norge er den tredje største gassseksportøren til EU og dekker om lag 12 prosent av EUs gassforbruk. På verdensbasis er Norge den fjerde største eksportøren av naturgass. Om lag en tredel av gassen som produseres blir injisert tilbake til reservoarene som trykkstøtte til økt oljeproduksjonen. En del av gassen blir også brukt til kraftproduksjon på plattformene og terminalene og noe også innenlands, hovedsakelig til metanolproduksjonen på Tjeldbergodden.

Produksjonen av naturgass er økende, og det er i tiden fremover forventet at gassens andel av samlet petroleumsproduksjon vil stige betydelig, fra om lag 25 prosent i 2002 til om lag 42 prosent i 2010. Et fremtidig salgsnivå på 120 milliarder Sm³ anses å være realistisk innen 7–12 år. Det er anslått at Norge har gassreserver til ytterligere 100 års produksjon.

Hydrogen i Norge: Norge har lange tradisjoner for produksjon av hydrogen. Tilnærmet alt som produseres brukes imidlertid i industrien. Bruk av hydrogen til energiformål er foreløpig lite utbredt i Norge. Norge har høy kompetanse innenfor en rekke hydrogenteknologier innen produksjon, lagring og bruk av hydrogen. Det er videre gjennomført demonstrasjonsprosjekter for å prøve ut nye hydrogenteknologier. I tillegg blir norske hydrogenrelaterte produkter, som for eksempel ammoniakk brukt i kunstgjødsel, solgt på verdensbasis.

Norge har betydelig kompetanse på oppbygging og drift av anlegg for hydrogenproduksjon. Ved Norsk Hydro, nå Yara, ble ammoniakk for

kunstgjødselproduksjon industrielt fremstilt av hydrogen fra vannelektrolyse, med vannkraft som energikilde, fra 1928 til omkring 1990. Senere har Yara drevet produksjon av hydrogen basert på dampreforming av naturgass. Yara er i dag en betydelig hydrogenprodusent, men produksjonen går direkte til fremstilling av ammoniakk og kunstgjødsel. Selskapet har ett ammoniakkanlegg i Norge (på Herøya ved Porsgrunn) og har flere lignende anlegg i andre land, samt et petrokjemianlegg (på Rafnes) der hydrogen er et overskuddsprodukt.

Siden 1997 har Statoil framstilt hydrogen i forbindelse med metanolproduksjonen på Tjeldbergodden i Møre og Romsdal. Statoil produserer også hydrogen ved raffineriet på Mongstad. Det fremstilles dessuten betydelige mengder hydrogen som biprodukt i annen norsk industri.

I 1996 ble Norsk Hydrogenforum (NHF) etablert med representanter fra norsk næringsliv, forskningsinstitusjoner og universiteter/høgskoler. NHF skal blant annet bidra til informasjonsformidling mellom norske og utenlandske miljøer og fremme utdanning, forskning og nyskaping innen hydrogeneteknologi.

Kapittel 4 går gjennom de mest grunnleggende egenskapene ved hydrogen og peker på hva som gjør hydrogen til en attraktiv energibærer. Disse egenskapene er bakgrunnen for at mange land ser på hydrogen som en framtidensrettet løsning på utfordringene i energi- og transportsektoren. Innledningsvis gis det en kort historisk gjennomgang av hvordan hydrogen har vært anvendt gjennom tidene.

Satsingen på hydrogen er særlig knyttet til miljøutfordringene verden står overfor, både når det gjelder klimagasser og lokal forurensning. Ved konvertering av hydrogen til elektrisitet i en brenselcelle, er vanddamp det eneste sluttproduktet. Hydrogenets miljøegenskaper er imidlertid ikke bedre enn den energikilden som den er produsert fra. Hvis hydrogenet produseres fra fossile energikilder, vil de negative miljøeffektene fortsatt gjelde. Med prognoser om at 90 prosent av verdens energi vil komme fra fossile kilder i 2030, er CO₂-håndtering en grunnleggende forutsetning for at miljøvennlig produksjon og bruk av hydrogen skal kunne realiseres i overskuelig fremtid.

Mange av landene som er avhengige av å importere energi, særlig olje, ser på hydrogen som et middel for å redusere denne avhengigheten. Hydrogen kan på samme måte som elektrisitet, produseres av ulike energikilder som kull, naturgass og bioenergi. Det kan også produseres ved elektrolyse av vann. Slik kan nasjonale energikil-

der utnyttes og importavhengigheten reduseres. Hydrogen kan brukes både i transportsektoren og i stasjonær forsyning.

En tredje begrunnelse som går igjen i landenes satsing på hydrogen og brenselceller, er muligheten for næringsutvikling og verdiskaping. Med forventninger om at hydrogen kan komme til å spille en viktig rolle internasjonalt, vil det konkurreres om å få innpass i dette markedet.

Hydrogen brukes i dag ikke som en kommersiell energibærer, men produseres industrielt ved petroleumsraffineri, ammoniakkproduksjon og metanolproduksjon. Energimengden i dette hydrogenet ville tilsvare 1,5 prosent av verdens totale energiforbruk i dag hvis det ble brukt til energiformål.

Forekomst av hydrogen. Hydrogen (H) er det letteste grunnstoffet og har atomnummer 1 i det periodiske systemet. Det er estimert at hydrogen utgjør mer enn 90 prosent av universets atomer og omlag tre fjerdedeler av universets masse. Hydrogen er imidlertid nesten ikke tilgjengelig i naturen i fri tilstand, men må produseres fra et hydrogenholdig råstoff. Hydrogen finnes i organisk materiale, i biomasse og i fossile energikilder, men den største forekomsten av hydrogen er i vann (H₂O). Molekylært hydrogen (hydrogengass – H₂) kan fremstilles fra de hydrogenholdige forbindelsene på ulike måter ved å tilføre energi i varierende grad. De mest utbredte metodene for produksjon av hydrogen er reformering av naturgass og elektrolyse av vann.

Hydrogen som energibærer. 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. En energibærer overfører energi fra en energikilde til en sluttbruker som etterspør en energitjeneste, for eksempel oppvarming, transport eller belysning. For at hydrogen skal yte en energitjeneste, må det ved sluttbruk omdannes til varme, mekanisk arbeid eller elektrisitet.

Produksjon av hydrogen. Om lag 90 prosent av den årlige produksjonen av hydrogen i verden er basert på fossile råstoffer, for det meste naturgass. Konvensjonell reformering av naturgass er i dag den mest brukte teknologien for produksjon av hydrogen i mellomstor og stor skala. Produksjonsprosessen kalles dampreforming og er i grove trekk lik for både, naturgass, olje og kull. Kostnadseffektiv CO₂-håndtering er en av hovedutfordringene for denne teknologien i fremtiden.

Ved å lede strøm (elektrisk energi) gjennom vann splittes vannet (H₂O) opp til bestanddelene hydrogen (H₂) og oksygen (O₂) i gassform. Gas-

sene utvikles ved elektrodene som er i kontakt med vannet. Om hydrogen produsert i en slik prosess er en miljøvennlig energibærer eller ikke, avhenger av om den elektriske energien produseres på en miljøvennlig måte, for eksempel fra en fornybar kilde. Alkaliske elektrolysører er fortsatt den mest brukte teknologien kommersielt.

Hydrogen kan også framstilles fra biomasse. Den mest lovende metoden for produksjon fra biomasse er dampgassifisering. Denne metoden er imidlertid fremdeles på utviklingsstadiet.

Det finnes videre en rekke andre produksjonsmetoder for hydrogen på forsknings- og utviklingsstadiet eller på et stadium der de demonstreres i liten skala. Det er foreløpig fundamentale teknologiske barrierer som må overvinnes før de kan bli aktuelle for hydrogenproduksjon i betydelig skala.

Lagring og distribusjon. Lagring av hydrogen på en måte som tar hensyn til økonomi, sikkerhet og energieffektivitet, er ansett som en barriere mot introduksjon av hydrogen som energibærer. Hydrogen ved vanlige atmosfæriske betingelser er en lett gass med lav energitetthet, bare 3 kWh/m³. For at bruk av hydrogen som energibærer skal bli et reelt alternativ, må hydrogenet komprimeres eller man må på annen måte øke tettheten.

For de aller fleste stasjonære applikasjoner er volumet og vekten av lagringssystemet mindre viktig. Utfordringene er langt større når det gjelder lagring av hydrogen for transportsektoren. Hydrogenlagringssystemer for mobile applikasjoner og transportformål må operere innenfor strenge volum- og vektbegrensninger. De må supplere nok hydrogen for en kjørelengde på om lag 500 km, lade og utlade hydrogen ved temperaturer nær romtemperatur, og forsyne hydrogen hurtig nok for drift av biler, busser og lastebiler.

Mesteparten av det hydrogenet som produseres i dag håndteres og lagres som komprimert gass under trykk (CH₂) i gassflasker eller større trykkbeholdere. Det er en økonomisk avveining mellom tankstørrelse, materialvalg og kompresjonskostnader. Den mest vanlige løsningen for lagring og transport av hydrogen i Norge er 50 liters stålfasker med et trykk på 200 bar.

Hydrogenet kan kjøles ned til -253 °C, hvor det går over i væskeform. Teknologi for flytendegjøring og lagring av flytende hydrogen er godt utviklet og brukes blant annet ved lagring av hydrogen for romfart. Energitalet for flytendegjøring varierer med størrelsen på anlegget, men generelt kan man si at om lag 30 prosent av energien i hydrogen-gassen går tapt i prosessen. Denne egenskapen ved flytendegjøring begrenser potensialet for bruk av flytende hydrogen.

En rekke materialer kan lagre hydrogen i faste forbindelser. Mange metaller danner sammen med hydrogen såkalte metallhydrider, som er velegnet for hydrogenlagring. De metaller/legeringer som er aktuelle som lagringsmedium for hydrogen avgir varme når hydrogen tas opp. Kjøling kan derfor være nødvendig ved opplading. Tilsvarende må varme tilføres for å frigi hydrogengass. Generelt er fordelene ved lagring av hydrogen i metallhydrider at det oppnås en meget høy lagringstetthet ved alminnelig trykk og temperatur. Hydrogentettheten er større i mange metallhydrider enn i flytende hydrogen. I tillegg har lagring i metallhydrider den fordel at de er faste stoffer som kan håndteres uten store problemer ved vanlige trykk og temperaturer.

Hydrogen kan også lagres i kjemiske forbindelser, for eksempel metanol, metan eller ammoniakk. Dette er forbindelser som gir en tilfredsstillende energitetthet for mange formål, men ved mange bruksområder er man avhengig av at den kjemiske forbindelsen prosesseres for å avgi ren hydrogen til sluttbruk, eller at brenselcellen kan håndtere slike forbindelser direkte.

Infrastruktur. Hva slags energitjenester sluttbruker etterspør, samt lokalisering av produksjonssted, er avgjørende for hvordan hydrogenet bør bringes fram. I områder med stor etterspørsel og rimelig nærhet til produksjonsstedet, kan distribusjon av hydrogengass i rørledninger være en riktig løsning. Bruk av eksisterende rørinastruktur for naturgass kan være aktuelt. For transport av store kvanta over lengre avstander kan flytende hydrogen i tanker på skip eller tankbil være et alternativ. Disse to infrastrukturløsningene er mest aktuelle i forbindelse med storskala hydrogenproduksjon, for eksempel ved naturgassreformering.

En av fordelene med hydrogen som energibærer er at den kan produseres lokalt. Dette kan i fremtiden redusere behovet for å transportere hydrogen over lange avstander. Hydrogenproduksjon i mindre skala kan foregå for eksempel i tilknytning til en fyllstasjon for kjøretøy. Produksjonen kan ha en eller flere energikilder, som for eksempel gass fra et lokalt naturgassnett, eller hente energi fra elektrisitetsnettet til elektrolyse. Produksjon fra fossile kilder i distribuerte småskalanlegg har imidlertid flere utfordringer, blant annet knyttet til oppsamling og videre håndtering av CO₂.

Sikkerhet og standarder. Generelt er hydrogen ikke farligere enn andre brensel og drivstoff, men risikomomentene er til dels forskjellige og bruk av hydrogen krever tilpasset teknologi. Hydrogen-

gass er fargeløs og luktfri. Den er ikke giftig. Blandinger av hydrogen og luft er imidlertid eksplosive, med vide grenser for antenning og detonasjon. Hydrogen blander seg imidlertid hurtig med luft og fortynnes dermed raskt til ufarlige konsentrasjoner. En forutsetning for utbredelsen av hydrogen er at det defineres internasjonale standarder og sikkerhetskriterier for forskjellige egenskaper ved hydrogen til energiformål og teknologier knyttet til hydrogenbruk.

Sluttbruk av hydrogen. Den kjemiske energien som er bundet i hydrogen må omvandles til varme eller til elektrisk energi for å kunne nyttiggjøres direkte eller i form av mekanisk arbeid, for eksempel til fremdrift av en bil. Dette kan gjøres enten ved forbrenning eller ved direkte elektrokjemisk omvandling i en brenselcelle. I en brenselcelle hentes energien ut i form av elektrisitet. I en forbrenningsmotor eller turbin dannes det varme og trykk, som igjen skaper bevegelse.

Brenselceller. En brenselcelle fungerer i prinsippet på samme måte som et batteri bortsett fra at hydrogen ikke er lagret inne i cellen, men forsynes fra et lager i omgivelsene og oksygen tas fra luften.

En rekke brenselceller er utprøvd i laboratoriet og noen er også kommersialiserte. Brenselcellene gis gjerne navn etter hvilken type elektrolytt som benyttes. Felles for alle brenselceller er at de kan gå på hydrogen.

Før brenselceller slår gjennom kommersielt innen transport og stasjonær kraft-varmeproduksjon, er det en rekke teknologiske utfordringer som må løses. De viktigste er:

- Redusere bruken av dyre materialer og edelmetaller
- Øke ytelsen og levetiden på komponentene
- Redusere vekt og størrelse. Dette gjelder i første rekke brenselceller for transportformål og bærbare applikasjoner

Kapittel 5 gir en oversikt over myndighetenes satsing og rolle i de mest toneangivende landene på hydrogenområdet. Det gis også en kort oversikt over Norges deltakelse i dette arbeidet.

Den internasjonale satsingen på hydrogen og brenselceller har fått et betydelig løft i de siste årene. Det er brukt økte ressurser på forskning og utvikling, samtidig som internasjonale initiativ om økt samarbeid over landegrensene er etablert. I en globalisert verden med økende energietterspørsel, usikkerhet rundt olje- og gassleveranser fra urolige områder og internasjonale klimaavtaler, blir hydrogen vurdert som en fremtidig løsning. Bilindustrien er en av de viktigste pådriverne.

Et fellestrekk ved landenes satsinger er det tette samarbeidet mellom myndigheter, industri og academia. Det er også en felles oppfatning om at hydrogen på sikt skal være et miljøvennlig bidrag innenfor energi og transport, selv om hydrogen i en overgangsfase kan produseres fra fossile kilder. Særlig i USA og Japan, men også i EU, er forsyningssikkerhet og en økende importavhengighet av energi en viktig begrunnelse for hydrogensatsingen. Med hydrogen som energibærer, vil nasjonale energikilder kunne utnyttes i større grad og redusere denne avhengigheten.

Japan har helt siden oljekrisen i 1973 hatt en betydelig satsing på energiforskning, herunder brenselceller og hydrogen. Innenfor brenselcelleforskningen er bilindustrien den viktigste pådriveren. En erklært målsetting er at 50 000 brenselcellekjøretøy skal være på det japanske markedet innen 2010, og 5 millioner innen 2020.

Bush-administrasjonen i USA har i de siste par årene gått inn i hydrogen- og brenselcellesatsingen med tyngde både nasjonalt og internasjonalt. Offentlige midler til hydrogenrelatert forskning og utvikling økte med 60 prosent fra 2003 til 2004. Hydrogenprogrammet styres etter en rekke kostnads- og ytelseskrav. Disse er primært knyttet til hydrogen i transportsektoren og må imøtekommes før en forventer at markedet kan ta kommersielle beslutninger. I tillegg har mange amerikanske stater egne hydrogenprogram. *California Fuel Cell Partnership* er spesielt kjent. USA tok våren 2003 initiativ til *International Partnership for the Hydrogen Economy* (IPHE).

Canadas satsing var i utgangspunktet knyttet til utviklingen av brenselceller. Landet har i dag en av verdens mest betydelige brenselcelleprodusenter. I dag satser Canada bredt på hydrogenrelaterte teknologier som et svar på klimautfordringene og for å posisjonere seg for et potensielt internasjonalt marked.

EUs hydrogen- og brenselcellesatsing har til nå vært knyttet opp til rammeprogrammene for forskning. Med EU-kommisjonens initiativ i januar 2004 om å opprette et eget nettverk for koordinering av forskning, utvikling og demonstrasjon innen hydrogen og brenselceller, har satsingen fått en mer synlig plass. Medlemslandene har i ulik grad hatt egne satsinger. Tyskland har hatt den mest betydelige. Island har satt seg som mål å bli verdens første hydrogenøkonomi.

Hydrogen- og brenselcellesatsingen er preget av utstrakt internasjonalt samarbeid. Slik kan en legge til rette for samordnede satsinger, begrense kostnadene og fremskynde overgangen til et hydrogensamfunn. Norge er aktivt med i flere

internasjonale samarbeid, både gjennom deltakelse i EUs rammeprogram for forskning, EUs *Hydrogen and Fuel Cell Technology Platform*, *International Partnership for the Hydrogen Economy* (IPHE), *Carbon Sequestration Leadership Forum* (CSLF) og *Det internasjonale energibyrået* (IEA). I tillegg har Norge inngått bilaterale samarbeidsavtaler med USA og Japan som omfatter hydrogen og brenselceller. Dette gir mulighet for norsk industri og forskningsmiljøer til å delta i viktige internasjonale prosjekter.

I *Kapittel 6* går utvalget nærmere inn på hva som gjør Norge spesielt i hydrogensammenheng og hvilke begrunnelser utvalget mener bør ligge til grunn for den norske satsingen.

I Norge er energisituasjonen på mange måter forskjellig fra den i de oljeimporterende landene som nå stiller seg i spissen for en hydrogensatsing. Norge har en energiproduksjon som, innberegnet produksjonen av olje og gass, er ti ganger så stor som det innenlandske samlede forbruket, inkludert transportsektoren. Forsyningsikkerhet er dermed ikke et tema på samme måte som i andre land.

Det er etter utvalgets syn ikke rasjonalt å se for seg hydrogen som energibærer til stasjonære formål i Norge. Norge har et godt utbygd elektrisitetnett frem til nær sagt alle stasjonære brukere og stort sett all elektrisitetsproduksjon er fornybar. En konvertering fra energibæreren elektrisitet til energibæreren hydrogen innebærer et energitap på 25 prosent. For videre å konvertere hydrogenet til elektrisitet, for eksempel i en brenselcelle, vil ytterligere 40 prosent av energien gå tapt. Hydrogen har imidlertid egenskaper som legger til rette for bruk i desentral energiforsyning.

Utvalget peker på at den sterke internasjonale satsingen er en forutsetning, men ikke i seg selv en begrunnelse for den norske satsingen. Økt bruk av hydrogen og etterspørsel av hydrogenteknologi i et internasjonalt marked vil imidlertid åpne for muligheter for norske næringsaktører.

Utvalget peker på tre hovedbegrunnelser for en norsk hydrogensatsing:

- Bruk av norsk naturgass for miljøvennlig produksjon av hydrogen
- Miljøfordeler ved bruk av hydrogen i Norge
- Næringsutvikling knyttet til hydrogen

Miljøvennlig produksjon av hydrogen fra norsk naturgass. Norsk naturgass innebærer muligheter for fremtidig miljøvennlig produksjon av hydrogen. I tillegg vil dette kunne være en riktig vei å gå for å sikre den norske petroleumsformuen på lang sikt. Det vil være viktig å finne løsninger der CO₂

skilles fra i produksjonen og deponeres eller lagres på en tilfredsstillende måte. Norge har de siste årene vært et av landene hvor det er forsket mest for å utvikle løsninger for gasskraft med CO₂-håndtering. Her er det flere problemstillinger, utfordringer og mulige løsningsalternativer som vil være felles med hydrogenproduksjon fra naturgass med CO₂-håndtering. Som eksempel vil teknologien «pre-combustion» (hydrogenfyrt turbin) kunne danne et grunnlag for storskala elektrisitetsproduksjon der hydrogen vil være et naturlig mellomprodukt. Mulighetene og utfordringene med den videre håndtering av CO₂ vil også være felles.

Norske oljefelt kan om få år trenge betydelige mengder CO₂ til økt oljeutvinning. I tillegg til de muligheter som ligger i å injisere CO₂ i produserende felt, er det også mulig å lagre CO₂ i vannfylte akviferer eller tomme reservoarer på norsk sokkel. Slik lagring innebærer at kostnadsbildet endres, da CO₂ i dette tilfellet ikke har noen verdi, slik det har når det injiseres for å øke oljeutvinningen.

Miljøfordeler ved bruk av hydrogen i Norge. Miljøeffektene er en viktig begrunnelse for å satse ressurser på hydrogen. Utvalget slår fast at hydrogen ikke kan spille noen reell rolle i arbeidet med å nå Kyotoforpliktelsene for perioden 2008–2012, men kan representere en god klimavennlig løsning på lang sikt.

Dette gjelder spesielt bruken av hydrogen i transportsektoren. Transportsektoren står i dag for 25 prosent av Norges CO₂-utslipp. Hydrogen anvendt i brenselcellekjøretøy har vann som eneste utslipp. Dersom hydrogen produseres fra fornybar energi eller naturgass med CO₂-håndtering, er dette et nullutslippsdrivstoff. Lokal produksjon av hydrogen ved vannelektrolyse for bruk i transportsektoren vil trolig være det mest realistiske alternativet for tidlig bruk i Norge. Også i forhold til de lokale forurensningsproblemene og utslipp av NO_x fra transportsektoren, kan hydrogen være en god løsning. Det forventes imidlertid at forbedring av konvensjonelle drivstoff og videreutvikling av kjøretøyteknologi vil resultere i minimale miljøskadelige avgassutslipp i framtiden. Hydrogen vil derfor først og fremst være en del av den langsiktige løsningen på klimaproblemet.

Storskala naturgassreformering vil være aktuelt der naturgass er tilgjengelig. En av fordelene med sentral storskala generering av hydrogen fra naturgass er at CO₂ kan håndteres samlet. Ekspertgruppen for produksjon og stasjonært bruk anser at energikjedene basert på naturgassreformering uten CO₂-håndtering ikke vil gi noen miljømessig gevinst i forhold til direkte konvertering av naturgass til sluttbruk. En storskala produksjon av

hydrogen fra naturgass uten CO₂-håndtering for anvendelse til stasjonære formål anses derfor ikke å være noe reelt alternativ.

Næringsutvikling. En mulig fremvekst av et internasjonalt marked for hydrogen vil innebære muligheter for næringsutvikling og verdiskaping for de norske aktørene som klarer å posisjonere seg og kan være konkurransedyktige. Utvalget mener mulighetene først og fremst ligger innenfor:

- Produksjon og transport av hydrogen
- Leveranse av teknologi
- Leveranse av kompetanse, herunder forskning

Utvalget mener at Norge samlet sett har fortrinn som gjør hydrogen fra norsk sokkel til en interessant langsiktig løsning. Utvalget begrunner dette med mulighetene for storskala produksjon av hydrogen nær gassreservene, der CO₂ injiseres for økt oljeutvinning i produserende olje- og gassfelt eller komprimeres og deponeres i akviferer på den norske kontinentalsokkel. Hydrogenet i sin tur kan transporteres i rør, eller eventuelt som komprimert eller nedkjølt gass for transport på for eksempel skip.

Uavhengig av når eller i hvilket omfang hydrogen tas i bruk i det norske energi- og transportsystemet, vil en internasjonal satsing på hydrogen kunne innebære muligheter for norske leverandører av teknologi og løsninger. Utvalget peker spesielt på de muligheter som ligger i underleveranser av blant annet delkomponenter. Allerede før teknologiene er konkurransedyktige i et ordinært marked, vil en kunne se en situasjon der tidligmarkeder stimulert av støtteordninger er interessante. Dette vil være markeder som retter seg mot demonstrasjonsprosjekter og forskningsmiljøer.

Norske forsknings- og kompetansemiljøer har muligheter til å levere spisskompetanse både i Norge og internasjonalt. Norge er allerede langt fremme på en rekke hydrogenrelaterte områder. Deltagelse i internasjonalt samarbeid gir også gode muligheter for å bringe kunnskap tilbake til Norge, samt muligheter for internasjonal finansiering av norsk kompetanseutvikling.

I *kapittel 7* presenterer utvalget en overordnet visjon for en norsk hydrogensatsing. Videre går utvalget nærmere inn på de enkelte elementene i satsingen. Avslutningsvis defineres ulike typer demonstrasjonsprosjekter (prototyp utvikling, pilotprosjekter og markedsintroduksjonsprosjekter).

Utvalgets visjon for en norsk hydrogensatsing er:

«Norge skal være pådriver for bruk av energi og drivstoff basert på forurensningsfrie energi-

teknologier – der hydrogen spiller en viktig rolle som energibærer.»

Utvalget understreker at satsingen må bygge på de områdene hvor vi har fortrinn. På en rekke områder vil vi være avhengig av hva som skjer internasjonalt. Vi må derfor ha god kunnskap om det som skjer internasjonalt, både innenfor teknologiutvikling og på politikkområdet.

Det er satt følgende mål for satsingen:

Mål for produksjon av hydrogen fra naturgass:

- Produksjon av hydrogen fra naturgass med tilfredsstillende CO₂-håndtering skal skje til en pris som er konkurransedyktig med bensin eller diesel per energiekvivalent.

Mål for tidlige brukere av hydrogenkjøretøy:

- Norske aktører skal være tidlige brukere av hydrogenkjøretøy i transportsektoren.
- Norske myndigheter skal være like ambisiøse som EU når det gjelder å fremme bruken av hydrogenkjøretøy. Norge bør satse spesielt på flåtekjøretøy.

Mål for lagring:

- Norske kompetansemiljøer skal være i fremste linje internasjonalt innen lagring av hydrogen.
- Norske industrielle aktører skal være internasjonalt konkurransedyktige på leveranse av produkter og tjenester innenfor lagring av hydrogen.

Mål for utvikling av hydrogenteknologinæringen:

- Norske industrielle aktører skal ta del i et fremvoksende internasjonalt hydrogenmarked som leverandører av komponenter og undersystemer knyttet til produksjon og bruk av hydrogen.
- Norske aktører skal være internasjonalt konkurransedyktige leverandører av fyllestasjoner basert på elektrolyseteknologi.
- Norske maritime miljøer skal være ledende på kompetanse innen bruk av brenselceller i skip og være tidlig ute med å demonstrere bruk.
- Norske kunnskapsmiljøer skal ha spisskompetanse på flere områder – både for å betjene norsk næringsliv og for å konkurrere på det internasjonale kunnskapsmarkedet innenfor hydrogenfeltet.

Utvalget går også nærmere gjennom muligheter og barrierer, samt tiltak og virkemidler som er knyttet til de enkelte målene.

I *kapittel 8* presenteres utvalgets forslag til et nasjonalt hydrogenprogram. Et sammendrag av dette finnes i kapittel 2.2.

Kapittel 9 drøfter samfunnsøkonomiske konsekvenser av utvalgets forslag til satsing på hydrogenområdet.

Utvalget har identifisert behov for offentlig medvirkning og rammebetingelser og foreslår ansvarsforhold, organisering og ressursbehov knyttet til et nasjonalt hydrogenprogram.

Utvalget anbefaler at det etableres et nasjonalt hydrogenprogram på tvers av myndighetenes virkemiddelapparat. Programmet får et eget programstyre som er ansvarlig for utformingen og driften av programmet. Utvalget forutsetter at man benytter seg av eksisterende institusjoner og organer og ikke etablerer nye. Utvalget mener programmet bør forankres i Forskningsrådet.

Utvalget anser at etablering av et hydrogenprogram med dagens finansierings- og aktivitetsnivå ikke er hensiktsmessig. I stedet anbefaler utvalget å etablere et hydrogenprogram med økte økonomiske rammer. Utvalget anbefaler en gradvis økning i den samlede offentlige finansieringen av hydrogensatsingen, fra om lag 50 millioner kroner i 2005 til 100–150 millioner kroner i 2014. Samlet ramme over perioden vil være i området 825–975 millioner kroner. Fordelingen mellom årene vil avhenge av når demonstrasjonsprosjekter er modne nok til å iverksettes.

Utvalget har lagt sektorprinsippet til grunn når det gjelder finansiering av programmet og foreslår en samfinansiering mellom Olje- og energidepartementet, Samferdselsdepartementet og Nærings- og handelsdepartementet. Utvalget vil særlig understreke behovet for stabilitet og langsiktighet i finansieringen av hydrogensatsingen. Utvalget legger til grunn at støtteordningene må være forenelig med statsstøttereglene i EØS-avtalen.

Utvalgets forslag vurderes å ha positive samfunnsøkonomiske virkninger. Forslaget vil bidra til å stimulere den langsiktige teknologi- og næringsutviklingen i Norge og vil åpne muligheter for norske næringsaktører også internasjonalt. Videre kan satsingen bidra til å øke verdien av våre gassressurser og legge til rette for miljøvennlig energibruk i Norge og internasjonalt

2.2 Utvalgets anbefalinger

Utvalget anbefaler at det etableres et nasjonalt hydrogenprogram. I *kapittel 8* presenteres utvalgets forslag til et slikt program. Innledningsvis gis

det en gjennomgang av hvorfor hydrogen kan være et interessant satsingsområde for Norge. Utvalget lister deretter opp hovedsatsinger som bør ligge til grunn for et nasjonalt hydrogenprogram, herunder virkemidler og tiltak. Videre peker utvalget på hvordan et hydrogenprogram kan organiseres og finansieres.

Aktiviteter i et norsk hydrogenprogram. Utvalget mener at et hydrogenprogram først og fremst bør dekke forskning knyttet til utvikling av hydrogen-teknologi og demonstrasjonsprosjekter.

En av hovedambisjonene i en norsk hydrogensatsing er å være tidlig bruker av hydrogenkjøretøy. Videre må det satses på informasjon, utvikling av tekniske standarder og regelverk knyttet til sikkerhet. En systematisk gjennomgang av norsk regelverk for å identifisere behov for endringer bør iverksettes.

Utvalget understreker at den internasjonale dimensjonen må ligge høyt i bevisstheten hos de ansvarlige for et nasjonalt hydrogenprogram. De viktigste arenaene for norsk deltagelse vil være innenfor EU og gjennom nordisk samarbeid, samt i internasjonale organisasjoner og annet multi- og bilateralt samarbeid.

Innenfor grunnleggende og strategisk forskning trekker utvalget blant annet frem membraner, lagringsteknologier, forbrenning og katalysatorer som teknologiområder av stor betydning og hvor Norge allerede har god kompetanse.

Anvendte forskningsoppgaver er i større grad styrt av industrienes forventninger og initiativer. Noen eksempler her er CO₂-håndtering, hydrogenlagringssystemer, systemutvikling, prosessteknologi og brenselcellesystemer for maritime applikasjoner.

Demonstrasjonsprosjekter kjennetegnes ofte ved at de er kapitalkrevende. Utvalget peker derfor på behovet for høy bevissthet omkring hva man ønsker å oppnå med å støtte demonstrasjonsprosjekter. Noen typer demonstrasjonsprosjekter vil kunne bidra til å øke den allmenne kunnskapen om hydrogen som energibærer og bør brukes bevisst med henblikk på informasjon til allmennheten. Mulige kandidater til demonstrasjonsprosjekter kan være:

- Nordisk «hydrogenkorridor»: Oslo – Stavanger – Malmö – København
- Pilotprosjekt knyttet til produksjon av hydrogen og kraft fra naturgass med CO₂-håndtering
- Pilotprosjekt for å introdusere hydrogen-naturgassblandinger
- Etablering av et nasjonalt forskningsorientert testlaboratorium
- Brenselcelleprosjekt i ferger

Organisering og finansiering av et hydrogenprogram. Utvalget mener det bør oppnevnes et programstyre som gjøres ansvarlig for den strategiske og operative delen av hydrogenprogrammet. Programstyret bør utpekes av de finansierende institusjoner, og involvere industri, forskningsmiljøer og eventuelt relevante interesseorganisasjoner. Utvalget anbefaler at programmet har sin forankring i Forskningsrådet. Det bør legges til rette for et tett samarbeid med institusjoner med mer markedsnære aktiviteter, som det nye statlige innovasjonselskap i Grenland, Vegdirektoratet og Innovasjon Norge. Andre, eksempelvis Enova og Norges vassdrags- og energidirektorat (NVE), bør trekkes inn hvis det er relevant. Hydrogenprogrammet bør stimulere til samspill mellom forskningsmiljøer og industrielle aktører med sikte på å kommersialisere norsk hydrogenkompetanse.

Den offentlige delen av finansieringen bør følge sektorfinansieringsprinsippet. Det innebærer at finansieringen av forskningen innenfor hver enkelt sektor kommer fra de sektoransvarlige departementene. For et nasjonalt hydrogenprogram betyr

dette at den offentlige finansieringen bør komme fra Olje- og energidepartementet, Samferdselsdepartementet og Nærings- og handelsdepartementet.

Utvalget ser for seg en offentlig programfinansiering med en ramme på om lag 825–975 millioner kroner over en tiårsperiode frem til 2014. Hovedvekt bør være på hydrogenrelatert forskning, utvikling og demonstrasjon.

Iverksettelse av andre tiltak. Regjeringens hydrogenstrategi bør også inkludere tiltak utover aktivitetene i et hydrogenprogram. Det bør parallelt arbeides med iverksettelse av andre virkemidler. Utvalget foreslår at det innføres skatte- og avgiftsinsentiver for brenselceller på lik linje med elbiler, samt at det i en introduksjonsfase vurderes insentiver for hydrogenbiler med forbrenningsmotor. Implementering av dette bør være en del av en hydrogenstrategi. I tillegg bør andre insentiver vurderes. Videre bør myndighetene initiere standardiseringsarbeid, opplæringsarbeid og sikkerhetsstudier som en del av hydrogenstrategien.

Del II
Hydrogen som energibærer og situasjonen
i Norge og internasjonalt

Kapittel 3

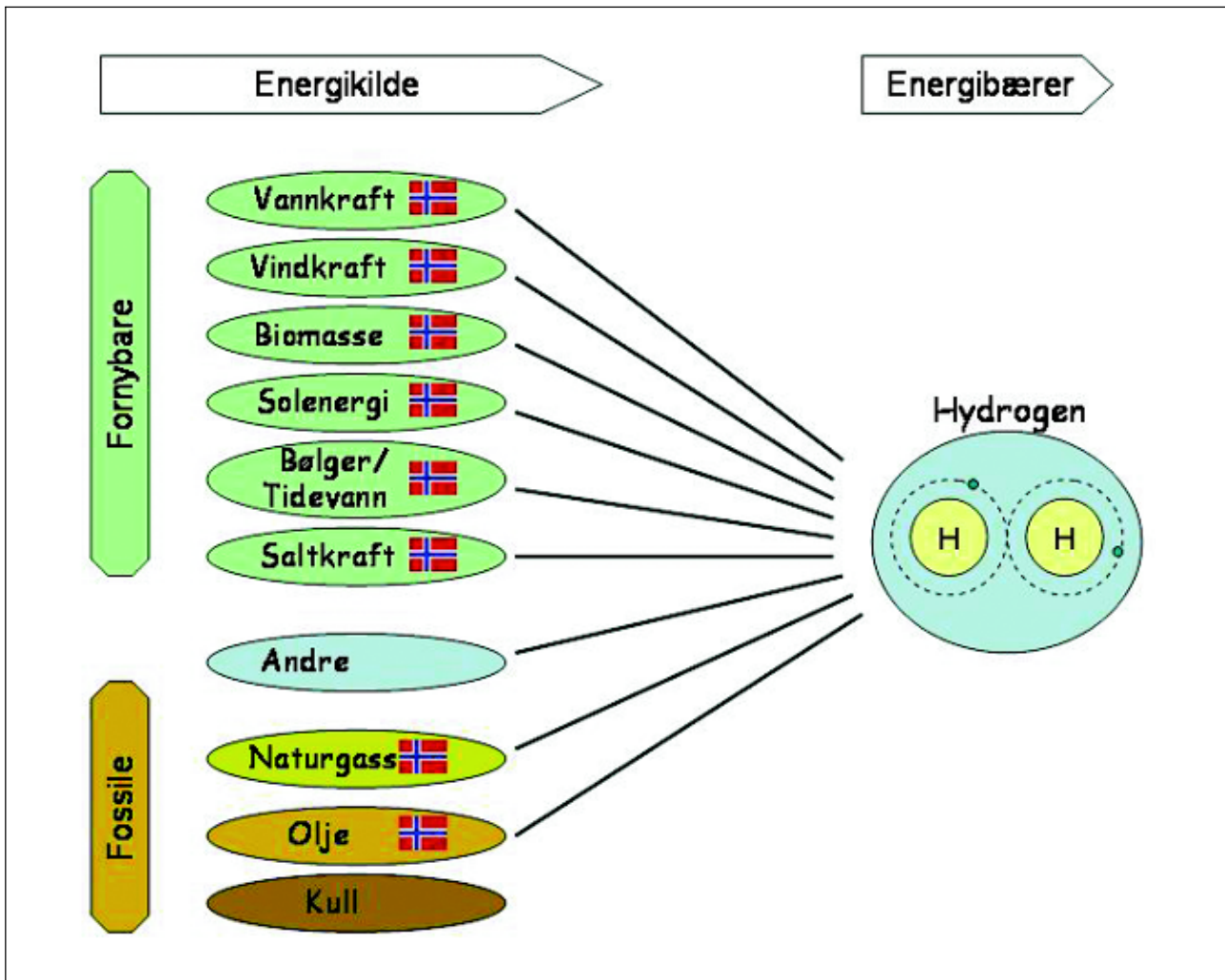
Norsk kompetanse og ressursgrunnlag på energiområdet

3.1 Norge som energiproducent

Norge er en stor energiproducent. Med vår lange vannkraftshistorie, vår omfattende vannkraftproduksjon og vårt velutbygde elsystem er vi en stor vannkraftnasjon. Som stor olje- og gassprodusent, verdens tredje største nettoeksportør av olje og gass, og med fortsatt store petroleumsreserver, er vi også en stor olje- og gassnasjon. Til sammenligning har Sverige mye vannkraft, men ikke så mye

som Norge. De har også en betydelig kjernekraftproduksjon og et godt utbygd fjernvarmesystem. Sverige utnytter bioenergi i stor grad og produserer i tillegg kraft både fra olje- og kullkondens, gassturbiner og vindkraft. Denne diversifiserte energiforsyningen kan Norge ikke vise til.

Basert på nettopp vannkraften, potensialet for nye fornybare ressurser og de store naturgassressursene, samt den industri og det kunnskapsgrunnlaget som har bygget seg opp på basis av



Figur 3.1 Hydrogen er ingen energikilde, men en energibærer. Hydrogen kan produseres ved bruk av energi fra ulike energikilder. Norge har et mangfold av rike energiressurser som kan danne utgangspunkt for produksjon av hydrogen. Utvalget har i denne sammenheng valgt å utelukke norske kullforekomster på Svalbard som en fremtidig kilde for produksjon av hydrogen

disse ressursene, burde Norge ha mulighet til også å bli en hydrogennasjon. Dette inkluderer også mulighetene for å kunne etablere næringsvirksomhet rettet mot et nytt energimarked.

3.1.1 Vannkraft

Det er om lag 4 000 vassdrag i Norge. I noen fylker er nesten alle større vassdrag utnyttet. Et vassdrag bygges ofte ut med flere kraftverk. De samlede økonomisk utnyttbare vannkraftressursene i Norge er anslått til om lag 178 TWh/år, men av dette er om lag 35 TWh vernet mot utbygging. Total produksjonskapasitet for vannkraft er i dag om lag 27 600 MW og fordeler seg på omkring 740 kraftverk over 1 MW. Produksjonen i det norske vannkraftsystemet er i et år med normal nedbør anslått til om lag 119 TWh. Dette gjør Norge til verdens sjette største vannkraftprodusent.

Den norske vannkraftproduksjonen er beregnet å kunne variere fra 90 TWh til 150 TWh i året som følge av variasjoner i nedbør fra år til år. Vannkraften står for nesten all elektrisitetsproduksjon i Norge. Elforbruket de senere årene har ligget noe over midlere produksjonsevne¹. Norsk energiforsynings avhengighet av nedbør gjør den mer sårbar for svikt i produksjonen enn for eksempel de andre nordiske landene. Dette kompenseres delvis ved at Sverige, Finland, Danmark og Norge er integrert i et felles nordisk kraftmarked. Det innebærer at produsenter og forbrukere i markedet fritt kan kjøpe og selge kraft i konkurranse med produsenter og forbrukere i de øvrige nordiske landene. Den norske vannkraften spiller med sine muligheter for raske endringer i produksjonen fint sammen med det øvrige nordiske systemet, som også er har en stor andel termisk kraftproduksjon. De årene som det inntreffer en svikt i vannkraftproduksjonen, fordeles denne gjennom det felles nordiske markedet og en kan dra nytte av den fleksibiliteten som en har i dette markedet. Det nordiske kraftmarkedet er derfor viktig for forsyningssikkerheten i Norge. Denne er nærmere omtalt i St.meld. nr. 18 (2003–2004) *Om forsyningssikkerheten for strøm mv.*

Den norske vannkraftindustrien har lange tradisjoner. Norge har opparbeidet kompetanse til å dekke ulike sider ved et vannkraftprosjekt; alt fra planlegging og prosjektering til levering og installasjon av vannkraftteknisk utstyr. I tillegg har myndighetene opparbeidet ekspertise i å lovregulere

og forvalte vannkraftressursene. Etter som Norge allerede har bygd ut en stor del av det tilgjengelige vannkraftpotensialet, konkurrerer norsk industri nå i stor grad om utbyggingsoppdrag i utlandet. I tillegg til turbiner og elektromagnetiske komponenter, omfatter leveransene konsulenttenester innen planlegging, prosjektering og ingeniørtjenester. Det er i tillegg etterspørsel etter norsk kompetanse innenfor systemdrift og tilrettelegging for markedsbaserte systemer.

Kraftforsyningen har en viktig rolle i norsk økonomi. Bruttoproduktet i kraftforsyningen var i 2000 på 24,7 milliarder kroner. Dette tilsvarte om lag 2,3 prosent av brutto nasjonalproduktet i fastlands-Norge. De siste årene har det vært en nedgang i antall årsverk i kraftforsyningen. Likevel var det i 2000 om lag 17 000 personer sysselsatt i sektoren.

3.1.2 Nye fornybare energikilder

I tillegg til vannkraft er det også et betydelig potensial for andre fornybare energikilder i Norge. Produksjonen for 2003, samt et beregnet potensial for de mest relevante av de nye fornybare energikildene i Norge, er vist i tabell 3.1. Potensialet for 2020 er beregnet i forbindelse med NOU 1998: 11 *Energi og kraftbalansen mot 2020*. Beregningene er gjort med utgangspunkt i forventet teknologistatus. I et langsiktig perspektiv vil potensialene kunne være langt høyere uten at det kan tallfestes. Nedenfor gis en kort oversikt over enkelte aktuelle fornybare energikilder i Norge.

Vindkraft

Vindkraft har hatt en sterk vekst de siste årene og den internasjonale vindkraftindustrien forventer fortsatt sterk økning. I Norge har det også vært vekst; fra 13 MW installert effekt i 1999 til omlag 100 MW i 2002. I 2003 gav dette en produksjon på 220 GWh. Regjeringen har som et av målene for energiomleggingen at produksjonskapasiteten for vindkraft skal økes til 3 TWh/år i 2010, hvilket innebærer i underkant av 1000 MW installert effekt. Det er tildelt konsesjoner for vindkraftanlegg med en samlet produksjonskapasitet på i overkant av 1,7 TWh/år. Det er søkt om ytterligere konsesjoner for vindkraftanlegg med en samlet produksjonskapasitet på om lag 1,8 TWh/år.

Bioenergi/fornybar varmeproduksjon

Bioenergi og energigjenvinning fra avfall står årlig for en energiproduksjon på om lag 15 TWh i Norge. Dette er primært knyttet til vedfyring og

1. Midlere produksjonsevne – samlet energiproduksjon ved å summere energiproduksjon fra alle produksjonsenheter ved gjennomsnittlig årlig tilsig

Tabell 3.1 Faktisk produksjon i 2003 og beregnet potensial for fornybare energikilder i Norge

	Produksjon 2003 (TWh)	Potensial 2020 (TWh) ³⁾
Vannkraft	106,1 ¹⁾	126
Vindkraft	0,2 ¹⁾	6
Bio- og avfallsenergi	15,4 ²⁾	22
Varmepumper	3,4 ⁴⁾	10
Solvarme	–	8
Saltkraft	0	25
Bølge- og tidevannsenergi	0	0,5
Netto import	7,9 ²⁾	
Totalt	133,0	

¹⁾ Kilde: SSB Elektrisitetsstatistikk desember 2003

²⁾ Kilde: SSB Energivarebalanse for Norge, 2003

³⁾ Kilde: NOU 1998: 11 Energi- og effektbalansen mot 2020; OED

⁴⁾ Kilde: Interconsult, "Samlet brutto bidrag fra alle varmpumper installert fra 1992 til og med 2002"

bruk av restprodukter innen skogsindustrien og fjernvarme. Regjeringen har et klart mål på 4 TWh/år vannbåren varme basert på bioenergi, avfall, varmpumper og utnyttelse av spillvarme innen 2010. Det teoretiske potensialet for uttak av biomasse til energiformål er av Enova SF², anslått til om lag 35 TWh/år. Dette potensialet kan for en stor del tas ut til priser under 50 øre/kWh.

Solvarme

Solvarme deles inn i passiv og aktiv solvarme. Ved passiv solvarme utnyttes solinnstrålingen gjennom bevisst utforming av bygningsmassen med hensyn på innretning og størrelse på vindusflater samt materialvalg som akkumulerer varme. Ved aktiv solvarme sirkuleres et varmemedium, for eksempel vann, gjennom solvarmepaneler der det varmes opp. Vannet sirkuleres i bygningen og avgir varmen, direkte gjennom radiatorer, vannbåren gulvvarme eller til et varmelager (en akkumulator-tank). Potensialet i Norge er størst i områder med høy solinnstråling, som sør- og østlandet. Potensialet er estimert til 8 TWh/år i 2020³.

Tidevann

Utnyttelse av energien i tidevann kan skje enten ved å utnytte nivåforskjellen mellom høy og lav vannstand, eller å utnytte vannstrømmer som oppstår som resultat av tidevannsforskjellene. Det er

flere norske prosjekter som utvikler teknologi for å utnytte tidevannsenergi, blant annet et i regi av Hammerfest Strøm AS og et i regi av Statkraft. Hammerfest Strøm installerte den første prototyp-turbinen for kraftproduksjon fra tidevann høsten 2003. Turbinen har en diameter på 20 meter og en installert effekt på 300 kW.

Bølgekraft

Potensialet for bølgekraft er stort i Norge om man tar utgangspunkt i den lange kystlinjen. Det har imidlertid vist seg problematisk å komme frem til teknologier som kan konvertere kraften i bølgene til nyttbar energi på en kostnadseffektiv og sikker måte. Kostnaden for elektrisitet fra bølgekraft er beregnet til mellom 50–100 øre/kWh. Bølgekraft kan derfor i første rekke ha et potensial i øysamfunn der prisen for den konkurrerende energien, for eksempel dieselkraft, er høyere. Potensialet i Norge er estimert til 0,5 TWh/år.³

Saltkraft

Saltløsninger trekker til seg vann fra sine omgivelser på grunn av forskjellig saltkonsentrasjon. Dette danner et såkalt osmotisk trykk. Den osmotiske trykkforskjellen mellom ferskvann og sjøvann tilsvarer trykket fra en vannsøyle på om lag 270 meter. Dette trykket kan utnyttes til kraftproduksjon der ferskvann møter saltvann ved elveutløp. En vannmengde på 1 m³/s vil kunne gi en effekt på omlag 1 MW. Statkraft er sentral i et stort internasjonalt prosjekt knyttet til utnyttelse av saltkraft. Et

2. Varmestudien 2003

3. NOU 1998: 11 Energi- og effektbalansen mot 2020

beregnet utnyttbart potensial i Norge er anslått til 25 TWh og det er estimert en kostnad på om lag 50 øre/kWh.

3.1.3 Olje og gass

Norge fikk suverenitet over den norske kontinentalsokkelen i 1963. Første lisensrunde ble annonsert 13. april 1965. I 1969 ble Ekofisk oppdaget, og i 1971 begynte Ekofisk å produsere olje. Siden den tid har Norge bygget seg opp som en stor produsent av olje og gass. Parallelt med denne utviklingen har norske industri- og forskningsmiljøer bygget seg opp til å bli konkurransedyktige leverandører av produkter, tjenester og teknologi, både til norsk sokkel og internasjonalt.

I 2003 ble det solgt om lag 2,8 millioner fat olje fra norsk sokkel. Norge er med det verdens tredje største eksportør av råolje, etter Saudi Arabia og Russland. Oljeproduksjonen forventes å være rundt dagens nivå de nærmeste årene, for deretter å avta gradvis. Likevel er det anslått at Norge vil fortsette å produsere olje i mer enn 50 år fremover.

Norge er også en stor produsent av naturgass. Total gassproduksjon på norsk sokkel var i 2003 på 118 mtoe⁴ (om lag 140 milliarder Sm³). Om lag 1/3 av gassen som produseres blir injisert tilbake i reservoarene som trykkstøtte til økt oljeproduksjonen. En del av gassen blir også brukt til kraftproduksjon på plattformene og terminalene. En liten andel brukes også innenlands, hovedsakelig til metanolproduksjonen på Tjeldbergodden. Det meste av den norske gassen som produseres blir eksportert. Norge er blant annet en viktig leverandør av naturgass til EU; om lag 12 prosent av EUs gassforbruk kommer fra norsk sokkel. Dette gjør Norge til den tredje største gasseksportøren til EU. På verdensbasis er Norge den fjerde største eksportøren av naturgass.

Produksjonen av naturgass er økende, og det er i tiden fremover forventet at gassens andel av samlet petroleumproduksjon vil stige betydelig, fra om lag 25 prosent i 2002 til om lag 42 prosent i 2010. Gassalget er som en følge av dette også økende. I 2002 økte salget med 23 prosent sammenlignet med året før. Et fremtidig salgsnivå på 120 milliarder Sm³ anses å være realistisk innen 7 til 12 år⁵. Det er anslått at Norge har gassreserver til ytterligere 100 års produksjon.

4. Mtoe – millioner tonn oljeekvivalenter (måleenhet for olje-produkter)

5. Oljedirektoratet, Årsberetning 2003.

3.2 Hydrogen – Norske erfaringer

Norge har lange tradisjoner for produksjon av hydrogen. Det er opparbeidet god kompetanse innenfor en rekke hydrogenteknologier på produksjon, lagring og bruk av hydrogen. Det er gjennomført, og blir gjennomført, demonstrasjonsprosjekter for å prøve ut nye hydrogenteknologier i Norge. I tillegg blir norske hydrogenrelaterte produkter solgt på verdensbasis. Dette er nærmere beskrevet nedenfor.

I 1996 ble Norsk Hydrogenforum (NHF) etablert. Forumet består av representanter fra norsk næringsliv, forskningsinstitusjoner og universiteter/høgskoler. NHF skal blant annet bidra til informasjonsformidling mellom norske og utenlandske miljøer innen hydrogenbaserte teknologier og fremme utdanning, forskning og nyskaping innen hydrogenteknologi.

3.2.1 Produksjon av hydrogen i Norge

Det er en god industriell bakgrunn for hydrogenproduksjon i Norge. Ved Norsk Hydro, nå Yara, ble ammoniakk for kunstgjødselproduksjon industrielt fremstilt allerede fra 1928. Hydrogen er et mellomprodukt i produksjonsprosessen for ammoniakk. Hydrogenet ble produsert ved vannelektrolyse med vannkraft som energikilde helt fram til omkring 1990. Norsk Hydro Electrolysers, i sin helhet eid av Norsk Hydro ASA, ble etablert tidlig på nittitallet for å videreføre kompetansen innen elektrolyse. Senere har Yara drevet produksjon av hydrogen basert på dampreformering av naturgass. Yara er i dag en betydelig hydrogenprodusent, men produksjonen går direkte til fremstilling av ammoniakk og kunstgjødsel. Selskapet har ett anlegg i Norge (på Herøya ved Porsgrunn) og har flere lignende anlegg i mange andre land. Hydro fremstiller også hydrogen som biprodukt i sine to kloralkaliproduksjonsanlegg (Rafnes og Stenung-sund), og gjennom sin virksomhet som operatør for Noretyl crackeren (Rafnes). Der produseres det betydelige mengder brenngass (en 50:50 blanding av hydrogen og metan) i tillegg til hovedproduktene eten og propen. Dette hydrogenet benyttes til energiformål i tilknytning til de aktuelle industrianleggene.

Siden 1997 har Statoil fremstilt hydrogen i forbindelse med metanolproduksjonen ved fabrikkene på Tjeldbergodden i Møre og Romsdal. Statoil produserer også hydrogen ved raffineriet på Mongstad. Det fremstilles dessuten betydelige mengder hydrogen som biprodukt i annen norsk industri.

Det eksisterer med basis i dette en betydelig norsk kompetanse på oppbygging og drift av anlegg for hydrogenproduksjon fra naturgass med ulike prosesssteknologi. All hydrogen som produseres brukes imidlertid i industrien. Bruk av hydrogen for energiformål er foreløpig lite utbredt i Norge.

I Norge er det i tillegg erfaring med fremstilling av hydrogen ved elektrolyse. Det produseres hydrogen fra elektrolyse ved Denofas fettherdingsanlegg i Fredrikstad (5 elektrolysører), Falconbridges nikkilverk i Kristiansand (4 elektrolysører), Akzo Nobels hydrogenperoksyd anlegg på Rjukan (4 elektrolysører), Pronovas fettherdingsanlegg i Sandefjord (2 elektrolysører), og Hydrogass sitt hydrogenanlegg på Rjukan (1 elektrolysør).

3.2.2 Lagring, transport og distribusjon av hydrogen i Norge

Høytrykkslagring av hydrogen byr på interessante utfordringer og muligheter for norsk leverandørindustri. Det finnes allerede norsk industriaktivitet på lagring av gass under trykk. Ragasco masseproduserer i dag lavtrykkskomposittanker for propan, mens Hexagon Composites (tidligere Raufoss Alternative Fuel Systems AS) produserer høytrykksbeholdere i kompositt (maksimalt 260 bar) for komprimert naturgass (CNG). For å lagre hydrogen i komprimert form bør imidlertid arbeidstrykket være minst 300 bar og gjerne opp til 700 bar for transportformål. Til dette trengs utvikling og forbedring av trykkbeholdere.

Når det gjelder flytende hydrogen, finnes det ingen kondenseringsanlegg for hydrogen i Norge i dag. AGA AS inngår nå som en del av Linde konsernet, og ved AGAs anlegg både i Norge og Sverige er det økende interesse for hydrogen. Statoil har lang erfaring og etablert industriell aktivitet med nedkjølt flytende (kondensert) naturgass (LNG). SINTEF Energiforskning og Institutt for Klima- og Kuldeteknikk ved NTNU har lang erfaring med kondensering av gasser (hydrogen, helium, nitrogen og ikke minst naturgass). En bred basis for prosessberegninger, inkludert avansert termodynamikk, har blitt etablert gjennom dette arbeidet. Det er videre forsket på og utviklet isolering og isoleringssystemer for lagring av LNG siden 1975. Isoleringssystemet til Moss-Rosen-

bergs LNG-kuletanker er utviklet og testet i dette miljøet. I 1998 ble det eksempelvis konstruert, bygget og testet en tank på 6 m³ for lagring av flytende nitrogen. Disse erfaringene kan være et godt utgangspunkt for videre satsing på hydrogenkondensering og systemer for lagring av flytende hydrogen.

Institutt for Energiteknikk (IFE) har drevet forskning på lagring i metallhydridler i flere tiår, og det er etablert solid grunnleggende kompetanse på området. Forskerne ved IFE har blant annet funnet frem til en metallegering som gjør det mulig å pakke hydrogenatomene åtte ganger mer effektivt enn ved lagring av hydrogen i væskeform. Dette regnes som verdensrekord i å pakke hydrogenatomer tett sammen i en struktur. I dag har IFE et av de tre beste instrumentene i verden for å studere hvordan hydrogen er bundet i forskjellige materialer. IFE har også patent på anvendelse av karbonkjegler som lagringsmateriale for hydrogen. Hydrogen i metallhydridler og karbonmaterialer vil være et av satsingsområdene til IFE også fremover.

Grunnleggende relevant materialkompetanse finnes også ved Senter for materialvitenskap ved Universitetet i Oslo, som lenge har samarbeidet med IFE på området. Ved Kjemisk institutt foregår det eksperimentell materialkarakterisering av metallhydridler, mens det ved Fysisk institutt utføres teoretiske studier av hydrogen/metallsystemer. SINTEF Materialteknologi (både ved Oslo og Trondheim) innehar en betydelig kompetanse innen forskning og utvikling av avanserte materialer. I den senere tid har fremstilling av metallhydridler ved hurtigtørking gitt interessante resultater. Ved Institutt for materialteknologi og elektrokjemi ved NTNU foregår preparering og karakterisering av metallhydridlegeringer, særlig elektrokjemisk karakterisering med henblikk på anvendelse i batterier. Teoretiske metallhydridstudier foregår også ved Høgskolen i Agder.

Når det gjelder transport og distribusjon, er det i Norge bygget, og planlegges bygget, mindre rørrnettverk for transport og distribusjon av naturgass. Teoretisk vil disse også kunne brukes til distribusjon av HCNG, en blanding av naturgass og hydrogen der hydrogen kan utgjøre en fraksjon i størrelsesorden 5–25 prosent, typisk 15–20. Norsk Hydro har også intern rørtransport av hydrogen i sine ammoniakfabrikker.

Kapittel 4

Hydrogen som energibærer

4.1 Litt hydrogenhistorie

Den tidlige hydrogenhistorien var preget av vitenskapsmennes oppdagelser og eventyrernes farefulle luftferder. Tanken om å bruke hydrogen som energibærer ble lansert allerede i 1874 av Jules Verne i boka *L'Isle Mystérieuse – Den hemmelighetsfulle øya*. Den visjonære forfatteren forestiller seg at hydrogen fra vann skal erstatte kull, datidens viktigste energibærer:

«Jeg tror at en dag vil hydrogen og oksygen, som sammen danner vann, blir brukt enten hver for seg eller sammen som en uuttømmelig kilde for varme og lys.»

Den sveitsiske legen og vitenskapsmannen T.B. Paracelsus (1493–1541) iakttok at det ble utviklet gass når jern ble løst i svovelsyre. Han trodde gassen var brennbar luft, men i ettertid vet vi at det var hydrogen. I 1766 påviste den engelske vitenskapsmannen H. Cavendish at hydrogen er en egen gass. Cavendish bestemte også flere av hydrogens egenskaper, beskrev forskjellige fremstillingsmetoder og fant at hydrogen danner vann ved forbrenning.

I 1872 fløy Paul Haenlein i Wien et luftskip drevet av en 5-hestekrefters hydrogengassmotor. Gassen kom fra ballongelementet. I 1896–97 forsøkte den svenske vitenskapsmannen Salomon Andrée å nå Nordpolen i hydrogenballongen *Ørnen* fra en base på Svalbard, men under oppstarten mistet de størstedelen av slepelinen slik at ballongen kom ut av kurs. I 1901 ble hydrogen for første gang komprimert på stålflasker og kommersielt omsatt. Hydrogen ble produsert som biprodukt ved kloralkalielektrolyse, og ble hovedsakelig benyttet i luftskip. I 1910 hadde Ferdinand von Zeppelin laget et luftskip med et rammeverk av lettmetall (aluminium), dekket av duk og fylt med løftegass. I 1926 fløy Roald Amundsen det italienskbygde luftskipet *Norge* over Nordpolen, fra Svalbard til Alaska, og i 1929 foretok det tyske *LZ 127 Graf Zeppelin I* en flygning rundt jorden.

Historiens kanskje mest berømte luftskip var imidlertid det store tyske luftskipet *Hindenburg*. Skipet var 245 meter langt, hadde en diameter på

41 meter og hadde et gassvolum på 196 000 m³ fylt med hydrogen. Det gikk i 1936–37 i regulær trafikk mellom Friedrichshafen i Tyskland og Lakehurst i New Jersey, USA, med opp til 70 passasjerer. Luftskipet eksploderte ved innflygingen mot fortøyningsmasten ved Lakehurst 6. mai 1937. Brannen oppsto visstnok i malingen til luftskipet. 35 av passasjerene om bord omkom. De omkomne døde som en følge av at de hoppet ut av luftskipet, og ikke som en direkte følge av en hydrogeneksplasjon. Ulykken innebar slutten på luftskipepoken.

Noen av de første forbrenningsmotorene som ble laget brukte hydrogen som brensel og i 1930-årene var det flere kjøretøymodeller som gikk på hydrogen. Med oljealderen kom imidlertid nye drivstoff på markedet som var enklere å håndtere og etter hvert billigere.

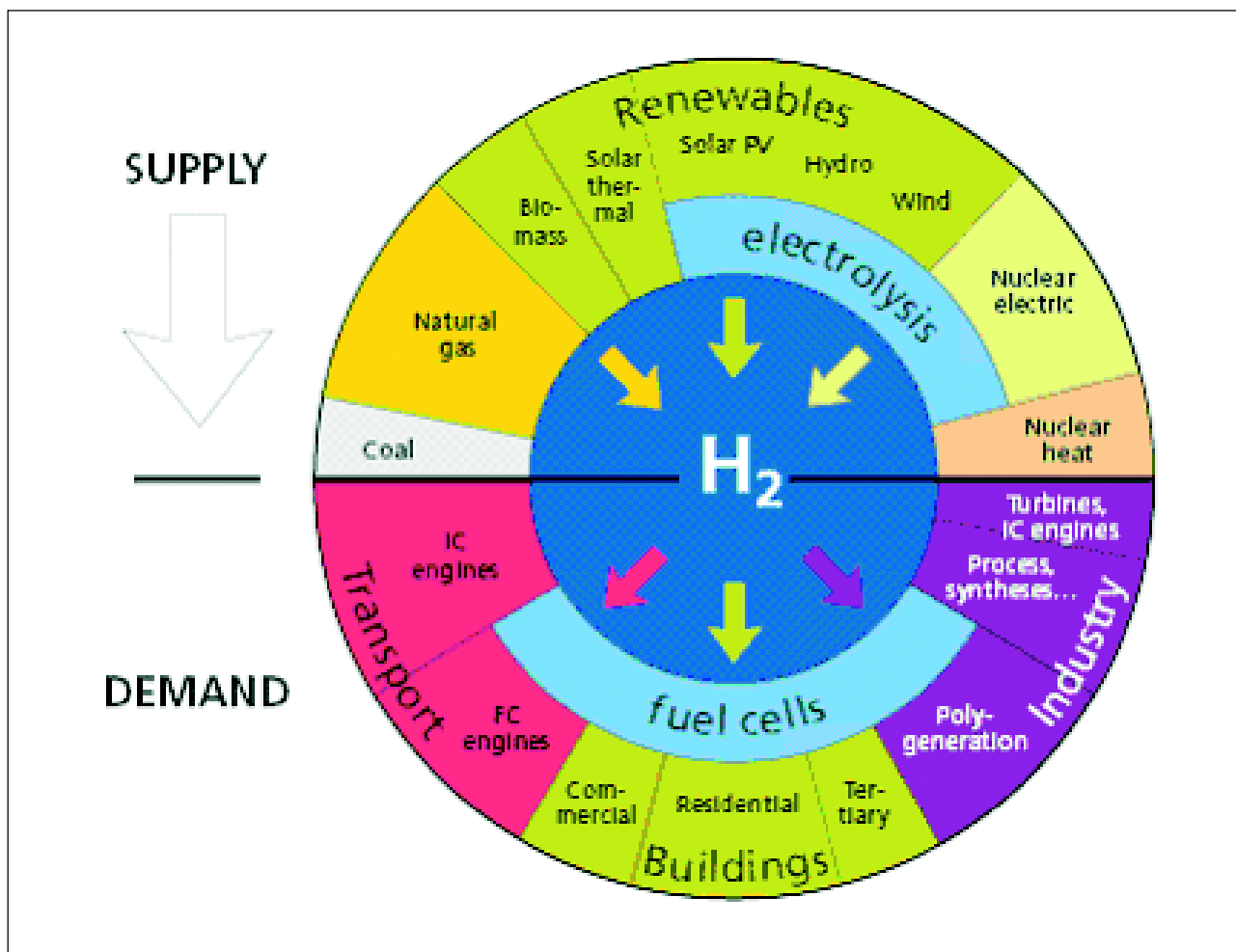
Allerede i 1839 ble brenselcelleteknologien patentert og demonstrert. Brenselceller ble imidlertid av mange sett på som en kuriositet frem til den ble tatt i bruk innen romfart på 1960-tallet. Det er nettopp innen romfart at hydrogen i første rekke har blitt brukt som energibærer de senere tiårene. Helt siden Apollo-programmet (1960–1972), har nedkjølt, flytende hydrogen blitt brukt som drivstoff. Hydrogen har vært et av de foretrukne drivstoff i romfarten fordi hydrogen har et spesifikt energiinnhold som er nesten tre ganger så høyt som bensin og diesel. Hydrogen brukes også til elektrisitetsproduksjon og produksjon av vann i romfartøyer.

Ideene om «Hydrogenøkonomien» eller «hydrogensamfunnet» ble lansert i 1970-årene i kjølvannet av oljekrisen og den økende interessen for fornybar energi. Der så man for seg en omfattende utnyttelse av solenergi med hydrogen som medium for døgn- og sesonglagring, og for energitransport fra produksjonssted til forbrukssted.

4.2 Nærmere om hydrogen

4.2.1 Hva er hydrogen?

Hydrogen (H) er det letteste grunnstoffet og har atomnummer 1 i det periodiske systemet. Det er estimert at hydrogen utgjør mer enn 90 prosent av



Figur 4.1 Hydrogen er en energibærer som må produseres fra en primær energikilde. Hydrogen kan i prinsippet produseres fra alle energikilder og dekke alle energibehov

Kilde: «Hydrogen Energy and Fuel Cells – A vision of our future». Sluttrapport fra EU-kommisjonens High Level Group, 2003.

universets atomer og omlag tre fjerdedeler av universets masse. Hydrogen er imidlertid nesten ikke tilgjengelig i naturen i fri tilstand, men må produseres fra et hydrogenholdig råstoff. Hydrogen finnes i organisk materiale, i biomasse og i fossile energikilder, men den største forekomsten av hydrogen er i vann. Hydrogenet kan på forskjellige måter skilles ut fra de hydrogenholdige forbindelsene og danne hydrogengass (H_2).

Hydrogen brukes i dag ikke som en kommersiell energibærer, men produseres industrielt ved petroleumsraffinering, ammoniakkproduksjon og metanolproduksjon. Dessuten anvendes hydrogen til herding av fett og oljer i matvareindustrien, i sveiseprosesser og ved reduksjon av metallholdig malm. Det produseres mer enn 500 milliarder Nm^3 (normalkubikkmeter¹) hydrogen årlig. Energi-mengden i dette hydrogenet ville tilsvare 1,5 prosent av verdens totale energiforbruk i dag hvis det ble brukt til energiformål. Det er bare innen rom-

fart, som rakettdrivstoff, og i mindre grad også til elektrisetsproduksjon, at hydrogen brukes til energiformål.

4.2.2 Hydrogen er en energibærer

Hydrogen er ingen energikilde. Det må produseres fra et hydrogenholdig råstoff ved hjelp av energi. I energiterminologi betegnes hydrogen derfor som en energibærer. Hydrogen må på lik linje med andre energibærere, for eksempel bensin, elektrisitet, og fjernvarme, produseres fra en energikilde, for eksempel solenergi, vindkraft, biomasse eller naturgass. En energibærer overfører energi fra en energikilde til en sluttbruker som

1. Nm^3 – normalkubikkmeter: En gassmengde som beskriver en kubikkmeter ved normaltstanden, dvs. temperatur = 0 °C, trykk = 1,01325 bar

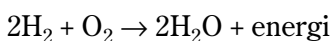


Figur 4.2 Produksjon av hydrogen ved naturgassreformering skjer i dag som mellomprodukt ved Statoils metanolproduksjon på Tjeldbergodden

Kilde: Statoil

etterspør en energitjeneste, for eksempel oppvarming, transport eller belysning, jf. figur 4.1.

For at hydrogen skal yte en energitjeneste, må det ved sluttbruk omdannes til varme, mekanisk arbeid eller elektrisitet. Dette kan gjøres enten ved forbrenning eller ved direkte elektrokjemisk omvandling i en brenselcelle, jf. kapittel. 4.2.6. I begge tilfeller er den kjemiske hovedreaksjonen den samme:



Hydrogengass (H_2) reagerer med oksyngengass (O_2) og danner vann (H_2O) og energi. I en brenselcelle hentes energien ut i form av elektrisitet, men i en forbrenningsmotor eller turbin dannes det varme og trykk, som igjen skaper bevegelse.

4.2.3 Produksjon av hydrogen

Hydrogen kan produseres på ulike måter avhengig av energikilden. De mest utbredte måtene å produsere hydrogen på er reformering av fossile hydrokarboner, for eksempel naturgass, og elektrolyse av vann.

Reformering av hydrokarboner med vanddamp

Om lag 90 prosent av den årlige produksjonen av hydrogen i verden er basert på fossile råstoffer, for det meste naturgass. Produksjonsprosessen kalles dampreformering og er i grove trekk lik for både, naturgass, olje og kull. Forenklet kan produksjonens reaksjon uttrykkes slik:



Naturgass, som i stor grad består av metan (CH_4), reagerer med vann (H_2O) under høyt trykk og høy temperatur og danner hydrogen (H_2) og karbondioksid (CO_2). Hvorvidt hydrogen fra en slik prosess kan kalles miljøvennlig, avhenger av hvordan det andre sluttproduktet, klimagassen CO_2 , håndteres.

Prosessen utføres ved trykk på mellom 3 og 25 bar og temperaturer mellom 700 og 850 °C. Den eksterne varmen er ofte tilført ved å forbrenne en fraksjon av innkommende fødegass eller ved å forbrenne avgasser som for eksempel spylegass fra hydrogenrensesystemet.

Konvensjonell reformering av naturgass er i dag den mest brukte teknologien for produksjon av hydrogen i mellomstor og stor skala. Kostnadseffektiv CO_2 -separasjon og håndtering er en av hovedutfordringene for denne teknologien i framtiden. I USA trekkes kull fram som en av de viktigste energikildene til hydrogenproduksjon.

Elektrolyse av vann

Ved å lede strøm (elektrisk energi) gjennom vann, splittes vannet (H_2O) opp til bestanddelene hydrogen (H_2) og oksygen (O_2) i gassform. Gassene utvikles ved elektrodene som er i kontakt med vannet. Forenklet kan reaksjonen uttrykkes slik:



Om hydrogenet produsert i en slik prosess er en miljøvennlig energibærer eller ikke, avhenger av

om den elektriske energien produseres på en miljøvennlig måte, for eksempel fra en fornybar kilde.

Alkaliske elektrolysører er fortsatt den eneste teknologien som er fullt ut kommersialisert. Andre teknologier er hovedsakelig tilgjengelig på demonstrasjonsstadiet, under utvikling eller er kommersielle i svært liten skala. Videre utvikling er rettet mot å redusere størrelse og øke virkningsgrad. To andre typer elektrolysører er aktuelle: PEM-elektrolysører basert på samme teknologi som proton exchange membrane brenselceller (PEMFC), og høytemperaturolektrolyse basert på keramiske membraner med mye av samme teknologi som fastoksid brenselceller (SOFC). De første kommersielle PEM-elektrolysører er tilgjengelige, men med lav kapasitet og til en høy kostnad.

Biomasse

Hydrogen kan framstilles fra biomasse via flere forskjellige prosesser, for eksempel forbrenning, pyrolyse/gassifisering og fermentering. Fordeler med bruk av biomasse er at den er fornybar og nettopbidraget av den CO₂ som slippes ut i atmosfæren er lik null hvis uttaket av biomasse er i balanse med tilveksten. Den er også lokalt tilgjengelig og medfører lavt utslipp av SO_x og NO_x ved forbrenning.

Den mest lovende metoden for produksjon fra biomasse er dampgassifisering. Her oppnås en hydrogengass i en prosess med relativt høy virkningsgrad. Men gassen er «uren», og må derfor renses for svovelkomponenter (H₂S) og andre forurensninger. Gassen kan brukes i en høytemperatur-brenselcelle (SOFC) for generering av elektrisitet og varme. Dette kan i fremtiden være en foretrukket prosess på grunn av en relativt høy vir-



Figur 4.3 Elektrolysør for hydrogenproduksjon fra elektrisitet.

Kilde: Norsk Hydro

kningsgrad sammenlignet med konvensjonelle prosesser hvor elektrisiteten produseres via en motor eller turbin og generator. Dette konseptet er imidlertid fortsatt på utviklingsstadiet og per i dag ikke en økonomisk konkurransedyktig produksjonsprosess for elektrisitet og varme.

Andre produksjonsmetoder

Det finnes en rekke andre produksjonsmetoder for hydrogen på forsknings- og utviklingsstadiet eller på et stadium der de demonstreres i liten skala. Det er foreløpig fundamentale teknologiske barrierer som må overvinnes før de kan bli aktuelle for hydrogenproduksjon i betydelig skala. De viktigste metodene er:

- *Fotoelektrokjemisk produksjon.* Hydrogen kan fremstilles direkte ved at vann splittes i en fotoelektrokjemisk prosess. Et slikt system kan beskrives som en kombinasjon av en fotovoltaisk solcelle og en elektrolysør. Dette kan gi bedre virkningsgrad samlet enn to separate systemer.
- *Termokjemisk produksjon.* Direkte splitting av vannmolekylet til hydrogen og oksygen ved bruk av termisk energi skjer spontant ved svært høy temperatur (om lag 3000 °C). En kjede av flere mellomreaksjoner er nødvendig for å kunne splitte vannmolekylet ved lavere temperaturer. Energikilde for termokjemisk produksjon kan være enten kjernekraft eller konsentrert solenergi.
- *Fotobiologisk produksjon.* Hydrogen kan framstilles ved at visse mikroorganismer, som for eksempel grønnalger eller blågrønnalger, utnytter energien fra sollyset i en spesiell fotosyntese. Dette muliggjør direkte konvertering av solenergi til kjemisk energi i form av hydrogen. Produksjon av hydrogen på denne måten har mange potensielle fordeler: Råstoffet (vann) er billig, energien (sollyset) er fornybar og produksjonsmediet (mikroalger) er reproduserende. Prosessen har imidlertid dårlig virkningsgrad og er arealkrevende.

4.2.4 Lagring og distribusjon av hydrogen

Lagring av hydrogen på en måte som tar hensyn til økonomi, sikkerhet og energieffektivitet, er ansett som en barriere mot introduksjon av hydrogen som energibærer. Hydrogen ved vanlige atmosfæriske betingelser er en meget lett gass med lav energitetthet, bare 3 kWh/m³. For at bruk av hydrogen skal bli et reelt alternativ til andre drivstoff eller energibærere, må hydrogenet komprimeres eller man må på annen måte øke tettheten.

For de aller fleste *stasjonære applikasjoner* er volumet og vekten av lagringssystemet mindre viktig. I tillegg kan flerstegs kjemiske oppladings-/utladingscykler ved høye temperaturer og trykk benyttes, og treg kinetikk (reaksjonshastighet) kan kompenseres med ekstra kapasitet.

De kritiske parametere knyttet til lagring av hydrogen i *kjøretøy* er langt vanskeligere å oppfylle enn for stasjonære applikasjoner. De må supplere nok hydrogen for en kjørelengde på om lag 500 km, lade og utlade hydrogen ved temperaturer nær romtemperatur og forsyne hydrogen hurtig nok for drift av biler, busser og lastebiler.

Komprimert hydrogen

Mesteparten av det hydrogenet som produseres i dag, håndteres og lagres som komprimert gass under trykk (CH₂) i gassflasker eller større trykkbeholdere. Energiinnholdet per volum er 0,53 kWh/l ved 250 bars trykk. Lagringstrykket er avhengig av leveringstrykk for hydrogenet og hvilke mengder som skal lagres. Det er også en økonomisk avveining mellom tankstørrelse, materialvalg og kompresjonskostnader.

Lagringstanker for komprimert hydrogen laget i stål finnes kommersielt tilgjengelig helt fra mindre enn 10 Nm³ H₂ (= 1 kg H₂) til flere titusen Nm³ for industriformål. Lagringstrykket varierer fra mindre enn 10 bar til omkring 450 bar. Den mest vanlige løsningen for lagring og transport av hydrogen i Norge er 50 liters stålflasker med et trykk på 200 bar. Det er testet ut trykktanker for busser med et trykk på 440 bar i demonstrasjonsprosjekter, mens det er testet ut prototyper av komposittanker med et trykk på opp mot 700 bar. Energitapet ved komprimering av hydrogen er avhengig av temperaturen og forholdet mellom trykket før og etter komprimering.

Flytende hydrogen

Hydrogenet kan kjøles ned til -253 °C, hvor det går over i væskeform. Hydrogen i væskeform (LH₂) har et energiinnhold per volum på 2,5 kWh /l. Teknologi for flytendegjøring og lagring av flytende hydrogen er langt utviklet og brukes ved lagring av hydrogen for romfart. Kryogene lagringstanker med såkalt «screen-vacuum» varmeisolasjon muliggjør effektiv lagring av flytende hydrogen uten for store avgassingstap. I kryogene lagringstanker kombineres lav temperatur med høyt trykk.

Energitapet for flytendegjøring varierer med størrelsen på anlegget. Generelt kan man si at om

lag 30 prosent av energien i hydrogengassen (basert på nedre brennverdi) går tapt i prosessen. Dette gjør at flytende hydrogen er utelukket i energisystemer der energieffektiviteten er kritisk. Dessuten vil avdamping være en utfordring med flytende hydrogen. Det betyr et en bil med nedkjølt flytende hydrogen på tanken ikke vil kunne stå i ukevis. Drivstoffet blir således «ferskvare» som fordampes over tid.

Lagring i faste stoffer

En rekke materialer kan lagre hydrogen i faste forbindelser. Man skiller mellom adsorpsjon på overflater og kjemisk absorpsjon. Adsorpsjon på overflater er mest effektivt ved lave temperaturer og i de fleste tilfeller er den reversible lagringskapasiteten ved romtemperatur ganske liten. To eksempler på slike systemer er mikroporøse materialer og karbon.

Mange metaller danner sammen med hydrogen såkalte metallhydrider, som er velegnet for reversibel hydrogenlagring. Ut i fra forskjeller i kjemiske egenskaper skiller det mellom to typer metallhydrider; interstitielle metallhydrider og komplekse metallhydrider. I begge typer foregår atomær lagring av hydrogen.

De metaller/legeringer som er aktuelle som lagringsmedium for hydrogen avgir varme når hydrogen tas opp. Kjøling kan derfor være nødvendig ved opplading. Tilsvarende må varme tilføres for å frigi hydrogengass. Dette avhenger av applikasjonen, og hvor hurtig hydrogen frigjøres eller opptas. Generelt er fordelene ved lagring av hydrogen i metallhydrider at det kan oppnås en meget høy lagringstetthet ved alminnelig trykk og temperatur. Hydrogentettheten er større i mange metallhydrider enn i flytende hydrogen. I tillegg har lagring i metallhydrider den fordel at de er faste stoffer som kan håndteres uten store problemer ved vanlige trykk og temperaturer.

Hydrogenrike forbindelser – hydrogenbærere

Hydrogen kan lagres i kjemiske forbindelser, for eksempel metanol, metan eller ammoniak. Dette er forbindelser som gir en tilfredsstillende energitetthet for mange formål. Man er imidlertid avhengig av at hydrogenbæreren prosesseres og avgir ren hydrogen ved sluttbruk, eller at brenselcellen kan håndtere slike forbindelser direkte. Fastoksidbrenselceller (SOFC) kan gå direkte på metan, uten ekstern reformering til hydrogen, og direkte metanolbrenselceller (DMFC) kan gå direkte på

metanol uten ekstern reformering. For nærmere omtale av brenselceller, se kapittel 4.2.6.

Infrastruktur – sentral storskalaproduksjon eller småskala desentral

Forskjellige infrastrukturer og transportløsninger kan være aktuelle for distribusjon av hydrogen. Hva slags energitjenester sluttbruker etterspør og lokalisering av produksjonssted vil avgjøre hvordan hydrogenet bør bringes fram. I områder med stor etterspørsel og rimelig nærhet til produksjonsstedet kan distribusjon av hydrogengass i rørledninger være aktuelt. Bruk av eksisterende rørinfrastruktur for naturgass kan i noen sammenhenger være et alternativ. For transport av store kvanta over lengre avstander kan flytende hydrogen i tanker på skip eller tankbil være en mulighet. Disse infrastrukturløsningene er mest aktuelle i forbindelse med storskala hydrogenproduksjon, for eksempel ved naturgassreformering.

En av fordelene med hydrogen er imidlertid at den kan produseres fra flere energikilder, og at man ikke er avhengig av bare en sentral energikilde. Dette kan i fremtiden redusere noe av behovet for å transportere hydrogen over lange avstander. Hydrogenproduksjon i mindre skala kan foregå for eksempel i tilknytning til en fyllestasjon for kjøretøy. Produksjonen kan ha en eller flere energikilder, eller hente energi fra elektrisitetsnettet til elektrolyse.

4.2.5 Sikkerhet og standarder

Generelt er hydrogen ikke farligere enn andre brensel og drivstoff, men risikomomentene er til dels forskjellige og bruk av hydrogen krever tilpasset teknologi.

Hydrogengass er fargeløs og luktfri, og den er ikke giftig. Blandinger av hydrogen og luft er imidlertid eksplosive, med vide grenser for antennelse og detonasjon. En konsentrasjon på 18 volumprosent eller mer hydrogen i luft er eksplosjonsfarlig og vil kunne selvantenne. En gnist vil teoretisk kunne tenne helt ned mot 4 volumprosent hydrogen. Praktiske forsøk viser imidlertid at selv med gnist vil man ikke få antenning før ved 10 volumprosent hydrogen i luft. De fleste gnister vil til sammenligning også antenne damp av bensin og diesel, for disse allerede ved 1–2 volumprosent i luft. Hydrogen blander seg meget hurtig med luft og fortynnes dermed raskt til ufarlige konsentrasjoner. Utslipp av 2000 liter flytende hydrogen i friluft vil nå ufarlige konsentrasjoner i løpet av om lag 1 minutt. Hydrogenflammen

beveger seg 10 ganger raskere enn flammer fra hydrokarboner og brenner uten synlig flamme. Varmestrålingen fra en hydrogenflamme er mye lavere enn stråling fra hydrokarbonflammer. Det betyr redusert risiko for at nærstående stoffer tar fyr eller at mennesker skades.

Man må være omhyggelig ved valg av materialer og konstruksjon av utstyr for hydrogen. Gassen har lett for å lekke gjennom små sprekker, pakninger og liknende, fordi hydrogenmolekylene er så små. Hydrogen diffunderer inn i stål og andre metaller. Dette kan forårsake materialsprøhet («hydrogensprøhet») som kan svekke materialet og gi brudd. Disse problemene kan imidlertid ivaretas ved tilstrekkelige sikkerhetsforanstaltninger.

I lukkede rom er det viktig med utluftningsmuligheter på de høyeste punktene i taket, og en må ha gode og pålitelige detektorer som gir alarm ved lekkasje av hydrogen. Ute i friluft er det liten sannsynlighet for eksplosjoner, fordi hydrogen som leker ut vil forsvinne fort til værs på grunn av sin lave tetthet. Dette i motsetning til tyngre gasser som propan eller bensindamp, som vil samles opp nær bakken og utgjøre stor eksplosjonsfare. En bensinbrann i en bil varer i for eksempel 20 minutter, mens en tilsvarende hydrogenbrann er over på tiendeparten av den tiden.

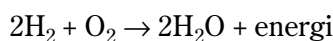
En viktig forutsetning for utbredelsen av hydrogen er at det defineres internasjonale standarder og sikkerhetskriterier for forskjellige egenskaper ved hydrogen til energiformål og teknologier knyttet til hydrogenbruk. Det må for eksempel være mulig å fylle en hydrogenbil i forskjellige land uten risiko for at man fyller hydrogen med feil renhet eller feil påfyllingstrykk.

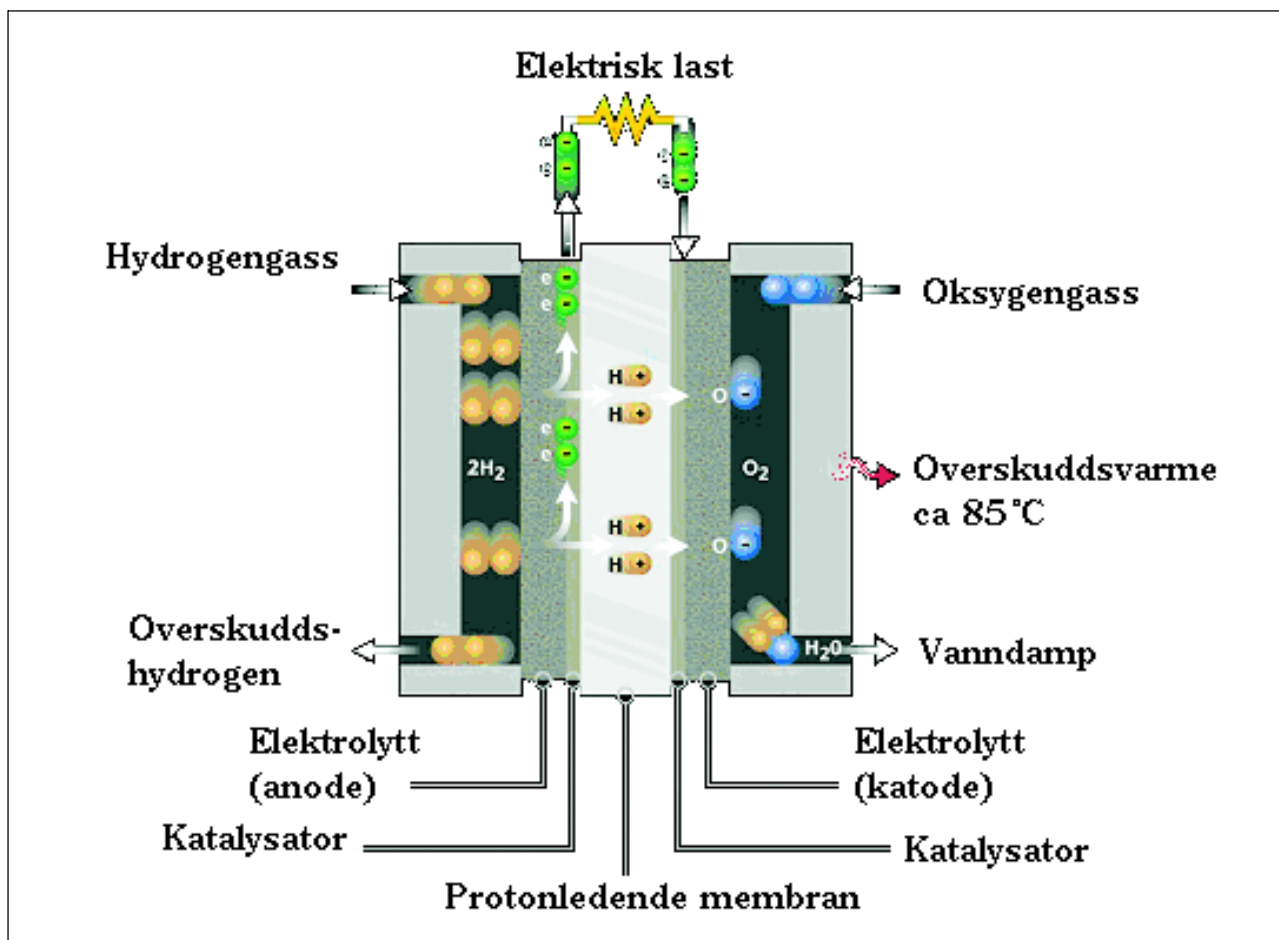
4.2.6 Sluttbruk av hydrogen

Den kjemiske energien som er bundet i hydrogen må omvandles til varme eller til elektrisk energi for å kunne nyttiggjøres. Som energibærer kan hydrogen anvendes på to måter:

- Ved forbrenning, hvor hydrogen omvandles til varme og mekanisk energi i en forbrenningsmotor i et kjøretøy, eller til elproduksjon i et varmekraftverk.
- Ved direkte elektrokjemisk omvandling til elektrisk energi (og varme) i en brenselcelle.

Totalreaksjonen er den samme i en brenselcelle som i en vanlig forbrenning:





Figur 4.4 Prinsippskisse for en PEM-brenselcelle (Proton Exchange Membrane Fuel Cell).

Kilde: Ballard Power Systems Inc.

Hydrogenbrennere, forbrenningsmotorer og turbiner

Hydrogen kan forbrennes i hydrogenbrennere, forbrenningsmotorer og gassturbiner.

Hydrogenbrennere er i dag i bruk i noen få større industrielle prosesser for å produsere varme i størrelsesorden 1 MW. Teknologien er tilsvarende for naturgassbrennere. Forbrenning av hydrogen skjer ved svært høy temperatur, slik at dannelse av NO_x kan være et problem.

Forbrenningsmotoren, eller Ottomotoren, er i utgangspunktet egnet for drift på hydrogen. Forbrenningsmotorer kan brukes både til drift av kjøretøy og ved stasjonær kraft og varmeproduksjon. Teknisk sett kan forbrenningsmotorer for hydrogen anses for å være tilgjengelig med sammenlignbare ytelser som dagens bensinmotorer. Bilprodusenten BMW gjennomførte en «verdensturne» med hydrogenbiler som kunne kjøre både på hydrogen og naturgass som drivstoff, for å demonstrere teknologien. Forbrenningsmotorene har

imidlertid ikke så god virkningsgrad som brenselceller.

Gassturbiner som går på hydrogen har, i likhet med hydrogenbrennere og forbrenningsmotorer, høy forbrenningstemperatur. Dette gjør at hydrogenet ofte tilføres i blanding med andre gasstyper for å senke temperaturen og dermed unngå dannelse av NO_x . Virkningsgraden ved bruk av hydrogen som brenngass i større turbiner er anslått til om lag 40 prosent. Større gassturbiner vil være mest egnet i store sentrale kraftgenereringsanlegg i kombinert syklus (Combined Cycle) med damp-turbiner, gjerne integrert i et gassprosesseringsanlegg og med CO_2 -håndtering².

Brenselceller

En brenselcelle fungerer i prinsippet på samme måte som et batteri bortsett fra at reaktantene (hydrogen og oksygen) ikke er lagret inne i cellen,

2. CO_2 -håndtering – Samlebetegnelse på fangst (separasjon, utskillelse), transport og lagring av CO_2

men tilføres cellen utenfra. Hydrogen kan komme fra en lagertank og oksygen fra lufta i omgivelsene. Virkemåten for eksempelvis en PEM-brenselcelle kan forenklet beskrives slik: Hydrogen i gassform (H_2) blåses inn i cellen, oksideres på anoden og frigjør to elektroner (e^-) og to protoner (H^+) ved hjelp av en katalysator. Protonene ledes deretter gjennom den protonledende membranen, mens elektronene går i en elektrisk strøm i en ytre krets og driver den elektriske lasten, for eksempel en elektromotor. Elektronene strømmer til katoden der de sammen med protonene og oksygen danner vann, som er det eneste sluttproduktet fra en slik reaksjon, jf figur 4.4.

Anodereaksjon: $2H_2 \rightarrow 4H^+ + 4e^-$

Katodereaksjon: $4H^+ + 4e^- + O_2 \rightarrow 2H_2O$

Totalreaksjon: $2H_2 + O_2 \rightarrow 2H_2O + \text{energi}$

En rekke brenselceller er utprøvd i laboratoriet og noen er også kommersialiserte. Brenselceller kan inndeles etter arbeidstemperatur; høytemperaturceller over om lag $500\text{ }^\circ\text{C}$, og lavtemperaturceller under om lag $200\text{ }^\circ\text{C}$. De gis gjerne navn etter hvilken type elektrolytt som benyttes.

Lavtemperaturceller:

Alkaliske brenselceller (Alkaline Fuel Cells – AFC). Denne brenselcellen er brukt mye innen romfart. Den må ha svært rent hydrogen som drivstoff og har en virkningsgrad på om lag 50 prosent. Arbeidstemperaturen er vanligvis $70\text{--}100\text{ }^\circ\text{C}$, mens trykksatte systemer kan operere opp til $200\text{ }^\circ\text{C}$. Alkaliske celler har lav energitetthet, hvilket betyr at cellene blir voluminøse. Disse har trolig kun potensial for mindre enheter (inntil 50 kW) for stasjonære applikasjoner, men kostnadene er lavere enn de andre celletypene.

Protonledende membranbrenselceller (Proton Exchange Membrane – PEMFC) er en brenselcelle det for tiden er rettet mye oppmerksomhet mot. De er enkle og kompakte, har arbeidstemperatur $60\text{--}80\text{ }^\circ\text{C}$, har høy ytelse og passer svært bra for bruk i kjøretøyer. De må ha edelmetallkatalysator. Disse forgiftes imidlertid lett av CO-rester i hydrogen fra reformeringsprosesser. Virkningsgraden ligger på typisk 45 prosent. Virkemåten for en PEM-brenselcelle er illustrert i figur 4.4.

Fosforsyrebrenselceller (Phosphoric Acid – PAFC). Brenselcellene har vært kommersielt tilgjengelig siden tidlig på 90-tallet og brukes til kraft-varmeproduksjon. Det finnes mer enn 200 slike brenselceller (hver på 200 kW) i bruk i dag, knyttet til hoteller, postvesen, sykehus, militære anlegg, med

mer. Virkningsgraden ligger på om lag 40 prosent (elektrisk). I tillegg kan varme utnyttes slik at totalvirkningsgraden kan bli over 70 prosent. Arbeidstemperaturen ligger på om lag $200\text{ }^\circ\text{C}$. Dette er den eneste brenselcelleteknologien som per i dag kan vise til stabil drift over 5 år (40 000 timer).

En ny type høytemperaturmembraner som tåler $200\text{ }^\circ\text{C}$, og dermed også CO fra reformert naturgass eller andre hydrokarboner/alkoholer, er under uttesting. Blant annet er NTNU med i et EU-prosjekt på dette. Membranen benytter fosforsyre som protonleder (en hybrid mellom PEMFC og PAFC).

Direkte metanol brenselceller (Direct Methanol – DMFC) benytter ikke-reformert metanol som brensel. Brenselcellen er egnet for små bærbare applikasjoner, for eksempel bærbare datamaskiner, eller for mobile kraftkilder. Virkningsgraden er om lag 30 prosent, mens arbeidstemperaturen ligger på opp til $80\text{--}90\text{ }^\circ\text{C}$. Metanoldrevne brenselceller for høyere temperaturer (omlag $200\text{ }^\circ\text{C}$) er under utvikling. For disse cellene spaltes metanol til hydrogenrik gass i en reformer før den tilføres cellene.

Høytemperaturceller:

Karbonatsmeltebrenselceller (Molten Carbonate – MCFC) er egnet for stasjonær kraft-varmeproduksjon i større enheter. Hydrogen eller CO kan brukes som brensel og virkningsgraden ligger på om lag 50 prosent. Arbeidstemperaturen er $600\text{--}700\text{ }^\circ\text{C}$. Disse cellene kan også kombineres med mikrogassturbiner. Større anlegg (opptil 3MW) er i designfasen. Denne type brenselceller egner seg godt for utnyttelse av gasser fra avfallsdeponier.

Fastoksidbrenselcellene (Solid Oxide – SOFC) er egnet for stasjonær kraft-varmeproduksjon for husholdninger og for anvendelser opptil noen 100 kW. Større systemer er ventet i fremtiden. Den kan bruke naturgass som brensel og har en elektrisk virkningsgrad på om lag 45 prosent. Arbeidstemperaturen er typisk $800\text{--}1000\text{ }^\circ\text{C}$. Den høye arbeidstemperaturen gjør det mulig å kombinere fastoksidbrenselcellene med gassturbiner og få elektriske virkningsgrader på $60\text{--}70$ prosent. Utnyttet varmen i tillegg, kan totalvirkningsgraden nå om lag 80 prosent.

Teknologiske utfordringer:

AFC og PEMFC er utprøvd i systemer på noen titalls kW, MCFC og SOFC i $200\text{--}300$ kW størrelse. PAFC system er testet i flere MW-størrelser, den største på 11 MW.

Før brenselceller slår gjennom kommersielt innen de viktigste anvendelsesområdene, transport og stasjonær kraft-varmeproduksjon, er det en rekke teknologiske utfordringer som må løses. De viktigste er:

- Redusere bruken av dyre materialer og edelmetaller, for eksempel i katalysatorer.
- Utvikle nye, mer stabile materialer slik at ytelsen og levetiden kan økes.
- Redusere vekt og størrelse. Dette gjelder i første rekke brenselceller for transportformål og bærbare applikasjoner.

Kapittel 5

Internasjonal satsing på hydrogen

5.1 Innledning – oppsummering

Satsingen på hydrogen og brenselceller har internasjonalt fått et betydelig løft i de siste årene. Det er brukt økte ressurser på forskning og utvikling (FoU) samtidig som internasjonale initiativ for økt samarbeid over landegrensene er etablert. En rekke land er i ferd med lage strategier for sin satsing.

I en globalisert verden med økende energietterspørsel, usikkerhet rundt oljeleveranser fra urolige områder og internasjonale klimaavtaler, blir hydrogen sett på som en fremtidig løsning. En overgang som innebærer at hydrogen tas i bruk som energibærer vil innebære store muligheter for næringslivet. Dette har gjort bilindustrien verden over til en av de viktigste drivkreftene. Land som Japan, USA, Tyskland og Canada er da også i teten innenfor satsingen.

Et fellestrekk ved landenes satsinger er det tette samarbeidet mellom myndigheter, industri og akademia. Det er videre en felles oppfatning om at hydrogen på lang sikt muliggjør en miljøvennlig energiforsyning, at fossile energikilder må kunne brukes i en overgangsperiode, og at CO₂-håndtering vil gjøre også fossile energikilder miljøvennlig akseptable. Særlig i USA og Japan, men også i EU, er forsyningssikkerhet og en økende oljeimportavhengighet en viktig begrunnelse for hydrogensatsingen. Med hydrogen som energibærer, vil nasjonale energikilder kunne utnyttes i større grad og redusere denne avhengigheten.

Japan har helt siden oljekrisen i 1973 hatt en betydelig satsing på energiforskning, herunder brenselceller og hydrogen. Innenfor brenselcelleforskningen er bilindustrien den viktigste pådriveren. En erklært målsetting er at 50 000 brenselcellekjøretøy skal være på det japanske markedet innen 2010, og 5 millioner innen 2020.

Amerikanske myndigheter har i de siste par årene gått inn i hydrogen- og brenselcellesatsingen med tyngde både nasjonalt og internasjonalt. Offentlige midler til hydrogenrelatert FoU økte med 60 prosent fra 2003 til 2004. Hydrogenprogrammet styres etter en rekke kostnads- og ytelseskrav som må imøtekommes før en forventer at

markedet kan ta kommersielle beslutninger. I tillegg har mange amerikanske stater egne hydrogenprogram. *California Fuel Cell Partnership* (se boks 5.2) er spesielt kjent. USA tok våren 2003 initiativ til *International Partnership for the Hydrogen Economy (IPHE)*.

Canadas satsing var i utgangspunktet knyttet til utviklingen av brenselceller, og landet har i dag en av verdens mest betydelige brenselcelleprodusenter (Ballard). I dag satses det bredt på hydrogenrelaterte teknologier som et svar på klimautfordringene og for å posisjonere seg for et potensielt internasjonalt marked.

EUs hydrogen- og brenselcellesatsing har til nå vært knyttet opp til rammeprogrammene for forskning. Med EU-kommisjonens vedtak i januar 2004 om å opprette en egen organisasjon for koordinering av FoU innen hydrogen og brenselceller, har satsingen fått en mer synlig plass. Medlemslandene har i ulik grad hatt egne satsinger. Tyskland har hatt den mest betydelige. Island har satt seg som mål å bli verdens første hydrogenøkonomi.

Hydrogen- og brenselcellesatsingen er preget av utstrakt internasjonalt samarbeid. Slik kan en legge til rette for samordnede satsinger, begrense kostnadene og fremskynde overgangen til et hydrogensamfunn. Norge er aktivt med i dette samarbeidet, både gjennom deltakelse i EUs rammeprogram for forskning og den nye organisasjonen EUs *Hydrogen and Fuel Cell Technology Platform, International Partnership for the Hydrogen Economy (IPHE)*, *Carbon Sequestration Leadership Forum (CSLF)* og Det internasjonale energibyrådet (IEA) med flere. I tillegg har vi inngått bilaterale samarbeidsavtaler med USA og Japan som omfatter hydrogen og brenselceller. Dette gir mulighet for norsk industri og forskningsmiljøer til å delta i viktige internasjonale prosjekter.

5.2 Japan

5.2.1 Bakgrunnen for hydrogensatsingen

Japan importerer rundt 80 prosent av sin primærenergi, hvorav olje står for mer enn halvparten. Samtidig er landet verdens største importør av

LNG, og tar mer enn 50 prosent av det som er på verdensmarkedet. De to oljekrisene i 1970-årene demonstrerte sårbarheten i den japanske energistrukturen. Stabil og sikker tilførsel av energi har derfor stått sentralt i energipolitikken.

Myndighetenes overordnede målsetning kan kort beskrives gjennom de «3 E'er: Energy Security, Economic Growth og Environmental Protection». Disse målene er igjen knyttet til utfordringer som knapphet på energiresurser, økning i energibehovet og global oppvarming. Statsminister Koizumi har fremhevet hydrogen og brenselceller som ledd i et fremtidig bærekraftig energisystem ved flere anledninger:

«Fuel cell vehicles have come to market in Japan earlier than anywhere in the world ... The fuel cell is the key to opening the doors to a hydrogen economy.»

Han har også offisielt kjørt de to første prekommerielle brenselcelledrevne bilene i verden som ble lansert av Honda og Toyota i desember 2002.

Det er et mål å bruke flere nasjonale kilder til energiproduksjon og legge til rette for en mer diversifisert energiforsyning. Hydrogen som energibærer skal være med på å skape fleksibilitet og økt forsyningssikkerhet. Aktuelle hydrogenkilder i et mer langsiktig perspektiv er blant annet biprodukt fra industri, petroleum, naturgass, vannkraft, sol, vind og biomasse. Desentralisert energiproduksjon og små stasjonære brenselcelleanlegg vil kunne redusere belastningen på elektrisitetsnettet, særlig i august og september da behovet for klimakjøling er størst.

Myndighetene har i sin overordnede FoU-politikk prioritert åtte fagretninger for å kunne få den japanske økonomien på fote og samtidig sikre en bærekraftig utvikling. Energi og miljø er to av disse. Brenselcelle- og hydrogensatsingen åpner opp for nye nisjer for eksisterende industri og muligheter for etablering av ny industri.

Japan har gjennom sin raske økonomiske vekst etter krigen opplevd store lokale miljøproblemer. Problemene toppet seg i 1970-årene og ulike tiltak har vært iverksatt. Målet er å være et foregangsland innenfor bærekraftig utvikling. Japan ratifiserte Kyoto-protokollen i mai 2002 og har forpliktet seg til å redusere sine utslipp av klimagasser med 6 prosent sammenliknet med 1990-nivå. Fornybar energi, og hydrogen brukt i brenselceller, er sett på som en viktig plattform for utvikling av et bærekraftig samfunn med fortsatt økonomisk vekst. Japanerne ser på en transisjonsfase med bruk av

fossile brensel som nødvendig for å opparbeide seg tilstrekkelig erfaring for et hydrogensamfunn basert på fornybar energi.

5.2.2 Samspillet mellom myndigheter, industri og akademia

Den lange tradisjonen med koordinert nasjonal satsing innen energisektoren med deltakelse fra industri og akademia, har vært et viktig utgangspunkt for planlegging, implementering og praktisk gjennomføring av hydrogen- og brenselcellesatsingen. Aktørene deltar i alle faser i satsingen, fra utformingen av politikken til gjennomføring av FoU- og demonstrasjonsprosjekter.

På myndighetssiden deltar først og fremst Ministry of Economy, Trade and Industry (METI). METI er den største bidragsyteren til nasjonale programmer og har den sterkeste innflytelsen på utformingen av overordnet energipolitikk. De akademiske miljøene er først og fremst representert ved universitetene og ulike forskningsinstitutter. Fra industrien er det hovedsakelig fire typer aktører:

- Bilprodusenter
- Produkt- og systemleverandører for stasjonære brenselceller
- Energileverandører (både elektrisitet og gass)
- Brukere (hovedsakelig prosessindustri)

Bilindustrien er lokomotivet i den integrerte industriutviklingen. Bransjen sitter tradisjonelt sett på toppen i en verdipyramide, der de styrer et samspill mellom mindre industriaktører innenfor krevende teknologiområder. Et slikt samspill gjør at utviklingen av brenselcelleteknologi lettere kan gjøres operativ. En satsing på hydrogen og brenselceller kan styrke industriens konkurransevne.

Opprettelsen av *Policy Study Group for Fuel Cell Commercialization* i 1999 har vært et viktig grunnlag for et forpliktende samarbeid mellom aktørene. Studiegruppen ledes av akademia. Formålet har vært å etablere en nasjonal politikk som skal legge til rette for kommersialisering av brenselceller. Industriens involvering ble ytterligere forsterket i 2001 med etableringen av en operativ privat organisasjon kalt *Fuel Cell Commercialization Conference of Japan*. Organisasjonen har 137 medlemmer, hovedsakelig fra industrien. Organisasjonen skal bidra til å løse utfordringer knyttet til praktiske anvendelser av brenselceller gjennom et tett samspill med studiegruppen.

5.2.3 Målsetninger

I kjølvannet av oljekrisene satte Japan i gang en storstilt satsing på forskning og utvikling gjennom langsiktige nasjonale programmer:

- Sunshine project (FoU på fornybar energi – startet 1974)
- Moonlight project (FoU på energieffektivisering – startet 1978)
- Global Environment Technology Project (FoU på energiteknologi relatert til klimapåvirkning).

Disse ble i 1993 slått sammen til *New Sunshine Project* for å skape en mer helhetlig og integrert satsing på energiforskningen. I alle prosjektene har industrien deltatt i tett samarbeid med nasjonale forskningsinstitutter. Samarbeidet er koordinert gjennom den halvoffentlige organisasjonen NEDO (New Energy and Industrial Technology Development Organization). NEDO er løst knyttet til METI.

WE-NET-programmet

I 1993 ble det første nasjonale hydrogenprogrammet WE-NET (World Energy Network Program) initiert under New Sunshine Project. Dette var et supplement til de eksisterende brenselcelleprogrammene som la vekt på utviklingen av selve brenselcellen. Målet var å skaffe seg erfaring med et hydrogenbasert system og å legge til rette for kommersiell introduksjon av brenselceller gjennom utvikling av infrastruktur, demonstrasjoner og uttestinger. I en overgangsfase tenkte en seg produksjon av hydrogen fra naturgass, men på lang sikt skulle en legge til rette for hydrogen fra fornybare kilder som kunne tilføres landet via et internasjonalt nettverk (derav navnet på programmet). Programmet ble avsluttet i mars 2003 til fordel for mer kortsiktige og markeds spesifikke satsinger. WE-NET-programmet var delt inn i to faser:

- Fase 1 (1993–1999): FoU-satsing på transport, lagring og sikkerhet
- Fase 2 (1999–2003): Verifikasjon av teknologi og infrastruktur løsninger

Japans «veikart»

I samarbeid med industrien har japanske myndigheter lagd et «veikart» som har satt nye milepæler for praktisk anvendelse og kommersialisering av hydrogen og brenselceller. Målet er å implementere «Utviklingsstrategi for brenselcelleteknologi» av 8. august 2001. Japanernes satsing er særlig ret-

tet mot sluttbrukersiden, og bygger på WE-NET-programmet. Satsingen omfatter forskning, demonstrasjon og markedsintroduksjon med særlig vekt på membraner, katalysatorer, lagring av hydrogen, ombord reformering og Gas-To-Liquid-teknologi (GTL). Videre har *Millennium Project* (2000–2004) som mål at Japan skal lede an internasjonalt for etablering av koder, standarder, reguleringer og testmetoder. Det vil kunne gi japansk industri konkurransefortrinn.

Det er satt tallfestede kostnadsmål for brenselceller:

- Kostnad for brenselcelle i kjøretøy skal være mindre enn 5 000 Yen/kW¹.
- Kostnad for stasjonær brenselcelle skal være mindre enn 300 000 Yen per enhet for husholdninger og mindre enn 150 000 Yen/kW for forretningsbygg.

Det er skissert en strategi i tre faser med tilhørende målsetninger:

2000–2005: Basisutvikling og demonstrasjonsfase for teknologi

- Videreføre aktiviteter, programmer og demonstrasjonsprosjekter som har vært gjennomført med industri og akademia innen FoU (jf. kapittel 5.2.4)
- Utvikle regelverk og standarder med tanke på internasjonal harmonisering.

2005–2010: Introduksjonsfasen for brenselceller

Dette er den prekommersielle fasen for introduksjonen av praktiske brenselcelleapplikasjoner. Større pålitelighet og reduserte kostnader er en forutsetning. Målene er:

- Å starte installasjon av effektive leveransesystemer for hydrogen eller hydrogenrikt brensel til brenselcelleapplikasjonene
- 50 000 brenselcelledrevne kjøretøy i det japanske markedet
- Å øke utbredelsen av stasjonære brenselceller i det japanske markedet opp til totalt 2,1 GW installert elektrisk effekt
- Å oppnå en markedsstørrelse i Japan tilsvarende 1 billion Yen (10¹²) (70 milliarder kroner)

2010–2020: Markedspenetrering

I denne fasen tror japanerne at det er mulig å la markedsutviklingen skje under kommersielle betingelser. Det må fortsatt satses på kostnadsreduksjon fra industriens side. Det kommer til å være behov for videre utbygging av logistikkjeder for

1. 100 Yen = NOK 6,40, per 16. april 2004

hydrogen som følger den forventede veksten i markedet. Målene er:

- 5 millioner brenselcelledrevne kjøretøy i det japanske markedet
- Å øke utbredelsen av stasjonære brenselceller i det japanske markedet opp til totalt 10 GW installert elektrisk effekt
- Å oppnå en markedsstørrelse i Japan tilsvarende 8 billioner Yen (8×10^{12}) (600 milliarder kroner)

5.2.4 Virkemidler

5.2.4.1 FoU-program

Japan har arbeidet systematisk med utvikling av brenselceller helt siden oljekrisene. Noe av dette har vært drevet gjennom myndighetsfinansierte programmer, med sterk involvering fra industrien. I denne 30-årsperioden har myndighetene brukt over 200 milliarder Yen (13 milliarder kroner) på utvikling av ulike brenselcelleteknologier. Grunnleggende aktiviteter, spesielt relatert til materialteknologi, har vært drevet parallelt fra universiteter og forskningsinstitutter. I tillegg har industrien hatt en egen storstilt satsing.

Følgende program rettet mot brenselceller har vært gjennomført i Japan:

Phosphoric Acid Fuel Cell (PAFC):

- Utvikling og testing, 200–1000 kW anlegg (1983–90)
- Prototyper, 1000–5000 kW anlegg (1991–97)
- Demonstrasjonstesting (1992–)

Molten Carbonate Fuel Cell (MCFC):

- Utvikling og testing, 10–100 kW stack² (1984–86)
- Prototyper, opp til 1000 kW anlegg (1992–99)
- Prototyper, 300 kW system (2000–04)

Solid Oxide Fuel Cell (SOFC):

- Utvikling og testing, 100 kW stack (1989–95)
- Utvikling og testing, kW-klasse stack (1992–00)
- Testing av 1–20 kW moduler (2001–04)

Proton Exchange Membrane Fuel Cell (PEMFC):

- Utvikling og testing, 1 kW stack (1992–95)
- Testing av 2, 10, 30 kW systemer (1995–00)
- Videre FoU og testing (kjøretøy og stasjonære anlegg) (2001–04)

2. Stack: En enkelt brenselcelle er et system med en elektrolytt og elektrode på hver side. En stack er slike flate enkeltceller lagt lagvis på hverandre så de til sammen får ønsket elektrisk kapasitet.

Det er rettet størst oppmerksomhet mot utviklingen av PEMFC. Denne brenselcellen blir ansett som best egnet for kjøretøy og små stasjonære anlegg. Videre satses det på SOFC til storskala anlegg med høy effektivitet med mulighet for utnyttelse av spillvarme. Ellers består satsingen i:

- Utvikling av anvendelig komponentteknologi (blant annet membraner, separerende materialer, elektroder, katalysatorer, teknologi for lagring av hydrogen og reduksjon i bruk av kostbare materialer, som for eksempel platina)
- Utvikling av reformerteknologi for hydrokarbonbrensel (blant annet metanol, Dimethylether (DME) og Gas To Liquid-teknologi (GTL))
- Utvikling av grunnleggende teknologi for sikker bruk av hydrogen (innsamling av tekniske data, infrastruktur)
- Utvikling av mikrobrenselceller for bruk i blant annet mobiltelefon, bærebare datamaskiner og liknende

Sammenliknet med tidligere FoU-programmer, legger myndighetene nå opp til en tettere evaluering og justering underveis, både når det gjelder utbygging av infrastruktur og hvordan industriaktivitetene utvikler seg. I tråd med de målene myndighetene operer med frem mot 2020, vil oppmerksomheten være rettet mot forbedret ytelse og kostnadsreduksjon.

5.2.4.2 Demonstrasjonsaktiviteter for markedsintroduksjon

Japan bruker store ressurser på å teste ut og demonstrere «state of the art» teknologi i realistiske omgivelser. I tillegg til å teste ut hvor gode produktene er i seg selv, er målet å forberede sluttbrukere og relevante myndigheter på hydrogensamfunnet. Japan ønsker videre å lede an i forhold til utvikling av standarder globalt («Millennium project») og ser på demonstrasjonsprosjektene som viktige i så måte.

Verifikasjon av brenselceller skal bidra til å bedre forståelse i samfunnet for hydrogen og brenselceller gjennom implementering og demonstrasjon under virkelige forhold. Videre skal prosjektene skaffe til veie data og informasjon om utslipp, energieffektivisering, standard på brenselkvalitet og sikkerhet. Prosjektene er knyttet til:

Testing av brenselcelledrevne biler og hydrogen fyllestasjoner

Etter at to pilotfyllestasjoner ble installert i Osaka (reformer) og Takamatsu (elektrolyser), er oppmerksomheten rettet mot uttesting i Tokyo-regionen gjennom *Japan Hydrogen and Fuel Cell*-prosjektet. Prosjektet demonstrerer og tester brenselcelledrevne kjøretøy på offentlige veier, samt ulike typer fyllestasjoner. De tre japanske bilprodusentene Toyota, Honda og Nissan, i tillegg til Daimler-Chrysler og General Motors, vil teste sine kjøretøy. Det er bygd seks permanente fyllestasjoner i området og en mobil fyllestasjon i regjeringskvartalet. Hydrogenkilder som biprodukt fra industriell sodiumproduksjon, LPG³, flytende hydrogen, metanol, nafta og lav-svovel bensin utprøves og sammenliknes. Tre nye fyllestasjoner planlegges bygget i Tokyo og Yokohama-området i løpet av våren.

Testing av stasjonære brenselceller

Dette er demonstrasjonsprosjekter for mindre stasjonære PEMFC (1–5 kW elektrisk effekt). 31 demonstrasjonssteder er valgt for å teste egenskapene under ulike klimaforhold og bruksmønstre. Samtidig skal man evaluere hvordan stasjonære brenselceller kan påvirke kraftnettet. Prosjektene er delt inn i fire kategorier: Kaldt klima, tettbygde strøk, tett trafikkerte områder og industriområder, samt kystområder. Fire ulike hydrogenkilder er brukt: Naturgass/CNG, LPG, parafin og nafta.

Japanske myndigheter er videre opptatt av deregulering for å legge til rette for tidlig markedsintroduksjon. Eksisterende lov- og regelverk er ikke tilpasset den anvendelsen hydrogen forventes å få, spesielt i forhold til lagring og transport i tettbygde strøk. En regjeringsutnevnt gruppe er ned satt for å se på hvordan man gjennom testing og verifisering kan tilpasse regelverket på en forsvarlig måte og i takt med den introduksjonsplanen som er laget.

5.2.5 Offentlig støtte

Fra myndighetsiden er Ministry of Economy, Trade and Industry (METI) og Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology (MEXT) de største bidragsyterne. Industriens satsing innenfor hydrogen- og brenselcellerelatert

FoU og demonstrasjon er betydelig, men vanskelig å tallfeste.

METI hadde et budsjett for hydrogen- og brenselcellesatsingen på 30,7 milliarder Yen (2,0 milliarder kroner) i 2003, fordelt på følgende måte:

- Utvikling PEMFC teknologi – 5,3 milliarder Yen
- Hydrogenteknologi/produksjonsanlegg – 7,6 milliarder Yen
- Demoprojekt PEMFC applikasjon – 10,6 milliarder Yen
- Utvikling SOFC teknologi – 3,6 milliarder Yen
- Demoprojekt SOFC teknologi – 3,6 milliarder Yen

I METIs budsjett for 2004 er det forslått å sette av 34,1 milliarder Yen (2,2 milliarder kroner).

MEXT hadde i budsjettet for 2003 satt av 500 millioner Yen til et nanoteknologi/materialprosjekt kalt *Next Generation Fuel Cell* (2003–2007). Tall for 2004 foreligger ikke.

I tillegg er det lagt til rette for at sentrale og lokale myndigheter i samarbeid kan støtte stasjonære anlegg med opp til to tredjedeler av investeringskostnadene. Den samlede budsjetteramme for slik støtte blir bestemt årlig. Subsidier ved kjøp av brenselcelledrevne kjøretøy vil bli diskutert i tiden som kommer.

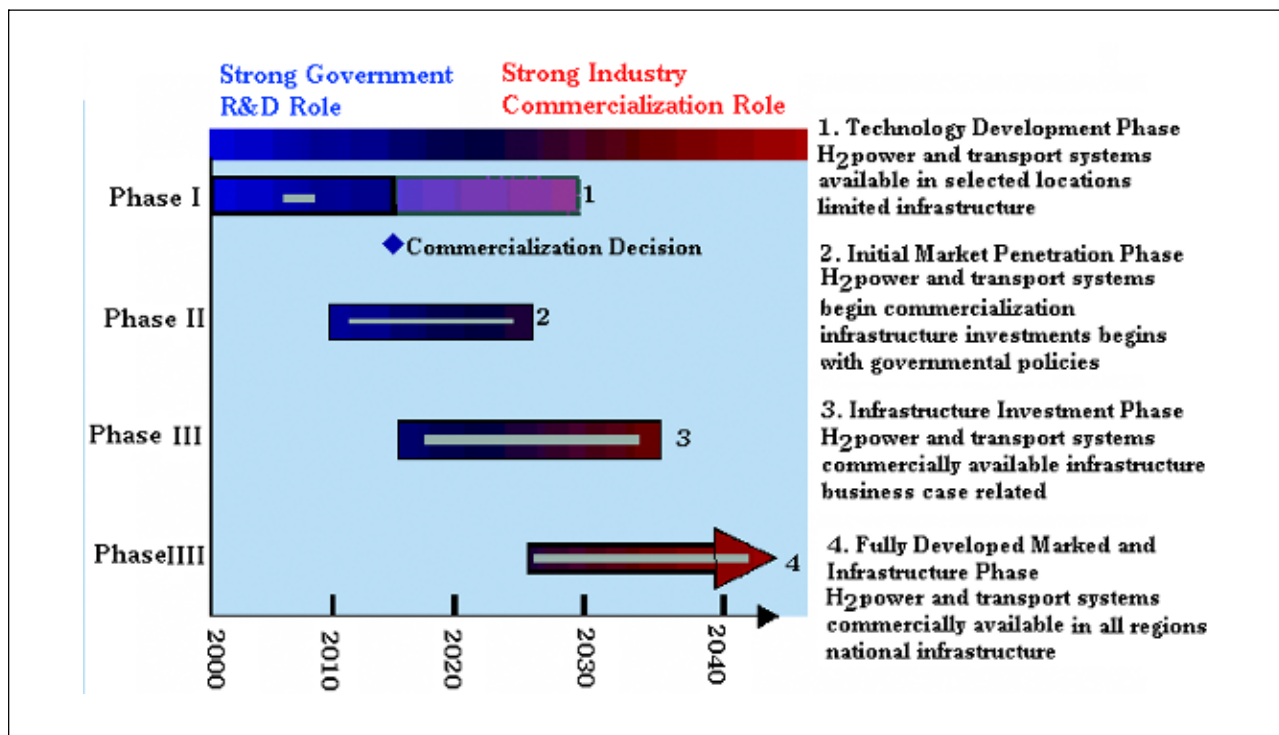
5.3 USA og Canada

I hoveddelen av kapitlet omtales USAs satsing. I kapittel 5.3.5 omtales den kanadiske satsingen.

5.3.1 Bakgrunnen for hydrogensatsingen i USA

USAs energipolitikk har i stadig større grad oppmerksomheten rettet mot forsyningsikkerheten. Det dreier seg i første rekke om å redusere USAs avhengighet av utenlandsk olje. USA bruker i dag 20 millioner fat olje per dag, hvorav 2/3 til transportformål. Over halvparten, 54 prosent, av oljen er importert. Det forventes at importbehovet vil øke til 68 prosent innen 2025. Variasjoner i oljeprisen slår direkte ut i den amerikanske økonomien. Hydrogensatsingen imøtekommer behovet for en mer diversifisert og fleksibel energiforsyning hvor nasjonale energikilder som fossile brensel, fornybare kilder og atomkraft kan brukes til produksjon av hydrogen. Slik skal amerikansk økonomi bli mindre sårbar. Ved å være langt framme innenfor hydrogen, ser amerikanerne også muligheter for

3. LPG – Liquefied Petroleum Gases (Propan og butaner)



Figur 5.1 Utviklingen mot en hydrogenøkonomi, slik det presenteres i de amerikanske myndighetenes plan for implementering

Kilde: US Department of Energy (DOE)

konkurransmessige fortrinn for amerikansk bilindustri.

USA ser på satsingen på hydrogen som en viktig del av sin langsiktige klimapolitikk. USA har imidlertid ikke underskrevet Kyoto-avtalen. I forbindelse med bruk av fossile energikilder til produksjon av hydrogen, er man opptatt av mulighetene for å skille ut og lagre CO₂. Det legges også vekt på at bruk av hydrogen vil bidra til å redusere lokal forurensning. Under merkelappen økt energieffektivitet, blir brenselcellene trukket fram som mer effektive enn forbrenningsbasert elproduksjon. Økt energieffektivitet er i tråd med den overordnede energipolitikken.

5.3.2 Målene for hydrogensatsingen og prosessen bak

I november 2001 samlet Department of Energy (DOE) 50 representanter fra myndighetene og industrien for å lage en «National Hydrogen Vision». Rapporten *National Vision of America's Transition to a Hydrogen Economy – to 2030 and Beyond*, ble publisert i februar 2002. Der heter det at hydrogen i et langsiktig perspektiv har potensial til å løse amerikanernes utfordringer knyttet til forsyningsikkerhet, lokal forurensning og klimagasser. En slik overgang forutsetter myndighetenes delta-

kelse og et tett samarbeid med industrien. Initiativet ble fulgt opp politisk i januar 2002 gjennom energiminister Spencer Abrahams lansering av *FreedomCAR Partnership* som er nærmere omtalt i 5.3.3.2.

Visjonen ble fulgt opp av *A National Hydrogen Energy Roadmap* i november 2002. Dette veikartet var et resultat av et bredt samarbeid mellom DOE og 200 tekniske eksperter fra industri, akademien og nasjonale laboratorier. Det peker på viktige utfordringer og skisserer nødvendige tiltak for å kunne realisere hydrogenvisjonen. Et tett og langsiktig samarbeid mellom myndigheter og industri, hvor de teknologiske utfordringene sees i sammenheng, vil være en forutsetning for å lykkes.

DOE la i februar 2004 frem en plan (Hydrogen posture plan), der de ser for seg flere tiår før markedet kan overta og myndighetene trekke seg ut, jf. figur 5.1. Fase 1 omfatter forskning, utvikling og demonstrasjoner knyttet til avgjørende teknologivalg. Parallelt må det etableres sikkerhetsrutiner, regelverk og standarder før en kan satse bredt på utbygging av infrastruktur. Målet er å bringe teknologiene så langt at det er grunnlag for å ta kommersielle beslutninger i 2015. Det vil fortsatt være behov for forskning på avanserte produksjonsteknologier etter at kommersielle beslutninger er tatt. I fase 2 satses det på markedsintroduksjon. Fra

2010 kan det være interesse for utvalgte stasjonære hydrogenløsninger, bærbare produkter og liknende. Myndighetene kan stimulere markedet gjennom ulike virkemidler og ved å påta seg en rolle som tidlig bruker av hydrogenløsninger. Fase 3 innledes av kommersielle beslutninger om brenselcellekjøretøy i 2015 og følges opp med utvidelse av markedet og en bred satsing på infrastruktur. Myndighetene vil fortsatt ha en rolle i utviklingen av infrastrukturen. Fase 4 begynner i 2025 med marked og infrastruktur på plass. I 2040 ser en for seg at vi kan ha en hydrogenøkonomi.

Politisk blir president Bushs «State of the Union»-tale 28. januar 2003 sett på som en avgjørende milepæl i hydrogensatsingen:

«Tonight I am proposing \$1.2 billion⁴ in research funding so that America can lead the world in developing clean, hydrogen powered automobiles. A simple chemical reaction between hydrogen and oxygen generates energy, which can be used to power a car producing only water, not exhaust fumes.

With a new national commitment our scientists and engineers will overcome obstacles to taking these cars from laboratory to showroom so that the first car driven by a child born today could be powered by hydrogen, and pollution free.

Join me in this important innovation to make our air significantly cleaner, and our country much less dependent on foreign sources of energy.»

5.3.3 Virkemidler

US DOE har lagt opp til en langsiktig forsknings- og utviklingssatsing innenfor hydrogenproduksjon, infrastruktur, brenselceller og hybridkjøretøyer.

Amerikanernes satsing tar utgangspunkt i hvilke krav markedet stiller for å velge hydrogenløsninger. Hydrogenløsningene må kunne konkurrere med alternativene både på pris, ytelse og tilgjengelighet for at produsenter og kunder skal være interesserte.

Virkemiddelapparatet er kjennetegnet ved en sterk sentral styring. DOE er den operative enheten, men jobber tett med fagmiljøene i industrien og akademien.

De ulike teknologiske utfordringene håndteres parallelt og prosjektene vurderes løpende slik at innsatsen kan dimensjoneres underveis. Tanken er at hvis noen teknologiske løsninger henger etter,

så vil det forsinke gjennomslaget for hydrogen som sådan.

5.3.3.1 Hydrogen, Fuel Cells & Infrastructure Technologies Program

Dette er hovedsatsingen innenfor hydrogen. DOE skisserer de teknologiske milepælene som må være nådd for at industrien innen 2015 vil være i stand til å ta kommersielle beslutninger innenfor hydrogen.

Satsingen er gjort operativ gjennom *Multi-Year RD&D Plan*⁵. Dette er en aktivitetsplan for forskning, utvikling og demonstrasjon for perioden 2003–2010. Planen gir uttrykk for hvilke ambisjoner myndighetene, akademien og industrien har for satsingen.

Det er startet med å identifisere barrierene for et hydrogengjennombrudd. Følgende barrierer blir trukket fram:

Teknologiske barrierer:

- Hydrogenlagring i kjøretøy tilfredsstillende ikke kundens behov for rekkevidde uten å gå på bekostning av bagasje- eller passasjerplass
- Hydrogen er 3–4 ganger så dyrt å produsere som bensin
- Brenselceller er 10 ganger så dyrt som forbrenningsmotorer og fungerer ikke i hele bilens levetid

Økonomiske og institusjonelle barrierer:

- Investeringsrisikoen knyttet til hydrogeninfrastruktur er for stor, gitt teknologistatus og gjeldende etterspørsel
- Mangel på felles regelverk og standarder for sikkerhet, mulighet for forsikring, som også hindrer rettfærdig internasjonal konkurranse
- Kunnskapsmangel hos beslutningstakere og publikum

På bakgrunn av barrierene er det definert tre indikatorer som må være oppfylt for å nå målet om at industrien vil ta kommersielle beslutninger om hydrogen innen 2015:

- Hydrogenlagring i kjøretøy må ha en rekkevidde på minst 300 miles
- Hydrogen må være tilgjengelig for kunden på en sikker og effektiv måte og må prismessig kunne konkurrere med bensin
- Brenselceller må gi motorkostnader på mindre enn USD 50/kW

4. 1 U.S. Dollar=NOK 6, 94 per 16. april 2004

5. (<http://www.eere.energy.gov/hydrogenandfuelcells/mypp/>)

DOE har satt en rekke mål for satsingen som resultatene måles opp mot. Målene er konkrete, detaljerte og tidfestede og blir revidert løpende avhengig av hvor raskt man oppnår teknologisk utvikling, tilgangen på private og offentlige midler og andre rammevilkår. Målene er gjengitt i boks 5.1.

Forskningsmiljøene konkurrerer om offentlig støtte til spesifiserte prosjekter som er formulert på bakgrunn av målene. I dag er støtten konsentrert om høyrisiko prosjekter som er tidlig i utviklingsfasen. Om lag 80 prosent av midlene går til FoU og 20 prosent til demonstrasjon. Støtteandelen avhenger av hvor moden teknologien er. Mer grunnleggende forskning, ofte i regi av universitetene, kan få opp til 80 prosent støtte. Støtten til industrien ligger normalt i området 50–80 prosent, avhengig av risikoen knyttet til prosjektet. I teknologitesting og demonstrasjonsprosjekter deles gjerne kostnadene 50/50 mellom myndighetene og industrien.

Etter hvert som teknologiene utvikler seg, vil myndighetenes støtteandel reduseres.

5.3.3.2 FreedomCAR

FreedomCAR (Cooperative Automotive Research) ble lansert i januar 2002. Programmet er et forskningssamarbeid mellom DOE og bilindustrien ved *USCAR* (U.S. Council for Automotive Research). *USCAR* består av DaimlerChrysler, Ford og General Motors.

Frihetsbegrepet i satsingen har flere valører:

- Frihet fra oljeavhengighet
- Frihet fra luftforurensning og CO₂-utslipp
- Frihet for amerikanere til å kjøre hvor de vil, når de vil, og i det kjøretøyet de måtte velge
- Frihet til å få tak i drivstoff enkelt og til gunstig pris

Boks 5.1 Mål for den amerikanske hydrogensatsingen satt av US Department of Energy (DOE)

Hydrogenproduksjon

- Redusere produksjonskostnadene målt ved pumpen for hydrogen fra naturgass eller flytende brensel, fra dagens USD 5,00 per gallon til USD 1,50 per gallon (1 US Gallon = 3,785 liter)
- Utvikle og demonstrere hydrogenproduksjon fra biomasse til USD 2,60 per kg innen 2010 og til en konkurransedyktig pris mot bensin innen 2015, fra dagens kostnad på USD 3,60-USD 3,80 per kg
- Innen 2015 demonstrere direkte splitting av vann til en kostnad på USD 5,00 per kg fotoelektrisk og USD 10 per kg fotobiologisk, fra dagens kostnad på mer enn USD 200 per kg
- Innen 2010 verifisere storskala sentral elektrolyse til USD 2,00 per kg hydrogen, fra dagens USD 2,60 per kg

Hydrogentransport

- Innen 2010 redusere transportkostnaden for levering av hydrogen fra sentral produksjon til fyllestasjon til mindre enn USD 0,70 per kg og kostnadene for «on-site» håndtering til under USD 1,00 per kg

Hydrogenlagring

- Demonstrere «on board» hydrogenlagrings-systemer med 6 prosent kapasitet per vekt-enhet innen 2010 og 9 prosent kapasitet innen 2015

Brenselceller

- Utvikle PEMFC for kjøretøy til en kostnad på USD 45 per kW innen 2010 og USD 30 per kilowatt innen 2015, fra dagens nivå på USD 200 per kW
- Utvikle et distribuert system basert på PEMCF med en elektrisk virkningsgrad på 40 prosent og 40 000 timers levetid til USD 750 per kW innen 2010, fra dagens 30 prosent effektivitet og 20 000 timers levetid til USD 15 000 per kW

Teknologitesting

- Teste et integrert biomasse/vind eller geotermisk elektrolyse-til-hydrogen system til USD 3,30/kg ved anleggsveggen innen 2010

Koder og standarder

- Arbeide nasjonalt og internasjonalt for koder og standarder

Sikkerhet

- Publisere en håndbok om «Best Management Practices» om sikkerhet som gir veiledning for fremtidige forsøk innen 2010

Opplæring

- Lansere en omfattende opplæringskampanje om hydrogenøkonomien og brenselceller innen 2010

Boks 5.2 Satsingen i California



Figur 5.2 California Fuel Cell Partnership

I tillegg til den føderale satsingen under DoE, har mange stater i USA egne satsinger. Spesielt California er langt framme. *California Fuel Cell Partnership* (CaFCP) er et samarbeid mellom bilindustrien, energiprodusenter, brenselcelleprodusenter og offentlige myndigheter som har fått stor oppmerksomhet også internasjonalt. Målet er å gjøre brenselcelledrevne kjøretøy kommersielle og å få slike biler og busser ut på veiene i California. Virkemidlene er blant annet demonstrasjonsprosjekter for brenselcelleteknologi og infrastruktur for alternative drivstoff, og tiltak for å lette kommersialisering og allmenn aksept av brenselcellekjøretøy.

Den daværende kaliforniske guvernøren Gray Davis annonserte opprettelsen av CaFCP 22. april 1999. Organisasjonen består i dag av 30 medlemmer. De ti fullverdige medlemmene er:

- Bilindustrien: DaimlerChrysler, Ford, General Motors, Honda, Hyundai, Nissan, Toyota, Volkswagen
- Brenselcelleprodusenter: Ballard Power Systems, UTC Fuel Cells
- Energiprodusenter: BP, ExxonMobil, Shell Hydrogen, ChevronTexaco
- Offentlige myndigheter: The California Air Resources Board, the California Energy Commission, the South Coast Air Quality Management District, the U.S. Department

of Energy, the U.S. Department of Transportation, the U.S. Environmental Protection Agency

CaFCPs hovedkontor i Sacramento huser brenselcellekjøretøy, en hydrogen-fyllestasjon, en metanolfyllestasjon og lokaler for utprøving av teknologier, vedlikehold av kjøretøy, med videre. I løpet av organisasjonens levetid har den blant annet bidratt med:

- 43 brenselcellekjøretøy på veiene i California, målet er 60 kjøretøy
- 7 hydrogenfyllestasjoner
- 7 brenselcellebusser er bestilt og skal være i rutetrafikk innen 2005
- Gjennomført flere studier knyttet til brenselcelleteknologi og infrastrukturen
- Arrangert flere store konferanser
- Vært på turneer rundt i staten med brenselcellekjøretøy for å spre informasjon
- Utarbeidet skole- og informasjonsmateriale, utviklet en sikkerhetsguide og trening av brannvesenet

CaFCP har laget en ny plan for 2004–2007 som skal bidra til å få flere brenselcellekjøretøy ut til alminnelige brukere i naturlige omgivelser. Mer drivstoffinfrastruktur skal bygges ut, og det skal arbeides tett med lokalsamfunnet. Følgende mål er satt for perioden:

- 300 brenselcellebiler og -busser skal utplasseres i Los Angeles-regionen og i Sacramento/San Francisco-området
- Bygge ut det nødvendige nettverk av fyllestasjoner i de to regionene
- Opplæring av servicepersonell og lokale myndigheter i de to regionene, innspill til koder og standarder
- Informasjon til publikum

Tabell 5.1 Budsjett for hydrogensatsingen i USA

Aktivitet	Finansiering i 1000 USD		
	Budsjettår 03 (vedtatt)	Budsjettår 04 (vedtatt)	Budsjettår 05 (anmodet)
<i>Brenselcelleteknologier (Energisparing)</i>			
Transportsystemer	6,160	7,506	7,600
Distribuerte energisystemer	7,268	7,408	7,500
Stackkomponenter FoU	14,803	25,186	30,000
Brenselprosessering	23,489	14,815	13,858
Teknologivalidering	1,788	9,877	18,000
Støtte til teknisk ledelse og programledelse	398	395	542
<i>Hydrogen teknologi (Energiforsyning)</i>			
Produksjon og forsyning FoU	11,215	22,564	25,325
Lagring FoU	10,790	29,432	30,000
Infrastruktur validering	9,680	18,379	15,000
Sikkerhet, koder & standarder og utnyttelse	4,531	5,904	18,000
Opplæring	1,897	5,712	7,000
Totalt	92,019	147,178	172,825

Kilde: US Departement of Energy (DOE)

Målet er å utvikle nye brensel- og kjøretøyteknologier samt infrastruktur, slik at det skal være praktisk mulig og kostnadseffektivt for mange amerikanere å velge brenselcellekjøretøy innen 2020. Undersøkelser viser at den gjennomsnittlige bilkjøper i USA krever tre års tilbakebetalingstid for å investere i mer drivstoffeffektive biler. Det har begrenset bilindustriens interesse for forskning og utvikling av mer energieffektive kjøretøy.

FreedomCAR er knyttet tett opp til hovedprogrammet for hydrogen som er omtalt i kapittel 5.3.3.2. Det er videre særskilte satsinger på kjøretøy for flere passasjerer og tungtransport.

5.3.4 Offentlig støtte

Samlet legger myndighetene opp til en hydrogensatsing på USD 1,7 milliarder over de neste fem årene. De USD 1,2 milliardene president Bush nevner i sin tale (jf. kapittel 5.3.2) er knyttet til forskning og utvikling på hydrogen og brenselceller (en økning på USD 720 millioner i forhold til tidligere). I tillegg kommer USD 0,5 milliarder til forskning og utvikling på hybridkjøretøy.

I budsjettet for 2004 er det satt av USD 147,2 millioner til satsingen på hydrogen og brenselceller under hovedprogrammet for hydrogen. Det er en økning på 60 prosent i forhold til foregående år.

I budsjettet for 2005 er det forelått å øke satsingen med 17 prosent, til USD 172,8 millioner. Fordelingen på de ulike områdene er gitt i tabell 5.1.

5.3.5 Canada

Canada er nettoeksportør av olje, naturgass, kull, uran og vannkraft. 35 prosent av energi-produksjonen selges til utlandet, i første rekke USA. Canada begrunner sin hydrogensatsing først og fremst med miljøhensyn. Landet har undertegnet Kyotoprotokollen, men mener det ikke vil være mulig å nå de langsiktige klimamålene uten en teknologisk revolusjon. Hydrogenøkonomien blir sett på som en fremtidsrettet løsning. Myndighetene understreker samtidig de fremtidige markedsmulighetene for kanadisk industri innenfor de nye teknologiene.

Kanadiske myndigheter har siden 1978 støttet utviklingen av hydrogen- og brenselcelleteknologier med CAD 200 millioner⁶. Den målrettede tidlige støtten til utvikling av brenselceller, særlig fra forsvarsmyndighetene, blir trukket fram som avgjørende for at kanadiske Ballard i dag er en verdensledende brenselcelleprodusent. Ballard og andre selskaper er etablert i internasjonale nisjemarkeder, særlig innen bil- og forsvarsindustrien.

6. 1 Can. Dollar (CAD) = NOK 5,15 per 16. april 2004

I dag er hoveddelen av investeringene i brenselceller privat finansiert. Myndighetene har inngått et partnerskap med industri og akademia kalt *Hydrogen and Fuel Cell Committee* (H2FCC). Partnerskapet skal tilrettelegge og koordinere utvikling og kommersialisering av kanadiskproduserte hydrogen- og brenselcelleteknologier.

Den kanadiske regjering la i april 2004 fram et program for overgangen til en hydrogenøkonomi, *Charting the Course – a Program Roadmap for Canada's Transition to a Hydrogen Economy*. Programmet bygger blant annet på anbefalingene i *Canada's Fuel Cell Commercialization Roadmap* (2002). Målet er å styrke Canadas rolle innen de ulike hydrogenteknologiene. Samtidig skal man utnytte landets ulike energikilder og på sikt bidra positivt både økonomisk og miljømessig.

Over den neste femårsperioden legger den kanadiske regjeringen opp til å støtte hydrogenrelaterte teknologier og infrastruktur med CAD 215 millioner. Midlene skal forvaltes av H2FCC og skal gå til forskning, utvikling og demonstrasjon. Det er øremerket CAD 60 millioner til prosjekter for tidlige brukere. I tillegg har Canada innført skatteincentiver rettet mot både produsenter og brukere. Dette blir vurdert som viktige virkemidler for forskning og utvikling og tidlig bruk av brenselceller.

Oppmerksomheten er rettet mot infrastruktur og forsyningskjeder, økonomisk og regulatorisk rammeverk og økt aksept for hydrogenløsinger i befolkningen. Satsingen i hjemmemarkedet blir sett på som et springbrett for fremme av kanadiske produkter i et fremtidig internasjonalt marked. Canada ser for seg en aktiv rolle i internasjonalt hydrogensamarbeid og deltar blant annet i arbeidet knyttet til regelverk, koder og standarder. Bilateralt legges det opp til et tett samarbeid med USA, blant annet gjennom storskala demonstrasjonsprosjekter.

Canada vil i 2004 få sitt første demonstrasjonsprosjekt med brenselcellebiler til alminnelig bruk, *Vancouver Fuel Cell Vehicle Program*. Fem brenselcelledrevne Ford Focus vil testes ut av vanlige bilførere i et flerårig program. Myndighetene legger videre opp til å støtte tre til fem prosjekter for tidligbrukere med opp til CAD 40 millioner per prosjekt. Støtteandelen vil normalt ikke kunne overstige 50 prosent. Det forutsettes at to eller flere offentlige og/eller private aktører samarbeider om prosjektet. Under dette initiativet vil blant annet prosjektet *Hydrogen Highway* støttes. Det dreier seg om en utvidelse av eksisterende hydrogeninfrastruktur i British Columbia, som anses som en viktig del av den bærekraftige profilen en søker å

etablere i forbindelse med OL 2010 i Vancouver. Videre er det lansert et prosjekt med «hydrogenlandsbyer» hvor hydrogenteknologier skal testes ut i realistiske omgivelser.

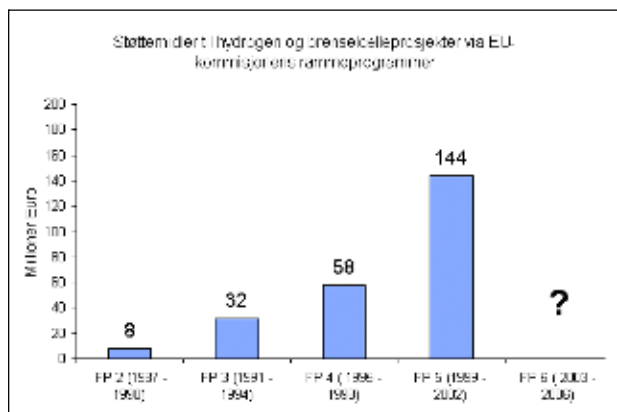
5.4 EUs hydrogensatsing

5.4.1 EUs energipolitikk

EU dekker om lag 50 prosent av sitt behov for primærenergi med import og er med det verdens største energiimportør. De viktigste energikildene er olje, gass, kull og kjernekraft som til sammen står for over 90 prosent av energibruken. Landene i EU førte etter oljekrisen i 1973 en aktiv politikk for å minske avhengigheten av olje, noe som i flere land blant annet innebar en satsing på kjernekraft og utbygging av infrastruktur for gass. Internt i EU står en derfor overfor en diversifisert energiforsyning. Sammensetningen av energiproduksjonen har vært overlatt til det enkelte land.

EU har hittil ikke hatt en egen energipolitikk rent formelt, siden energi ikke er omfattet av EU-traktaten. Likevel er direktiver med stor betydning for energisektoren blitt vedtatt. Den energipolitiske oppmerksomhet internt har økt. Gjennom utviklingen av det indre marked i EU har en samtidig sett behovet for å bygge ut et indre marked for energi. Primært har målet vært å fremme effektivitet og økonomisk vekst i unionen. Denne prosessen ledet fram til direktiver om elmarkedet i 1996 og gassmarkedet i 1998 og senere justeringer av disse i 2003. Et annet viktig hensyn for EU har vært forsyningssikkerhet, et tema som er blitt stadig viktigere i en situasjon der EU må dekke en økende del av sitt energiforbruk ved import. Videre er EU spesielt opptatt av sammenhengen mellom energi og miljø. Dette har vært drivkraften bak satsinger og direktiver innen fornybar energi og energieffektivisering.

Alternative drivstoffer, med særlig vekt på naturgass, biodrivstoff og hydrogen, er en av satsingene i EU. I *Green Paper on the Security of Energy Supply*, og i *White Paper on a Common Transport Policy*, er det lansert et mål om at 20 prosent av drivstofforbruket skal komme fra alternative drivstoff innen 2020. Kommisjonen antar at biodrivstoff og spesielt naturgass kommer inn på markedet de nærmeste årene, og ser for seg et marked for hydrogen først i 2015 til 2020. Intensjonen er at 5 prosent av drivstofforbruket i 2020 skal være hydrogen. EU vedtok i mai 2002 et direktiv for fremme av bruken av biodrivstoff, jf. kapittel 5.4.4.



Figur 5.3 Støttemidler til hydrogen og brenselceller via EU-kommisjonens programmer

Kilde: EU-kommisjonen, DG Research

I de pågående forhandlingene om revisjon av EU-traktaten er det foreslått å ta inn et eget kapittel om energi.

5.4.2 Hydrogenstrategien i EU

Hydrogensatsingen i EUs regi har vært knyttet til forskningsprogrammene, de såkalte rammeprogrammene. Rammeprogrammene er et virkemiddel for å realisere ambisjonen om et felles europeisk forskningsområde i EU og skal bidra til økt koordinering og samarbeid mellom medlemslandene. Det overordnede målet er å bedre europeisk industris internasjonale konkurransevne. Dette skal skje gjennom bærekraftig økonomisk vekst, økt sysselsetting og større vektlegging av miljøhensyn.

Hydrogen og brenselceller har vært temaer innen energiforskning siden EU etablerte sitt 2. rammeprogram (1987–1990). Midlene til brenselceller og hydrogen er mer enn seksdoblet fra 2. til 5. rammeprogram, jf. figur 5.3. Økningen har vært særlig kraftig under 5. rammeprogram. Tidligere la man spesielt vekt på brenselceller, men forskning på hydrogen, produksjon, lagring og infrastruktur har nå fått mer oppmerksomhet. Hvor mye som vil gå til hydrogenrelatert forskning under 6. rammeprogram, vil først være klart når programmet avsluttes.

Et demonstrasjonsprosjekt som har fått særlig stor oppmerksomhet under EUs 5. rammeprogram er «Clean Urban Transport for Europe» (CUTE). Prosjektet ble igangsatt ved årsskiftet 2001/2002, og omfatter drift av 27 brenselcellebusser over to år i ni europeiske byer (Amsterdam, Barcelona, Hamburg, London, Luxemburg, Madrid, Porto,

Stockholm og Stuttgart). Testbyene har i løpet av 2003 fått hver sin fyllstasjon med lokal hydrogenproduksjon fra ulike hydrogenkilder, basert på blant annet vannelektrolyse og småskala naturgassreformering. Noen får også tilkjørt hydrogen fra nærliggende fabrikk. Både flytende hydrogen og komprimert gass blir benyttet i distribusjon av hydrogen. EU bidrar med til sammen 18,5 mill euro⁷, som tilsvarer om lag 35 prosent av de totale prosjektkostnadene (52 millioner euro).

EUs 6. rammeprogram (FP6)

Hydrogen- og brenselcelleforskning i EUs 6. rammeprogram for forskning, teknologiutvikling og demonstrasjonsaktiviteter (2003–2006), ligger under temaområdet *Sustainable development, global change and ecosystems*. Det er satt av til sammen 2120 millioner euro (om lag 17 milliarder kroner) til dette temaet for programmets fireårsperiode. 1420 millioner euro (om lag 11 milliarder kroner) er øremerket energi og transport, hvorav 810 millioner euro til energi og 610 millioner euro til transport. Midlene tildeles prosjekter etter søknadsrunder. Hydrogen- og brenselcelleprosjekter må konkurrere med andre energi- og transportprosjekter om midlene. Støtteandelen varierer fra 25 prosent og opp til 100 prosent.

Den langsiktige forskningsinnsatsen er rettet mot brenselceller, lagring og transport av hydrogen, integrasjon av brenselceller for transportformål og CO₂-håndtering. To temaområder er skissert:

Brenselceller og anvendelse av brenselceller skal bidra til å redusere kostnadene og øke ytelsen og stabiliteten på brenselcellesystemer for stasjonær forsyning, transport og bærbar applikasjoner. Det ble satt følgende mål for søknadsrunden i 2003:

- Utvikle løsninger for fremtidige kommersielle høytemperatur brenselcellesystemer for desentral kraftproduksjon med en kostnad mindre enn 1000 euro/kW. Det tilsvarende målet for brenselceller til mobile kraftforsyningssystemer (Auxiliary Power Units) er 150 euro/kW. Det er videre et mål at systemene skal ha en levetid mer enn 40 000 timer.
- Utvikle løsninger for fremtidige konkurransedyktige fastpolymer brenselcellesystemer for stasjonær- og transportapplikasjoner. For stasjonær produksjon er målet en kostnad mindre enn 100 euro/kW og levetid over 30 000 timer. For transport er det tilsvarende målet 50 euro/kW og 5000 timers levetid.

7. 1 euro=NOK 8,28 per 16. april 2004

Temaområdet *Nye teknologier for energibærere, transport og lagring, særlig hydrogen* retter oppmerksomheten mot ren hydrogenproduksjon både fra fossile og fornybare kilder, hydrogenlagring, materialteknologi, sikkerhet, distribusjon og forberedelse av overgangen til en hydrogenøkonomi.

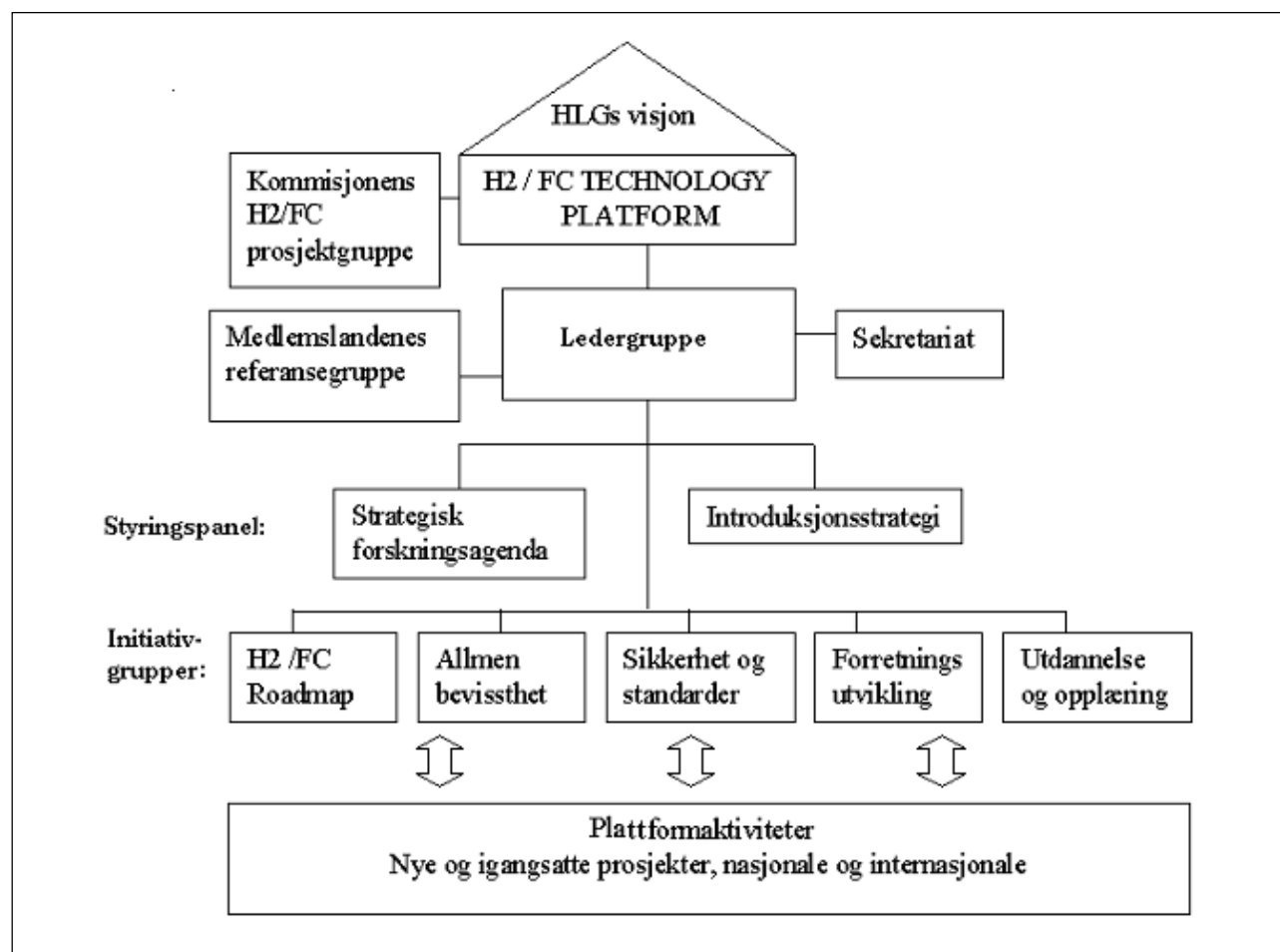
5.4.3 Organiseringen av hydrogensatsingen i EU

Økt oppmerksomhet på hydrogenets potensial som energibærer og mer midler til hydrogen og brenselceller innen EU har tvunget frem behovet for en ny organisering. EU-kommisjonen ønsker å være en pådriver i politikktutforming på hydrogenområdet og har pekt på at satsingen i Europa, både nasjonalt og på EU-nivå, er mindre målt i avsatte forskningsmidler og mer fragmentert enn i Japan og USA. Kommisjonen har derfor satt i gang en prosess for å øke den europeiske innsatsen, samt å koordinere de initiativene som allerede er igangsatt.

I oktober 2002 inviterte EU-kommisjonen toppledere fra europeisk industri med hydrogen- eller

brenselcelleinteresser til deltakelse i *The Hydrogen High Level Group for Hydrogen and Fuel Cells Technologies* (HLG). Gruppens mandat var å foreslå en visjon og strategi for hydrogen og brenselceller i en bærekraftig energiforsyning. HLG presenterte sin sluttrapport «*Hydrogen Energy and Fuel Cells – a vision of our future*» sommeren 2003. Gruppen anbefalte opprettelsen av en ny enhet som skal gi råd, stimulere til nye initiativ og overvåke framdriften innen feltet. HLG anbefalte videre å:

- Etablere et politisk konsistent rammeverk innen både energi-, transport- og miljøpolitikk
- Øke FoU-budsjettet til hydrogen- og brenselcelleforskning
- Opprette et pilot- og demonstrasjonsprogram for å verifisere teknologi og introdusere teknologien i markedet
- Opprette et samfunnsøkonomisk forskningsprogram for å koordinere støtte til hydrogen- og brenselcelleteknologi
- Opprette et initiativ for forretningsutvikling
- Opprette et europeisk utdannings- og opplæringsprogram



Figur 5.4 Foreløpig struktur for «The Hydrogen and Fuel Cell Technology Platform».

- Øke internasjonalt samarbeid, spesielt med Nord-Amerika og deler av Asia
- Opprette et kommunikasjons- og sprednings-senter for alle initiativene

Basert på anbefalingene fra HLG ble *The Hydrogen and Fuel Cell Technology Platform* («Teknologi-plattformen») formelt opprettet av EU-kommisjonen i januar 2004. Initiativet skal utvikles til å bli et selvstendig europeisk nettverk for koordinering av forsknings-, utviklings- og demonstrasjonsprosjekter, aktiviteter og strategier innen anvendelse av hydrogen- og brenselcellerrelatert teknologi. Nettverket er initiert av, men ikke underlagt, EU-kommisjonen. Nettverket skal jobbe videre med anbefalingene nevnt over. Deres mandat er:

«Å fremme og påskynde utviklingen og bruken av konkurransedyktig, «verdensklasse» europeisk hydrogen- og brenselcellebaserte energisystemer og teknologier for bruk i transport, stasjonær forsyning og mobile applikasjoner.»

Teknologiplattformen skal være et instrument for å koordinere og målrette teknologisk og samfunnsfaglig forskning innen hydrogen og brenselceller i Europa, men skal samtidig stimulere til økt satsing på forskning og utvikling, både fra offentlige myndigheter og private aktører. Nettverket skal bidra til å identifisere og fremme nye anvendelsesmuligheter for hydrogen som energibærer. Teknologiplattformen skal bygge på allerede igangsatte og nye prosjekter. Alle land skal kunne delta på ulike nivåer i organisasjonen. Deltakerne i Teknologiplattformens ledergruppe er ikke utpekt av nasjonale myndigheter, men av EU-kommisjonen.

Rammeprogrammene vil fortsatt være EUs instrument for tildeling av forskningsmidler til prioriterte områder. Det legges ikke opp til at Teknologiplattformen skal ha midler til å støtte forskningsprosjekter, men den vil være et rådgivende organ i utformingen av de kommende rammeprogrammene.

Ledergruppen for Teknologiplattformen består av 35 representanter fra industri, forskningsinstitusjoner, miljøorganisasjoner, nasjonale myndigheter og EU-kommisjonen. Gruppen ledes av et styre på seks representanter og skal gi råd, stimulere til nye initiativ og gi strategiske innspill til Kommisjonen. Dette gjelder blant annet utvikling av «fyrtårnsprosjekter» (store demonstrasjonsprosjekter) og innhold for 7. Rammeprogram. Hydro er representert i både ledergruppen og styret.

Medlemslandenes referansegruppe skal bidra til en bedre koordinering mellom nasjonale programmer og EUs aktiviteter innen hydrogen og brensel-

celler. Det kan legges til rette for felles demonstrasjonsprosjekter, workshops, studentopplæring, med videre. Referansegruppen kan videre være en koordinerende instans for europeiske lands deltakelse i internasjonale fora som IEA (International Energy Agency) og IPHE (International Partnership for the Hydrogen Economy). Norges forskningsråd representerer Norge i referansegruppen. ERA-NET er et instrument under 6. ramme-program som har som mål å samkjøre nasjonale forskningsprogrammer. Det legges opp til et ERA-NET-prosjekt som skal fungere som sekretariat for referansegruppen. Norge vil aktivt følge opp dette prosjektet.

5.4.4 Noen direktiver med relevans for hydrogen og brenselceller

Selv om energi ikke er omfattet av EU-traktaten, er det likevel blitt vedtatt direktiver med stor betydning for energisektoren. Elmarkeds- og gassmarkedsdirektivene er markedsdirektiver som skal sikre effektiv konkurranse i EUs indre marked. Norge er en del av dette gjennom EØS-avtalen. Direktivene innen fornybar energi og energieffektivisering er knyttet opp til EUs felles miljøpolitikk. Det er ikke utformet direktiver som går direkte på bruk av hydrogen eller brenselceller, men brenselceller og hydrogen inngår delvis i to direktiver, ett om kogenerering og ett om biodrivstoff/fornybare drivstoff. Direktivene er hjemlet i EU-traktatens paragraf 175 (miljø) og er vedtatt av EU. De ligger til behandling i EFTA/EØS-landene.

Direktiv 2004/8/EF av 11. februar 2004 om fremme av kogenerering av kraft og varme, basert på reell varmeetterspørsel

Direktivet har som formål å forbedre energieffektivitet og forsyningssikkerhet ved å fremme kogenerering av kraft og varme der det er en reell varmeetterspørsel. Økt energiproduksjon fra kogenereringsanlegg kan føre til økt energieffektivitet, redusert utslipp av klimagasser, reduserte nettap og økt forsyningssikkerhet. Direktivet fastsetter et rammeverk for fremme av høyeffektiv kogenerering, men tar nasjonale økonomiske og klimatiske forhold i betraktning. Høyeffektive kogenereringsanlegg defineres i direktivet som anlegg som innebærer en energisparing på minst 10 prosent i forhold til separat elektrisitets- og varmeproduksjon basert på samme brensel. Det settes ingen konkrete mål for energiproduksjon fra kogenereringsanlegg. Direktivet gjelder blant annet for brenselceller for stasjonær energiforsyning.

Direktivet vil ikke påvirke introduksjon av hydrogen som energibærer i særlig grad, men kan ha betydning for bruk av brenselceller til elektrisitet- og varmeproduksjon basert på naturgass.

Direktiv 2003/30/EF av 8. mai 2003 om å fremme bruken av biodrivstoff eller andre fornybare drivstoff til transport

Målet med direktivet er tredelt:

- Øke forsyningssikkerheten (reduere importavhengigheten av olje) for transportdrivstoff i Europa
- Redusere utslipp av klimagasser, fortrinnsvis CO₂, fra transportsektoren
- Videreutvikle landbruksområder og opprettholdelse av sysselsettingen i landbruksområder

Direktivet inneholder en forpliktelse for medlemslandene om å innføre bestemmelser i sin lovgivning og treffe de nødvendige tiltak for å sikre at det innen 31. desember 2005 skal være en omtrentlig minimumsandel på 2 prosent (energiinnhold) biodrivstoff av den totale drivstoffmengden (bensin og diesel) som selges til transportformål i hvert land. Denne andelen skal deretter gradvis økes til om lag 5,75 prosent innen utgangen av 2010. Det er overlatt til medlemslandene selv å treffe beslutninger om på hvilken måte det indikative målet kan oppfylles.

5.4.5 Satsinger i utvalgte europeiske land

Det er store forskjeller på nivå og utforming av hydrogensatsingen i de forskjellige europeiske landene. Dette er knyttet til landenes økonomiske forutsetninger, industrielle satsingsområder og energi- og transportpolitikk. Den mest aktive politikken på området føres av vesteuropeiske land med interesser innen bilindustrien.

I det følgende presenteres satsingene i noen utvalgte land. Det er ikke foretatt dybdeintervjuer i de enkelte land som presenteres. Gjennomgangen er basert på offentlig tilgjengelig informasjon om landenes politikk og satsinger.

Tyskland

Tyskland har drevet hydrogen- og brenselcelleforskning siden 1974. Fram til 2000 ble det gjennom forskningsprogrammene bevilget omlag 60 millioner euro til hydrogen og om lag 100 millioner euro til brenselceller. Forskningen var særlig ret-

tet mot utvikling av forskjellige typer brenselceller og hydrogenproduksjonsmetoder.

ZIP-programmet (2001–2005) er et stort teknologiutviklingsprogram hvor energiteknologi inngår som en viktig del. Det er satt av om lag 123 millioner euro til hele programmet. Hydrogen- og brenselcelledelen har en ramme på 58 millioner euro. Satsingen er på desentral og småskala kogenereing med brenselceller, samt demonstrasjon av brenselcellebusser.

I tillegg fins det programmer på delstatsnivå rettet inn mot brenselceller og hydrogen. Dette gjelder i første rekke Bayern, hvor det ble satset 30 millioner euro fra 1997 til 2003. Delstatene støtter i første rekke lokale industriaktører, forskningsinstitutter eller universiteter.

Bundesministerium für Wirtschaft und Arbeit (nærings- og arbeidsdepartementet) vil innen utgangen av 2004 presentere en visjon og strategi for bruk av hydrogen og brenselceller i Tyskland.

Storbritannia

Department of Trade and Industry (DTI) har støttet industriell forskning og utvikling innen brenselceller siden 1992 under programmet *Advanced Fuel Cells*. Fram til og med 2003 var det bevilget 12,4 millioner pund⁸. De årlige bevilgningene ligger nå på om lag 2 millioner pund.

I 2002 lanserte DTI et *Technology Routemap* med konkrete forsknings- og demonstrasjonsaktiviteter og teknologimål for perioden 2003–2010. Blant annet skal det:

- Innen 2005 bygges og testes en 50 kWe SOFC-brenselcelle med en elektrisk virkningsgrad på over 40 prosent
- Innen 2010 testes en mindre flåte brenselcellebiler for kommersiell bruk

DTI la videre i februar 2003 fram en melding til Parlamentet kalt *Our energi future – creating a low carbon economy*. De sentrale målene i meldingen er relatert til utslippsreduksjoner, forsyningssikkerhet, oppgradering av energiinfrastrukturen og overgangen fra nettoeksportør til nettoimportør av energi. Det er blant annet satt et mål om å redusere CO₂-utslippene med 60 prosent innen 2050. Hydrogen blir trukket frem som en viktig bidragsyter i et fremtidig energisystem, men det er ikke satt spesifikke mål for hydrogen. De viktigste virkemidlene som lanseres for økt bruk av hydrogen er:

- Å unnta hydrogenkjøretøy fra veiavgifter

8. 1 Britisk pund = NOK 12,39 per 16. april 2004

- Gunstige avskrivningsregler for hydrogeninfrastruktur
- Støtte til brenselcelleforskning
- Støtte til utviklings- og demonstrasjonsprosjekter

Som en oppfølging av meldingen la DTI frem rapporten *Fuel Cell Vision* og et eget selskap kalt *Fuel Cells UK* ble etablert. Selskapet skal jobbe med promotering og koordinering av forskning, utvikling og kommersialisering innen britisk brenselcelleindustri. Følgende plan blir skissert:

- 2003–2007: Demonstrasjon og verifisering av teknologien
- 2008–2012: Introduksjon av brenselceller i enkelte nisjeområder
- 2013–2023: Brenselceller introduseres i flere markeder og blir etter hvert kommersiell teknologi

Island

Island har en relativt sett stor satsing på hydrogen og markerer seg internasjonalt i hydrogensammenheng. Bakgrunnen er et politisk mål om å bli uavhengig av fossile drivstoff innen 2030. Island har betydelige fornybare energiresurser, spesielt geotermisk energi og vannkraft, og ønsker å utnytte dette for å gjøre seg uavhengig av importert drivstoff. Totalt 72 prosent av energibruken på Island kommer fra fornybare kilder. De resterende 28 prosent er importert drivstoff til biler og fiskeflåten. Reduksjon av CO₂-utslipp, i henhold til Kyotoforpliktelsene, må derfor skje innen transport/fiskeflåten. Det er et stort potensial for økt produksjon av fornybar energi på Island. Fornybar hydrogen er trukket fram som aktuelt i transportsektoren.

Ecological City Transport System (ECTOS) er et fireårig islandsk søsterprosjekt av EUs CUTE-prosjekt. Dette er det første av flere hydrogenprosjekter som inngår i Islands strategi for å redusere utslipp fra transportsektoren og bli verdens første hydrogenøkonomi. Islandske myndigheter har bevilget om lag 7 millioner norske kroner til hydrogensatsingen. På sikt ønsker en å bruke hydrogen i personbiler og fiskeflåten. Prosjektet er eiet av det islandske selskapet *Islensk Ny Orka – Icelandic New Energi*, hvor blant andre Norsk Hydro er medeier.

I ECTOS-prosjektet testes tre brenselcellebusser for daglig drift i Reykjavík. Hydrogenet produseres via vannelektrolyse med fornybar elektrisitet. Norsk Hydro leverte i mars 2003 elektrolyseoren til fyllestasjonen i Reykjavík, hvor bussene

fylles. De viktigste forskningsprosjektene knyttet til ECTOS-prosjektet er samfunnsfaglige/økonomiske studier av introduksjon av en ny energibærer for urban transport. Prosjektet er støttet av EUs femte rammeprogram med 2,85 millioner euro av totalt 7 millioner euro. Prosjektet har i tillegg til Norsk Hydro flere europeiske industrideltagere, for eksempel Shell Hydrogen og DaimlerChrysler.

Frankrike

Frankrike hadde et nasjonalt hydrogen- og brenselcelleprogram (Paco) fra 1999 til og med 2003. Programmet rettet seg mot industri og forskningsinstitusjoner, spesielt innen brenselceller, og har finansiert 40 prosjekter. Programmet har ligget under Forskningsministeriet, Industriministeriet og det franske organet for energieffektivisering og fornybar energi (ADEME). Programmet har i perioden bidratt med 34 millioner euro av de totale prosjektkostnader på om lag 80 millioner euro. De viktigste satsingsområdene har vært:

- PEMFC- og DMFC-brenselceller, utvikling av komponenter til brenselceller for både transport, stasjonær forsyning og bærbare applikasjoner
- SOFC-brenselceller, utvikling av lavtemperaturmaterialer og intern reformering av brensler
- Testing av brenselceller i stasjonær forsyning i boliger
- Hydrogenproduksjon, reformering av naturgass
- Microbrenselceller
- Hydrogenlagring

I tillegg fins det FoU-programmer innenfor transport og bioenergi som inkluderer hydrogen og brenselceller.

Frankrike vil i løpet av 2004 lansere en ny hydrogen- og brenselcellestrategi.

Italia

Italias satsing på hydrogen og brenselceller er spredd over et relativt bredt spekter av anvendelsesområder, energikilder og teknologier. Satsingen i Italia skal bidra til å:

- Diversifisere bruken av primære energikilder, øke forsyningssikkerheten og redusere avhengigheten av importert drivstoff
- Redusere utslipp av klimagasser og lokal forurensing
- Skape en mulighet for nasjonal verdiskaping og gi mulighet for økt eksport ved å fremme innovative teknologier

Forskningsministeriet har opprettet et hydrogen- og brenselcelleprogram som administreres av *Special Integrative Fund for Research (FISR)*. Programmet disponerer 90 millioner euro fordelt på 51 millioner euro til hydrogen og 39 millioner euro til brenselceller. Programmet har i løpet av 2003 motatt og evaluert ulike søknader og flere av prosjektene er klare for oppstart i 2004.

Satsingsområdene innen hydrogen er:

- Hydrogenproduksjon fra fossile kilder med CO₂-håndtering
- Utvikling av lagringsteknologi for hydrogen
- Teknologi for lagring av CO₂ i geologiske formasjoner
- Utvikle teknologier og komponenter for bruk av hydrogen både i transportsektoren og for stasjonær forsyning

Satsingsområdene innen brenselceller er:

- Bedre ytelsen og redusere kostnadene for brenselceller ved å ta i bruk nye materialer og forbedre systemdesign
- Utvikle og demonstrere brenselceller for transport, stasjonær forsyning og bærbare applikasjoner
- Demonstrere brenselcelleanlegg for stasjonær forsyning med forskjellige drivstoff

5.5 Norsk offentlig deltagelse i internasjonalt hydrogenrelatert samarbeid

I det påfølgende er offentlig samarbeid på hydrogenområdet beskrevet. I tillegg til dette samarbeider forskningsinstitusjoner, næringsliv og ulike organisasjoner med tilsvarende internasjonale aktører på prosjektbasis og gjennom andre former for samarbeidsrelasjoner.

5.5.1 Deltagelse i EUs rammeprogram

EU-kommisjonen organiserer forskningsmidlene gjennom såkalte rammeprogram, jf. kapittel 5.4.2. Norge har gjennom EØS-avtalen deltatt som fullverdig medlem av EUs rammeprogram siden det 4. rammeprogram (1995–1998). Deltakelsen gir norske forskningsmiljøer og bedrifter mulighet til å etablere kontakter og å være med i forskningsprosjekter støttet av EU. Norske industri- og forskningsaktører deltar i en rekke prosjekter innen brenselcelleteknologi og hydrogen. Norske aktører har opp gjennom årene deltatt i mange prosjek-

ter, og uttellingen ved de siste utlysningene i energiprogrammet var meget høy.

5.5.2 Det internasjonale energibyrådet (IEA)

Flere norske aktører deltar i forskningsarbeidet koordinert av det internasjonale energibyrådet (International Energy Agency – IEA). IEA har opprettet flere samarbeidsavtaler knyttet til ulike energitemaer som bygger opp under IEAs målsetninger om økt forsyningssikkerhet, økonomisk vekst og bærekraftig utvikling. Norge deltar i 21 samarbeidsavtaler hvorav 4 er knyttet til hydrogen og brenselceller:

- Production and Utilization of Hydrogen
- Advanced Fuel Cells
- Bio Energy
- Greenhouse Gas

Styringskomiteén for samarbeidsavtalen Production and Utilization of Hydrogen har de siste årene vært under norsk ledelse.

I 2003 opprettet IEA en midlertidig gruppe, kalt IEAs Hydrogen Coordination Group, bestående av myndighetsrepresentanter og fagekspertter. Gruppen skal arbeide med å gjennomgå IEAs arbeid med hydrogen og brenselceller, samt nasjonale satsinger, for å fremme ytterligere satsing på viktige områder.

5.5.3 Nordisk energiforskning

Nordisk energiforskning er en institusjon innenfor Nordisk ministerråd. Forsknings samarbeidet er forankret i de fem nordiske lands regjeringer, med direkte finansiering fra landene. Dette samarbeidet har eksistert siden 1984 som et grunnleggende energiforskningsprogram med fokus på utdanning av doktorgradskandidater. I 1999 ble programmet endret til en nordisk institusjon, og en ny handlingsplan og organisering ble etablert i 2003. I den nye handlingsplanen er hydrogen en av fem utvalgte tematiske satsingsområder. Området er gitt høy prioritet. Samarbeidet innenfor nordisk energiforskning er nettverksorientert. Det er et godt utgangspunkt for nordiske fremstøt innenfor øvrig internasjonalt forskningssamarbeid på hydrogenområdet. Det er også en mulig plattform for et koordinert nordisk demonstrasjonsprosjekt.

5.5.4 International Partnership for a Hydrogen Economy – IPHE

USA tok våren 2003 initiativ til å opprette et internasjonalt partnerskap for hydrogen med deltakelse

fra myndigheter, forskningsinstitusjoner og industri. Norge ble formelt partner i forbindelse med et ministermøte i november 2003. Til sammen deltar 14 land og EU-kommisjonen. Partnerskapet skal bidra til å organisere, koordinere og iverksette internasjonal FoU og demonstrasjon knyttet til hydrogen og brenselceller. Det er foreløpig pekt ut fem tematiske områder man vil rette særlig stor oppmerksomhet mot:

- Hydrogenproduksjon
- Regelverk og standarder
- Brenselceller
- Hydrogenlagring
- Økonomiske analyser

Olje- og energidepartementet har opprettet en egen faggruppe med representanter fra forskningsmiljøer og industri, som skal arbeide med disse områdene.

5.5.5 Carbon Sequestration Leadership Forum – CSLF

Norge ble sammen med 13 andre land og EU-kommisjonen i 2003 invitert av amerikanske myndigheter til å delta i Carbon Sequestration Leadership Forum. Forumet ble formelt etablert ved et ministermøte i juni 2003 som ledd i målet om å redusere utslippene fra klimagasser. CSLF skal bidra til samarbeid om forskning og videreutvikling av teknologier knyttet til utskilling, lagring, transport og/eller bruk av CO₂, og skal legge til rette for lønnsom utnyttelse av CO₂. Viktige elementer vil være utveksling av informasjon, felles forskningsprosjekter og pilotprosjekter.

Deltagerne er foruten myndigheter også industri og forskningsinstitusjoner. Norge har for tiden viseformannen ved Statoil i en av de to arbeidsgruppene (Technical Group).

5.5.6 Bilateralt samarbeid med Japan

I mai 2003 ble en bilateral forskningsavtale mellom Norge og Japan underskrevet av Nærings- og han-

delsministeren. Dette er i utgangspunktet en generell avtale for bilateralt forskningssamarbeid innen vitenskap og teknologi. Fra norsk side vil det blant annet legges vekt på prosjekter innen energi og miljø, inklusive hydrogen som energibærer, og material- og nanoteknologi (der materialer relatert til energianvendelser er med).

Innovasjon Norge⁹ har et eget kontor i Tokyo. Et av satsingsområdene der er energi-, miljø- og materialteknologi, hvor hydrogen- og brenselcelleteknologi inngår.

5.5.7 Bilateralt samarbeid med USA

Norge har det siste året hatt flere parallelle prosesser overfor amerikanske myndigheter som direkte eller indirekte legger til rette for økt samarbeid om hydrogen. Det er for tidlig å si hvilken betydning de ulike foraene vil ha for den norske og den internasjonale satsingen.

Olje- og energidepartementet og Departement of Energy i USA vil om kort tid undertegne en overenskomst (Memorandum of Understanding) om å utvikle et nært samarbeid mellom forskningsinstitusjoner og bedrifter i de to landene på energiområdet. Målet er å utvide samarbeidet innenfor olje og energi mellom norske og amerikanske forskningsmiljøer og bedrifter innenfor forskning, utvikling og demonstrasjon. Spesielt har en pekt på mulighetene innenfor:

- Fossil energi, inkludert CO₂-håndtering, hydrogen og nye energiteknologier
- Energieffektivitet
- Fornybar energi

Foreløpig har samarbeidet blitt konsentrert om fossil energi.

9. Innovasjon Norge – Sammenslåing 1.1.2004 av tidligere Statens nærings- og utviklingsfond (SND), Norges Eksportråd, Statens veiledningskontor for oppfinnere (SVO) og Norges turistråd.

Del III
Videre norsk satsing på hydrogen som
energibærer

Kapittel 6

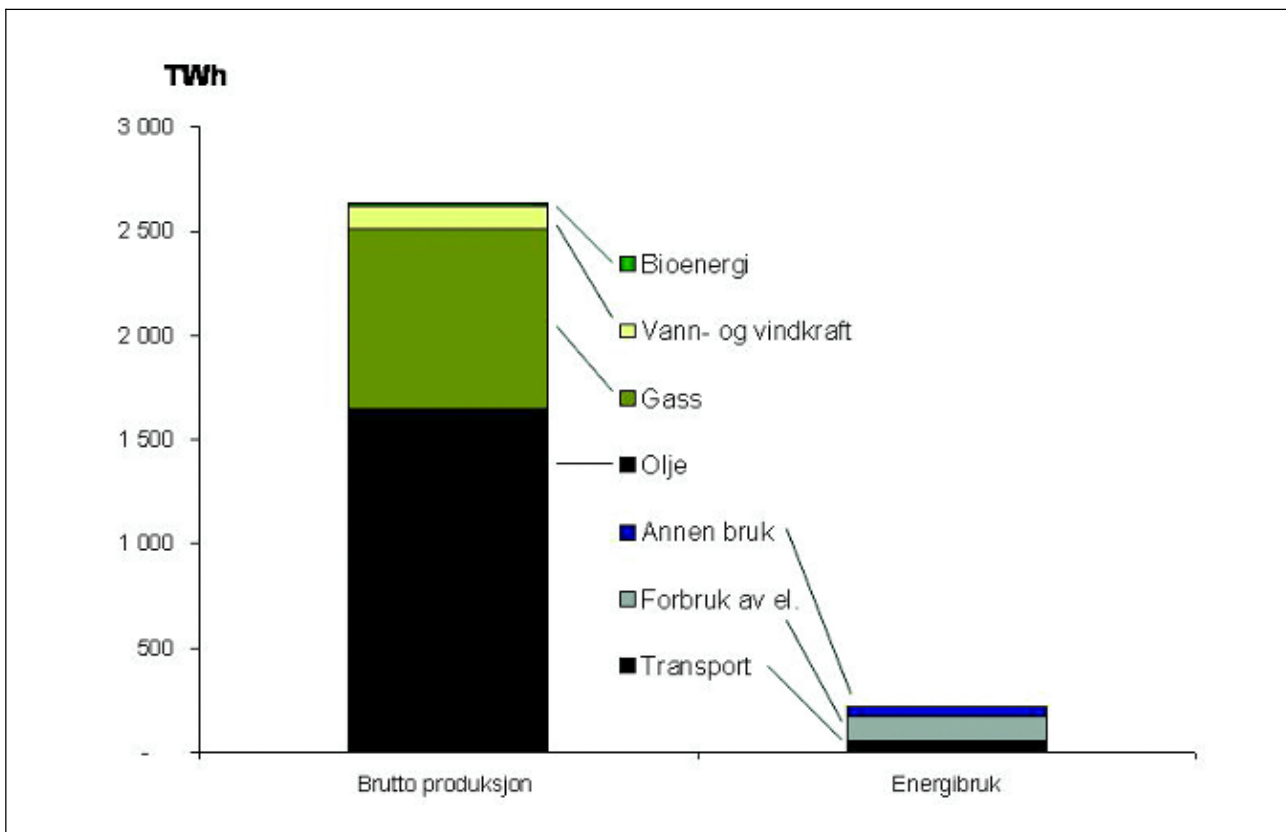
Hvorfor satse på hydrogen i Norge?

6.1 Introduksjon

Den satsingen på hydrogen vi nå ser vokse frem internasjonalt, skiller seg fra tidligere satsinger ved sin styrke, de ambisjoner som legges frem, og ikke minst bredden på det internasjonale engasjementet. For å kunne ta i bruk hydrogen i et større omfang, er det mange barrierer som må overvinnnes. Det at det nå settes inn så store ressurser internasjonalt, gjør at mulighetene for å finne løsninger innenfor enkelte anvendelsesområder øker betraktelig. Samtidig gjøres det flere grep for å koordinere den internasjonale innsatsen. USA, Japan og EU er lokomotiver i hydrogensatsingen, og innsatsen i disse økonomiene vil være avgjørende for om hydrogen vil kunne tas i bruk i stort omfang internasjonalt.

Begrunnelsene internasjonalt for å utvikle hydrogen som energibærer er primært leverings-sikkerhet for energi (energisikkerhet) og miljøhensyn, jf. kapittel 5. Hydrogen blir sett på som en mulig fremtidig løsning for å redusere importavhengigheten ved å gi økt fleksibilitet til å velge andre energikilder.

Bruk av hydrogen kan under gitte forutsetninger være en del av en løsning på klimaproblemene. *Bruk* av hydrogen fører ikke til utslipp av CO₂ og kan også innebære reduksjoner av andre utslipp (NO_x, SO_x, støv, med videre). Fremstilling av hydrogen vil i noen tilfeller være uten utslipp, i andre tilfeller vil det innebære utslipp og forurensningsproblemer. Miljøeffektene ved bruk av hydrogen avhenger derfor av hvordan hydrogenet er fremskaffet. En samlet oversikt over miljøeffektene



Figur 6.1 Norsk brutto energiproduksjon og innenlands bruk, 2003

Kilde: Energidata as

for ulike fremstillingsmåter er oppsummert i figur 8.2 i Særskilt vedlegg nr. 1 til utredningen.

6.2 Begrunnelser for en norsk satsing på hydrogen

I Norge er energisituasjonen på mange måter forskjellig fra de landene som nå stiller seg i spissen for en hydrogensatsing. Norge har en energiproduksjon som, inkludert produksjonen av olje og gass fra norsk sokkel, er 10 ganger så stor som det samlede forbruket i Norge, inklusive transportsektoren, jf. figur 6.1.

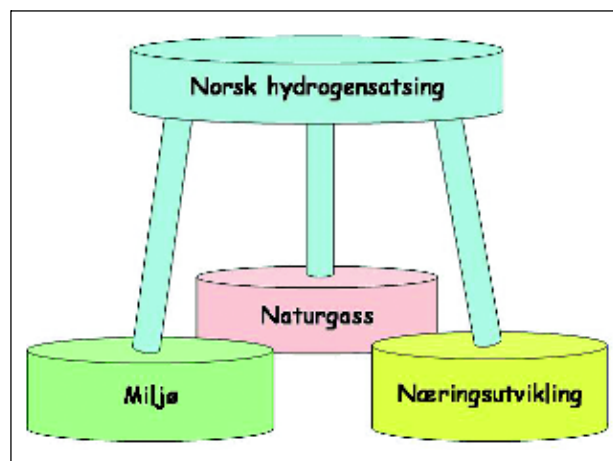
Som følge av den ressursituasjonen som Norge befinner seg, vil ikke forsyningssikkerhet fremstå som en like åpenbar problemstilling. Imidlertid er også Norge en del av det internasjonale energimarkedet og markedet for raffinerte oljeprodukter. Forsyningssikkerhet vil derfor også være en reell problemstilling i Norge, gitt en situasjon der det skulle bli en internasjonal forsyningskrise.

Det er videre en viss parallell til situasjonen i USA, ved at også Norge har store reserver av hydrokarboner som i et fremtidig regime med strengere krav til utslipp kan få en endret verdi. Hvordan verdien av den norske naturgassen vil kunne endres, er det imidlertid ikke mulig å forutsi. I forhold til klimagasser har den en fordel fremfor kull og olje. Men i et langsiktig perspektiv der miljøvennlige energibærere som hydrogen og fornybar basert elektrisitet favoriseres, vil man kunne se for seg at anvendelsen av norsk naturgass må gjøres mer miljøvennlig. Dette drøftes grundigere i kapittel 6.3.2 og 7.1.1.

Det norske stasjonære elforbruket er i praksis basert på fornybar vannkraft og en godt utbygget infrastruktur for elektrisitet. Hydrogen vil neppe spille noen stor rolle i den *stasjonære* norske energiforsyningen. Dette begrunnes senere i kapitlet.

Norge har betydelige utfordringer i arbeidet med å redusere utslippene av klimagasser. I følge Kyoto-protokollen skal de norske utslippene av klimagasser i 2008–2012 ikke være mer enn 1 prosent høyere enn 1990-nivået etter at det er tatt hensyn til kvotehandel og de andre mekanismene for reduserte utslipp. Norges samlede utslipp av klimagasser har imidlertid økt med drøye 8 prosent i perioden 1990–2003. I 2003 alene var økningen på 2 prosent. Regjeringen ga i forbindelse med lanseringen av det nye statlige innovasjonsselskapet for naturgass i Grenland uttrykk for at målene i første rekke skal nås ved tiltak i Norge.

Hydrogen kan være en langsiktig løsning på klimaproblemet, men vil ikke kunne få betydning



Figur 6.2 Norsk hydrogensatsing er begrunnet i miljø, gassressurser og mulighetene for næringsutvikling

innen Kyotoavtalens tidsperspektiv (2012). På lengre sikt vil hydrogen kunne bidra til å oppnå Kyotoavtalens mulige «etterfølgere».

Utvalget mener at en norsk hydrogensatsing må ses på bakgrunn av tre hovedbegrunnelser, som utdypes videre utover i kapitlet:

- *Norske gassressurser.* Norske gassressurser kan være en viktig kilde til miljøvennlig produksjon av hydrogen – i Norge og internasjonalt. Dette er også en langsiktig sikring av petroleumsmoruen i et fremtidig regime hvor rene energiteknologier blir mer lønnsomme.
- *Miljø som drivkraft – bruk av hydrogen i Norge.* Gjennom Kyotoavtalen og mulige etterfølgere er det nødvendig å redusere utslippene av klimagasser. På lang sikt ses hydrogen på som en viktig del av løsningen for å oppnå dette.
- *Næringsutvikling.* Økt bruk av hydrogen og etterspørsel etter hydrogenteknologi i et internasjonalt marked vil åpne muligheter for norske næringsaktører.

I tillegg vil utvalget peke på at den sterke internasjonale satsingen er en forutsetning, men ikke i seg selv en begrunnelse, for den norske satsingen.

6.3 Norske gassressurser

6.3.1 Bakgrunn

Naturgass blir stadig viktigere i norsk petroleumsvirksomhet og således også i norsk nasjonaløkonomi. I Stortingsmelding nr. 38 (2003–2004) *Om petroleumsvirksomheten*, slås det fast at det på norsk kontinentalsokkel er grunnlag for å se olje-

produksjon fra norsk sokkel i over 50 år fremover, og gassproduksjon i et enda lengre perspektiv. En forutsetning for dette perspektivet er at det blant annet utvikles ny teknologi. Ut fra ressursgrunnlaget på norsk kontinentalsokkel vil det være grunnlag for salg av mer gass og utbygging av nye felt.

Oljedirektoratet anslår at de totale utvinnbare gassressursene på norsk kontinentalsokkel kan være i underkant av 6000 milliarder Sm^3 . Dette tilsvarer 235 ganger det samlede årlige energiforbruket i Norge til stasjonær bruk og til transportformål (om lag 250 TWh). Norge vil gradvis gå fra å være en oljenasjon til å bli en gassnasjon.

Frem til 2003 var om lag 13 prosent av de totale utvinnbare gassressursene produsert. De gjenværende påviste ressursene i felt og funn, samt uoppdagede gassreserver som Oljedirektoratet forventer vil oppdages på kontinentalsokkelen, utgjør de resterende 87 prosent av de totale gassressursene på kontinentalsokkelen. Det er lagt til grunn at om lag 100 milliarder Sm^3 gass kan utvinnes som følge av tiltak for økt utvinning, herunder ny teknologi, boring av flere brønner, effektivitetsforbedring, med mer.

Verdien av den fremtidige gassproduksjonen kommer til å variere med blant annet prisutvikling for konkurrerende energibærere og den teknologiske utviklingen for nye fornybare energikilder. I tillegg vil det internasjonale rammeverk for utslipp av klimagasser og annen forurensning bli av stor betydning. I et regime med høy skattlegging av CO_2 -utslipp fra fossile energibærere, vil verdien av

den norske gassen i et langsiktig perspektiv kunne endres. En kan eksempelvis se for seg at naturgassen får en høyere verdi siden kull og olje som følge av høyere utslipp av CO_2 vil bli høyere beskattet. I et langsiktig perspektiv der fornybare kilder får en sterkere stilling, vil det kunne bli uaktuelt å utvinne og bruke naturgassen uten at CO_2 blir håndtert forsvarlig.

Norske gassreservers store betydning for norsk økonomi innebærer at det kan være viktig å lete etter anvendelser av naturgassen som gjør gassen mer miljøvennlig, også innenfor et regime med strengere miljøkrav. Her kommer produksjon av hydrogen fra norsk naturgass inn som en attraktiv mulighet. Norsk naturgass kan bli en fremtidig kilde for hydrogenproduksjon, både for et norsk og for et internasjonalt marked.

6.3.2 Kompetanse på renseteknologi for gasskraft

En avgjørende problemstilling ved en mulig fremtidig produksjon av hydrogen fra norsk naturgass vil være håndtering av CO_2 . Norge har de siste årene fremstått som et av de landene hvor det er forsket mest på å utvikle løsninger for gasskraft med CO_2 -håndtering. Denne innsatsen er også begrunnet i de store norske gassressursene og et fremtidig behov for økt tilgang på miljøvennlig elektrisk kraft. Det finnes allerede i dag teknologier for å produsere elektrisitet fra naturgass uten vesentlige utslipp av CO_2 , men ingen kan betraktes som kommersielle. Derfor satses det for å komme frem til bedre løsninger. Mange av de problemstillingene det jobbes med og de løsningene som er utviklet så langt, har stor nytteverdi og relevans også med tanke på å produsere hydrogen fra naturgass med CO_2 -håndtering.

CO_2 må skilles ut i produksjonen og lagres på en tilfredsstillende måte for at gassen skal kalles miljøvennlig. Norske forskningsmiljøer og industrielle aktører har opparbeidet solid kompetanse når det gjelder CO_2 -separasjon, også internasjonalt sett. Denne kompetansen har stor betydning i forhold til en ambisjon om å produsere hydrogen fra naturgass med CO_2 -separasjon.

De tre mest aktuelle konsept for gasskraft med CO_2 -håndtering regnes i dag å være:

- Pre-combustion (hydrogenfyring)
- Oxy-fuel (oksygenfyring)
- Post-combustion (eksosgassrensing)

Konseptene har varierende teknologisk modenhet. Det er norske aktører involvert i utviklingen av alle tre. Konseptene er grundig beskrevet i boks 2.1 i



Figur 6.3 Gassreserver på norsk kontinentalsokkel

Kilde: Energidata as/Oljedirektoratet

Særskilt vedlegg nr. 1 til utredningen. Frem til i dag har gass- og elprisene ligget på et nivå som gjør at ingen kommersielle aktører har tatt beslutning om å bygge verken gasskraftverk med CO₂-håndtering eller konvensjonelle gasskraftverk i Norge.

Gasskraft med CO₂-håndtering og produksjon av hydrogen

Løsninger som baserer seg på «pre-combustion»-konseptet produserer elektrisk kraft ved å gå vegen om hydrogen. Arbeidet med å utvikle gasskraft med CO₂-håndtering i Norge danner således et grunnlag for storskala elektrisitetsproduksjon der hydrogen kan være et naturlig mellomprodukt. Eventuelle anlegg der en ser hydrogenproduksjon og kraftproduksjon med CO₂-fangst i sammenheng, vil kunne gi den nødvendige fleksibilitet mens et hydrogenmarked får tid til å bygge seg opp.

6.3.3 Muligheter for transport og lagring av utskilt CO₂

Den norske kontinentalsokkelen har store muligheter for lagring av CO₂. Dette er problemstillinger som det allerede er jobbet betydelig med i forbindelse med gasskraft med CO₂-håndtering. Lykkes en her, vil det være et godt utgangspunkt for å få frem løsninger for hydrogenproduksjon fra naturgass.

CO₂ til økt oljeutvinning

Ved å injisere CO₂ i produserende oljefelt, kan man øke utvinningsgraden betydelig. For oljefelt der produksjonen nærmer seg slutten, vil muligheten til å øke utvinningsgraden bety økte inntekter. Det er beregnet at samlet merproduksjon ved bruk av CO₂ til økt oljeutvinning kan utgjøre 1,2–1,6 milliarder fat olje totalt¹. Eksempelvis vil en oljepris på USD 20 per fat representere verdier på 170–220 milliarder kroner over en 10–20 års periode. I tillegg innebærer økt oljeutvinning en økning av feltets levetid.

CO₂ til økt oljeutvinning kan, avhengig av antall og størrelsen på oljefeltene, kreve betydelige mengder CO₂. De verdiene som ligger i CO₂ til økt oljeutvinning åpner opp for muligheter til å bygge ut en infrastruktur for oppsamling og retur av CO₂ fra både Norge, Storbritannia og kontinentet. CO₂

Boks 6.1 CO₂-injeksjon på Sleipner

Sleipner Vest-feltet i Nordsjøen produserer naturgass som inneholder mer CO₂ enn det salgsspesifikasjonene tillater. CO₂ må derfor separeres fra naturgassen. Av miljømessige grunner valgte Statoil å injisere den separerte CO₂-strømmen ned i et geologiske saltvannsreservoar kalt Utsira-formasjonen. Formasjonen er en sandsteinsformasjon forseget med et kompakt lag leirskifer. Siden oppstart i 1996 har omlag 1 million tonn/år CO₂ blitt fjernet fra naturgassen og reinjisert i Utsira-formasjonen om lag 1000 meter under sjøbunnen.

Denne injeksjonen ga en unik sjanse til å undersøke geologisk lagring av CO₂. Dette har vært gjort gjennom det europeiske forskningsprogrammet SACS (Saline Aquifer CO₂ Storage) hvor sentrale europeiske forskningsmiljøer, deriblant SINTEF, har deltatt. Resultater viser at CO₂ beveger seg fra injiseringspunktet og oppover mot toppen av formasjonen. Det er ingen tegn på lekkasje. Reservoarstudier og simuleringer viser at CO₂ vil over tid oppløses og synke ned mot bunnen av Utsira-formasjonen.

En undersøkelse av lagringskapasiteten på norsk sokkel som ble gjort i et EU-prosjekt i 1996, konkluderte med at det kunne lagres over 730 milliarder tonn CO₂. Det innebærer at EU-landenes (EU15) samlede CO₂-utslipp i 200 år kan lagres på norsk sokkel.

Kilde: Statoil og SINTEF Petroleumsforskning

som biprodukt fra hydrogenproduksjon fra naturgass er én mulig kilde til CO₂.

CO₂-lagring i geologiske formasjoner

På norsk sokkel er det også muligheter for lagring av CO₂ i vannfylte akviferer eller tømte reservoarer. Slik lagring innebærer imidlertid at kostnadsbildet endres, da CO₂ i dette tilfellet ikke har noen verdi, slik det har når det injiseres for å øke oljeutvinningen. Også i denne situasjonen har Norge et mulig fortrinn.

Norge er verdensledende på storskala injeksjon og overvåking av CO₂ i geologiske formasjoner gjennom erfaringene som er gjort på Sleipner Vest-feltet. Et stort europeisk forskersteam følger opp Sleipner-prosjektet for å kartlegge stabilitet,

1. Kilde: Oljedirektoratet

sikkerhet mot lekkasjer og andre forhold, jf. boks 6.1. Dette, sammen med geografisk nærhet til egnede geologiske formasjoner og oljefelt, gir Norge kompetanse og naturgitte forutsetninger for å utvikle og demonstrere helhetlige CO₂-håndteringsløsninger.

6.4 Miljø som drivkraft for satsing på hydrogen i Norge

Utvalget anser hydrogen som en mulig del av en langsiktig løsning på klimautfordringen. Som nevnt innledningsvis, har Norge gjennom Kyoto-protokollen en forpliktelse om at klimagassutslippene i perioden 2008–2012 ikke skal være mer enn 1 prosent høyere enn i 1990. Hydrogen kan ikke bidra til å nå målet i denne perioden. Da er det andre tiltak som må gjøres. I et lengre perspektiv kan imidlertid en vridning mot bruk av hydrogen på riktig måte være et viktig tiltak. FNs Klimapanel (IPCC) peker på en 60 prosent reduksjon i klimagassutslipp som det nivået en må se for seg på sikt. Dette har for eksempel vært retningsgivende for de langsiktige ambisjonene til Storbritannia når det gjelder satsing på miljøvennlige energiteknologier, inkludert hydrogen.

Norge har i tillegg gjennom Gøteborgprotokollen forpliktet seg til å redusere utslipp av NO_x til 156 000 tonn i 2010. Bruk av hydrogen kan innebære reduksjoner av NO_x, men det vil være på lang sikt. På kortere sikt vil en reduksjon av NO_x-utslipp i første rekke være et spørsmål om myndighetskrav til rensing og om kravene kan innfris gjennom forbedringer i teknologier knyttet til konvensjonelle drivstoff.

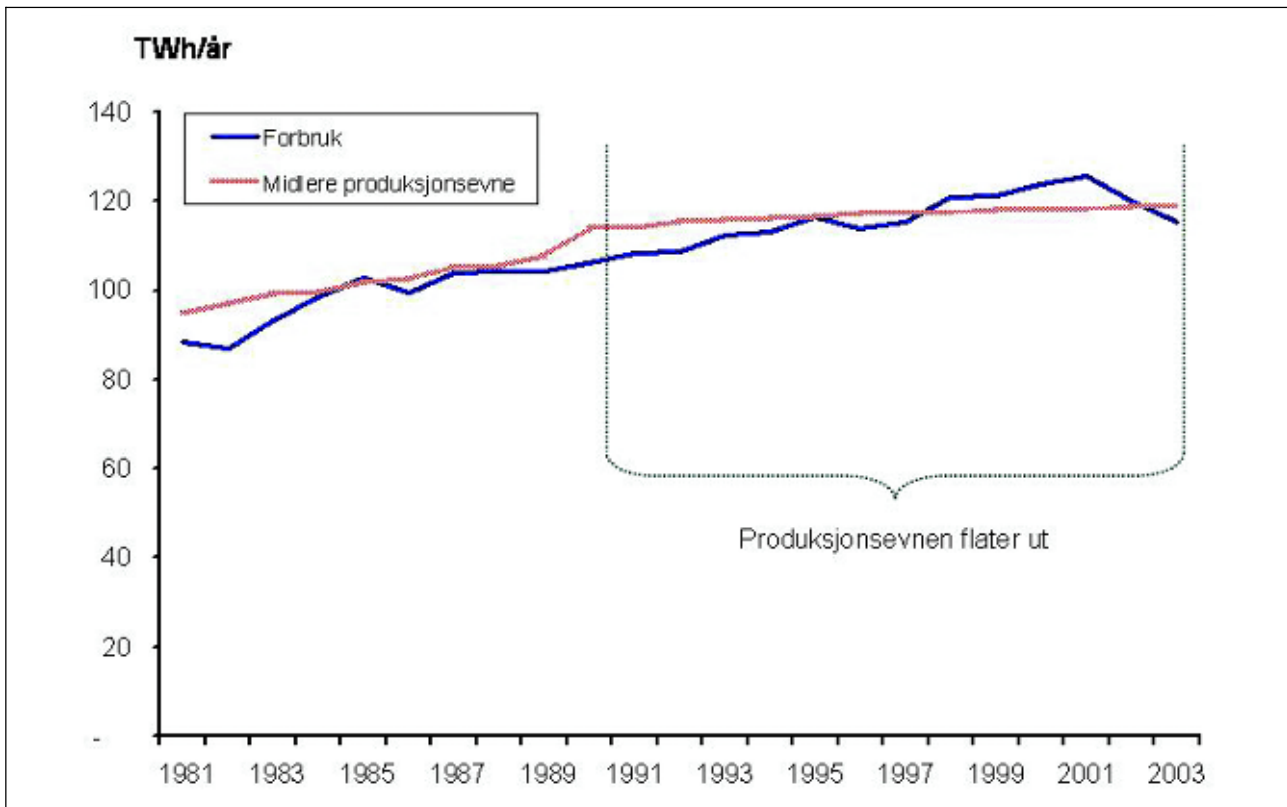
I det videre er hydrogen som virkemiddel i den langsiktige klimapolitikken diskutert. Utvalget har blant annet diskutert i hvilken grad hydrogen kan fases inn på ulike områder i Norge, og med det bidra til reduksjon i utslippene av klimagasser.

6.4.1 Stasjonær energiforsyning

6.4.1.1 Dagens situasjon

Det norske utgangspunktet for reduksjon av klimagasser skiller seg fra svært mange land. Elproduksjonen for stasjonær forsyning er nær 100 prosent fornybar. Årlig produksjon av elektrisitet er omtrent i balanse med årlig forbruk. Utviklingen de siste 10 årene har imidlertid vist at kraftbalansen er blitt strammere, jf. figur. 6.4.

Regjeringen har på bakgrunn av den stramme kraftbalansen fokusert sterkt på en politikk for



Figur 6.4 Utviklingen i den norske elkraftbalansen

Kilde: OED/Energidata as

energiomlegging, der et sentralt element er å øke fleksibiliteten i energisystemet, blant annet ved økt bruk av vannbåren varme fra fornybare energikilder. Det søkes å legge til rette for å ta i bruk distribuert energi i større grad og innfasing av ny fornybar energi, i form av for eksempel vindkraft.

Det finnes fortsatt et uutnyttet vannkraftpotensial i Norge. De siste utbyggingssakene har imidlertid vist at det er kontroversielt å bygge ut ny vannkraft i større skala. Det synes å være en bred politisk enighet om at de store vannkraftutbyggingenes tid er over.

Den norske energibalansen kan bedres gjennom energieffektivisering og tilgang på ny energi fra andre kilder. Dette kan være vindkraft, småskala vannkraft, opprusting av eksisterende vannkraft, bioenergi, solenergi, kraft fra havet, eller alternativt gasskraft med CO₂-håndtering. Potensialene knyttet til disse kildene vil avhenge blant annet av kostnadsutviklingen og energiprisene, jf. tabell 3.1 i kapittel 3.1.2.

6.4.1.2 Muligheter for innfasing av hydrogen i stasjonær forsyning

En satsing på hydrogen må ha et langt tidsperspektiv og vil ikke direkte representere noen løsning på de utfordringer man ser for seg i den norske og nordiske kraftbalansen de nærmeste årene. Hydrogen vil imidlertid på lang sikt kunne spille en rolle for å øke fleksibiliteten i det norske stasjonære energisystemet.

Hydrogen fra elektrisitet

Produksjon av hydrogen fra elektrisitet ved elektrolyse vil kunne skje uten utslipp når elektrisiteten produseres fra fornybare energikilder. Anvendt til stasjonære formål, vil det i de fleste sammenhenger, og særlig i Norge, imidlertid være uheldig å konvertere fra den ene energibæreren elektrisitet til den andre energibæreren hydrogen. En slik konvertering vil skje med en virkningsgrad på om lag 75 prosent med dagens teknologi, og innebærer dermed at 25 prosent av energien tapes. Hydrogenet kan deretter enten brukes direkte til oppvarming, eller for produksjon av elektrisitet hos brukeren igjen. Ved å gjøre det siste, for eksempel i en brenselcelle, vil det innebære ytterligere energitap på i størrelsesorden 40 prosent. Siden de fleste stasjonære energibrukere i Norge er tilknyttet elnettet, vil det være mer rasjonelt å bruke elektrisiteten direkte.

Med godt utbygget elektrisitetsnett frem til de aller fleste stasjonære brukere og en stor andel fornybar elproduksjon, er det derfor ikke rasjonelt å se for seg hydrogen produsert ved vannelektrolyse som energibærer til stasjonære formål i Norge. Hydrogen vil imidlertid kunne være aktuelt til stasjonære formål på bruksområder der det alternativt må brukes fossil energi som toppplastkilde.

Hydrogen fra elektrisitet i desentral forsyning

Det finnes tilfeller hvor det kan være rasjonelt å gå via elektrisitet til hydrogen. Dette gjelder for eksempel hydrogen produsert fra elektrisitet som ikke kan mates inn på det elektriske nettet eller der belastningene i nettet er store. Slik vil hydrogen fungere som et energilager for å samle opp produksjon av elektrisk kraft som ellers ikke kan utnyttes.

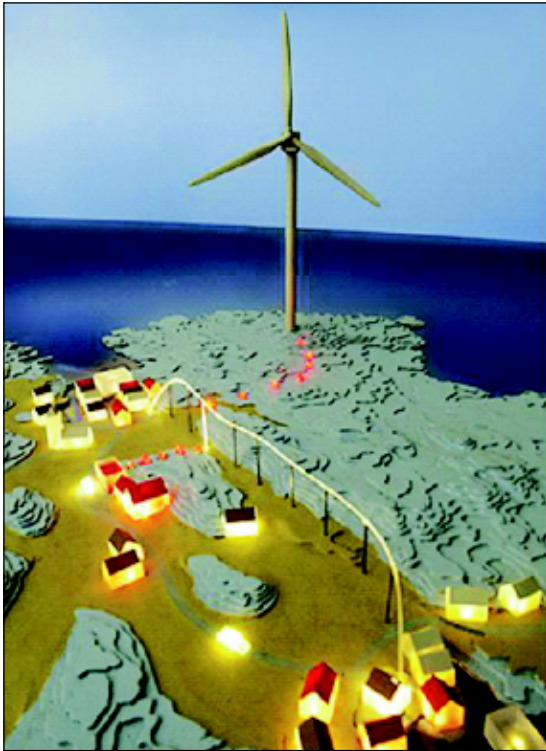
En variant kan være forsyning i områder med svakt nett eller uten elektrisk tilknytning, slik som for eksempel isolerte øyer eller spesielt avsidesliggende strøk. Her kan hydrogen brukes til energiutjevning. Dette er demonstrert i Hydros pilotprosjekt på Utsira, jf. boks 6.2. For Norges del representerer dette en svært liten del av den samlede forsyning, men løsningen kan være interessant for et internasjonalt marked.

Hydrogen fra naturgass til stasjonære formål

Prosesser for produksjon av hydrogen fra naturgass er kort skissert i kapittel 6.3.2, og grundigere beskrevet i Særskilt vedlegg 1. Storskala naturgassreforming vil være mest aktuelt. En av fordelene med sentral storskala generering av hydrogen fra naturgass er at CO₂ enklere kan samles og håndteres. I følge ekspertgruppen for Produksjon og stasjonært bruk, anses energikjedene basert på naturgassreforming uten CO₂-håndtering ikke å gi noen miljømessig gevinst i forhold til direkte bruk av naturgass. Det er i tillegg i dag langt enklere å transportere naturgass enn hydrogen. Høytemperatur brenselceller konverterer også like gjerne naturgass som hydrogen. En storskala produksjon av hydrogen fra naturgass uten CO₂-håndtering for anvendelse til stasjonære formål anses derfor ikke å være noe aktuelt alternativ.

Ser man på hydrogen fra naturgass med CO₂-håndtering, blir bildet annerledes. Gitt at CO₂ blir tatt hånd om på en miljøvennlig måte, kan man bruke hydrogenet i en hydrogengassturbin eller brenselcelle for produksjon av elektrisk kraft. Hvorvidt man da har et gasskraftverk med CO₂-håndtering basert på «pre-combustion»-prinsippet eller en storskala produksjon av hydrogen for sta-

Boks 6.2 Pilotprosjekt til Hydro på øya Utsira



Figur 6.5 Energiforsyning på Utsira

På Utsira utenfor Haugesund arbeider Hydro med et demonstrasjonsprosjekt for å vise hvordan vindkraft og hydrogen sammen kan sikre energiforsyningen og gjøre et samfunn helt uavhengig av fossile brensler. Prosjektet går ut på å sikre stabil og tilstrekkelig med kraft basert på fornybare energikilder til ti husstander året rundt. Elektrisitetsproduksjon fra vindturbiner vil ikke kunne garantere behovet alene siden vinden er ustabil. Elektrisitet fra turbinene må lagres for å sikre forsyning i perioder med stille vær.

Hydrogen brukes derfor som et kjemisk energilag. I tider med overskuddskraft fra vindturbinene vil hydrogen bli fremstilt ved hjelp av en elektrolyser som er levert av Norsk Hydro Electrolysers. Hydrogenet lagres i trykktanker og kan benyttes til å produsere elektrisk kraft når vinden ikke strekker til. I første omgang vil det bli benyttet en hydrogen-drevet motor til å drive en generator som produserer elektrisk kraft. I løpet av våren 2004 monteres en brenselcelle som kan benytte hydrogenet direkte for å gi elektrisk energi.

sjonære formål, blir et definisjonsspørsmål. Uavhengig av hva man velger å kalle det, er dette en løsning som kan være aktuell på lang sikt, jf. kapittel 6.3.2.

6.4.2 Mulig bruk av hydrogen i transportsektoren

6.4.2.1 Dagens situasjon

Transportsektoren står i dag for om lag 25 prosent av de norske klimagassutslippene, jf kapittel 3.1 i Særskilt vedlegg nr.2. Bruk av hydrogen som drivstoff i transportsektoren vil kunne være del av en langsiktig løsning på utslipp av klimagasser. CO₂-utslippet fra transportsektoren kan også reduseres ved hjelp av økt effektivitet i forbrenningsmotorer basert på konvensjonelle drivstoff. Men veksten i transportbruk og endringer i kjøretøyparken med blant annet større kjøretøy, innebærer at CO₂-utslipp fortsatt vil være et problem i transportsektoren i fremtiden.

I tillegg til utslipp av CO₂, står også utslipp av annen luftbåren forurensning høyt på agendaen. Av disse representerer NO_x-utslippene en stor utfordring. Transportsektoren bidrar med 45 prosent av de nasjonale NO_x-utslippene. Gjennom forbedring av konvensjonelle drivstoff og videreutvikling av kjøretøyteknologien forventer en minimale miljøskadelige avgassutslipp i framtiden. De norske målene om reduksjon av NO_x og partikkelutslipp kan dermed nås gjennom en kombinasjon av stadig strengere utslippskrav fra myndighetene og teknologiske forbedringer i kjøretøyindustrien. Hydrogen er derfor ikke en forutsetning for å redusere NO_x-utslippene på kort sikt. I et langsiktig perspektiv er imidlertid en eventuell innfasing av brenselcellekjøretøy en enda bedre løsning, da de lokale utslippene ved bruk vil forsvinne helt.

6.4.2.2 Effekter ved innfasing av hydrogen i transportsektoren

Det er kombinasjonen av drivstoff og forbrenningsmotor som gir lokalt forurensende avgassutslipp og utslipp av klimagasser. Hydrogen ved bruk i brenselcellekjøretøy har vann som eneste utslipp. Dersom hydrogen produseres fra fornybar energi eller naturgass med CO₂-håndtering, er dette en nullutslippsløsning. Hydrogen brukt i forbrenningsmotor vil ved mager forbrenning kunne gi svært lave utslipp av NO_x. Hydrogen-naturgassblandinger (HCNG) kan ved mager forbrenning også gi lave utslipp av NO_x og CO, samt reduserte utslipp av CO₂.

6.4.2.3 Alternativer til hydrogen

Elbiler representerer nullutslippsteknologi der som elektrisiteten til batteriet blir produsert fra fornybare kilder. Elbiler har imidlertid begrensninger i ytelse, og nye teknologiske gjennombrudd på batterisiden må til for at elbilene skal bli konkurransedyktige.

Bruk av naturgass og LPG² gir lavere utslipp av helseskadelige avgasser enn bensin og diesel. Naturgass og LPG bidrar med dagens kjøretøyteknologi ikke nevneverdig til reduksjon av CO₂-utslipp, men eventuell videre teknologiutvikling av forbrenningsmotoren tilpasset bruk av disse drivstoffene kan redusere CO₂-utslipp. Dette er imidlertid avhengig av bilindustriens vilje til å gjennomføre slik teknologiutvikling.

Bruk av biodrivstoff i dagens marked er CO₂-nøytralt. Biodrivstoff har lave utslipp av helseskadelige avgasser, spesielt partikler, CO og HC, men kan generelt ha like høye eller høyere utslipp av NO_x.

6.5 Næringsutvikling på hydrogenområdet

Økt bruk av hydrogen i et internasjonalt marked vil innebære muligheter for næringsutvikling og verdiskaping for de aktørene som klarer å posisjonere seg og kan være konkurransedyktige. Utvalget vil klassifisere *næringsmulighetene* for norske aktører i tre hovedområder:

- Produksjon og transport av hydrogen
- Leveranse av teknologiprodukter og -løsninger
- Leveranse av kompetanse, herunder forskning

6.5.1 Norge som internasjonal leverandør av hydrogen

Norge i rollen som leverandør av hydrogen basert på produksjon fra norsk naturgass er beskrevet i kapittel 6.3. I et slikt scenario er det naturlig å se dagens norske gassleverandører også som mulige leverandører av hydrogen. Dette innebærer at de integrerer seg nedstrøms i verdikjeden i forhold til det situasjonen er i dag. Helt avgjørende for et slikt scenario vil være at man finner løsninger for håndtering av CO₂ ved produksjonen av hydrogen.

I et scenario hvor det er utviklet teknologi som gjør hydrogenproduksjon fra naturgass med CO₂-håndtering mulig, vil gode logistikkløsninger være

avgjørende. En sentral avveining vil være hvorvidt man ønsker å lande naturgassen nær markedene og produsere hydrogen der, eller alternativt å produsere hydrogen i stor skala nær gassreservene. Hvilken løsning som velges, vil avhenge av hvorledes den utskilte CO₂-en skal håndteres. Hvis man skal komprimere og deponere CO₂ i akviferer på den norske kontinentalsokkelen eller bruke den til økt oljeutvinning i produserende olje- og gassfelt, vil det være nærliggende med hydrogenproduksjon offshore eller langs kysten ved ilandføringssteder. Da vil hydrogenet måtte transporteres til markedene, enten i rør eller som nedkjølt eller komprimert gass. Kombinasjoner av disse lagringsformene ses også på som mulige langsiktige løsninger i noen miljøer. Med den kompetanse og lange erfaring som ligger i norsk skipsfart knyttet til transport av LNG på skip, kan dette være et grunnlag for videre utvikling av skipsbasert transport av hydrogen på lang sikt. Hvordan en slik teknologisk løsning kan se ut, er det ennå for tidlig å forutsi.

Rørbasert hydrogentransport kan også representere en langsiktig løsning. Også her er Norge i en særstilling med et godt utbygd gassrørnett mot Europa. Norske aktører utfører nå studier for å se på mulighetene for å transportere hydrogen i eksisterende naturgassnett.

Utvalget mener at Norge samlet sett har fortrinn som gjør hydrogen fra norsk naturgass til en interessant næringsmulighet på lang sikt. Dette bør ligge til grunn i en nasjonal hydrogenstrategi.

6.5.2 Norske leverandører av hydrogenteknologi

De utviklingstrekk man ser for seg på hydrogenområdet kan åpne muligheter for leverandører av teknologi og løsninger. Med basis i sin kompetanse, vil norske aktører kunne spille en vesentlig rolle innenfor det næringsliv som i fremtiden skal levere varer og tjenester i et hydrogenmarked. Dette er uavhengig av når eller i hvilket omfang hydrogen tas i bruk i det norske energi- og transportsystemet.

Satsing på del- og underleveranser

Til tross for høy kompetanse og høye ambisjoner, kan det være fornuftig for aktører å satse på utvalgte ledd i de energikjedene³ som hydrogenproduksjon og -bruk vil representere. En totalleverandørtilnærming vil ofte være svært utfordrende,

2. LPG – Liquefied Petroleum Gases (Propan og butaner)

3. Energikjede: Kjeden fra primærkilde til sluttbruk

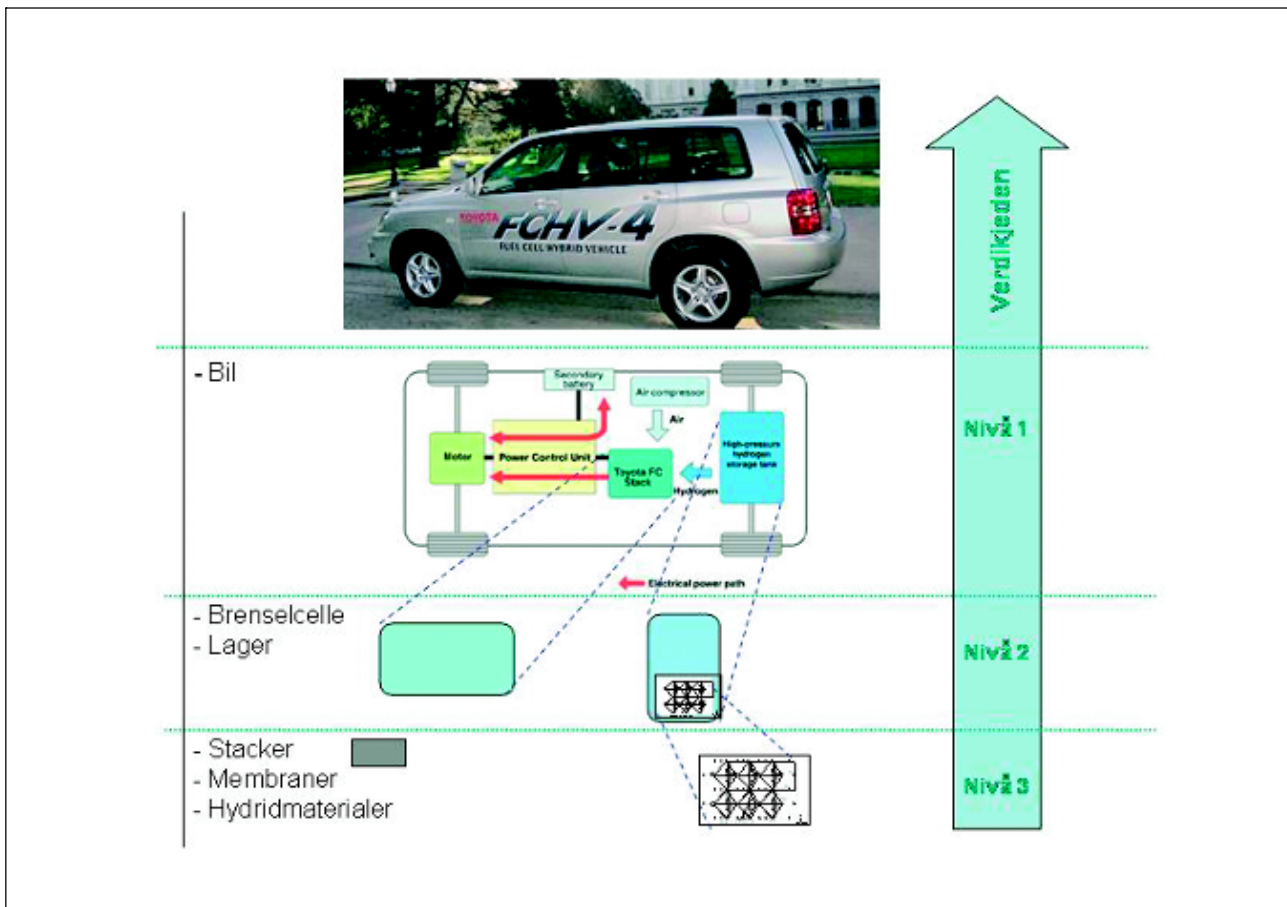
og det stilles enda større krav for å lykkes. Dette gjelder langs hele verdikjeden, men kan også være tilfelle innenfor de enkelte teknologier. Utvalget ønsker å fokusere eksplisitt på den potensielle verdiskaping og de muligheter som ligger i underleveranser og delkomponenter. Et eksempel på delleveranser til brenselcellekjøretøy gis i Boks 6.3

Et annet viktig moment er det markedsapparat som kreves. Om en aktør tar mål av seg til å være i et internasjonalt sluttbrukermarked, vil dette ofte kreve et stort markedsføringsapparat og effektive distribusjonssystemer. Alternativt må det inngås allianser med selskaper som har dette. Ved å ha sin rolle tidligere i verdikjeden, vil man ofte forholde seg til færre kunder med et større volum per kunde. Dette kan også bidra til at det vil være attraktivt å fokuseres på underleveranser innenfor deler av verdikjeden hvor man lettere kan ha tilstrekkelige komparative fortrinn til å lykkes.

Lagring av hydrogen nevnes av mange aktører som den mest kritiske barrieren for å kunne ta i bruk hydrogen i transportsektoren. Blant annet peker US Department of Energy (DOE) på at dette

er den største utfordringen. Dette er også et felt hvor norske aktører har vist at de besitter høy kompetanse. Blant annet er Institutt for energiteknikk (IFE) langt fremme på lagringssiden, noe som er bekreftet ved at IFE er en foretrukket partner i flere av de store internasjonale forskningsprosjektene på området. IFE fikk dessuten før jul 2003 i oppdrag fra *European Space Agency* (ESA) å utvikle et system for lagring av hydrogen i metallhydrider til bruk i det europeiske romfartsprogrammet.

Det er også norsk kompetanse knyttet til øvrige lagringsteknikker. Dette kan være lagringsteknikker med større modenhet og som kan være aktuelle i et tidlig marked. SINTEF og NTNU i Trondheim har sammen med norsk industri lang erfaring og høy kompetanse på flytendegjøring og komprimering av naturgass (LNG og CNG). Dette er parallelt til flytende og trykksatt hydrogen. Fremtidig hydrogenlagring basert på disse tre løsningene eller kombinasjoner av disse, kan gi muligheter for norske næringer. Lagringsteknologi for hydrogen peker seg derfor ut som særlig interessant for norsk satsing.



Figur 6.6 Illustrasjon av en verdikjede for oppbygging av en brenselcellebil. Her vil det kunne være stort verdiskapingspotensial på alle nivåene i verdikjeden

Kilde: Toyota/Energidata as

Andre teknologiområder med gode muligheter

Norge er allerede langt fremme på en rekke teknologiområder som kan være relevant i en hydrogen-sammenheng. Norske forskningsmiljøer og industri er for eksempel langt fremme innenfor vanne-

lektrolyse, reformering av naturgass, motor- og turbinteknologi, skipsbasert transport av flytende gass, lagring av hydrogen og teknologier knyttet til CO₂-håndtering. Dette er områder der en videre satsing kan gi muligheter for ytterligere teknologi- og kunnskapsbasert næringsutvikling.

Boks 6.3 Delleveranser til brenselcellekjøretøy

I dag er det de helintegreerte bilfabrikantene som leder an i utviklingen av brenselcellekjøretøy. Utviklingen av brenselcelleløsninger styres og drives i hovedsak frem av bilfabrikantene rundt i Japan, Europa og USA. Det er en utvikling som i liten eller ingen grad kan styres av norske aktører. Det å ta mål av seg til å utvikle, industrialisere og markedsføre et komplett brenselcellekjøretøy vil være svært ambisiøst, og vil for de aller fleste fremstå som uaktuelt.

Bilindustrien for øvrig har i dag utviklet seg til en industri der en i mindre grad bruker egenproduserte komponenter, men setter sammen komponenter som produseres av spesialisert industri over hele verden. Underleverandører har spesialisert seg på girkasjer, akslinger, tanker, og andre komponenter. Norskbaserte spesialiserte bedrifter har en sterk stilling som underleverandører til bilindustrien. Både Hexagon (tidligere Raufoss Automotive), Hydro og flere andre leverer støtfangere, tanker, chassis, aluminiumsfelger, med mer til bilindustrien. Dette er deler av verdikjeden «fremstilling av bil» hvor disse aktørene har helt spesielle komparative fortrinn og kan være konkurransedyktige.

Med en tilsvarende tilnærming også når det gjelder fremtidige brenselcellekjøretøy, vil også denne produksjonen kunne konvergere mot en situasjon der billeverandørene setter sammen spesialkomponenter fra underleverandører. Her kan det være muligheter for teknologibasert næringsutvikling for norske aktører, som med basis i spesielle komparative fortrinn, kan bli ledende på nisjeområder. Eksempler kan være lagringssystemer for hydrogen om bord i bilen, membraner, selve brenselcellen eller andre komponenter.

Selve brenselcellen vil representere en av nøkkelteknologiene. Selv i forhold til brenselceller kan en underleverandøertilnærming være relevant og representere stor verdiskaping.

Eksempler på markeder i rask vekst

Det er store forventninger til hydrogen som energibærer, og mange forventer at det kan bli stor etterspørsel etter hydrogenteknologier. Hvis det lykkes å løse flere utfordringer knyttet til hydrogen, vil hydrogen kunne tas i bruk i økende grad. De markeder som da vil kunne etableres, vil være i vekst. En slik situasjon gjør at det også i større grad enn i modne markeder vil være mulig for nye aktører med ny teknologi og nye løsninger å etablere seg. Dette er det mange eksempler på, blant annet innenfor fornybar energi. Dette markedet har vokst raskt de siste årene etter hvert som teknologiene er forbedret. Her har flere aktører kunnet etablere betydelig næringsvirksomhet innenfor ulike deler i verdikjedene. Et eksempel på næringsutvikling basert på underleveranser i raskt voksende markeder, er det som har skjedd med etableringen av norsk solcelleindustri, jf. boks 6.4.

En ser eksempler på at det etableres markeder for enkelte teknologier før de er konkurransedyktige i et ordinært marked. Dette er markeder som stimuleres av finansierings- og tilskuddsordninger, ofte basert på de enkelte lands mål om å fase inn ny teknologi og nye løsninger. Et eksempel er vindkraft. Hvis målene er ambisiøse og viljen sterk, vil slike tidligmarkeder kunne representere store verdier og vare lenge, mens teknologiene modnes. Dagens marked for brenselceller er et slikt eksempel. Dette er et tidligmarked som i stor grad består av demonstrasjons- og forskningsprosjekter. De målene som nå settes for det amerikanske programmet og tilsvarende for Japan og EU, tilsier at det på hydrogenområdet vil være stor vilje til å bruke ressurser for å ta i bruk hydrogen. Det betyr at det kan oppstå markeder for leveranse av teknologi til demonstrasjoner og forskningsanvendelser. Posisjonering for et slikt marked kan være en god strategi for aktører som har komparative fortrinn, både fordi disse stimulerte tidligmarkedene kan representere betydelig verdiskaping i seg selv. I tillegg står man sterkere ved eventuelle gjennombrudd som fører til at hydrogen får et innpass i et mer ordinært marked.

Utvalget mener at norske aktører har gode forutsetninger for å kunne bli toneangivende aktører

Boks 6.4 Et norsk industrieventyr – etableringen av en norsk solcelleindustri

Solceller kan med dagens teknologi levere kraft til en pris på 1,50 kroner/kWh (inkludert distribusjon) avhengig av blant annet solinnstråling (og rentenivå), men er ikke konkurransedyktig i de aller fleste konvensjonelle energimarkedene. Likevel har veksten i dette markedet vært på over 30 prosent årlig, og utgjorde i 2003 så mye som 32 milliarder kroner på verdensbasis.

Med relativt få soltimer vil solceller neppe i overskuelig fremtid spille noen betydelig rolle i den norske energiforsyningen. Dette faktum var like opplagt for 10 år siden. Men likevel ble det etablert en norsk produsent av solcellewafers til denne industrien; Scan-Wafer. Etableringen ble gjort med basis i spesielle komparative fortrinn som underleverandør og basert på forventninger om et sterkt voksende marked. I dag har selskapet tatt en større del av verdikjeden og produserer også solceller og moduler, i tillegg til wafers som det startet opp med. I 2003 omsatte konsernet for 721 millioner kroner, og vil i 2004 passere en milliard kroner i omsetning.

innenfor segmenter av den industrien som kan vokse frem knyttet til bruken av hydrogen.

6.5.3 Norske leverandører av kompetanse

Norske forsknings- og kompetansemiljøer kan levere spisskompetanse – både mot et norsk og internasjonalt marked. Norske forsknings- og

industrimiljøer har allerede dokumentert sin kompetanse ved å være en fortrukket partner innenfor flere av EUs store hydrogenprosjekter. Denne muligheten kan forsterkes ved en satsing innenfor de områdene hvor vi har spesiell styrke. Slike samarbeidsrelasjoner gir også gode muligheter for å bringe kunnskap tilbake til Norge, markedsprofilering samt muligheter for internasjonal medfinansiering av norsk kompetanseutvikling.

6.6 Økt internasjonal aktivitet som begrunnelse for en norsk satsing

Utvalget vil til slutt peke på betydningen av den internasjonale innsatsen. Dette er en faktor som er overordnet i forhold til de øvrige begrunnelsene som er diskutert tidligere i kapitlet.

Fremveksten av en sterk internasjonal satsing er en av de viktigste forutsetningene for en norsk hydrogensatsing, men er ikke i seg selv en begrunnelse for norsk innsats. Det faktum at en slik internasjonal satsing finner sted, åpner imidlertid for muligheter som ellers ikke ville være til stede. Den norske innsatsen kan dermed fokuseres der vi har spesielle fortrinn for å kunne lykkes, mens andre kritiske utfordringer kan løses av andre.

I dette perspektivet blir deltagelsen i det internasjonale samarbeidet avgjørende for å få mest mulig igjen for den innsatsen som legges ned fra norsk side. Samtidig er det også viktig å sikre at internasjonale fremskritt kan legges til grunn i strategier hos norske aktører og myndigheter, både når det gjelder næringsutvikling og mulige anvendelser i Norge. Deltagelse i internasjonalt samarbeid trer frem som et viktig virkemiddel i en nasjonal hydrogenstrategi. Norsk deltagelse i internasjonalt samarbeid på hydrogenområdet er nærmere omtalt i kapittel 5.5.

Kapittel 7

En norsk hydrogensatsing

Boks 7.1 Visjon for en norsk hydrogensatsing

Norge skal være pådriver for bruk av energi og drivstoff basert på forurensningsfrie energiteknologier – der hydrogen spiller en viktig rolle som energibærer.

Norge har store energiressurser og norske aktører har, blant annet gjennom forvaltningen av disse ressursene, opparbeidet høy kompetanse innenfor energifeltet. En norsk hydrogensatsing bør bygge, på dette. Utvalget har formulert en visjon for en norsk hydrogensatsing som presenteres i boks 7.1.

Med utgangspunkt i begrunnelsen for en norsk satsing, jf. kapittel 6.2, vil utvalget utdype visjonen slik:

Norsk naturgass: Utvalget mener at det må utvikles langsiktige strategier som bygger opp under **miljøvennlig produksjon av hydrogen fra naturgass**. Ved siden av miljøgevinstene vil dette kunne bidra til å øke verdien av Norges olje- og gassressurser. I et fremtidig marked med internasjonal etterspørsel etter hydrogen bør Norge være tidlig ute som produsent og distributør.

Miljø som drivkraft: Utvalget anser hydrogene- nets fordeler som **drivstoff i transportsektoren** som den viktigste begrunnelsen for bruk i Norge. I et langsiktig perspektiv vil forsyning av hydrogen til transportsektoren baseres på **fornybare energikilder**. Norge har i tillegg til vannkraft store potensielle ressurser innen vindkraft, kraft fra havet (bølge-, tidevann- og saltkraft) og bioenergi. I tillegg kan hydrogen brukt som lagringsmedium for energi, muliggjøre bruk av fornybare ressurser som ellers ikke ville være tilgjengelig.

Næringsutvikling: Utvalget er av den oppfatning at det vil kunne utvikle seg et stort **internasjonalt marked** innenfor hydrogenområdet. Med utgangspunkt i norsk kompetanse og norske naturressurser er det et potensial for å realisere store verdier ved salg av teknologi, kunnskap og løsninger til et slikt marked.

7.1 Satsingsområder

Utvalget har foreslått fire konkrete satsingsområder som bør prioriteres i en norsk hydrogensatsing. Disse er:

- Miljøvennlig produksjon av hydrogen fra norsk naturgass
- Tidlige brukere av hydrogenkjøretøy
- Lagring av hydrogen
- Utvikling av en hydrogenteknologinæring

De fire satsingsområdene er beskrevet videre i kapitlet.

Utvalget har innenfor hvert av disse områdene foreslått mål, identifisert muligheter og barrierer samt foreslått aktuelle tiltak og virkemidler. Satsingsområdene er ikke nødvendigvis likestilt. De representerer heller ingen komplett energi- eller verdikjede, men er identifisert med bakgrunn i de forhold som blant annet er beskrevet i kapittel 6. Norge bør velge ut en del områder innenfor hydrogenfeltet hvor vi, ut fra kompetanse og ressursgrunnlag, synes å ha spesielle fortrinn. På en rekke områder vil vi være avhengige av hva som skjer internasjonalt. Vi må derfor ha god kunnskap om det som skjer internasjonalt, både innenfor forskning og utvikling og på politikkområdet.

7.1.1 Miljøvennlig produksjon av hydrogen fra naturgass

7.1.1.1 Muligheter og mål

Mål

- Produksjon av hydrogen fra naturgass med tilfredsstillende CO₂-håndtering skal skje til en pris som gjør hydrogen konkurransedyktig med bensin eller diesel per energiekvivalent

Hydrogen fra naturgass

Hydrogen fra naturgass er et område hvor det vil være riktig for norske myndigheter og aktører å satse betydelig, jf. kapittel 6.3. I en situasjon med en betydelig internasjonal etterspørsel etter hydrogen, kan norsk gass representere en viktig forsy-

ningskilde. Dette bør skje med en teknologi der CO₂ kan håndteres på en tilfredsstillende måte, og til en pris som er konkurransedyktig. Det betyr at kostnader til produksjon av hydrogen, håndtering av CO₂, og distribusjon av hydrogen frem til sluttbruker er inkludert. Med «konkurransedyktig» menes at miljøkostnader ved bruk av alternative drivstoff er inkludert i prisen.

En målsetting om hydrogenproduksjon fra norsk naturgass gir flere muligheter og utfordringer. Mange av de teknologiske utfordringene er knyttet til gasskraft med CO₂-håndtering. Med norske gassreserver, den kompetanse- og teknologi-basen som finnes og de spesielle utfordringene nasjonen står overfor når det gjelder reduksjon av klimagassutslipp, peker miljøvennlig produksjon av hydrogen fra naturgass seg ut som et viktig område for Norge. Norge har en spesiell mulighet til å utvikle og demonstrere gassbasert energiproduksjon og -bruk med CO₂-håndtering, og derigjennom også etablere konkurransedyktig norsk industri på dette området.

Utvalget mener at en løsning for å produsere hydrogen fra naturgass med tilfredsstillende CO₂-håndtering, kan være en strategi som bidrar til å sikre en miljøvennlig tilgang på hydrogen i et fremtidig hydrogenmarked. I tillegg kan det bidra til å sikre verdiene av norske gassressurser på lang sikt. Utvalget vil anbefale at dette legges til grunn i en nasjonal hydrogenstrategi.

Tilfredsstillende håndtering av CO₂ innebærer at det stilles krav om et maksimalutslipp av CO₂ til atmosfæren per produsert enhet hydrogen. For eksempel kan det være et krav om maksimalt 10 prosent utslipp av det som er tilfellet ved konvensjonell reformering av naturgass til hydrogen. En grense for akseptabelt maksimalutslipp vil kunne være hensiktsmessig i en tidlig fase, da marginalkostnadene for å rense de siste prosentene kan være vesentlig høyere enn for de første.

I noen av de mest interessante metodene for gasskraft med CO₂-håndtering som det jobbes med, produseres hydrogen som et mellomstadium. Dette kan derfor bety at nye løsninger for å produsere elektrisitet fra naturgass med håndtering av CO₂, også innebærer en løsning for å produsere hydrogen på en miljøvennlig måte. Det forskes blant annet på nye former for membranteknologi. Generelt innebærer alle løsninger som baserer seg på reformering av naturgass også at man på et stadium i prosessen har hydrogen tilgjengelig.

En storskala hydrogenproduksjon fra naturgass vil imidlertid være avhengig av utviklingen av hydrogenmarkedet. Et tidlig marked for hydrogen kan være til innblanding i naturgass, HCNG. Ved

innblanding av 10–20 prosent hydrogen kan eksisterende infrastruktur og sluttbrukerteknologi for naturgass benyttes. På denne måten kan det opparbeides verdifull erfaring med hydrogenverdikjeden rettet mot sluttbruker. HCNG kan benyttes både til stasjonære formål og i transportsektoren.

Lagring av CO₂ og CO₂ for økt oljeutvinning

Utvalget mener at en aktiv deltagelse fra industrien for fangst, transport og lagring av CO₂, vil være en kritisk suksessfaktor for å realisere produksjon av hydrogen eller elektrisk kraft fra naturgass med små utslipp av CO₂. En slik drivkraft finnes i norsk olje og gasssektor i dag gjennom mulighetene som åpner seg for å bruke CO₂ til økt oljeutvinning. I en slik sammenheng kan det være en betalingsevne for CO₂ som vil bidra til å redusere totalkostnaden for CO₂ håndtering. Denne form for utnyttelse av CO₂ vil kunne øke inntektene fra norsk olje både for industrien og for norske myndigheter ved at utvinningsgraden økes og dermed inntekter og levetid for oljefelt.

I tillegg til injeksjon for økt oljeutvinning, har den norske sokkelen også muligheter for lagring av CO₂ i vannfylte akviferer eller tømte reservoarer, jf. kapittel 6.3.3.

7.1.1.2 Barrierer

Separasjon av CO₂

Ved produksjon av hydrogen og kraft fra naturgass er det avgjørende med et gjennombrudd innen kostnadseffektiv teknologi for gassseparasjon (hydrogen fra naturgass og/eller oksygen fra luft). Dampreforming er den metoden som brukes mest til produksjon av hydrogen i dag. Nye teknologiske løsninger der reformering, vannskift og hydrogenrensing skjer samtidig i en integrert «membranreaktor» fremstår som interessant i et langsiktig perspektiv. Det er også aktuelt å satse på andre prosesser på kortere sikt.

Fangst, transport og lagring av CO₂

Utskilt CO₂ må håndteres på en tilfredsstillende måte. Alternativene er injeksjon av CO₂ i produserende felt for å øke utvinningsgraden og lagring i reservoarer og formasjoner i undergrunnen. Dette er beskrevet i kapittel 6.3.3.

Kostnadene representerer en barriere for deponering eller injeksjon av CO₂. De viktigste kostnadskomponentene er knyttet til fangst av CO₂ og infrastruktur. Dette inkluderer CO₂-separasjon og komprimering, samt transport til stedet den skal

injiseres. Den økonomiske barrieren vil være større i det rene lagringstilfellet enn ved injesering, da kostnaden ved bruk til økt oljeutvinning vil kunne relateres til den marginale økningen i utvinningsgrad. Imidlertid kan det være aktuelt med kombinasjonsløsninger der en i en første fase bruker CO₂ til økt utvinning. Senere, når feltet ikke lenger skal produsere, kan en gå over til en ren lagringstilfelle i det samme området. På den måten vil hele eller deler av kapitalkostnaden knyttet til infrastruktur kunne vurderes i sammenheng med den økte utvinningen av olje og inngå som en del av produksjonskostnadene for oljen. Slike løsninger krever imidlertid stor grad av langsiktig planlegging, og tilsier at bevisstheten om denne type løsning må være høy allerede nå, da produksjonsplanlegging på sokkelen har lang tidshorisont.

En annen sentral utfordring vil være mengdene av CO₂ som kreves ved økt oljeutvinning. Dette vil være store volumer, og vil således innebære betydelig større anlegg for produksjon av elektrisitet eller hydrogen enn de som vurderes i dag for kraftproduksjon. CO₂-leveranser fra et anlegg må derfor balanseres med CO₂ fra andre kilder for å tilpasse behovet. Med et mål om naturgassbasert produksjon av hydrogen eller elektrisitet med CO₂-håndtering, bør dette legges til grunn som en overordnet føring eller rammebetingelse ved produksjonsplanlegging på sokkelen. Dette kan for eksempel være et eget element som skal vurderes når selskapene leverer sin plan for utbygging og drift (PUD) til myndighetene.

Foreløpig er internasjonale avtaler og regelverk knyttet til CO₂-lagring ikke entydig og omforent. Dette er en rammebetingelse som representerer en usikkerhet i forhold til industriens satsing på området. Slike uklarheter må det arbeides videre med for oppnå en avklaring, og norske myndigheter bør spille en aktiv rolle internasjonalt for å bidra til dette.

Effektiv og ren forbrenning av hydrogen

De gasskraftløsningene med CO₂-håndtering som går veien om hydrogen, og som er aktuelle på kort sikt, baserer seg på at hydrogen forbrennes i en turbin. Forbrenning av hydrogen i en turbin innebærer svært høye temperaturer med tilhørende høye utslipp av NO_x. I tillegg er det materialtekniske utfordringer. Det finnes per i dag ingen kommersielle turbiner som kan håndtere dette direkte. En måte som imidlertid er aktuell for å redusere temperaturen og NO_x-utslippene, er å føre en strøm av en inert gass¹ sammen med hydrogen for

å styre prosessen bedre. Dette fører imidlertid til at virkningsgraden reduseres. Utfordringen knyttet til samtidig å oppnå høy virkningsgrad og lave utslipp av NO_x, er foreløpig ikke løst på en tilfredsstillende måte.

7.1.1.3 Tiltak og virkemidler rettet mot miljøvennlig produksjon av hydrogen fra naturgass

Innenfor dette feltet vil det være aktuelt med virkemidler med ulike tidsperspektiver. Noen tiltak, for eksempel avansert materialforskning, vil ha lang tidshorisont mens andre tiltak, for eksempel støtte til testanlegg, vil kunne starte opp med en gang.

Separasjon av CO₂

Virkemidler for å løse disse utfordringene er hovedsakelig knyttet til forskning og teknologiutvikling. Sentrale forskningsutfordringer på dette området er:

- Materialteknologi med fokus på membraner og adsorbenter
- Systemutvikling og prosesseteknologi
- Nye katalysatorer knyttet til produksjon av hydrogen

For konsepter i en fase mellom forskning og demonstrasjon kan det være aktuelt å teste disse ut i en mindre skala. Etablering av et nasjonalt forskningsorientert testlaboratorium (testlab) vil kunne bidra med verdifull kunnskap i den videre teknologiutviklingen. En slik testlab vil ha relevans både for hydrogen- og kraftproduksjon med CO₂-håndtering, jf. kapittel 8.2.1.2

Fangst, transport og lagring av CO₂

Tiltak og virkemidler for å oppnå dette er knyttet til:

- Forskning og teknologiutvikling
- Forutsigbarhet i rammebetingelsene knyttet til kostnader og internasjonalt regelverk for utslipp av CO₂
- Klargjøring av internasjonale avtaler vedrørende lagring av CO₂
- Krav til overordnet produksjonsplanlegging på sokkelen som omfatter CO₂ for økt oljeutvinning og deponering

1. Inert gass – en gass, for eksempel nitrogen (N₂), CO₂ eller vanddamp, som i denne prosessen ikke inngår i noen kjemisk reaksjon.

Effektiv og ren forbrenning av hydrogen

Utfordringen knyttet til forbrenning av hydrogen i gassturbin er krevende, og vil kunne være en kritisk barriere mot realisering av et hydrogen- eller gasskraftkonsept. Det vil derfor være viktig å støtte forskning relatert særlig til gassturbiner som både har høy virkningsgrad og samtidig lave NO_x-utslipp.

Prosessoptimalisering og prototyp utvikling

Alle teknologiledd i prosessen bør prøves ut i et pilotprosjekt før et storskala anlegg kan bygges. Dette forutsetter en vesentlig offentlig medvirkning og et tett samarbeid mellom myndigheter og industri. Et pilotprosjekt knyttet til produksjon av hydrogen og kraft fra naturgass med CO₂-håndtering vil om ikke for lang tid kunne være aktuelt, jf. kapittel 8.2.1.2

7.1.2 Tidlige brukere av hydrogenkjøretøy

7.1.2.1 Muligheter og mål

Mål

- Norske aktører skal være tidlige brukere av hydrogenkjøretøy i transportsektoren.
- Norske myndigheter skal være like ambisiøse som EU når det gjelder å fremme bruken av hydrogenkjøretøy. Norge bør satse spesielt på flåtekjøretøy².

For å kunne utnytte de fordelene som hydrogen kan innebære på lang sikt, er det viktig å utvikle tidlig brukerkunnskap. Når brenselcellekjøretøy blir kommersielt tilgjengelige, bør teknologien og muligheten være tilstrekkelig kjent og akseptert hos publikum i Norge slik at dette ikke utgjør noen barriere.

Norge kan velge å avvente utviklingen internasjonalt. For transportsektoren som sådan vil kostnadene ved en slik strategi neppe være dramatiske. Miljøegenskapene ved konvensjonelle kjøretøy blir stadig bedre. Innen sjøfarten kan utslippene også reduseres vesentlig uten overgang til hydrogen. Samtidig ligger det et betydelig potensial i å få redusert de fremtidige utslipp av CO₂ gjennom overgang til bruk av hydrogen og brenselcelleteknologi. I forhold til en ambisjon om CO₂-reduksjon, vil en avventende holdning innebære at det tar len-

ger tid før man også i Norge kan ta ut dette potensialet.

Det er utvalgets oppfatning at det vil være gevinster å hente ved å ligge i front i denne utviklingen. Norske forskningsmiljøer og norsk industri har kompetanse og ressurser som kan bidra til å fremskynde den internasjonale utviklingen mot overgang til bruk av hydrogen. Dessuten kan det være av stor økonomisk interesse for norske aktører å bli involvert i denne utviklingen.

Ekspertgruppen for transport har illustrert mulige utviklingsbaner gjennom to scenarier eller regneeksempler, der henholdsvis 2 og 5 prosent av transportsektorens energiforbruk baseres på hydrogen. EUs målsetting for 2020 er til sammenligning 5 prosent. Introduksjonsfasen er 10 år for vegtransport og 20 år for sjøtransport. Ekspertgruppen har satt oppstart i år 1 som det året teknologi er tilgjengelig, uten å ta stilling til eksakt når dette året inntreffer. Mellom 2010 og 2015 er antydning på bakgrunn av bil/bussindustriens prognoser om når det kan forventes oppstart av serieproduksjon av kjøretøy. I begge scenariene forutsettes det satt inn 80 busser og 80 personbiler i år 1. Introduksjonen tenkes konsentrert i to til tre utvalgte byområder før en gradvis spredning fram mot år 10. En kan oppnå 2 prosent ved innfasing kun i byområder mens 5 prosent innfasing vil kreve hydrogenbruk over stort sett hele landet. Det vises for øvrig til Særskilt vedlegg 2.

Tidspunktet for en mulig innfasing av et slikt scenario vil avhenge av når kjøretøy er tilgjengelig i tilstrekkelig volum og til lav nok pris. En nasjonal strategi for oppfyllding av målet om å være tidlig bruker av hydrogenkjøretøy vil derfor være å sørge for at utgangspunktet er best mulig når år 1 inntreffer. I tillegg er det viktig å fokusere på de områdene hvor norske aktører kan spille en rolle i å fremskynde år 1. Forskning på å finne gode lagringsløsninger for hydrogen er pekt på som et slikt område.

I en første fase vil distribuert produksjon av hydrogen ved vannelektrolyse være den mest aktuelle forsyning for transportsektoren. Dette er en løsning som muliggjør gradvis oppbygging av infrastruktur. I en fremtidig situasjon vil også distribuert småskala reformering være en mulighet hvis naturgass er tilgjengelig. Håndtering av CO₂ i dette tilfellet vil imidlertid kunne være en utfordring og kan innebære spredte CO₂-utslipp i forhold til sentral storskala produksjon med CO₂-håndtering. Alternativene vil da være sentral produksjon av hydrogen og transport av denne ut til brukerne, eller sentral produksjon av elektrisitet og distribuerte elektrolysestasjoner. Hvilke løsnin-

2. Flåtekjøretøy – Samlinger av kjøretøy i et begrenset geografisk område, for eksempel busser, drosjer, postbiler, eller lignende.

ger som vil være aktuelle på lang sikt, er det ikke mulig å forutsi.

7.1.2.2 Barrierer

Den opplagte barrieren når det gjelder å være tidlig bruker av hydrogenkjøretøy, er tilgangen på den nødvendige hydrogenteknologi til en akseptabel pris og med tilstrekkelig levetid. En ambisjon om å være tidligbrukere vil måtte tilpasses tilgjengeligheten på slik teknologi og forutsetter muligheter for å demonstrere ny teknologi. Det vil være en utfordring å sørge for at de store internasjonale leverandørene ser på Norge som et interessant marked for demonstrasjon av ny teknologi.

I tillegg til tilgjengelighet på hydrogendrevne kjøretøy, levetid og pris, må det på forhånd være lagt til rette for at det skal være mulig å ta i bruk slike kjøretøy. Det gjelder både for drivstofftilgjengelighet (infrastruktur) og muligheter til å kunne få kjøretøyene godkjent, vedlikeholdt, reparert og forsikret, med videre.

I dag opplever man at regelverk og standarder for produksjon og bruk av hydrogen er svært forskjellige fra land til land, i den grad det i det hele tatt eksisterer. Ulike regelverk kan både være et hinder i kommersialisering, men også et middel for konkurransevridning. Manglende regelverk er en barriere for sertifisering av teknologi og løsninger.

I tillegg vil tidlig bruk av hydrogen avhenge av brukeraksept, oppfatninger om sikkerhet og brukernes holdninger til å ta i bruk ny teknologi.

7.1.2.3 Tiltak og virkemidler

Regelverk og standarder

Før markedsintroduksjon, er det nødvendig å utvikle regler og standarder for å kunne godkjenne ny teknologi og drivstoff.

De relevante fagmyndighetene må utvikle nødvendig kompetanse og utarbeide standarder for godkjenning av så vel kjøretøy som fyllestasjoner. På sikt er det en forutsetning med internasjonale standarder, men i en introduksjonsfase vil det sannsynligvis være nødvendig med egne nasjonale regelverk. Det er imidlertid viktig at disse utvikles i prosesser som ser til at de nasjonale regelverkene ikke utvikler seg i helt ulike retninger.

Det blir viktig å både delta i og prøve å forsere det internasjonale arbeidet med standarder og regelverk.

Markedsintroduksjon

Fasen mellom forskning og utvikling og når en teknologi begynner å bli moden for markedet er krevende. Ulike tiltak i denne fasen kan være støtte til pilotprosjekter der ulike typer løsninger testes en periode for å framskaffe nødvendig grunnlag for å kunne ta beslutninger om valg av løsninger, behov for forbedringer og driftserfaringer. Prosjekter av denne karakter er også viktig for å etablere forståelse og kunnskap i opinionen. Satsing på informasjon og opplæring vil i tillegg være viktige tiltak for å fremme dette.

Avgiftsincentiver

Utvalget er av den oppfatning at hydrogendrevne biler basert på *brenselceller* bør favoriseres med avgiftsfritak. Slike kjøretøys klare miljøfordel ved bruk bør legitimere fritak fra engangsavgift, på lik linje med elbiler. Elbiler har i dag i tillegg fritak for merverdiavgift, fri parkering på kommunale plasser og anledning til å kjøre i kollektivfelt. Det siste er en prøveordning. Utvalget ser det som naturlig at brenselcelledrevne biler betraktes på samme måte. I tillegg bør subsidiering og annen favorisering av anskaffelse og bruk av slike kjøretøy kunne vurderes.

I en overgangsfase vil hydrogenkjøretøy kunne være basert på *forbrenningsmotorer*. Selv om disse slipper ut NO_x, ser utvalget likevel nytteverdien av å få erfaring med å håndtere hydrogen som drivstoff. På denne bakgrunn bør myndighetene også for hydrogenbiler med forbrenningsmotor, vurdere avgiftsfritak og andre insentivtiltak i en introduksjonsfase. Det bør forutsettes at slike kjøretøy representerer ny teknologi, og ikke er ombygde eldre kjøretøy med forbrenningsmotor

I tillegg til skatte- og avgiftsinsentiver, vil også direkte støtteordninger for å stimulere tidlig bruk av hydrogen kunne vurderes. Markedsbaserte stimulerende etterspørselsmekanismer i form av en sertifikatordning er en mekanisme som også bør vurderes.

7.1.3 Lagring av hydrogen

7.1.3.1 Muligheter og mål

Mål

- Norske kompetansemiljøer skal være i fremste linje internasjonalt innen lagring av hydrogen.
- Norske industrielle aktører skal være internasjonalt konkurransedyktige på leveranse av

produkter og tjenester innenfor lagring av hydrogen.

Bruk av hydrogen krever effektiv lagring. To viktige funksjoner må være på plass i et fremtidig system der hydrogen kan spille en sentral rolle som energibærer: Hydrogenlagringssystemer for stasjonære applikasjoner og lagringssystemer for mobile applikasjoner.

Lagring av hydrogen er et av de områdene hvor norske aktører har dokumentert kompetanse i verdensklasse, og vil kunne spille en betydelig rolle i en internasjonal arbeidsdeling i utviklingen av hydrogenteknologi for fremtiden. Det kan gi grunnlag for industriell virksomhet dersom man lykkes i å identifisere nisjer der denne kompetansen kan kombineres med forretningsutvikling. Disse mulighetene vil langt på vei være uavhengig av når eller i hvilken grad hydrogen fases inn i det norske energi- eller transportsystemet. Mulighetene er imidlertid avhengig av i hvilken grad hydrogen tas i bruk som energibærer internasjonalt.

Blant de lagringsteknologier hvor forutsetningene ligger best til rette for å finne norske løsninger, vil utvalget spesielt peke på lagring i faste materialer, men også komprimering og flytendegjøring. Norge har spesielle forutsetninger når det gjelder å utnytte kompetanse på tvers av disse tre områdene for å utvikle nye kombinerte konsepter. Den teknologiske modenheten tilsier at disse teknologiene vil fases inn ulikt over tid. Lagring av hydrogen som komprimert gass er kommersiell teknologi i dag, mens lagring i faste materialer har et lengre tidsperspektiv.

7.1.3.2 Barrierer

Utfordringene knyttet til lagring avhenger av anvendelsen. For mange stasjonære anvendelser er volumet og vekten av lagringssystemet mindre viktig. På den annen side er kostnader en barriere der hydrogen skal brukes for balansering av energistrømmer, for eksempel slik hydrogenlageret brukes i Utsira-prosjektet, jf. boks 6.2.

For bruk av hydrogen i transportsektoren er både vekt og volum for lagringssystemet kritisk. US Department of Energy har satt opp konkrete mål for de ytelses og kostnader som et hydrogenlager må kunne oppfylle for at det skal være en aktuell opsjon i transportsektoren. Målene er gjengitt i tabell 4.1, Særskilt vedlegg nr.1. Målene er svært ambisiøse, og med den teknologiske status som er på området i dag, er det langt frem. Lagring blir vurdert som en av de mest utfordrende barrierene for bruk av hydrogen i transportsektoren. Det er

imidlertid viktig å være bevisst på at kravene til kostnad og ytelse er forskjellig i Japan, Europa og USA. Prisen på konkurrerende drivstoff er også forskjellig.

Regelverk og sikkerhetsproblematikk knyttet til lagring og håndtering av hydrogen er også en barriere som må håndteres parallelt med utviklingen av ny lagringsteknologi. Dette er dessuten sentrale temaer for utviklingen av markeder på hydrogenområdet og hvilke teknologier som vil kunne vinne frem. Regelverk og sikkerhet er derfor områder hvor det er viktig å ta del i det internasjonale arbeidet allerede nå.

7.1.3.3 Tiltak og virkemidler

Det viktigste virkemiddelet for å nå mål innen lagring er støtte til forskning og prototyp utvikling. I tillegg vil tiltak for å stimulere et tidligmarked, for eksempel med pilotprosjekter med vesentlig offentlig medvirkning eller offentlige utviklingskontrakter, være viktig. På den måten vil en kunne få produksjonsvolumene opp på et slikt nivå at kostnadsfordelene ved serieproduksjon får markedet til å utvikle seg videre ved egen hjelp.

Sentrale tiltak vil være fokusert mot:

- Materialforskning knyttet til lagring i faste stoffer om bord i kjøretøy
- Komprimering og flytendegjøring (kryogen teknologi)
- Kombinasjon av komprimering, kryogen teknologi og lagring i faste materialer
- Sikkerhet og regelverk knyttet til lagring

7.1.4 Utvikling av en hydrogenteknologinæring

7.1.4.1 Muligheter og mål

Mål

- Norske industrielle aktører skal ta del i et fremvoksende hydrogenmarked som leverandører av komponenter og undersystemer knyttet til produksjon og bruk av hydrogen
- Norske aktører skal være internasjonalt konkurransedyktige leverandører av fyllestasjoner for hydrogen basert på elektrolyseteknologi
- Norske maritime miljøer skal være ledende på kompetanse innen bruk av brenselceller i skip og være tidlig ute med å demonstrere bruk
- Norske kunnskapsmiljøer skal ha spisskompetanse på flere områder – både for å betjene norsk næringsliv og for å konkurrere på det internasjonale kunnskapsmarkedet innenfor hydrogenfeltet

Som beskrevet i kapittel 6 vil det kunne vokse frem interessante muligheter for næringsutvikling basert på kompetanse og naturressurser mot et fremtidig hydrogenmarked. Norge er allerede leverandører av elektrolysører og komponenter til tidligmarkeder, slik det er beskrevet i kapittel 6.5. Norsk industri og forskningsmiljøer har opparbeidet ekspertise på områder som vil være direkte relevante ved en eventuell innfasing av hydrogen i Norge eller internasjonalt og som vil kunne representere muligheter for å få frem leverandører av teknologi, komponenter, tjenester og systemer i et fremtidig hydrogenmarked.

Utvalget vil trekke frem noen mulighetsområder i den sammenheng:

Komponenter og undersystemer: På dette området finnes høy kompetanse i Norge, blant annet på elektrolyseteknologi, ulike former for hydrogenlagring samt teknologi for CO₂-fangst. Videre bygges det nå opp ekspertise innen membraner, elektrokatalysatorer og brenselcellesystemer. Norge har også god kompetanse innen forbrenning som kan utnyttes til utvikling av effektive systemer for forbrenning av hydrogen.

Systemintegrasjon: Her besitter norske aktører høy kompetanse gjennom oppbygning av olje- og gassvirksomheten i Nordsjøen samt tallrike vannkraftverk. Dette vil kunne nyttiggjøres ved integrasjon av hydrogenkomponenter når det gjelder å ta i bruk ulike energikilder til ulike bruksområder.

Desentrale og autonome energisystemer: Norsk industri og forskningsmiljøer har kompetanse innen dette området. Det er voksende interesse for desentrale og autonome systemer i Europa og USA, spesielt knyttet til satsing på fornybar energi.

Infrastruktur for transport av hydrogen: Dette representerer et stort tidligmarked der norske aktører har kompetanse, både knyttet til rørtransport og transport av gass og flytende naturgass. Norsk erfaring med LNG-transport i skip kombinert med annen kompetanse kan danne utgangspunkt for skipsbasert transport av hydrogen. En forutsetning vil være at relevant industri er interessert i å satse.

Sertifisering og sikkerhet: Her har norske aktører lang tradisjon og et godt renommé internasjonalt. Et slikt utgangspunkt, sammen med det store behovet for normer, regelverk og sertifisering, gjør dette til et felt hvor norske leverandører kan ha gode muligheter for å bli aktører i det internasjonale markedet.

7.1.4.2 Barrierer

Mulighetene for næringsutvikling er tett knyttet til å løse barrierene for å ta i bruk hydrogen. Det er først og fremst relatert til kostnader og ytelse samt usikkerhet om et fremtidig marked. Dette er utfordringer som i all hovedsak må løses gjennom forskning og utvikling. Deretter vil utfordringen være knyttet til markedsintroduksjon og utvikling av teknologisk tillende løsninger til kommersielle produkter. Dette er ofte en lang og krevende prosess som krever både tålmodighet og kapital.

7.1.4.3 Tiltak og virkemidler

Sentrale virkemidler vil være støtte til forskning og utvikling samt støtte til markedsintroduksjon og etablering av tidligmarkeder.

Innen forskning vil det være viktig både å støtte opp under de områder hvor man kan se et stort potensial og støtte opp under en noe bredere strategisk kompetanseutvikling i forskningsinstitusjoner. Det er nødvendig med en nasjonal kunnskapsplattform. Det er av stor betydning for at norske kompetansemiljøer skal kunne hevde seg på den internasjonale kunnskapsarenaen, både for å få oppdrag og å være attraktive samarbeidspartnere. Det er også viktig for å sikre rekruttering av kompetent personell til næringslivet.

7.2 Mulig bruk av demonstrasjonsprosjekter i en satsing

Hva er demonstrasjonsprosjekter?

Dagens satsing på hydrogen i Norge har i stor grad vært knyttet til FoU, og det har vært gjennomført få demonstrasjonsprosjekter. Utvalget ser det som sentralt i en hydrogenstrategi at det satses på gjennomføring av demonstrasjonsprosjekter. Demonstrasjonsprosjekter må imidlertid være klart forankret i en strategi og det er viktig å presisere formålet.

Utvalget har funnet det hensiktsmessig å definere klarere hva som menes med samlebetegnelsen demonstrasjonsprosjekter og har valgt å skille mellom tre ulike typer: Prototyp utvikling, pilotprosjekter og markedsintroduksjonsprosjekter. Støtte til slike prosjekter bør inngå som en del av en hydrogensatsing.

Prototyp utvikling er videreutvikling eller forbedring av en eller flere produktenheter som har vært på forskningsstadiet. Dette kan betraktes som siste del av forskningsfasen, og innebærer gjerne

et første testprodukt i liten skala. En prototyp kan i mange tilfeller være kostnadskreven og således kreve finansiering utover ordinær forskningsstøtte. Formålet med en prototyp er gjerne å bidra til nødvendig utvikling i forhold til både funksjonalitet og kostnader.

Begrunnelsen for prototypprosjekter vil være å ta norskbaserte hydrogenteknologier eller -løsninger et skritt videre mot et forventet fremtidig eller nåværende marked.

Kriterier for støtte til prototyputvikling bør være at det er forankret i norske næringsinteresser og kan bidra til fremtidig norsk næringsutvikling på hydrogenområdet. Næringsinteressene styrker også mulighetene for å ta produktet videre mot kommersialiseringsfasen.

Et *pilotprosjekt* vil innebære utprøving og testing av ulike typer hydrogenløsninger. Hensikten vil være å fremskaffe nødvendig grunnlag for å kunne ta hydrogen i bruk under gitte forhold i større skala og å få verifisert systemløsninger, med videre. Et eksempel på slike prosjekter er EUs CUTE-prosjekt, som omfatter flere europeiske byer hvor brenselcellebusser og ulike typer fyllestasjoner testes ut over en lengre periode, jf. kapittel 5.4.2.

Begrunnelsen for å gjennomføre pilotprosjekter på hydrogenområdet vil i første rekke være å vinne driftserfaring med nye teknologier og løsninger. Brukererfaring vil her være et stikkord. Slike prosjekter vil dessuten være av betydning for å identifisere kritiske faktorer knyttet til regelverk og kompetansebehov innenfor og i tilgrensende verdikjeder (for eksempel service og vedlikehold av brenselcellebiler). Tilrettelegging for en forventet utvikling kan være en annen begrunnelse for å gjennomføre et pilotprosjekt. Videre vil det være en hensikt å vise bruk av hydrogen frem for opinionen og således skape samfunnsmessig aksept for hydrogen. Det er i tillegg viktig at pilotprosjektet

bidrar til kunnskapsutvikling hos norske industri- og forskningsaktører.

Kriterier for støtte kan være at prosjektet må ha potensial for positive effekter i det norsk energi- eller transportsystemet i form av bedre miljøeffekter, reduserte kostnader eller bedret systemeffektivitet. Et viktig kriterium for å støtte slike prosjekter må være klare mål om hva man ønsker å oppnå, hvordan resultatene og effektene skal benyttes og hva som vil være neste steg i strategien etter at pilotprosjektet er avsluttet.

Markedsintroduksjonsprosjekter er introduksjon av ferdig uttestede løsninger i større skala for å skape grunnlag for, eller legge til rette for, større markedsintroduksjon på et senere stadium, blant annet gjennom risikodeling, synlighet, overførbarhet, med videre. Et eksempel på et slikt prosjekt er Gassbuss Bergen, der 60 gassdrevne busser er satt i rute og ytterligere 20 skal settes inn ved hjelp av økonomisk støtte fra ulike aktører. En forutsetning for at et slikt prosjekt skal være vellykket, er at teknologien i neste fase faktisk blir tatt i bruk i markedet uten særskilte finansielle tilskudd. Slike prosjekter vil normalt vare over flere år og er kapitalintensive.

Begrunnelsen for å støtte slike prosjekter vil være å bidra til å generere et tidlig marked for en hydrogenteknologi som man ønsker skal vinne innpass. I denne forbindelse er det også viktig å bidra til kunnskapsutvikling hos norske industri- og forskningsaktører.

Kriterier for slik støtte vil i først grad være knyttet til løsningens modenhet. Det må i liten eller ingen grad finnes teknologisk risiko. Støtten er knyttet til å avhjelpe markedsrisiko og manglende bedriftsøkonomisk lønnsomhet. Det er også viktig at de involverte aktører og leverandører har styrke og gjennomføringsevne til å være en troverdig leverandør av hydrogenteknologien og service når markedsintroduksjonen fases ut.

Del IV
Utvalgets anbefalinger

Kapittel 8

Et nasjonalt hydrogenprogram

8.1 Introduksjon

Utvalget har hatt som mandat å utarbeide et nasjonalt hydrogenprogram. Programmet som her presenteres, er utarbeidet med utgangspunkt i de teknologiske, økonomiske, institusjonelle og psykologiske utfordringer som en satsing på hydrogen representerer. De mål og virkemidler som utvalget har foreslått i kapittel 7, er lagt til grunn for programmet. Det er også tatt utgangspunkt i den internasjonale utviklingen på området. En norsk satsing på hydrogen som energibærer vil være avhengig av den teknologiske utviklingen i blant annet den internasjonale bilindustrien. Generelt er vi avhengige av de teknologiske standarder som settes og valg som gjøres internasjonalt på dette området. Samtidig bør det være en ambisjon for norsk næringsliv og norske kompetansemiljøer å være med på å utvikle denne teknologien og påvirke det regelverk og de standarder som velges. Det er imidlertid viktig å være oppmerksom på at en omfattende bruk av hydrogen i norsk transportsektor er avhengig av hva som skjer internasjonalt.

Et nasjonalt hydrogenprogram bør ha en strategi både på kort og lang sikt. Det kortsiktige perspektivet (5–10 års horisont) bør inkludere tiltak rettet mot kjent teknologi som kan utprøves i mindre skala. Demonstrasjonsprosjekter eller andre tiltak kan resultere i forbedringer av dagens teknologi. Den langsiktige delen av programmet (10–25 års horisont) inneholder grunnforskning og satsing på teknologi og mulige anvendelser som vi i dag ikke fullt ut kan forutse. Denne langsiktige satsingen påbegynnes allerede fra starten av programmet.

Det nasjonale hydrogenprogrammet bør rette seg mot så vel produksjon som transport, lagring og utnyttelse av hydrogen som energibærere. Samtidig er det behov for å foreta noen sentrale prioriteringer om hvor programmet bør legge hovedtyngden av sin satsing.

Utvalget har vært opptatt av å foreta noen sentrale prioriteringer om hvor hovedtyngden av satsingen bør ligge. Videre har utvalget identifisert virkemidler, tiltak og rammevilkår. Det er pekt på hvordan et hydrogenprogram kan organiseres og

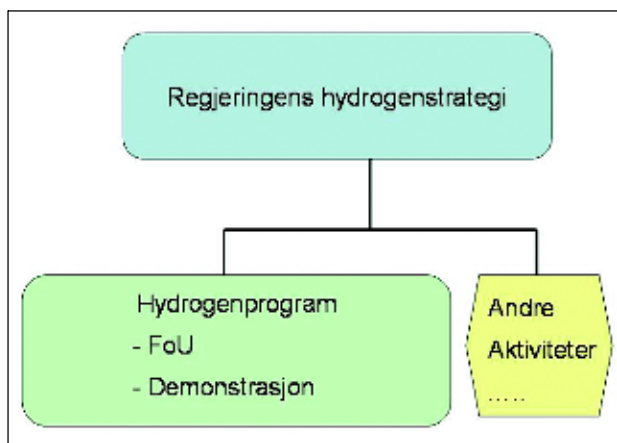
styres. Utvalget tar også opp spørsmål knyttet til finansieringen av en norsk hydrogensatsing, samt andre momenter som ikke nødvendigvis hører inn under et nasjonalt hydrogenprogram, men som er viktige i forhold til en satsing på hydrogen.

Oppsummering av målene

Utvalgets forslag til mål for en norsk hydrogensatsing, slik de er presentert i kapittel 7, kan oppsummeres som følger:

- Produksjon av hydrogen fra naturgass med tilfredsstillende CO₂-håndtering skal skje til en pris som gjør hydrogen konkurransedyktig med bensin eller diesel per energiekvivalent.
- Norske aktører skal være tidlige brukere av hydrogenkjøretøy i transportsektoren.
- Norske myndigheter skal være like ambisiøse som EU når det gjelder å fremme bruken av hydrogenkjøretøy. Norge bør satse spesielt på flåtekjøretøy.
- Norske kompetansemiljøer skal være i fremste linje internasjonalt innen lagring av hydrogen.
- Norske industrielle aktører skal være internasjonalt konkurransedyktige på leveranse av produkter og tjenester innenfor lagring av hydrogen.
- Norske industrielle aktører skal ta del i et fremvoksende internasjonalt hydrogenmarked som leverandører av komponenter og undersystemer knyttet til produksjon og bruk av hydrogen.
- Norske aktører skal være internasjonalt konkurransedyktige leverandører av fyllestasjoner basert på elektrolyseteknologi.
- Norske maritime miljøer skal være ledende på kompetanse innen bruk av brenselceller i skip og være tidlig ute med å demonstrere bruk.
- Norske kunnskapsmiljøer skal ha spisskompetanse på flere områder – både for å betjene norsk næringsliv og for å konkurrere på det internasjonale kunnskapsmarkedet innenfor hydrogenfeltet.

Utvalget mener at det bør utarbeides en felles, overordnet hydrogenstrategi, med utgangspunkt i



Figur 8.1 Regjeringens hydrogenstrategi slik utvalget ser det. En detaljering av organiseringen er presentert i kapittel 8.3.1 og illustrert i figur 8.4

hydrogenprogrammet. Strategien bør i tillegg til programmet omfatte øvrige rammebetingelser som kan bidra til en styrket og mer koordinert satsing på hydrogen, jf. figur 8.1. Dette bør inkludere virkemidler som avgiftsincentiver, regelverk knyttet til sikkerhet, standarder og sertifisering og eventuelt andre tiltak.

8.2 Aktiviteter i et norsk hydrogenprogram

Hovedtyngden av ressurser og aktiviteter i hydrogenprogrammet er knyttet til forskning og utvikling og ulike typer demonstrasjonsprosjekter som går utover rammene for det man kan gjøre i forskningslaboratoriene. Deler av denne satsingen bør ha en forholdsvis kortsiktig tidshorisont (5–10 år). Samtidig bør man ha en tidshorisont som samsvarer med det man finner i blant annet den internasjonale bilindustrien. Der tar man sikte på å utvikle brenselceller og distribusjonsteknologi som kan innebære en storskala introduksjon av hydrogen som energibærer i transportsektoren 10–15 år fram i tid.

8.2.1 Forskning, utvikling og demonstrasjon

8.2.1.1 Forskning og utvikling

Gjennom utvalgets utredning er det identifisert konkrete satsingsområder med tilhørende muligheter og barrierer. Disse satsingsområdene har varierende tidshorisont, representerer ulike ambisjonsnivåer og innebærer varierende grad av teknologiske utfordringer. Utvalget har ikke tatt mål av seg til å utvikle en komplett forskningsstrategi,

men slår fast at forskning vil måtte utgjøre en stor del av satsingen. Utviklingen av en mer detaljert forskningsstrategi vil være en sentral oppgave for de som blir ansvarlige for å operasjonalisere hydrogenprogrammet, jf. kapittel 8.3. Nedenfor peker utvalget på hva som bør være hovedelementene i hydrogenprogrammet.

Grunnleggende og strategisk forskning

Teknologiske gjennombrudd og ny viten av grunnleggende karakter er en forutsetning for at hydrogen skal få gjennomslag som energibærer. I tillegg vil en eventuell fremvekst av nye teknologier og systemer kreve ny kunnskap og kompetent personell. En viktig del av norske forskningsaktiviteter innenfor hydrogenområdet har frem til nå vært grunnleggende forskning. Dette har vært medvirkende til de gode resultatene som hittil er oppnådd. Noen områder innenfor grunnleggende strategisk forskning av spesiell betydning for hydrogen er:

- Membraner og adsorbenter knyttet til CO₂-separasjon
- Brenselceller (PEMFC, SOFC) og elektrolyse
- Faste materialer for lagring om bord i kjøretøy
- Komprimering og flytendegjøring (kryogen teknologi)
- Kombinasjon av komprimering, kryogen teknologi og lagring i faste materialer
- Forbrenning av hydrogen generelt og knyttet til turbiner spesielt
- Nye katalysatorer knyttet til produksjon av hydrogen

Disse temaene er relatert til de løsningene som man i dag har mest forventninger til og hvor det er høy norsk kompetanse.

Utvalget vil understreke at mange av utfordringene på hydrogenområdet er av grunnleggende karakter. Det er vanskelig å forutse hvor fundamentale gjennombrudd kan komme. Det blir derfor en balanse mellom tematiske prioriteringer og søken etter løsninger på noe bredere plan. Utvalget vil understreke betydningen av å sikre tilstrekkelige ressurser til universitetene og forskningsmiljøene som en del av en slik strategi.

Anvendt forskning

Anvendt forskning er i stor grad styrt av industrienes forventninger og initiativer. Forskningsprosjektene kan være innenfor følgende temaer:

- CO₂-fangst, -transport og -lagring
- Hydrogenlagringssystemer

- Brenselcellesystemer for maritime applikasjoner
- Systemutvikling
- Prosessteknologi
- Gasturbiner med høy virkningsgrad og lave NO_x-utslipp

Andre temaer vil være aktuelle, styrt av hvilke initiativ industrien tar.

8.2.1.2 Demonstrasjonsaktiviteter

Aktuelle demonstrasjonsprosjekter

Demonstrasjonsprosjekter kjennetegnes ofte ved at de er kapitalkrevende. Utvalget vil derfor peke på behovet for høy bevissthet omkring hva man ønsker å oppnå med å støtte demonstrasjonsprosjekter, blant annet i forhold til de definisjoner og kriterier som er beskrevet i kapittel 7.2.

Hydrogenteknologien er per dato ikke moden nok til store demonstrasjonsprosjekter hvor en bred markedsintroduksjon er formålet. I perioden frem mot 2010 bør en fokusere på pilot- og forsøksanlegg rettet mot teknolog utvikling. Siden demonstrasjonsprosjekter er kostbare, er det viktig å planlegge norske aktiviteter i samarbeid med internasjonale aktører med sikte på å samordne gjennomføringen. Det kan være aktuelt å satse på utvalgte nisjemarkeder.

Utvalget har sett nærmere på noen demonstrasjonsprosjekter som kan være aktuelle og gir noen eksempler nedenfor. Prosjektene vil ikke kunne gjennomføres uten offentlig støtte. Den offentlige støtten for prosjektene anslås til i størrelsesorden 120–200 millioner kroner i perioden før 2010 og 50–100 millioner kroner i perioden 2010–2014. En forventer da en 50/50 deling mellom det offentlige og private aktører. Støtten må utformes i tråd med reglene for statsstøtte under EØS-avtalen.

Etablering av et nasjonalt forskningsorientert testlaboratorium (testlab)

I fasen mellom forskningen og demonstrasjonsprosjekter er det ofte mye å hente ved å kunne teste ut løsninger i mindre skala. En bør derfor vurdere å etablere et forskningsorientert testlaboratorium som kan gjøres tilgjengelig for de sentrale nasjonale forskningsaktørene på området. Dette kan for eksempel gjøres ved at noen av de sentrale nasjonale forskningsinstitusjonene sammen står ansvarlige for anlegget. En slik testlab kan prekvalifisere større pilotprosjekter for å få belyst problemstillinger knyttet til for eksempel oppskalering, operasjon og drift. Systemanalyser er en annen viktig

funksjon som vil kunne ivaretas. Et slikt prosjekt vil kunne iverksettes innenfor en kort tidshorisont.

Et pilotprosjekt knyttet til produksjon av hydrogen og kraft fra naturgass med CO₂-håndtering

Det har de siste tre til fire årene, som en bevisst strategi fra norske myndigheter, vært forsket på utvikling av teknologier for produksjon av elektrisitet fra naturgass med CO₂-håndtering. Noen av konseptene begynner å tre frem som mulige kandidater for utprøving i større skala. Etter en grundig evaluering av de alternative kandidatene, vil et pilotprosjekt basert på den mest lovende teknologien snart kunne være aktuelt. Det er en forutsetning at et slikt pilotprosjekt legges til et sted der den omkringliggende infrastruktur er, eller kan bli, god med tanke på avtak av kraft, hydrogen, spillvarme og CO₂, samt at det er tilgang på naturgass og kompetent personell. Et slikt pilotprosjekt vil etter utvalgets forståelse også ligge innenfor mandatet til det nye statlige innovasjonsselskapet i Grenland. Finansiering vil måtte vurderes i sammenheng med Regjeringens særskilte satsing på gasskraft med CO₂-håndtering. Et slikt prosjekt vil kunne gjennomføres før 2010.

En nordisk «hydrogenkorridor»: Stavanger – Oslo – Malmö – København

Norge kunne ta initiativ til en nordisk satsing på hydrogen og brenselcelleteknologi til bruk i buss, flåtekjøretøy og skip i et større område som muliggjør både lokaltrafikk og trafikk mellom byer. Dette ville være en utvidelse av HyNor-prosjektet som allerede er under planlegging¹. En hydrogenkorridor kunne gå mellom byer fra Vestlandet via Kristiansand og Oslo gjennom Sverige til København. Det ville kreve fyllestasjoner i de aktuelle byene på strekningen og anskaffelse av et visst antall busser og flåtekjøretøy. Det er naturlig å begynne med byene, da man på den måten får betjent flest kjøretøy per fyllestasjon, og fordi man her vil kunne betjene flåtekjøretøy. Et slikt prosjekt bør inkludere et grundig forarbeid med blant annet regler og standarder og kunnskapsoppbygging for godkjennende instanser, verkstedspersonell, med videre. Prosjektet bør ha en ramme på minimum fem år. Et slikt nordisk prosjekt vil harmonere med den økte fokusering på hydrogen innenfor Nordisk Råd og Nordisk Ministerråd. Prosjektet bør kunne starte opp før 2010.

1. <http://www.hynor.no>

Pilotprosjekt for å introdusere hydrogen-naturgassblandinger uten at det kreves spesiell sluttbrukerteknologi

Bruk av naturgass iblandet ulike fraksjoner hydrogen (HCNG) er av mange sett på som en hensiktsmessig måte å fase inn bruken av hydrogen. Fordelen med en slik innfasing er at den i liten grad krever endret sluttbrukerteknologi og transport- og lagringsteknologi. Teknologien vil kunne baseres på eksisterende infrastruktur for naturgass. Et HCNG pilotprosjekt kan være et første skritt på veien mot et større demonstrasjonsprosjekt for bruk av hydrogen, for eksempel i transportsektoren. Et slikt prosjekt vil kunne gjennomføres før 2010.

Brenselceller i ferger

Mindre demonstrasjonsprosjekter med anvendelse av brenselceller i små passasjerbåter, seilbåter og ubåter er gjennomført i Europa de siste fem år. Disse er basert på brenselcelleteknologi som er utviklet for landbasert bruk. I Norge er riksvegferger med brenselcelledrift utredet i flere omganger, og konseptuelle skisser for demonstrasjon er utviklet.

Flere konsepter er under utvikling. Et prototypprosjekt innenfor brenselceller i skip vil kunne gi viktig erfaring og ha høy verdi for å fremme norsk maritim industri mot dette markedet. Sikkerhet og sertifisering er også en viktig del, og vil i seg selv kunne representere et marked internasjonalt. Slik kunne en kombinere kunnskap på flere områder hvor norske aktører er langt fremme, og hvor det kan komme nisjemarkeder internasjonalt. Brenselceller i skip kan i varierende grad dekke skipets energibehov. De første anvendelsene kan være oppdekning av skipets kraftbehov utenom fremdriften. En slik løsning kan være interessant i internasjonal skipsfart, siden mange store havnebyer har strenge utslippskrav. Utslipp kan være et problem når skipene ligger til kai og må ha maskineriet i gang for å opprettholde kraftforsyningen.

Et slikt brenselcelleprosjekt i ferger vil eventuelt kunne inngå som en del av en nordisk hydrogenkorridor. Gjennomføringen av et slikt prosjekt vil ikke kunne finne sted før etter 2010.

8.2.2 Tidlig bruker av hydrogenkjøretøy

Å være tidlige brukere av hydrogenkjøretøy er en av hovedambisjonene med en satsing på hydrogen i Norge. Dette er nærmere beskrevet i kapittel 7.1.2. Ved å være tidlig bruker, vil norske aktører

vinne erfaring på et tidlig stadium. Når brenselcellekjøretøy blir kommersielt tilgjengelige, bør teknologien være tilstrekkelig kjent og akseptert hos publikum i Norge til at brukerkunnskapen ikke representerer noen barriere. I tillegg kan tidlig bruk i Norge bidra til at norske næringsaktører lettere kan bli involvert i utviklingen av hydrogenteknologi, og dermed stå sterkere i en internasjonal konkurransesituasjon. Det langsiktige potensialet for reduksjon av CO₂-utslipp kan raskere realiseres ved en tidlig innfasing av hydrogenteknologi.

En viktig aktivitet knyttet til tidlig bruk av hydrogenkjøretøy vil være markedsintroduksjonsprosjekter.

8.2.3 Nyskaping, forretningsutvikling og innovasjon

Potensialet for teknologibasert næringsutvikling mot nye internasjonale markeder er grundig beskrevet tidligere, blant annet i kapittel 6.5.2. Det å delta aktivt som leverandør av kompetanse, teknologiske komponenter og løsninger må stå høyt på agendaen i et nasjonalt hydrogenprogram. Hydrogenprogrammet bør stimulere til samspill mellom forskningsmiljøer og industrielle aktører med sikte på å kommersialisere norsk hydrogenkompetanse. Her bør det legges til rette for tett samarbeid med Innovasjon Norge² som har høy kompetanse på nettopp dette.

8.2.4 Samfunnsaksept, opplæring og informasjon

Dersom hydrogen på sikt skal bli en sentral energibærer i Norge, vil det kreve betydelig innsats i forhold til informasjon, utvikling av tekniske standarder og regelverk knyttet til sikkerhet. En systematisk gjennomgang av norsk regelverk for å identifisere behov for endringer bør iverksettes. Dette bør gjøres av en gruppe som innehar relevant kompetanse om hydrogen som energibærer. Relevante forvaltningsmyndigheter som Direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap (DSB), Arbeidstilsynet og Statens forurensningstilsyn (SFT) er blant de som bør være representert.

Demonstrasjonsprosjekter, og enkelte utvalgte forskningsprosjekter, vil også være viktige virkemidler for å nå frem med informasjon til allmennheten.

2. Innovasjon Norge – Sammenslåing 1.1.2004 av tidligere Statens nærings- og utviklingsfond (SND), Norges Eksportråd, Statens veiledningskontor for oppfinnere (SVO) og Norges turistråd.

8.2.5 Internasjonalt samarbeid

De mest aktuelle arenaene for internasjonalt samarbeid er kort beskrevet i kapittel 5.5. Internasjonalt samarbeid bør være et sentralt element i en nasjonal hydrogenstrategi, og den internasjonale dimensjonen må ligge høyt i bevisstheten hos de ansvarlige for hydrogenprogrammet. De viktigste arenaene for norsk deltagelse vil være:

- EUs rammeprogram
- EUs «Teknologiplattform» for hydrogen og brenselceller
- Det internasjonale energibyrådet – IEA
- Nordisk energiforskning
- International Partnership for a Hydrogen Economy – IPHE
- Carbon Sequestration Leadership Forum – CSLF
- Bilateralt samarbeid med USA
- Bilateralt samarbeid med Japan

Utvalget vil anbefale at man i et nasjonalt hydrogenprogram setter av midler for å tilrettelegge for deltagelse innenfor disse og andre relevante samarbeidsarenaer.

8.3 Organisering og finansiering av et hydrogenprogram

Utvalget har fått som mandat å se på organisering og finansiering av et nasjonalt hydrogenprogram. Utvalget har tatt som utgangspunkt at man i størst mulig grad skal benytte seg av eksisterende institusjoner og organer. Et nasjonalt hydrogenprogram, slik det er skissert i utvalgets mandat, må spenne over et bredt register av aktiviteter. Dermed bør det legges opp til en organisering som fremmer koordinering og samarbeid mellom de ansvarlige myndigheter, både med hensyn på finansiering og operativ drift av aktivitetene.

8.3.1 Organisering av et hydrogenprogram

Utvalget mener det bør utpekes et programstyre som gjøres ansvarlig for den strategiske og operative delen av et hydrogenprogram. Styrets medlemmer bør utpekes av hydrogenprogrammets interessenter, det vil si både finansieringskilder og brukere.

Utvalget ser det som viktig at Forskningsrådet spiller en sentral rolle, da en stor del av programmet vil være FoU. Videre vil det være naturlig å

involvere institusjoner innenfor innovasjon og mer markedsnære aktiviteter. De mest aktuelle vil være det nye statlige innovasjonsselskapet i Grenland, Vegdirektoratet og Innovasjon Norge.

Det nye statlige innovasjonsselskapet bør involveres, da satsingen har en så klar grenseflate mot gasskraft med CO₂-håndtering. Blant annet foreslår utvalget et pilotprosjekt som vil ligge under det nye innovasjonsselskapets forventede ansvarsområde. Dette er beskrevet i kapittel 8.2.1. Vegdirektoratet vil også kunne involveres i demonstrasjonsaktiviteter rettet mot transportsektoren. Innovasjon Norge vil være en interessant aktør ut fra næringsutviklingsperspektivet. I så måte vil Innovasjon Norge kunne være et egnet instrument for Nærings- og handelsdepartementet inn i en hydrogensatsing. Enova med sine mål om en miljøvennlig energiomlegging vil kunne være en aktuell aktør i et mer langsiktig perspektiv. Videre vil også Norges vassdrags- og energidirektorat (NVE) kunne spille en rolle i myndighetenes arbeid på hydrogenområdet.

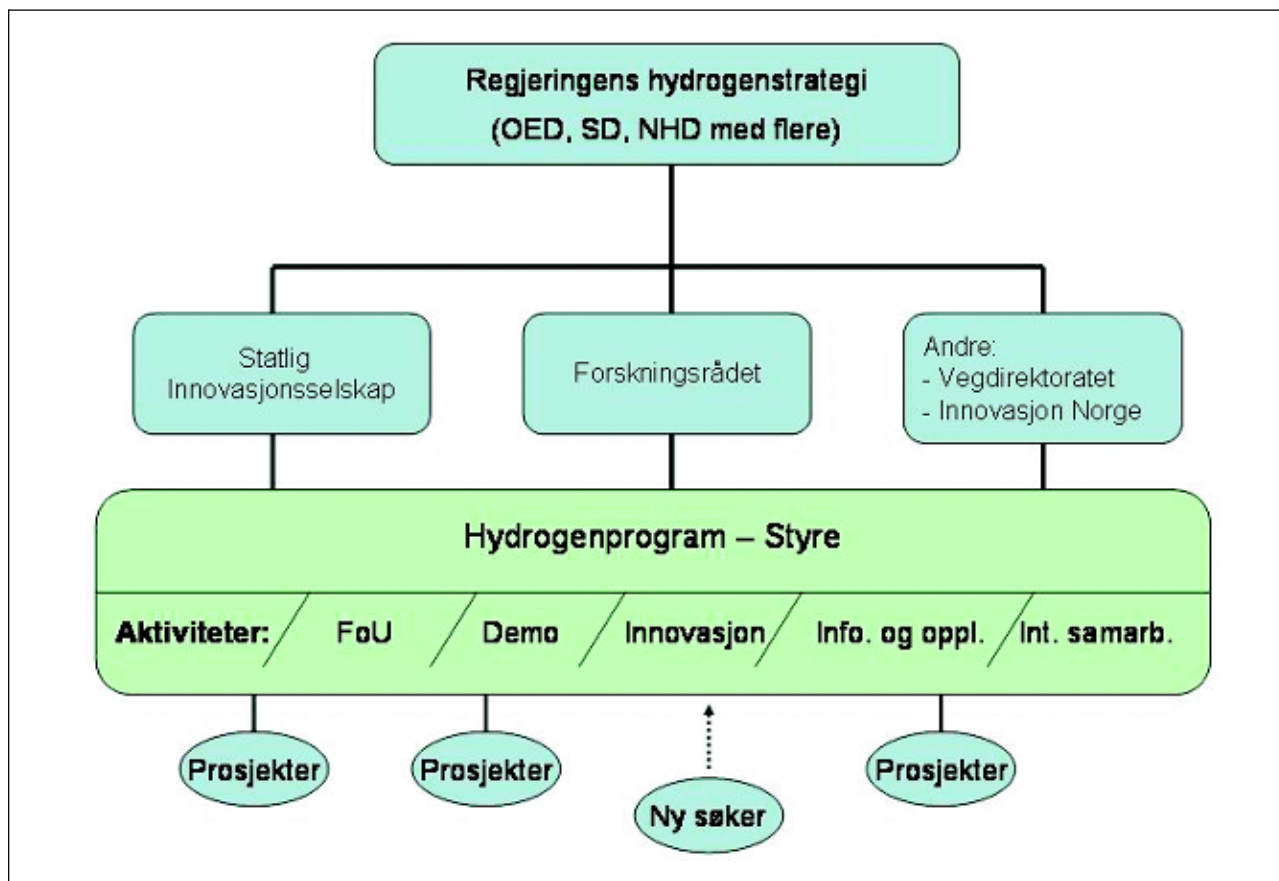
Hele idéen med å etablere et felles nasjonalt hydrogenprogram, er at selv om hydrogen har et bredt spekter av anvendelsesområder, er mange av utfordringene de samme uavhengig av anvendelse. Det kan derfor være synergier ved at resultater og fremskritt på ett område får anvendelse og nytte på et annet. Med et overordnet og godt koordinert program vil det være lettere å se hele verdikjeden i sammenheng.

En satsing på hydrogen vil kunne ha betydning for det norske energisystemet, transportsektoren, klimapolitikken og vil kunne representere stor verdiskaping og innovasjon. Det er derfor naturlig at Olje- og energidepartementet (OED), Samferdselsdepartementet (SD), og Nærings- og handelsdepartementet (NHD) har et overordnet ansvar for programmet.

Utvalget vil foreslå en organisasjonsmodell for et hydrogenprogram som vist i figur 8.2.

Den grunnleggende ideen med et program er at all innsats kan ses i sammenheng og at brukerne får «en adresse» å forholde seg til. Det bør legges opp til at hydrogenprogrammet får sitt sete i en av de eksisterende organisasjonene slik at det effektivt kan utnytte etablert infrastruktur og administrativt apparat. Da hovedtyngden av prosjekter vil være forskning, anbefaler utvalget at programmet har sin forankring i Forskningsrådet.

Det ansvarlige styret, eller programstyret, bør utpekes av programmets interessenter, eventuelt representasjon fra relevante interesseorganisasjoner. Styret bør være balansert og kompetent og ikke overstige 7–10 personer.



Figur 8.2 Organisering av et nasjonalt hydrogenprogram

8.3.2 Finansiering av et hydrogenprogram

Prinsipper for finansiering

Den offentlige delen av finansieringen bør følge sektorfinansieringsprinsippet. Dette innebærer at finansieringen av forskningen innenfor hver enkelt sektor kommer fra de sektoransvarlige departementene. For et nasjonalt hydrogenprogram betyr dette at den offentlige finansieringen bør komme fra Olje- og energidepartementet, Samferdselsdepartementet og Nærings- og handelsdepartementet. Fordelingen mellom disse ønsker ikke utvalget å komme inn på, men det vil være naturlig at tyngdepunktet i aktivitetene reflekterer finansieringen. Frem til nå har forskningsaktivitetene knyttet til hydrogen i all hovedsak vært finansiert av Olje- og energidepartementet, uavhengig av applikasjoner. Demonstrasjonsaktiviteter har vært finansiert av Olje- og energidepartementet og Samferdselsdepartementet.

I tillegg til den offentlige finansieringen vil det måtte stilles krav til finansiering fra næringslivet. Denne finansieringen vil være prosjektspesifikk. Det innebærer at de enkelte aktører som deltar i de

ulike prosjektene også bidrar økonomisk. Det er videre viktig at prinsippene for offentlig finansiering er i tråd med EØS-avtalens regelverk for offentlig støtte.

I dag er hoveddelen av hydrogeninnsatsen knyttet til forskning og utvikling, som Olje- og energidepartementet støtter gjennom Forskningsrådets RENERGI-program³. Samferdselsdepartementet støtter pilotprosjekter i transportsektoren som kan omfatte hydrogen. I tillegg til direkte støtte til forskning og utvikling er også Skattefunnordningen en mulig støtteordning for hydrogenprosjekter. Ordningen retter seg bare mot bedrifter, og er derfor mest aktuell i forhold til næringsrettet forskning på hydrogenområdet. Gjennom Skattefunnordningen får bedriftene trukket fra inntil 20 prosent av prosjektkostnadene fra godkjente FoU-prosjekter ved beregning av ligningen. For virksomheter som ikke er i skatteposisjon, gis det beregnede fradraget som et direkte tilskudd. Ordningen er regelstyrt, og er dermed ikke begrenset av offentlige budsjettammer.

3. RENERGI – Fremtidens rene energisystem

Tabell 8.1 Nivå på offentlig finansiering av hydrogenprogrammet. Alle tall i millioner kroner.

Periode	Forskning	Demonstrasjon	Info. og opplæring	Totalt
2005 – 2009	250	120 – 200	15 – 25	385 – 475
2010 – 2014	375	50 – 100	15 – 25	440 – 500
Totalt	625	170 – 300	30 – 50	825 – 975

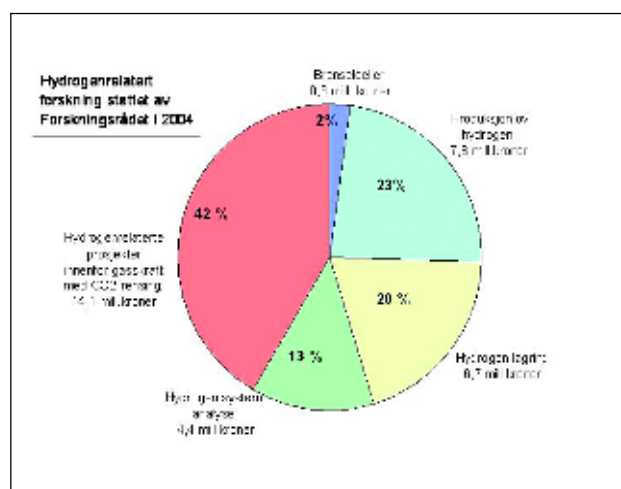
Finansieringsnivå

En finansieringsplan bør rettes inn mot forskning og demonstrasjonsprosjekter. En satsing på forskning vil måtte bygges opp gradvis. Et utgangspunkt kan være dagens nivå. Støtten til hydrogen gjennom Forskningsrådets RENERGI-program ligger i 2004 på om lag 34 millioner kroner. Dette omfatter også støtte til renseteknologi for gasskraftverk som er hydrogenrelatert. Holdes den delen utenfor, ligger satsingen på om lag 20 millioner kroner. Figur 8.3 viser fordelingen av Forskningsrådets midler til hydrogenrelatert forskning i 2004. Utvalgets forslag til hydrogenprogram innebærer at støtten til forskning må økes gradvis til et betydelig høyere nivå enn dette.

I tillegg kommer satsingen på demonstrasjonsprosjekter. Eksempler på aktuelle prosjekter kan være:

Før 2010:

- Etablering av et nasjonalt forskningsorientert testlaboratorium
- Et pilotprosjekt knyttet til produksjon av hydrogen og kraft fra naturgass med CO₂-håndtering



Figur 8.3 Tematisk fordeling av Forskningsrådets støtte til hydrogenrelatert forskning i 2004 – totalt om lag 34 millioner kroner

- Nordisk hydrogenkorridor
- Etablering av et prosjekt for utprøving av hydrogen-naturgassblandinger (HCNG)

2010 – 2014:

- Fergeløsning basert på brenselceller

Prosjektene er nærmere omtalt i kapittel 8.2.1.2.

Støtte til demonstrasjon, slik det er satt opp ovenfor, vil kunne representere en offentlig finansieringsandel på 120–200 millioner kroner for perioden frem til 2010 og 50–100 millioner kroner for perioden 2010–2014. Totalt vil det si 170–300 millioner kroner til demonstrasjonsprosjekter for hele perioden. Estimaten tar utgangspunkt i en kostnadsfordeling på 50/50 mellom det offentlige og private aktører.

Støtte til forskning og utvikling bør økes gradvis fra 40 millioner kroner i 2005 til i omkring 100 millioner kroner årlig i 2014. Samlet utgjør dette om lag 625 millioner kroner over 10-årsperioden.

Informasjon og opplæring vil innebære en årlig aktivitet på om lag 3–5 millioner kroner, samlet 30–50 millioner kroner over tiårsperioden.

Den samlede andelen offentlig finansiering av et nasjonalt hydrogenprogram vil da summere seg til i størrelsesorden 825–975 millioner kroner over en 10 års periode, jf. tabell 8.1.

8.4 Andre tiltak i en hydrogenstrategi

Dersom myndighetene ønsker å initiere andre tiltak for utvikling og bruk av hydrogenteknologi i Norge, er det flere elementer utover det som er omtalt som aktiviteter i et nasjonalt hydrogenprogram som bør vurderes. Utover de rene programaktiviteter som støtte til forskning og demonstrasjonsprosjekter, er det viktig at det parallelt arbeides med iverksettelse av andre tiltak som nevnt under. En gjennomgang av slike tiltak bør også være en del av en bredt anlagt nasjonal hydrogenstrategi.

Generelle rammevilkår for bruk av hydrogen

For å stimulere introduksjon av hydrogen i Norge har utvalget foreslått at det innføres skatte- og avgiftsinsentiver for brenselceller på lik linje med elbiler. Det bør også i en introduksjonsfase vurderes avgiftsfritak og andre insentiv for hydrogenbiler med forbrenningsmotor. Dette bør være en del av Regjeringens hydrogenstrategi. I tillegg bør andre insentiver vurderes. Eksempler på slike vil kunne være markedsbaserte stimulerte etterspørselsmekanismer i form av sertifikatordninger.

Sikkerhet og standarder

Standarder for bruk, lagring og transport av hydrogen er til dels fraværende og må utvikles og implementeres. Her kan myndighetene initiere standardiseringsarbeid, opplæringsarbeid og sikkerhetsstudier.

Sertifisering og godkjenning

Som et viktig element knyttet til sikkerhet og standarder er det viktig å sette i gang de tiltak som må gjøres for å avklare hvilke behov for sertifisering og godkjenningsordninger som bruk av hydrogen krever. Implementering av disse blir viktige bidrag i en nasjonal hydrogenstrategi.

Kapittel 9

Økonomiske og administrative konsekvenser

I følge mandatet skal utvalget identifisere behov for offentlig medvirkning og rammebetingelser og foreslå ansvarsforhold, organisering og ressursbehov knyttet til et nasjonalt hydrogenprogram.

Utvalget har vurdert ulike forutsetninger som må være til stede for en norsk satsing på hydrogen som energibærer og har pekt på virkemidler som kan bidra til en mer effektiv satsing.

Utvalget går inn for en økt satsing for å fremme forskning, utvikling og demonstrasjon av hydrogenrelaterte teknologier i Norge. Utvalget har sett det som viktig at en slik satsing har både et kortsiktig perspektiv (5–10 år) primært knyttet til demonstrasjonsprosjekter og pilotprosjekter, og et langsiktig perspektiv (10–25 år) knyttet til forsknings- og utviklingsaktiviteter. Organiseringen av satsingen må vurderes nøye i forhold til de sammensatte utfordringer som er knyttet til denne målsettingen.

Utvalget har særlig vektlagt behovet for å koordinere og samordne de ulike aktivitetene og fasene i innovasjonsskjeden (forskning, utvikling, pilot, demonstrasjon og markedsintroduksjon) knyttet til hydrogen som energibærer. I tillegg må satsingen ha tilstrekkelig kapasitet til å delfinansiere demonstrasjonsprosjekter med klart kommersielt potensial.

Utvalget har anbefalt at det etableres et nasjonalt hydrogenprogram som skal ivareta den offentlige satsingen på hydrogenområdet innenfor alle fasene i innovasjonsskjeden. Programmet bør ta utgangspunkt i en overordnet hydrogenstrategi som Regjeringen legger til grunn for sin satsing. Utvalget gir i utredningen anbefalinger om hva som bør inngå i en slik strategi. Strategien bør omfatte hydrogenprogrammets aktiviteter samt øvrige rammebetingelser som kan bidra til en styrket satsing på hydrogen i Norge. Øvrige rammebetingelser kan være virkemidler som muliggjør iverksettelse av tiltak, slik som avgiftsincitiver, regelverk knyttet til sikkerhet, standarder og sertifisering, og eventuelle andre tiltak.

Utvalget har tatt utgangspunkt i at man skal benytte seg av eksisterende institusjoner og ikke etablere nye. Et programstyre med en koordinerende funksjon bør kunne trekke de nødvendige bånd mellom involverte institusjoner. Et nasjonalt

hydrogenprogram vil spenne over et bredt register av aktiviteter. Det må derfor legges opp til en organisering som ivaretar koordinering og samarbeid mellom de ansvarlige myndigheter som involveres, både finansielt og operativt.

Utvalget anbefaler at det nasjonale hydrogenprogrammet etableres på tvers av myndighetenes virkemiddelapparat, jf. kapittel 8.3.1. Programmet bør være knyttet opp mot de departementer og underliggende organer som er ansvarlige for finansiering av aktiviteter innenfor hver sin del av innovasjonsskjeden for en hydrogenteknologi. Programmet får et eget styre som er ansvarlig for strategien og driften av programmet. Programmet bør forankres administrativt i Norges forskningsråd. I lys av satsingens natur, der forskning og teknologiutvikling står sentralt, anbefaler utvalget at programmet i utgangspunktet har en varighet på 10 år. Programmet bør evalueres underveis og programperioden forlenges om ønskelig.

Utvalget har lagt sektorprinsippet til grunn når det gjelder finansiering av hydrogenprogrammet. Det innebærer at programmet finansieres av de sektoransvarlige departementene som blir berørt av satsingen. Utvalget har ut i fra spredningen av de ulike aktiviteter som hydrogensatsingen skal dekke, foreslått finansiering fra Olje- og energidepartementet, Samferdselsdepartementet og Nærings- og handelsdepartementet, jf. kapittel 8.3.2.

I tillegg til offentlig finansiering, vil de ulike aktivitetene og prosjektene som skal gjennomføres i lys av hydrogenprogrammet, kreve medfinansiering fra prosjektdeltakerne. Den statlige andelen vil variere avhengig av type prosjekt som skal gjennomføres. Generelt vil grunnleggende, langsiktige og kompetanseoppbyggende prosjekter ha høyere statlig støtteandel enn mer markedsnære, næringsrettede prosjekter og demonstrasjonsprosjekter. Utvalget legger til grunn at støtteordningene må være forenlig med EØS-regelverket.

Dagens satsing innefor hydrogenområdet ligger på 25–30 millioner kroner, hvorav 20 millioner kroner årlig går til grunnleggende og næringsrettede forskningsprosjekter og 5–10 millioner kroner til demonstrasjonsprosjekter. Forskningsakti-

vitetene, både grunnleggende og næringsrettede, er i all hovedsak finansiert av Olje- og energidepartementet gjennom RENERGI-programmet i Norges forskningsråd. Demonstrasjonsprosjektene har vært finansiert av Olje- og energidepartementet (administrert av Enova) og Samferdselsdepartementet (administrert av Vegdirektoratet) avhengig av om prosjektet har vært innenfor stasjonær energiforsyning eller innenfor transportsektoren.

Det vil være mulig å etablere et nasjonalt hydrogenprogram basert på dagens ressursbruk, men det er da ikke mulig å nå de målene utvalget har satt for hydrogenprogrammet.

I stedet anbefaler utvalget å etablere et hydrogenprogram med økte økonomiske rammer, jf. kapittel 8.3.2. Programmet bør ha to hovedkomponenter; støtte til FoU og støtte til demonstrasjonsprosjekter. I tillegg kommer støtte til andre aktiviteter slik som informasjon og opplæring, rådgivning, kompetanseoppbygging og deltakelse i internasjonalt samarbeid. Utvalget anbefaler en gradvis økning i den årlige offentlige finansieringen av hydrogensatsingen, fra om lag 50 millioner kroner i 2005 til 100–150 millioner kroner i 2014 som skal dekke forskning og demonstrasjon. Samlet ramme for perioden vil være 825–975 millioner kroner. Fordelingen mellom årene vil avhenge av når demonstrasjonsprosjekter er modne nok til å iverksettes. Fordelingen på FoU og demonstrasjon må vurderes av programstyret basert på tilfanget av prosjekter og hvordan finansieringen fra departementene er fordelt. Generelt vil et demonstrasjonsprosjekt være vesentlig mer kostnadskrevende

enn et forskningsprosjekt. Samtidig vil sannsynligvis behovet for finansiering av demonstrasjonsprosjekter være økende over tid, avhengig av den teknologiske utviklingen. Satsingen vil kreve økte bevilgninger over de relevante departementenes budsjetter.

Utvalget vil særlig understreke behovet for stabilitet og langsiktighet i finansieringen av hydrogensatsingen.

Utvalgets forslag vurderes å ha positive samfunnsøkonomiske virkninger. I denne sammenheng vektlegger utvalget at en satsing på hydrogen gjennom et hydrogenprogram vil bidra til å stimulere den langsiktige teknologi- og næringsutviklingen i Norge. Satsingen vil også bidra til å legge et grunnlag for mer miljøvennlig energibruk i Norge og internasjonalt. Videre vil en satsing på hydrogen kunne bidra til en høyere verdiskaping basert på våre store gassressurser. En oppbygging av norsk kompetanse på hydrogenområdet vil åpne for muligheter for norske næringsaktører internasjonalt.

Forslaget til ny satsing og organisering vil kunne gi en sammenhengende og helhetlig virkemiddelbruk for å realisere både forskning, utvikling, pilotprosjekter og demonstrasjonsprosjekter knyttet til ulike typer hydrogenteknologier. De finansielle rammene for forskning og utvikling blir mer stabile, noe som er en nødvendig forutsetning for langsiktige satsinger. Stabilitet er igjen en forutsetning for å realisere en teknologiutvikling som er tid- og kapitalkrevende, og som favner en rekke ulike aktører.

Referanser

- Ekspertgruppe for stasjonær forsyning og produksjon: *Særskilt vedlegg nr.1 til NOU 2004: Produksjon og stasjonær bruk av hydrogen*
- Ekspertgruppe for transport: *Særskilt vedlegg nr.2 til NOU 2004: Hydrogen i transportsektoren – hvorfor og hvordan*
- Oljedirektoratet: *Årsmelding 2003*
- SINTEF Energiforskning: *Energi i Norge – Ressurser, teknologi og miljø, 2000*
- NOU 1998: 11 *Energi- og kraftbalansen mot 2020*
- NOU 2002: 7 *Gassteknologi, miljø og verdiskapig*
- St.meld. nr. 18 (2003–2004) om forsyningssikkerheten for strøm m.v.
- St.meld. nr. 38 (2001–2002) om olje- og gassvirksomheten
- Olje- og energidepartementet: *Fakta 2004 – Norsk petroleumvirksomhet*
- Olje- og energidepartementet: *Fakta 2002 – Energi- og vassdragsvirksomheten i Norge*
-
-