

Særskilt vedlegg nr. 2 til NOU 2004: 11

Hydrogen som fremtidens energibærere

Rapport utarbeidet av en ekspertgruppe for hydrogen i transportsektoren

Til Samferdselsdepartementet

Samferdselsdepartementet oppnevnte i mars 2003 en ekspertgruppe for å utrede muligheter for bruk av nullutslippsteknologi og hydrogen i transportsektoren. Ekspertgruppen har også gitt faglig grunnlag til det regjeringsoppnevnte Hydrogenutvalget og på enkelte områder samarbeidet med ekspertgruppen for produksjon og stasjonær bruk av hydrogen.

Utredningen er enstemmig.

Rapporten publiseres i trykket endelig versjon 01.06.04 som vedlegg til Hydrogenutvalgets rapport.

Oslo, 4. mai 2004

Elisabet Fjermestad Hagen
leder

Rolf Hagman
Kjell-Olav Skjølsvik

Ged Petra Haugom
Gunnar Vesterby

Steffen Møller-Holst

Trond Kråkenes

Tone Austestad

Innhold

1	Sammendrag	7	4.3	Drivstoff	27
1.1	Hvorfor hydrogen?	7	4.3.1	Konvensjonelle drivstoff	27
1.2	Hva er utfordringene?	8	4.3.2	Alternative marine drivstoff	28
1.3	Hva må være på plass – og når?	8			
1.4	Hva må gjøres?	9	5	Hvordan introdusere hydrogen i transportsektoren?	29
2	Mandat og sammensetning	11	5.1	Barrierer for markedsintroduksjon	29
2.1	Bakgrunn for opprettelse av ekspertgruppen og gruppens mandat	11	5.2	Scenarier for markedsintroduksjon – hva er mulig?	29
2.2	Gruppens forståelse av begrepene nullutslipp og lavutslipp	12	5.2.1	Scenarier for vegtransport	30
2.3	Gruppens sammensetning	12	5.2.2	Scenarier for framtidig utvikling av hydrogen i maritim sektor	31
2.4	Rapportens oppbygging	12	5.3	Verdikjedeberegninger for vurdering av virkningsgrad og utslipp	32
3	Status og forventet utvikling for vegtransport	13	5.4	Utfordringer knyttet til introduksjon av hydrogen i transportsektoren	33
3.1	Utslipp fra vegtransport	13	5.4.1	Infrastrukturutfordringer ved overgang til hydrogen	33
3.2	Motorteknologi	13	5.4.2	Utfordringer knyttet til sikkerhet og regelverk	36
3.2.1	Forbrenningsmotor	14	5.5	Hva kan gjøres for å framskynde markedsintroduksjon?	37
3.2.2	Hybrid kjøretøyteknologi	15	5.5.1	Politikk for markedsintroduksjon i EU, USA og Japan	38
3.2.3	Kjøretøy med elektrisk motor	15	5.5.2	Internasjonale erfaringer med virkemiddelbruk	38
3.2.4	Oppsummering av forventet utvikling i motorteknologi	17	5.5.3	Norges rolle: Ambisjonsnivå og aktuelle virkemidler	38
3.3	Drivstoffalternativer for vegtransport	17	6	Ekspertgruppens anbefalinger ..	41
3.3.1	Konvensjonelle energibærere	18	6.1	Tiltak og virkemidler rettet mot år 1 og år 10/20	41
3.3.2	Alternative fossile drivstoff	19	6.2	Fase 1: Forskning og utvikling	41
3.3.3	Alternative drivstoff fra biomasse ..	20	6.3	Fase 2–3: Utviklings- og demonstrasjonsprosjekter	43
3.3.4	Hydrogen	21	6.4	Fase 3: Innfasing av virkemiddelbruk	43
3.3.5	Eksperimentelle drivstoff	22	6.5	Oppsummerende konklusjoner og anbefalinger	44
3.3.6	Sammenligning av alternative drivstoff for vegtransport	22	Vedlegg		
4	Status og forventet utvikling for sjøtransport	25	1	Tallgrunnlag for beregninger av scenarier for veg- og sjøtransport ..	45
4.1	Utslipp fra sjøtransport	25	2	Sikkerhet og regelverk	48
4.2	Motorteknologialternativer for skip	26	3	Resultater fra kjedeberegninger ...	63
4.2.1	Dieselmotorer	26			
4.2.2	Utviklingspotensialet for marine dieselmotorer	26			
4.2.3	Naturgassmotoren	26			
4.2.4	Hydrogen i marine forbrenningsmotorer	26			
4.2.5	Gassturbiner	27			
4.2.6	Brenselceller i skip	27			

Kapittel 1

Sammendrag

1.1 Hvorfor hydrogen?

Hydrogen har i en årrekke vært lansert som en mulig løsning på verdens energi- og miljøutfordringer. De siste årene har interessen for hydrogen tatt seg kraftig opp, ikke minst på bakgrunn av utviklingen i lavtemperatur brenselceller som kan benyttes i kjøretøy, og store nasjonale og internasjonale satsinger er startet opp i EU, USA og Japan. Satsingene er motivert både av miljøproblemer knyttet til bruk av fossile energikilder, og av utfordringer knyttet til en langsiktig og sikker energiforsyning, muligheter for næringsutvikling og verdiskaping, samt ønske om bedre lokal ressursutnyttelse.

Lavere klimagassutslipp

I et langsiktig perspektiv, det vil si fra 2020 og framover, vil miljøgevinstene ved bruk av hydrogen som drivstoff i transportsektoren i hovedsak være knyttet til klimagassutslipp og i mindre grad andre typer miljøskadelige utslipp. Dette gjelder særlig i vegsektoren og henger sammen med at konvensjonelle teknologier forventningsmessig vil gi svært lave utslipp av andre gasser. Hvor stor klimagevinsten vil være, avhenger i stor grad av hvordan hydrogenet vil bli produsert. Når det gjelder sjøtransport vil en overgang til hydrogen som drivstoff i tillegg gi store reduksjoner i NO_x -utslippene. Men denne gevinsten kan alternativt også i stor grad hentes ut gjennom en overgang til naturgass som drivstoff.

Bedre energiforsyningsikkerhet

Råolje er en begrenset ressurs. Prognosene for nye oljefunn, beholdning av olje og utvikling av oljeforbruk er både sprikende og usikre. Med den nåværende utviklingen i forbruk på verdensbasis antas råolje å være tilgjengelig fram til rundt år 2050. Rimelig råolje (20–30 \$ per fat) kan forventes å bli mangelvare langt tidligere.

En vesentlig del av verdens oljeressurser er lokalisert til områder mange oppfatter som politisk

ustabile. Ønsket om å bli mindre avhengig av olje fra disse områdene er en viktig drivkraft bak satsingen for å framskynde bruken av hydrogen i transportsektoren i flere land. Hydrogen kan framstilles fra nær sagt alle energikilder, og produksjonen kan tilpasses lokale forhold og energigrunnlag. Bedre energiforsyningsikkerhet er både knyttet til å redusere sårbarheten i forhold til politisk ustabilitet, og det faktum at verdens oljereserver på lengre sikt vil ta slutt.

Store muligheter for næringsutvikling og verdiskaping

I kjølvannet av satsingen på forskning og demonstrasjon av hydrogenteknologier vil det åpne seg store muligheter for teknologibasert næringsutvikling og verdiskaping. Mange land har potensialer til å skape en bedre grobunn for næringsvekst, nyetableringer og økt sysselsetting basert på videreutvikling av kompetanse innen industri- og forskningsmiljøer. Det er viktig å posisjonere seg i forhold til framtidige leveranser av kunnskap, komponenter, produkter og systemløsninger. Norge besitter betydelig kompetanse blant annet innenfor produksjon av hydrogen, lagring om bord i kjøretøy, skipsteknologi og brenselcelleteknologi.

Bedre lokal ressursutnyttelse

For mange land vil det være et mål å bedre kunne utnytte de naturgitte ressurser landene rår over. I dag blir hydrogen i all hovedsak produsert fra fossilt råstoff, for det meste naturgass. For storskala produksjon av hydrogen, vil naturgass også være den viktigste råvaren i et mellomlangt perspektiv, forutsatt at man løser problemet med å skille ut og deponere CO_2 fra råstoffet. Utvinning av for eksempel naturgass eller kull, videreforedling til hydrogen, håndtering av CO_2 , distribusjon, salg og omforming av hydrogen representerer en prosess hvor alle ledd vil gi økt verdiskaping og muligheter for bedre ressursutnyttelse.

1.2 Hva er utfordringene?

Det knytter seg stor usikkerhet til tidspunktet for markedsintroduksjon av hydrogenkjøretøy. For å utnytte potensialet for hydrogen fullt ut, er effektive brenselceller en nøkkelteknologi. Kommersialisering er avhengig av at en rekke utfordringer løses – og disse er både av teknisk og ikke-teknisk art.

Tekniske barrierer

- Kostnader ved brenselcellen: For bruk i kjøretøy må kostnadene nærme seg dagens kostnadsnivå for en forbrenningsmotor.
- Brenselcellens levetid: En begrensning for kommersialisering av brenselceller i dag er at leverandører ikke kan garantere for cellens levetid.
- Lagring: Det er behov for bedre løsninger for lagring av hydrogen ombord i kjøretøy.
- Produksjonskostnader for hydrogen: Ved dagens produksjonsteknologi vil hydrogen ikke være konkurransedyktig i forhold til konvensjonelle drivstoff.
- Infrastruktur: Det foreligger per i dag ikke tilfredsstillende løsninger eller konkrete planer for oppbygging av nødvendig infrastruktur, det vil si for eksempel fyllestasjoner.

Ikke-tekniske barrierer

- Standarder og regelverk: I dag opplever vi at regelverk og standarder for produksjon og bruk av hydrogen er svært forskjellige fra land til land. Ulike regelverk kan både være et hinder for kommersialisering, men også et middel for konkurransevidring.
- Brukeraksept: Avhengig av drivstofftilgjengelighet, anvendelighet, oppfatninger om sikkerhet og kundenes holdninger. Brukernes usikkerhet i forhold til å ta i bruk ny teknologi må også adresseres.

I tillegg er råoljeprisen og prisen på konvensjonelt drivstoff avgjørende både for utviklingen av ny teknologi og nye drivstoff, og for hvor raskt dette tas i bruk i markedet.

EUs mål om hydrogenbruk og konsekvenser for kjøretøyparken

EU har vedtatt en målsetning om at hydrogen skal erstatte 5 prosent av drivstofforbruket i vegtransportsektoren innen 2020. Ekspertgruppen har sett på hva dette krever av utskiftninger i kjøretøyparken

og gjort tilsvarende beregninger for innenriks sjøfart. Gruppen har gjort tilsvarende vurderinger av hva som skal til for å erstatte henholdsvis 2 og 5 prosent av energiforbruket i transportsektoren med hydrogen. For vegtransport er beregningene eksklusive tungtransporten.

Det skal relativt store utskiftninger til i kjøretøyparken før hydrogen kan utgjøre en viktig del av energibruken. Ved å erstatte alle bussene i for eksempel Oslo/Akershus, Kristiansandsområdet og Stavanger-regionen (totalt ca. 1100 busser) med hydrogen-brenselcellebusser, vil hydrogen utgjøre 1 prosent av den samlede energibruken til personbiler og busser. Dersom i tillegg om lag 40 000 personbiler bruker hydrogen-brenselcelle i stedet for bensin/diesel, kan hydrogen utgjøre 2 prosent av samlet forbruk.

Ved å erstatte alle busser i Oslo/Akershus, Bergen, Trondheim, Tromsø, Sarpsborg/Fredrikstad, Kristiansandsområdet og Stavanger-regionen (totalt ca. 1850 busser) med hydrogen-brenselcellebusser, vil hydrogen utgjøre om lag 1,5 prosent av det årlige totale energiforbruket for buss og personbil. Dersom i tillegg om lag 130 000 personbiler bruker hydrogen-brenselcelle i stedet for bensin/diesel, vil hydrogen ha en andel på 5 prosent av det totale energiforbruket for buss og personbil.

For å oppnå 2 prosent hydrogenpenetrering i bunkersmarkedet for innenriks skipsfart krever dette at drivstoff i 19 ferjer må erstattes med hydrogen. For å oppnå 5 prosent hydrogenpenetrering må hele 47 ferjer erstattes med hydrogendrift. 7 forsyningsskip forbruker bunkers tilsvarende om lag 2 prosent av samlet forbruk for innenriks skipsfart, mens 18 forsyningsskip må til for å oppnå 5 prosent hydrogenpenetrering.

1.3 Hva må være på plass – og når?

Det er en rekke utfordringer knyttet til å kunne ta i bruk ny teknologi og nye typer drivstoff. Selv om bilprodusenter tilbyr kjøretøy til en overkommelig pris, må det på forhånd være lagt til rette for å ta i bruk slike kjøretøy. Tilrettelegging inkluderer både drivstofftilgjengelighet og muligheter til å kunne få kjøretøyene godkjent, vedlikeholdt, reparert og forsikret.

Kjøretøyene

For at hydrogendrevne kjøretøy skal kunne erstatte konvensjonelle biler i personbilmarkedet i et viss omfang, må kjøretøyene ikke bare være tilgjengelige for aktuelle brukere, men også kunne

konkurrere på pris, komfort, kjøreegenskaper, sikkerhet og rekkevidde. For vegtransport er det antatt at kjøretøy kan være tilgjengelig til en tilnærmet konkurransedyktig pris tidligst mellom 2010 og 2015.

Tidlige brukere vil gjerne være noe mindre kritiske og ha en noe høyere betalingsvillighet enn gjennomsnittskunden. For spesielle brukere som drosjeeiere og bedrifter, som vil være aktuelle flåtebrukere, vil egenskaper knyttet til driftssikkerhet være spesielt viktig. Det vil derfor være behov for å bygge opp kunnskap og erfaringer med hvordan slike kjøretøy fungerer i bruk.

Fyllestasjoner

Når markedet for hydrogen som drivstoff skal bygges opp, vil hydrogenforsyning skje ved produksjon lokalt tilknyttet fyllestasjonen eller ved hydrogen tilkjørt fra et industrielt anlegg der dette er tilgjengelig.

For å oppnå en hydrogenandel på 5 prosent bør anslagsvis hver tiende fyllestasjon tilby hydrogen. Hvis hydrogensatsingen konsentreres til et fåtall byer, kan man redusere antallet fyllestasjoner. Da vil imidlertid markedspotensialet være betydelig mindre. For at hydrogenprisen skal være overkommelig, vil det uansett være behov for en betydelig produktutvikling både når det gjelder elektrolyser (produksjon av hydrogen på vann med elektrisitet) og reformer (produksjon av hydrogen fra naturgass).

Regelverk og standarder

Før markedsintroduksjon er det nødvendig å utvikle regler og standarder for å kunne godkjenne ny teknologi og drivstoff for bruk i et større marked. Fagmyndighetene må utvikle nødvendig kompetanse og utarbeide nødvendige 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 også viktig å både delta i og prøve å forsere det internasjonale arbeidet med standarder og regelverk.

For å unngå uhell og ulykker ved introduksjon av hydrogen er det viktig med systematisk sikkerhetsarbeid gjennom hele introduksjonsfasen. Hydrogen har helt andre egenskaper enn bensin og diesel, og stiller egne krav til sikkerhet. Dette gjelder både i forhold til lagring av hydrogen og mulige konsekvenser av hydrogenlekkasjer som kan oppstå som resultat av ulykker. Her er det

behov for økt kunnskap, regelverk- og teknologiutvikling før hydrogen blir tatt i bruk i større skala.

1.4 Hva må gjøres?

Ekspertgruppen anbefaler at Norge satser målrettet mot overgang til bruk av hydrogen i transportsektoren. Aktiv norsk politikk på dette området vil kunne gi betydelige økonomiske gevinster i tillegg til miljømessige gevinster, særlig på noe lengre sikt. Det innebærer at det allerede nå må utformes og føres en aktiv politikk på området. Ekspertgruppen anerkjenner den utfordringen det er å skissere innholdet i en hydrogensatsning for Norge som dekker alle aspekter.

Nå – og fram mot masseproduksjon av hydrogenkjøretøy

- Det må **etableres en organisasjon** som kan bidra til å utvikle og implementere en nasjonal hydrogensatsing inklusive bruk av hydrogen i transportsektoren. Dette er nødvendig for å sikre en helhetlig virkemiddelbruk på tvers av sektorer.
- Det må satses målrettet på **forskning og utvikling** med betydelige årlige bevilgninger. Ulike typer utviklingsprosjekter vil være nødvendig, blant annet for å utvikle teknologi og forbedrede produkter, utvikling og testing av gode systemløsninger.
- Det er viktig å gjennomføre **demonstrasjonsprosjekter** for å høste erfaringer, skape brukeraksept og utvikle nasjonal kompetanse og regelverk.
- Offentlig subsidiering av kjøretøy for tidlig bruk av hydrogen bør fortrinnsvis skje direkte i form av **investeringsstøtte eller prosjektfiansiering**, og ikke indirekte via avgiftssystemet.

Når kjøretøyene kommer

- **Avgiftsincentiver** og andre favoriserende tiltak må benyttes for å hjelpe hydrogen og brenselcellekjøretøy inn i transportmarkedet.
- Fritak for engangsavgift for nullutslippsbiler bør videreføres. Alle teknologier med samme egenskaper bør ha like rammebetingelser og «fødselshjelp» i form av avgiftsfritak må forbeholdes ny teknologi.
- På samme måte som for naturgass i dag, bør hydrogen være avgiftsfritt inntil drivstoffet har pe-

- netrert markedet og kan konkurrere på like vilkår. Avgiftsnivået bør da avspeile miljøegenskapene.
- Ved **offentlig kjøp av transporttjenester** for busstrafikk og ferjetrafikk, bør det vurderes å sette krav til teknologi og/eller drivstoff.
 - Tiltak som etter en nærmere vurdering anses som vellykket for å fremme bruk av elbiler framfor konvensjonelle kjøretøy, bør også vurderes ved en **framtidig introduksjon** av brenselcellekjøretøy i markedet, som tilgang til kollektivfelt eller gratis parkering.

Kapittel 2

Mandat og sammensetning

2.1 Bakgrunn for opprettelse av ekspertgruppen og gruppens mandat

Bakgrunn og mandat

På bakgrunn av et politisk ønske om å fremme utviklingen mot økt bruk av nullutslippsteknologi, besluttet Samferdselsministeren høsten 2002 å opprette en egen ekspertgruppe for å vurdere mål og virkemidler i en norsk nullutslippspolitik for transportsektoren. På denne bakgrunn oppnevnte Samferdselsdepartementet 06.03.03 en ekspertgruppe som skulle utrede mulighetene for bruk av nullutslippsteknologi og hydrogen i transportsektoren. Gruppens mandat var som følger:

«Utvalget skal vurdere hvordan Norge best kan bidra til å framskynde den internasjonale utviklingen av nullutslippsteknologi 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 dieselteknologi og forventet utvikling av disse egenskapene.
- Kjøretøyproduzentenes 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 nullutslippsteknologi i transportsektoren.»

Pressemelding av 06.03.03

I forbindelse med behandling av St.meld. nr. 9 (2002–2003) Om innenlands bruk av naturgass mv (Gassmeldingen) våren 2003, ba en samlet Energi- og miljøkomité regjeringen om at det ble opprettet et nasjonalt hydrogenutvalg. I meldingen gikk regjeringen inn for å øke satsingen på hydrogen og legge til rette for et større nasjonalt hydrogenprogram. Et bredt sammensatt utvalg ble oppnevnt, med to tilhørende ekspertgrupper. Ekspertgruppen for bruk av nullutslippsteknologi i transportsektoren utgjorde den ene gruppen, og en tilsvarende ekspertgruppe for produksjon og stasjonær bruk av hydrogen ble opprettet av olje- og energiministeren.

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

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

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

Gruppen 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 gruppen også fokuserer på sjøtransport.

Ekspertgruppen vil redegjøre for status for bruk av hydrogen når det gjelder funksjonalitet, miljøegenskaper, kostnader, produsentenes planer, infrastruktur og virkemiddelbruk. I tillegg vil

ekspertgruppen 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. Videre vil det gis en oversikt over norsk og internasjonal forskning og utvikling med relevans for bruk av hydrogen til transport.

Ekspertgruppen 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 nullutslippsteknologi i transportsektoren. Drøftingen skal gi et faglig grunnlag for Hydrogenutvalgets politiske anbefalinger.

2.2 Gruppens forståelse av begrepene nullutslipp og lavutslipp

Nullutslipp innebærer strengt definert at det ved produksjon, distribusjon, lagring og bruk av et drivstoff ikke oppstår utslipp som bidrar til globale, regionale eller lokale miljøproblemer. Det er foretatt sammenligninger av ulike alternativer av drivstoff og teknologier med dette perspektivet. Ulike kombinasjoner av kjøretøyteknologier og drivstoff framstilt på ulike måter gir ulike virkningsgrader, som enkelt forklart er forholdet mellom den nyttige energien man får ut av en prosess og den energien som settes inn i prosessen.

Siden det handler om drivstoff og teknologi for framtiden, er det viktig at en i en mellomfase ikke utelukker løsninger som kan framskynde en mulig overgang til nullutslipp på et senere tidspunkt, selv om de i dag ikke representerer nullutslipp i hele kjeden. Konvensjonell teknologi og teknologier med svært lave utslipp blir behandlet som referanseteknologier som potensielle nullutslippsteknologier og overgangsteknologier kan vurderes i forhold til.

Lavutslippsteknologi forstår gruppen som teknologi som gir vesentlig lavere utslipp enn gjeldende utslippskrav ved hjelp av teknologi som er tilgjengelig i dag. Lavutslipp må derfor defineres ut fra dagens situasjon med dagens krav, som er

vesentlig forskjellig for vegtransport og sjøtransport. Lavutslipp kan oppnås både gjennom bruk av ny teknologi, alternative drivstoff, renere konvensjonelle drivstoff og avansert rensing ved bruk.

2.3 Gruppens sammensetning

Elisabet Fjermestad Hagen – leder, Norsk Hydro ASA

Gunnar Vesterby, Bertel O. Steen AS

Rolf Hagman, Transportøkonomisk institutt

Steffen Møller-Holst, SINTEF

Gerd Petra Haugom, Det Norske Veritas

Kjell-Olav Skjølsvik, MARINTEK

Sekretariat: Trond Kråkenes og Tone Austestad, Samferdselsdepartementet

2.4 Rapportens oppbygging

Rapporten består i tillegg til kapitlene 1 og 2 av en statusbeskrivelse (kapittel 3 og 4), en drøftingsdel (kapittel 5) og anbefalinger (kapittel 6).

I kapittel 3 og 4 er formålet å redegjøre for status og utviklingspotensial når det gjelder motorteknologi og alternative drivstoff inkludert hydrogen for henholdsvis vegtransport og sjøtransport.

I kapittel 5 er formålet å analysere utfordringer knyttet til å introdusere hydrogen i transportsektoren og hvordan disse utfordringene kan møtes. Her tar gruppen for seg barrierer, scenarier for markedsintroduksjon i veg- og sjøtransport, verdikjedeberegninger, utfordringer knyttet til infrastruktur og sikkerhet og mulige tiltak og virkemidler.

Kapittel 6 omhandler ekspertgruppens anbefalinger. Her legges det stor vekt på forskning og utvikling, inklusive demonstrasjonsprosjekter, som vil være de viktigste tiltakene i perioden fram til at kjøretøy er kommersielt tilgjengelig i markedet til en tilnærmet konkurransedyktig pris. Til slutt oppsummeres gruppens anbefalinger ut fra hva som bør gjøres på kort sikt og hva som bør gjøres når teknologien for hydrogenkjøretøy og skip er kommersiell tilgjengelig til en tilnærmet konkurransedyktig pris.

Kapittel 3

Status og forventet utvikling for vegtransport

Motorisert transport medfører belastninger på helse og miljø. Nye alternative energibærere, forbedret kjøretøyteknologi og helt ny motorteknologi kan redusere eller fjerne avgassutslipp, gi mindre støy og lavere energiforbruk. Formålet med dette kapitlet er å presentere en oversikt over utviklingspotensialet for konvensjonelle kjøretøyteknologier og tilhørende drivstoff fram mot 2020. Videre vil vi beskrive status og forventet utvikling for hydrogenkjøretøy og brenselcelleteknologier for vegtransport, og hvilke fordeler slike løsninger kan ha i forhold til konvensjonelle teknologier.

Vegtransport og sjøtransport er svært ulike transportsegmenter både når det gjelder type teknologi og type reguleringsregime. Dette kapitlet beskriver status og mulige alternativer for teknologi og drivstoff for vegtransport. Sjøtransport omtales i kapittel 4.

3.1 Utslipp fra vegtransport

Blant verdens ledende kjøretøyprodusenter satses det stort på utvikling og forbedring av teknologi for transportsektoren. Miljøfaktorer er sammen med bilprodusentenes konkurranse seg imellom viktige drivkrefter for denne satsingen:

- Klimagassutslipp: I følge Kyoto-protokollen skal industrilandene redusere sine utslipp av klimagasser med minst fem prosent i forhold til 1990-nivå innen perioden 2008–2012. I Norge utgjør transportsektorens utslipp 25 prosent av klimagassutslippene, og på lang sikt er det nødvendig å redusere sektorens utslipp betydelig.
- Vegtrafikk er en viktig kilde til store deler av lokal luftforurensning: Myndighetene har definert grenseverdier for helseskadelig luftforurensning i både Europa og USA. I tillegg til grenseverdier, setter myndighetene krav til drivstoffkvaliteter og avgassutslipp (EURO-krav) for å redusere lokal luftforurensning.
- Transportsektoren bidrar også til langtransportert luftforurensning. Myndighetenes avgasskrav vil også bidra til NO_x-reduksjoner.

I EU/EØS-området regulerer utslippskravene EURO I-V hvor store utslipp av helseskadelige avgasser som tillates fra lette og tunge kjøretøy, se tabell 3.1.

De strengeste utslippskrav som er innført er «SULEV – California LEV II Emission Standards, Passenger Cars and LDVs < 8500 lbs (3860 kg)». Disse kravene spesifiserer utslipp av lokalt forurensende og helseskadelige avgasser som er ca. 60 – 80 prosent lavere enn EURO IV.

3.2 Motorteknologi

Kjøretøy for vegtransport kan drives av en forbrenningsmotor eller en elektrisk motor. Forbrenningsmotorer og elektriske motorer har svært ulike egenskaper og bruker helt forskjellige energibærere. Elektrisitet er energibæreren for biler med elektrisk motor og elektrisiteten kommer enten fra batterier eller brenselceller. Som drivstoff for brenselcellen benyttes hydrogen som energibærer. Forbrenningsmotorer omvandler den kjemiske energien i et drivstoff til mekanisk energi (bevegelse). Hybridbetegnelsen har vært benyttet til flere typer kjøretøy hvor det er lagt til rette for å velge mellom ulike typer drivstoff. I denne rapporten brukes betegnelsen hybrid om kjøretøy med kombinasjon av elektrisk motor og forbrenningsmotor.

Enkelte forhold er helt sentrale for at en kjøretøyteknologi med tilhørende drivstoff skal være attraktiv i markedet. Dette gjelder blant annet anskaffelseskostnader, driftskostnader og akselesasjon. Andre viktige faktorer som er medvirkende til hvorvidt en kjøretøyteknologi vil være konkurransedyktig i markedet, er kjørelengde mellom hver tanking/fylling, som i dag er typisk 50–100 mil for en personbil. Dessuten bør tanking være mulig å gjennomføre på relativt kort tid (ca. to minutter for en personbil).

En vurdering av muligheter og sannsynligheter for kommersialisering av ny motorteknologi er vanskelig. Utsagn om forventet utvikling kan være influert av forhåpninger, mens ny teknologi som er tilnærmet klar for kommersialisering kan være

Tabell 3.1 EUs avgasskrav til nye biler.

Lette bensinbiler (g/km)	PM	NO _x	HC	CO	HC+NO _x	CH ₄
EURO II – 1996				2.20	0.50	
EURO III – 2000		0.15	0.20	2.30		
EURO IV – 2005		0.08	0.10	1.00		
Lette dieserbiler (g/km)						
EURO II – 1996	0.080			1.06	0.71	
EURO III – 2000	0.050	0.50		0.64	0.56	
EURO IV – 2005	0.025	0.25		0.50	0.30	
Motorer til tunge biler (g/kWh)						
EURO II – 1996	0.15	7.0	1.1	4.0		
EURO III – 2000	0.10	5.0	0.66	2.1		
EURO IV ¹ – 2005	0.03	3.5	0.55	4.0	1.10	
EURO IV ² – 2005	0.02	3.5	0.46	1.5		
EURO V ¹ – 2008	0.03	2.0	0.55	4.0	1.10	
EURO V ² – 2008	0.02	2.0	0.46	1.5		

1 ETC Test Cycle

2 ESC Test Cycle

holdt hemmelig ut fra markeds- og konkurranseforhold.

Vi vil i dette kapitlet fokusere på hva som ut fra tilgjengelig kunnskap og informasjon kan ligge innenfor rekkevidde av teknologiske forbedringsmuligheter for konvensjonelle teknologier og muligheter for nye teknologiske løsninger.

3.2.1 Forbrenningsmotor

Bensin- og dieselmotorteknologien har vært gjenstand for en kontinuerlig forbedring i over 100 år. Myndighetenes stadig strengere utslippskrav har bidratt til å forsere utviklingen av bensin- og dieselmotorer. Forbrenningsmotorene med bensin og diesel har fått kraftig reduserte avgassutslipp de senere årene, og anses fortsatt å ha et stort utviklingspotensial. Biler som oppfyller EURO IV-kravet gir til sammenligning ved avgasstesting ca. 99 prosent lavere utslipp av lokalt forurensende og helseskadelige avgasser enn en norsk bil uten katalysator (levert før 1989). Det blir hevdet blant

annet fra Massachusetts Institute of Technology¹ at det ved hjelp av renseteknologi i 2020 blir teknisk mulig med så lave helseskadelige avgassutslipp fra forbrenningsmotorer som myndighetene krever.

Utslipp av CO₂ er et uunngåelig resultat av forbrenning av karbonholdige energibærere, og en hovedutfordring for transportsektoren. Utslipp av CO₂ fra forbrenningsmotorer er direkte avhengig av drivstofforbruket samt drivstoffets karbon/hydrogenforhold. Drivstofforbruket i forbrenningsmotoren med konvensjonelle drivstoff har blitt kraftig redusert de siste årene. Det er anslått at en typisk amerikansk familiebil med bensinmotor (uten hybrid løsning), som følge av en fortsatt teknisk utvikling, i 2020 vil kunne ha 35 prosent lavere energiforbruk enn tilsvarende bil fra 1996. Blant annet som følge av veksten i trafikkvolum vil det fremdeles være betydelige utfordringer knyttet

1. Referanse: Massachusetts Institute of Technology: On the road in 2020

til å redusere klimagassutslippene fra vegtransport i dette tidsperspektivet.

Forbedrede forbrenningsmotorer, med hybridteknologi i kjøretøy, kan forbedre energieffektiviteten og redusere drivstofforbruket betydelig. Bruk av alternative, spesielt biobaserte drivstoff, kan imidlertid også påvirke CO₂ regnskapet da disse drivstoffene regnes som CO₂-nøytrale.

Alternative drivstoff som naturgass, LPG, hydrogen og forskjellige biodrivstoff kan som regel brukes i noe modifiserte bensin- eller dieselmotorer. Bensin- og dieselmotorene blir tilpasset til de alternative drivstoffene, som har andre egenskaper (tetthet, energiinnhold med mer) enn det drivstoff som motoren opprinnelig var utviklet for. For optimal utnyttelse av egenskapene til alternative drivstoff vil det være behov for å utvikle forbrenningsmotorer spesielt tilpasset de alternative drivstoffene. Motor-/bilprodusentene har så langt hatt begrenset utviklingsaktivitet for slike tilpasninger.

For LPG og naturgass har det vært tilgjengelig konverteringspakker som kan benyttes for å bygge om en bensinbil til gassdrift. Når det gjelder ombygging av bensinbiler vil man måtte bruke eldre biler uten ombord diagnose og annen ny elektronikk. Ombygging av brukte konvensjonelle kjøretøy for å kunne ta i bruk hydrogen ligger utenfor bilindustriens sikkerhetskontroll og bør ikke benyttes for hydrogendrift.

3.2.2 Hybrid kjøretøyteknologi

Hybrid kjøretøyteknologi kombinerer bruk av forbrenningsmotor og elektrisk motor i samme kjøretøy. Ideen bak denne kombinasjonen er å kunne utnytte de beste egenskapene fra begge motorteknologier. Den elektriske motoren får sin energi fra en elektrisk generator drevet av forbrenningsmotoren, og den elektriske energien kan mellomlagres i et batteri. I en hybridbil vil forbrenningsmotoren normalt operere i driftsområder der utslippene er lave og virkningsgraden er høy. Ved bykjøring kan utslippene reduseres ved at forbrenningsmotoren kun brukes når batterikapasiteten er lav.

Med hybridbiler er det i dag mulig å spare opp til 20–40 prosent energi i forhold til en tilsvarende bil med bare forbrenningsmotor. Det er mulig å spare en større andel energi ved å bygge sammen en bensinmotor med en elektromotor enn hva det er mulig å spare ved å benytte hybridprinsippet i en diesebil, som allerede har en noe høyere virkningsgrad.

Alle forbrenningsmotorer kan benyttes i en hybridbil, og den kan bruke en rekke forskjellige drivstoff.

Toyota Prius ble lansert i 1997 og er den første serieproduserte hybridbilen. Toyota Prius ble fram til 2003 produsert i et antall på ca. 3 000 biler i måneden. Salgstallene tyder på at hybridteknologien er på veg til å bli en kommersiell suksess. De nyeste modellene av Toyota Prius (2004) tilfredsstiller de strenge amerikanske SULEV avgasskravene til personbiler. Andre bilprodusenter har produsert hybridbiler i små serier, men forventes nå å komme med kommersielt mer interessante hybridbiler. Batteriprodusenter utvikler egne batterityper for hybridbiler som gir muligheter for høy ytelse.

Enkle hybridløsninger med en integrert elmotor og generator for å regenerere bremseenergi og lagre den i batterier vil kunne komme på de fleste biler, også brenselcellebiler. Hybridbiler vil normalt være noe tyngrer enn tilsvarende bensin- og dieserbiler og lastevolumet vil reduseres noe. Øvrige bruksegenskaper er som for vanlige personbiler, mens rekkevidden forlenges betraktelig, spesielt ved bykjøring fordi drivstofforbruket er lavere (forutsatt samme størrelse på drivstofftanken).

3.2.3 Kjøretøy med elektrisk motor

Kjøretøy med elektrisk drift kan få sin energiforsyning fra batterier eller fra brenselceller. Biler med strømforsyning fra batterier kalles for elbiler. Biler med strømforsyning fra brenselceller kalles brenselcellebiler.

Elbiler

En elbil drives av en elektromotor som får strøm fra en batteripakke. Elbilens styrke er at motoren har høy virkningsgrad, og at den ikke gir lokale avgassutslipp eller klimagassutslipp ved bruk. I tillegg er støyen vesentlig mindre enn fra en tilsvarende bil med forbrenningsmotor. Batterielektriske biler har eksistert i over 100 år. Batterier forbedres stadig, men ser ut til i overskuelig framtid å være beheftet med høy vekt og begrenset lagringskapasitet. Dagens elbiler har en typisk rekkevidde på 100 km med 300 kg batterier.

Elbiler har begrensninger i ytelsene som er ulik det man er vant til fra vanlige biler. Batteriene kan bare lade en viss mengde energi, og den lange ladetiden gjør at man ikke uten videre kan fylle ny energi på bilen for å utvide kjøreradiusen. Lading av batteriene tar normalt seks til åtte timer fra en vanlig 230 V stikkontakt. Enkelte batterityper kan

hurtiglades opp til 80 prosent kapasitet på 15–60 minutter avhengig av batteritype og ladestasjonens ytelse. En elbil med blybatterier kan typisk kjøre 60–80 km per lading, mens en bil med nikkel/kadmium batterier kan kjøre 80–130 km per lading.

Elektrisk drevne personbiler med batterier er i dag tilgjengelig fra flere leverandører. Miljøbil Grenland leier ut og selger elektriske biler. Peugeot/Citroen har elektriske versjoner av flere av sine standardmodeller.

Det norske prosjektet med elbilen TH!NK på Aurskog skiftet i 2003 eier fra Ford til Sveitsiske Kamcorp Microelectronics. De nye eierne planlegger å relansere TH!NK på markedet i 2005. Bilen vil da få nye batterier med lengre rekkevidde. Den nye TH!NK er utviklet i samarbeid med FORD.

Nye, teknologiske gjennombrudd må til for å få elbilene konkurransedyktige. Metall-luft batterier benytter energirike metaller som sink og aluminium som energibærere. Teknologien er en blanding av konvensjonell batterietechnologi og brenselceller. Dette er en løsning der man kan oppnå høy energitetthet og lang levetid. Teoretisk vil sink – luft batteriet kunne gi 1310 Wh/kg. Dette er mer enn 20 ganger energimengden som er tilgjengelig i Ni/Cd batterier. I laboratorieforsøk har virkningsgrader på 60 prosent blitt oppnådd for sink-luft batterier (det vil si over 700 Wh/kg). Det viser seg imidlertid å være teknologisk krevende å få slike batterier til å bli ladbare og dermed oppnå stabilitet og lang levetid.

En nisje for elbiler ser i Norge ut til å bli lett, lokal transport i tettsteder, inkludert dagpendling. I 2003 passerte antallet registrerte elbiler i Norge 1000 enheter.

Nisjemarkedene for elbiler vil sannsynligvis kunne vokse, men det forventes ikke store gjennombrudd for batterier og elbiler som erstatning for vanlige familiebler de neste ti årene. I et større perspektiv er det kun med elektrisitet fra fornybare energikilder at elbilene kan anses som reelle nullslippsalternativer.



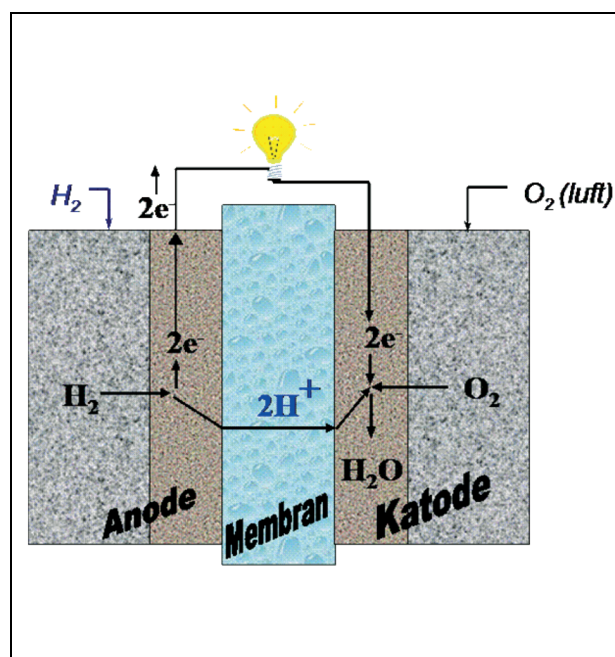
Figur 3.1 Eksempel på elbil, TH!NK modell A306.

Brenselcellebiler

Elektriske kjøretøy kan også få elektrisitet fra brenselceller. I brenselcellen omdannes kjemisk energi i brenselet (som oftest hydrogen) til elektrisk kraft i en elektrokjemisk prosess. Dette skjer med høy effektivitet uten bruk av bevegelige deler, noe som gir cellen lavt støynivå og mulighet for høy driftssikkerhet. Brenselceller har tradisjonelt vært brukt på områder der pris er av liten betydning, og der brenselceller har spesielle fordeler knyttet til lavt støynivå, ingen utslipp og vann som reaksjonsprodukt (romfart). På grunn av cellenes lave driftstemperatur egner de seg godt til militære formål fordi de er vanskeligere å identifisere med varmesøkende kameraer.

Brenselcelleteknologien vurderes som sentral i framtidens energisystemer. I slike celler kan en større del av energien i drivstoffet konverteres til nyttig energi i form av elektrisitet, som igjen effektivt kan omformes til bevegelse i en elektrisk motor. Brenselcellenes virkningsgrad skiller seg fra forbrenningsmotorens ved at den er høyest ved lav last. En brenselcelle med hydrogen som drivstoff kan oppnå nærmere 60 prosent virkningsgrad. Til sammenlikning vil en mindre dieselmotor komme opp i ca. 40 prosent på full ytelse.

Brenselcellene er enda ikke kommersielle og er fortsatt dyre. Brenselcelledrevne biler er derfor ennå ikke aktuelle for det store personbilmarkedet, selv om kostnadene er på vei nedover. I 2004



Figur 3.2 Prinsippskisse PEM (proton exchange membrane) brenselcelle.

Kilde: SINTEF Materialteknologi

kan en regne med en kostnad på fra 1000 til 2000 USD/kW. For å være konkurransedyktig med forbrenningsmotorer, må kostnaden ned mot 30–50 USD/kW og antall driftstimer må økes betraktelig. Det er i dag antatt at dette prisnivået ikke kan nås før etter år 2010. Slike anslag er imidlertid svært usikre så lenge det ikke masseproduseres komponenter til brenselcellekjøretøy.

Teknologiutviklingen som nå pågår hos de fleste store bilprodusenter har det store personbilmarkedet som mål. Bilprodusenter har liten interesse av nisjemarkeder; kostnadseffektiv produksjon er bare mulig i et stort marked (mer enn 100 000 kjøretøy).

Som en del av utviklingsarbeidet ser man demonstrasjonsprosjekter som avgjørende for bilindustriens kommersialiseringsstrategi. I demonstrasjonsprosjekter kan man innhente verdifulle erfaringer fra drift av brenselcellekjøretøy. I tillegg vil man fokusere på sikkerhet og brukeraksept, identifisere krav til standarder og regelverk som det må tilrettelegges for, og utvikle og få erfaring med nødvendig infrastruktur. Brenselcelleteknologien er ennå umoden, og demonstrasjonsprosjekter vil bidra med svært verdifull informasjon for forskning og videreutvikling av teknologien. Dette gjelder utvikling av bedre materialer (spesielt for selve brenselcellen), utvikling av bedre systemkomponenter, og mer optimal design og driftskontroll. The National Academies (USA – Advisers to the Nation on Science, Engineering, and Medicine) mener det trengs gjennombrudd på følgende områder:

- Mer kompakte og sikre lagringssystemer ombord i kjøretøy
- Reduserte kostnader for brenselcellene
- Utvikling av nye materialer for økt levetid
- Funksjonalitet

Elektriske kjøretøy som får sin energi fra brenselceller kan også ha et batteri. Batterier i kjøretøy med brenselceller gjør det mulig å regenerere og lagre bremseenergi, noe som gir høyere virkningsgrad. Med batterier er det, som i hybridbiler med forbrenningsmotor, mulig å oppnå ekstra høy motoreffekt under kortere perioder. Slik kan man greie seg med en noe mindre brenselcelle og kostnaden for brenselcellepakken blir lavere. Introduksjon av brenselceller i transportsektoren åpner også for muligheter for å bruke teknologien som en del av et energilagersystem for fornybar kraft, som for eksempel i Utsiraprojektet². Felles løsnin-



Figur 3.3 Eksempel på brenselcellebil. Opel Sintra, General Motors.

ger for leveranse av hydrogen til transportsektoren og det stasjonære markedet kan være interessant.

3.2.4 Oppsummering av forventet utvikling i motorteknologi

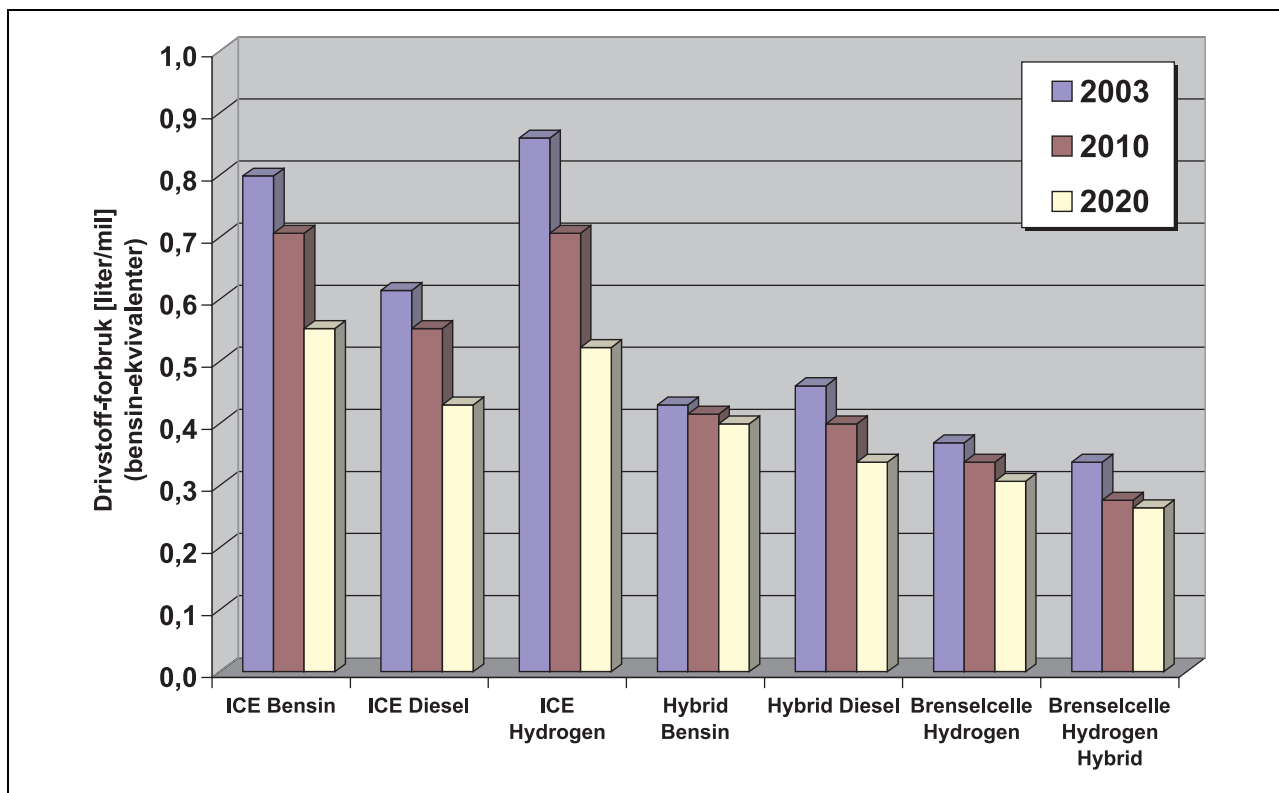
Det forventes at hybridteknologi vil dominere personbilmarkedet allerede i 2010. Flere bilprodusenter signaliserer at de vil lansere hybridbiler innen kort tid. Som vist i figur 3.4 er det fortsatt forventet en betydelig forbedring av konvensjonell forbrenningsteknologi (ICE). Mens en personbil med konvensjonell forbrenningsmotor i 2003 bruker omkring 0,8 liter bensin/mil kommer hybridbilen ned i 0,43 liter bensin per mil. Hybridteknologiens lave forbruk allerede nå gjør det noe usikkert om man vil legge store ressurser i å forbedre forbrenningsmotorer for kjøretøy uten hybridløsning. Forbrenningsmotoren i et hybridkonsept skiller seg betydelig fra konvensjonelle forbrenningsmotorer, og det forventes at mye av motorprodusentenes ressurser trolig vil settes inn mot optimalisering av disse, da man lettere kan hente ut gevinsten i form av lavere forbruk for hybridkonseptet. Det må bemerkes at det i tallene i figur 3.4 kun er tatt hensyn til drivstofforbruket i selve kjøretøyet.

3.3 Drivstoffalternativer for vegtransport

Bensin og diesel er i dag de helt dominerende drivstoffene innen vegtransport. Det er flere alternative drivstoff i markedet som kan benyttes med forbrenningsmotorer som innblanding i bensin eller diesel, eller som kan benyttes med ombygging/spesialtilpasning av forbrenningsmotoren.

Drivstoff med gode forutsetninger for effektiv og ren omforming til bevegelsesenergi kan gi høy grad av forurensning i faktisk trafikk hvis virknings-

2. Et vind-hydrogen pilotprosjekt på Utsira.



Figur 3.4 Forventet utvikling i drivstoff-forbruk for mellomklasse personbil for ulike framdriftsteknologier fram mot år 2020. Alle tall er regnet om til bensin-ekvivalenter for at tallene skal være sammenliknbare.

Kilde: SINTEF Materialteknologi

graden er lav. Naturgass har for eksempel utmerkede egenskaper som drivstoff i en forbrenningsmotor, men utviklingen av naturgassmotorer for kjøretøy ligger etter tilsvarende teknologi for konvensjonelle drivstoff.

Det er kombinasjonen av drivstoff og forbrenningsmotor som gir lokalt forurensende avgassutslipp og utslipp av klimagasser. Ulike teknologier har mer eller mindre gode forutsetninger for å kunne konvertere drivstoff til en annen energiform med hensyn til energitap og utslipp av lokalt forurensende avgasser og klimagasser. For kjøretøy er målsetningen at mest mulig av den kjemiske energien i drivstoffet skal omvandles til bevegelsesenergi med et minimum av utslipp.

I dette avsnittet blir de drivstoff som har best forutsetninger for å bli konkurransedyktige energibærere til lav- og nullutslippskjøretøy beskrevet. I tabell 3.2 illustreres de ulike mulighetene for å kombinere motorteknologi og drivstoff.

3.3.1 Konvensjonelle energibærere

Bensin og diesel

Den bensin og diesel som tilbys på markedet er destillater fra raffinering og prosessering av fossil

råolje. Bensin og diesel fra raffineriet tilsettes additiver som holder motorene rene og forebygger andre problemer. Hovedutfordringen miljømessig for bensin og diesel er lokale utslipp av aromater, svovel, NO_x , partikler, samt utslipp av CO_2 .

Fra 2005 skjerpes de generelle kravene til svovelinnhold i diesel og bensin til 50 ppm. Lavt innhold av svovel i drivstoffene er nødvendig for at moderne avgassrensutstyr skal fungere effektivt og for at katalysatorene skal få tilfredsstillende lang levetid. Høyt svovelinnhold i drivstoffene bidrar også til høyere utslipp av partikler. I tillegg til skjerpede krav til svovelinnhold stilles fra 2005 krav til noe redusert andel aromater i bensin.

Elektrisk energi

Elektrisk energi er en energibærer som sammen med en elektrisk motor representerer reelle nullutslipp lokalt fra kjøretøy. Slike løsninger gir også nullutslipp globalt dersom elkraften er produsert fra fornybar energi. Virkningsgraden fra elektrisk energi (fra et elektrisk batteri) til bevegelse i en elektrisk bilmotor er meget god. Det samlede energiforbruket for en elektrisk bil er også avhengig av hvordan den elektriske energi blir produsert.

Tabell 3.2 Status: Alternative drivstoff og bruk med ulike motorteknologi

Motorteknologi Drivstoff	ICE* bensin	ICE* diesel	ICE* gass	Hybrid	Brenselcelle (PEM)
Bensin	X			X	
Diesel		X		X	
Naturgass			X		
Biogass			X		
Hydrogen			X	X	X
Hydrogen/naturgass			X		
LPG			X		
Alkoholer	X				
Biodiesel		X			

* ICE = forbrenningsmotor (Internal Combustion Engine)

3.3.2 Alternative fossile drivstoff

LPG «Liquefied Petroleum Gas»

LPG, «Liquefied Petroleum Gas» er det mest brukte alternative drivstoffet til bensin og diesel for kjøretøy i dag. LPG består hovedsakelig av de to gassene propan og butan, og har en kombinasjon av gunstige egenskaper når det gjelder forbrenning og lagring. Utslipp ved bruk av LPG er omtrent som ved bruk av naturgass, se under. LPG er flytende ved lavt trykk og gir dermed høy energitetthet. Blandingsforholdet mellom butan og propan kan variere betydelig fra land til land, noe som kan representere et praktisk problem.

LPG utvinnes ved prosessering av naturgass og ved raffinering av olje. Det er spesielt sistnevnte kilde som har bidratt til forsyning av LPG til kjøretøy på grunn av lav pris. LPG har også vært rimelig for brukerne på grunn av lave skatter og avgifter i mange land. Distribusjon av LPG i væskeform er relativt enkel og krever kun trykktanker med et moderat trykk på sju til åtte bar. LPG er tyngre enn luft og sikkerhetskravene er mer omfattende enn for bensin.

LPG har ofte vært brukt i kjøretøy med motorer ombygd i regi av brukeren, og det er en utfordring å få flere OEM (Original Equipment Manufacturer) produsenter til å utvikle dedikerte motorer til disse markedene. LPG har i dag en markedsandel i Europa på rundt 1 prosent.³ I Norge finnes det LPG kjøretøy og tankingsmuligheter på 37 bensinstasjoner.⁴ Det er spesielt i de store byene og i drosjer at LPG brukes i dag.

Naturgass

Metan er hovedbestanddelen i naturgass. Naturgass lagres og distribueres enten som trykksatt gass (Compressed Natural Gas – CNG) eller i flytende form (Liquefied Natural Gas – LNG).

Naturgass som drivstoff i forbrenningsmotorer gir renere forbrenning og lavere lokal forurensing enn konvensjonelle drivstoff. Naturgass har, i likhet med diesel, lavere CO₂ utslipp enn bensin. Et lavere karboninnhold innebærer at metan ved forbrenning gir ca. 20- 25 prosent teoretisk lavere utslipp, men dette oppnås ikke for dagens kjøretøy. Dette skyldes hovedsakelig dårlig virkningsgrad, og eventuell videre utvikling av motorteknologien kan bidra til lavere CO₂ utslipp for kjøretøy med naturgass enn diesel. Utslipp av uforbrent metan er et problem fordi metan har en drivhuseffekt som er ca. 20 ganger større enn CO₂. Naturgass som drivstoff tas vanligvis ut fra lokale naturgass distribusjonsnett og komprimeres til ca. 200 bars trykk for bruk i kjøretøy.

Naturgass i form av CNG har vært benyttet i over ti år, men er ennå relativt lite utbredt som drivstoff. Argentina er det land i verden som har flest kjøretøy som går på naturgass. I Europa har Italia flest naturgasskjøretøy med rundt 370 000, øvrige Europa har i alt ca. 18 000 naturgasskjøretøy. I Norge er naturgass brukt som drivstoff til busser, og slike busser finnes i Bergen, Haugesund og Trondheim.

I EU er det et mål å nå en markedsandel på to prosent naturgass som drivstoff for vegtransport innen 2010, men det forutsetter at tiltak og insentiver iverksettes nå. Tilgang på naturgass ses ikke som et problem for å nå EUs mål om ti prosent i

3. Referanse: Alternative Fuels contact Group: Market Development of Alternative Fuels, EU-kommisjonen 2003

4. Referanse: GASSMAGASINET NR. 1–2004

2020, et slikt volum ville utgjøre ca. fem prosent av total gassetterspørsel i Europa på det tidspunktet.⁵

De fleste naturgassbiler kan også benytte bensin, og har gjerne en bensintank i tillegg til gasslagertank om bord. Dette gjør bilen mer uavhengig av tilgjengelig infrastruktur for tanking.

Komprimert naturgass er noe dyrere enn bensin og diesel, og naturgasskjøretøy – spesielt tyngre kjøretøy – har en høyere kostpris og høyere vedlikeholdskostnader fordi dette ikke er innarbeidet teknologi. I de fleste land som har naturgasskjøretøy er det avgiftslette eller fritak for naturgass som drivstoff, som kompenserer for en noe høyere pris på drivstoffet og innkjøpspris for kjøretøyet, og gjør at prisen kunden står overfor blir tilsvarende som for bensin per kjørte km.

3.3.3 Alternative drivstoff fra biomasse

Biogass

I biogass brukt som drivstoff er hovedbestanddelen metan. Biogass representerer et fornybart energialternativ til naturgass og regnes som CO₂-nøytral, ettersom energikilden anses som fornybar. Lokale utslipp for øvrig er omtrent som for naturgass. I tillegg bidrar oppsamling og utnyttelse av biogass fra avfallsdeponier til reduserte metanutslipp til atmosfæren.

Biogass kan samles opp fra avfallsdeponier, men kan også produseres fra ulike typer biomasse. En vanlig prosess for produksjon av biogass til drivstoff er ved anaerobisk gjæring av organisk avfall med høyt vanninnhold, som for eksempel kloakk. Biogassen må renses og metaninnholdet oppgraderes før den kan brukes som drivstoff i kjøretøy. Produksjonskostnadene for biogass er vanligvis høyere enn for naturgass. Dette skyldes blant annet rense-/oppgraderingsprosessen, og det er derfor vanlig at biogass brukes som en fornybar komponent innblandet i naturgass til stasjonære formål. Utbredelsen er derfor relativt begrenset.

To busser drevet på biogass er i dag i drift i Fredrikstad/Sarpsborg distriktet.

Flytende biodrivstoff

Flytende biodrivstoff omfatter hovedsakelig biodiesel og alkoholene etanol og metanol. Siden biodrivstoff er energibærere som produseres fra fornybare energikilder, blir CO₂ fra forbrenningen

ikke regnet til å gi et reelt bidrag til utslippene av klimagasser. CO₂-regnskapet vil imidlertid måtte ta i betraktning CO₂-utslipp relatert til framstillingsprosessene, og disse varierer. For etanol kan netto CO₂-gevinst være langt mindre enn for andre biodrivstoff. Metanol er svært giftig, har et lavt flammepunkt og reagerer lett med andre materialer.

Ved innblanding av mindre mengder biodrivstoff i bensin og diesel, vil det antagelig ikke føre til vesentlige endringer i utslipp av andre stoff enn CO₂. Ved høyere innblandingsprosjenter, spesielt i autodiesel, kan de biobaserte komponentene føre til endrede utslipp og således endret miljøvirkning. Undersøkelser, blant annet i USA, viser at det ved høye bioandeler i dieselskjøretøy oppnås vesentlige reduksjoner av partikler, HC/VOC og CO. NO_x-utslippene er imidlertid noe høyere uten justering av motoren. Kvaliteten på drivstoffet man blander biodrivstoffet inn i, har betydning ved slike undersøkelser.

En bioandel på 2 prosent og 5,75 prosent innblandet i fossilt drivstoff (som er definert som en målsetning i EUs direktiv) vil teoretisk gi en CO₂-reduksjon på om lag 0,5 og 1,3 prosent av Norges årlige, samlede CO₂-utslipp. I praksis vil reduksjonen være noe mindre.

Produksjon av biodrivstoff kan være fra avfall og biologiske overskuddsprodukter, eller ved dyrking av energivekster. Biodiesel kan produseres fra fettavfall (for eksempel matavfall, slakteriavfall, fiskeavfall) og går da under betegnelsen FAME (Fatty Acid Methyl Ester) eller fra oljen i raps, og kalles da RME (Rape Methyl Ester). Etanol kan produseres ved fermentering av egnet råstoff, som kan være skogs- og trevirke eller jordbruksvekster med høyt sukkerinnhold. Metanol produseres vanligvis fra naturgass, men kan også produseres fra biogass.

Biodiesel kan brukes som drivstoff i alle blandingsforhold, og som ren biodiesel i dieselmotorer uten ombygning. Vinterkvaliteter av biodiesel er å få kjøpt, men ren biodiesel bør likevel unngås ved svært lave temperaturer.

Etanol og metanol kan blandes med bensin, og blandinger med inntil 10–15 prosent i bensin kan brukes i vanlige bensinmotorer. Ved høyere konsentrasjoner brukes spesialtilpassede forbrenningsmotorer. Metanolmolekylet inneholder mye hydrogen i forhold til sin vekt, og var tidligere sett på som interessant energibærer for brenselceller. Konseptet var å reformere metanolen til hydrogen i reformere ombord i bilen. Teknologiske problemer har imidlertid ført til at utviklingsarbeidet her har stoppet opp. En langsiktig mulig

5. Referanse: Alternative fuels contact group: Market Development of Alternative Fuels, EU-kommisjonen 2003.

løsning som vil kreve videre teknologisk utvikling er såkalte direkte metanolbrenselceller.

Produksjonskapasiteten for biodrivstoff er begrenset blant annet av landbruksareal og av logistikkmessige hensyn ved innsamling til sentrale produksjonsenheter. I rapporten fra Alternative Fuels Group⁶ anslås det øvre forsyningspotensialet for biodrivstoff i EU per 2020 å ligge på ca. 15 prosent av totalmarkedet for drivstoff til vegtransport.

Produksjonskostnadene for biodrivstoff er grovt anslått til 500–800 euro per m³, sammenlignet med ca. 250 euro per m³ for fossilbasert diesel. Det vil ikke være nevneverdig behov for endringer i distribusjons-, lager- og tappeanlegg ved innblanding av biodrivstoff i bensin eller diesel. Når det gjelder alkoholer må man i lagringssammenheng imidlertid ta hensyn til at disse er vannløselige. Dette er også problematisk i tilfeller der man får lekkasjer som kan forurense grunnvann.

EUs direktiv 2003/30/EF om å fremme bruk av biodrivstoff til transport inneholder en målsetning om at andelen biologiske drivstoff skal utgjøre minst 2 prosent av salget av bensin og diesel i 2005. Prosentandelen skal siden økes til 5.75 prosent i 2010. I Norge vurderes direktivet for tiden etter de vanlige prosedyrene for nytt EU-regelverk før eventuell innlemmelse i EØS-avtalen. Saken har vært på høring hos berørte norske instanser. I Europa er biodiesel det mest brukte biodrivstoff. I Norge omsettes det i dag ca. 1,4 millioner liter biodiesel. Ren biodiesel selges ved to stasjoner og autodiesel med to til fem prosent biodieselandel selges ved ca. 75 vanlige bensin- og truckdiesel stasjoner.

3.3.4 Hydrogen

Hydrogen er naturens letteste grunnstoff, og finnes i store mengder – bundet i vann og i hydrokarboner, samt i de fleste organiske forbindelser. Hydrogen anvendes i dag til en rekke kommersielle formål innen blant annet næringsmiddel- og metallindustrien. I tillegg har industrien lang erfaring med produksjon og bruk av hydrogen som mellomprodukt for ammoniakk produksjon, i oljeraffinering og i petrokjemisk virksomhet.

Hydrogen har de siste årene fått betydelig oppmerksomhet som energibærer. Hydrogen brukt med brenselceller i kjøretøy gir rent vann som eneste utslipp, og er derfor velegnet til å begrense lokal forurensing. Hydrogen produsert fra fornybare energikilder representerer nullutslippstekno-

logi for transportsektoren. Kjøretøy med hydrogen som drivstoff vil kunne være et alternativ uten de begrensninger i kjørelengde som batterielektriske biler har, gitt at en finner gode løsninger for lagring av hydrogenet ombord.

Det forventes at hydrogen vil utgjøre en viktig energibærer som i økende grad kan erstatte fossile brenslers. Dette skyldes de gode miljøegenskapene, men kanskje vel så viktig er det at hydrogen kan produseres fra de fleste energikilder, og kan derfor bidra til økt fleksibilitet og forsyningssikkerhet for energi. Fordi hydrogen kan produseres fra de fleste energikilder er det potensielt også gode muligheter for framstilling tilpasset lokale råstoffer. I dag kan hydrogen for transportsektoren best produseres fra småskala lokal produksjon ved vannelektrolyse eller ved bruk av små naturgassreformere. Dersom hydrogen skal erstatte fossile drivstoff i framtiden, er det en miljømessig forutsetning at man klarer å framstille gassen uten CO₂-utslipp. For storskalaproduksjon innebærer dette avkarbonisering av naturgass og kull. Mer langsiktig vil produksjon trolig skje ved bruk av vind-, sol- og/eller bioenergi. Hydrogen som energibærer kan gi grunnlag for utstrakt bruk av fornybare energikilder i framtiden.

Hydrogen blir vurdert som den beste energibæreren for lavtemperatur brenselceller. Hydrogen kan også brukes i forbrenningsmotorer. BMW har utviklet og eksperimentert med forbrenningsmotorer som kan gå på hydrogen i tillegg til bensin siden midten av 1970-tallet. Flere av de store bilprodusentene utvikler nå også hydrogenkjøretøy med forbrenningsmotor, da dette kan representere en raskere kommersialisering av hydrogenkjøretøy. Hydrogen brukt i forbrenningsmotorer vil ved mager forbrenning kunne gi svært lave utslipp av NO_x.

Bruk av hydrogen som drivstoff er i dag begrenset til demonstrasjonsprosjekter i USA, Japan og Europa. Det gjennomføres for tiden et større demonstrasjonsprosjekt med hydrogen brenselcellebusser i Europa (CUTE/ECTOS⁷), der 30 busser i ti byer skal testes over en toårsperiode. Erfaringene fra disse forsøkene skal brukes for å tilrettelegge for serieproduksjon av busser.

16 personbiler for hydrogen skal testes i et prosjekt som er under planlegging i Berlin. Kjøretøyene kommer fra tyske bilprodusenter og har ulike teknologier med hensyn til bruk av motor, brensel-

6. Referanse: Alternative fuels contact group: Market Development of Alternative Fuels, EU-kommisjonen 2003.

7. CUTE: Clean Urban Transport Europe, EU demoprojekt med 27 brenselcellebusser i 9 europeiske byer. Samkjøres med EU-prosjektet, ECTOS på Island og ett tilsvarende prosjekt i Australia.

celler og lagring av hydrogen ombord i bilen. Canada har hatt demonstrasjonsprosjekter med hydrogenbusser i mange år, og også i Japan og USA er det større demonstrasjonsprosjekter i gang. I FNs utviklingsprogram (UNDP) planlegges demonstrasjoner med hydrogenbusser i et antall større byer i verden som anses å være spesielt plaget av lokal forurensning.

Lagring av hydrogen ombord i kjøretøyet er fortsatt en utfordring. For busser er komprimert hydrogen til ca. 350 bar standard, som vil gi kjørelengder på ca. 200 km mellom hver tanking. For personbiler prøves både høytrykksløsninger – opp til 700 bar og flytende hydrogen. Den beste løsningen på sikt antas likevel å være lagring i faste materialer. Målet er at et hydrogenlager skal ha en energimengde om bord, slik at bilens kjørelengde mellom hver fylling blir den samme som for konvensjonelle kjøretøy.

Hydrogen-naturgassblandinger

Blandinger av hydrogen og komprimert naturgass kan benyttes til drivstoff i forbrenningsmotorer. Hydrogen/naturgassblandinger betegnes også HCNG, hvor det ikke er et fast blandingsforhold mellom komponentene. Det er gjennomført forskningsarbeider på hydrogen/naturgassblandinger som drivstoff siden midten av 1970-tallet. Dette arbeidet viser både lovende forbrenningsegenskaper for HCNG i magre blandinger og muligheter for reduksjon av NO_x -utslipp.

HCNG gir betydelig mer stabil forbrenning enn ren naturgass ved mager forbrenning. Ved stabil mager forbrenning vil utslipp av CO og HC fra drivstoffet ikke være noe problem. Mengden luft i forhold til mengden drivstoff kan økes med HCNG, og derved vil forbrenningstemperatur og dannelsen av NO_x reduseres. Basert på testresultater er det sannsynlig at det kan oppnås NO_x -utslipp på ca. 1 g/kWh. Dette utgjør sannsynligvis en praktisk nedre grense. Utfordringene med HCNG i en forbrenningsmotor med gnisttenning vil være motorstyring og å oppnå tilfredsstillende motoreffekt. HCNG i sluttbruk gir mindre utslipp av CO_2 lokalt, og en CO_2 -reduksjon for hele kjeden oppnås også hvis hydrogenet produseres fra fornybare kilder eller fra naturgass med CO_2 -håndtering.

Forsøk og kommersiell drift med bruk av HCNG som drivstoff for busser er gjennomført flere steder, blant annet i Montreal i Canada og i California i USA med gode resultater. HCNG med åtte prosent hydrogen i naturgass prøves nå ut i naturgassbusser i et demonstrasjonsanlegg i

Malmö, og det er flere planlagte HCNG prosjekter for gassbusser i Europa.

HCNG til transport kan være aktuelt i en oppbyggingsfase der hydrogen infrastruktur kan bygges ut før hydrogenbiler er kommersielt tilgjengelig i markedet.

3.3.5 Eksperimentelle drivstoff

DME, DiMetyleter

Dimetyleter (DME) er et eksperimentdrivstoff, og er den enkleste av alle eterforbindelser. DME har gode egenskaper som drivstoff for dieselmotorer. Teorien og eksperimenter tilsier at DME som drivstoff i en lett modifisert dieselmotor nærmest ikke medfører utslipp av partikler, og gir betydelig lavere utslipp av NO_x enn diesel. Forsøk har vist at motorstøyen fra en dieselmotor som går på DME blir fem til elleve dBA lavere enn med diesel. DME produseres enklest og rimeligst med naturgass som utgangspunkt, men det er også mulig å bruke biologisk materiale. Med naturgass som utgangspunkt, og i forhold til naturgass, tapes ca. 20 prosent av energiinnholdet i produksjonsprosessen. Volvo og flere laboratorier har rapportert om praktiske forsøk med konvertering av dieselmotorer til DME-drift.

Nye prosesser som er under utprøving omfatter syntetisk diesel (ofte omtalt som BTL-Biomass-to Liquids), der samproduksjon av biomassebasert flytende drivstoff og hydrogen ses på som interessant. Gassifisering av avfall eller biomasse kan danne råstoff for produksjon av en syntetisk diesel som har høy kvalitet, og kan brukes alene eller i blanding med autodiesel, og kan gi svært lave lokale utslipp. Dette produktet kan også videre bearbeides til ren DME. Som alternativ til trinn to i prosessen kan syntesegassen brukes til produksjon av hydrogen. For BTL kan netto CO_2 -gevinst være 60 – 85 prosent i forhold til fossil diesel.

3.3.6 Sammenligning av alternative drivstoff for vegtransport

Oppsummert kan vi sammenligne de mest aktuelle alternative drivstoffene med konvensjonelle drivstoff som følger:

Miljøegenskaper

- Bruk av konvensjonelle drivstoff og kjøretøYTEknologier forventes gjennom forbedring av drivstoffet og videreutvikling av kjøretøYTEknologien å ha minimale miljøskadelige avgassutslipp i framtiden når man ser bort fra CO_2 . CO_2 -

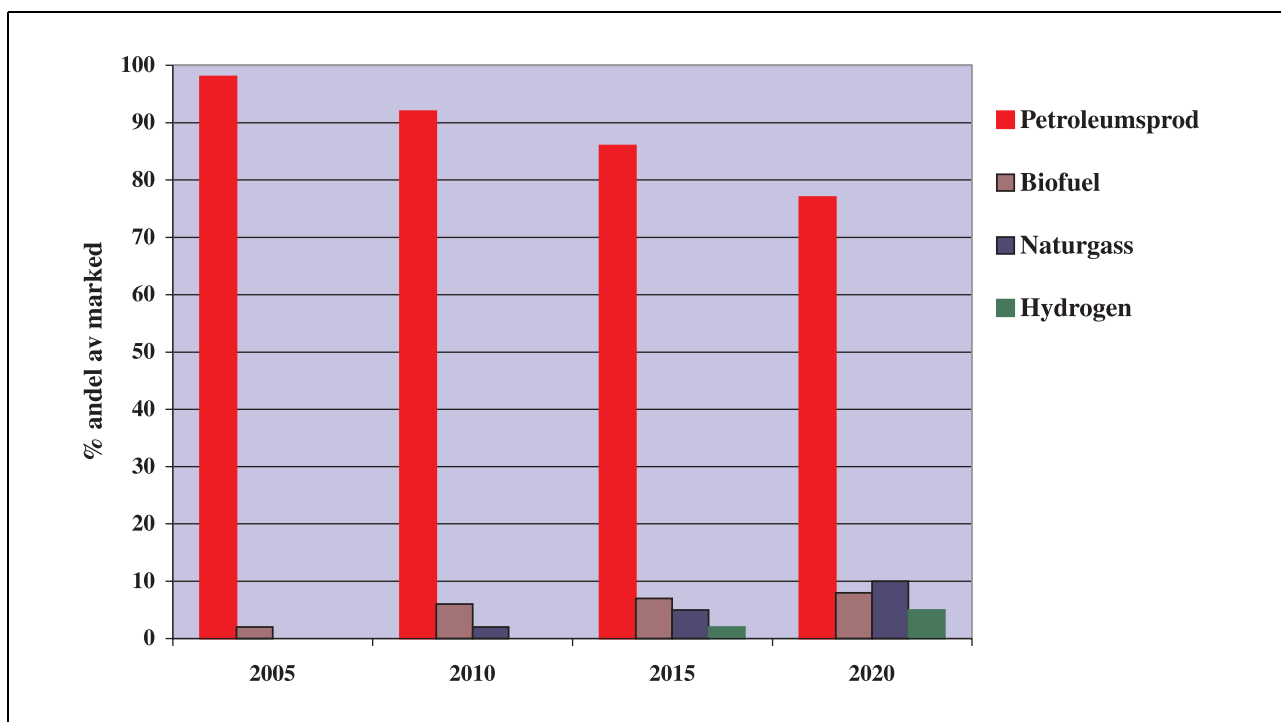
utslippet kan reduseres ved hjelp av økt effektivitet, men veksten i transportbruk og mulige endringer i kjøretøyparken blant annet mot større kjøretøy, innebærer at CO₂-utslipp vil være et hovedproblem mht utslipp fra transport i framtiden.

- Elbiler representerer nullutslippsteknologi dersom elektrisitet til batteriet er produsert fra fornybare kilder. Elbiler har imidlertid begrensninger i ytelse, og nye teknologiske gjennombrudd må til for å få elbilene konkurransedyktige.
- Naturgass og LPG gir ved bruk 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 teknolog utvikling av forbrenningsmotoren tilpasset bruk av disse drivstoffene kan redusere CO₂-utslippene. Dette er imidlertid avhengig av bilindustriens vilje til å gjennomføre slik teknolog utvikling.
- Biodrivstoff i markedet i dag er i prinsippet CO₂-nøytrale ved bruk, men nettoeffekten er avhengig av framstillingsprosessen. Biodrivstoff har lave utslipp av helseskadelige avgasser, spesielt partikler, CO og HC, men kan generelt ha like eller høyere utslipp av NO_x.

- Hydrogen ved bruk i brenselcellekjøretøy har vann som eneste utslipp. Dersom hydrogen produseres fra fornybar energi eller naturgass med CO₂-håndtering, er dette et nullutslippsdrivstoff. Hydrogen ved bruk med forbrenningsmotor vil ved mager forbrenning kunne gi svært lave utslipp av NO_x.
- Hydrogen-naturgassblandinger, HCNG, kan ved mager forbrenning gi lave utslipp av NO_x, CO- og HC-utslipp, og reduserte utslipp av CO₂, spesielt ved CO₂-fri produksjon av hydrogenet.
- Eksperimentelle drivstoff har lovende miljøegenskaper, men bør prøves ut før dette kan angis nærmere.

Kostnader

- Kostnader for de alternative drivstoffene kan i dag rangeres med LPG og naturgass med de laveste kostnadene og biogass og hydrogen med de høyeste kostnadene, levert bruker (per kjørt km, uten avgifter). Flytende biodrivstoff er i en mellomposisjon – biodiesel, metanol eller etanol ligger i samme prisområdet, men varierer noe avhengig av råvarer brukt i produksjonen. Prisene varierer fra land til land og konkrete priseksempler er vanskelig. Uten avgifter er naturgass/LPG generelt konkurransedyktig med



Figur 3.5 EUs scenario for innfasing av alternative drivstoffer fram mot år 2020¹.

¹ Referanse: Commission of the European Communities, June 2001: Communications from the Commission on alternative fuels for transportation and a set of measures to promote the use of biofuels.

bensin/diesel, inklusive de noe høyere kostnadene for kjøretøyet. Pris for biodrivstoff vil være underlagt svingninger som i stor grad er bestemt av konjunktursvingninger i råvaregrunnlaget, for eksempel rapspriser. Grovt sett ligger kostnadene to til tre ganger høyere enn for fossilbasert drivstoff, men uten avgifter er biodrivstoff konkurransedyktig med bensin/diesel, med om lag 10–20 prosent lavere utsalgspris per liter.

- Hydrogen brukt med brenselceller innebærer en effektivitetsgevinst som tillater høyere kostnader per energienhet i drivstoffet i forhold til bensin/diesel eller alternative drivstoff. Framtidig storskala produksjon fra naturgass med CO₂-håndtering er forventet å bli konkurransedyktig med fossile drivstoff. I en oppbyggingsfase av markedet vil det som for andre alternative drivstoff være nødvendig med avgiftsfritak.

kurransedyktige priser er utbredelsen svært lav. Manglende standarder og regelverk, manglende infrastruktur samt usikkerhet i rammebetingelsenes varighet har vært hovedbarrierene.

- Med krav til økt andel biodrivstoff i EU forventes det at andelen biodrivstoff vil øke fram mot 2010. Volumene vil imidlertid være begrenset av tilgang på råvare, og andre alternative drivstoff vil utvikles parallelt med biodrivstoff.
- EU-kommisjonen har vedtatt et mål om at 20 prosent av drivstoff til vegtransport i 2020 skal være alternative drivstoff. Videre er det antatt at dette målet vil nås med en kombinasjon av bruk av naturgass, biodrivstoff og hydrogen
- Målet for hydrogen i 2020 er i denne sammenhengen satt til 5 prosent. På lengre sikt er hydrogen forventet i økende grad å erstatte fossile drivstoff.

Utbredelse og forventet utvikling

- Alternative drivstoff har vært i markedet i mange år, men selv med avgiftsincentiver og kon-

Kapittel 4

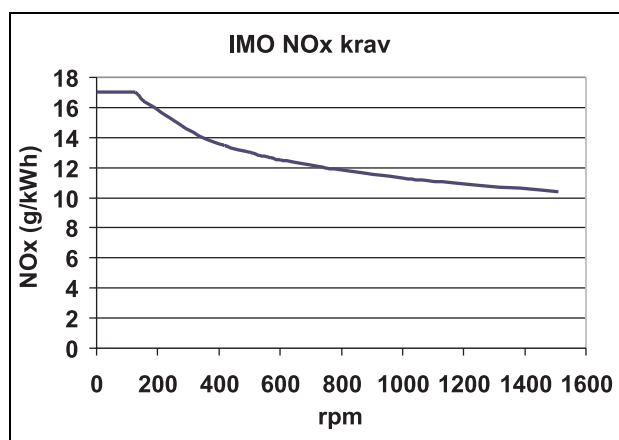
Status og forventet utvikling for sjøtransport

4.1 Utslipp fra sjøtransport

Utslipp til luft fra skipsfart er regulert gjennom FNs maritime organisasjon IMO (International Maritime Organisation). I Ibos International Convention for the Prevention of Pollution from Ships (MARPOL) er utslipp av NO_x og SO_x fra skip regulert for første gang i et regelverk som forventes å tre i kraft i 2004. Dette regelverket som ble ferdig utviklet i 1997, og som for NO_x var ment å bli gjort gjeldende for nye skip fra år 2000, gjelder for:

- Alle dieselmotorer med ytelse mer enn 130 kW som installeres på skip etter 1. januar 2000.
- Alle dieselmotorer på skip med ytelse over 130 kW som gjennomgår en større konvertering/overhaling etter 1. januar 2000.

Kravene til utslipp av NO_x fra skip er gitt som krav til motorteknologi, og ble i realiteten introdusert fra 2000, da majoriteten av produsenter av marine motorer allerede hadde utviklet teknologi som oppfyller kommende krav til eksisterende drivstoff. Det er allerede i markedet i dag utviklet motorløsninger og etterbehandlingsmetoder som kan benyttes for å oppnå utslippsnivåer som ligger betydelig lavere enn regelverkets grenseverdier.



Figur 4.1 Internasjonale krav til NO_x utslipp fra skipsmotorer. RPM står for omdreininger per minutt.

Internasjonale krav til NO_x -utslipp fra skip er knyttet til motorteknologi og uttrykt som turtalls-spesifikke krav, jf. figur 4.1. Ulik teknologi ved lave turtall (eks. 70–90 omdreininger/min.) kontra høye turtall (eks. over 700 omdreininger/min.) gir ulike standarder for utslippsnivå. Motorer med lavt turtall er utbredt blant de store skipene, mens høyere turtall er vanlige for hjelpemaskineri og mindre skip, som for eksempel i norsk innenriksfart.

Norge har ikke etablert særnorske utslippskrav til skip, men følger de internasjonale krav og retningslinjer. Til tross for at innenriks sjøtransport representerer en mindre forbruker av drivstoff i Norge (21 prosent kontra 57 prosent i vegtransport¹), er vegtransport og sjøtransport like store kilder til utslipp av NO_x (21 prosent). Dette illustrerer en eksisterende forskjell i teknologi, og i en framtidig utvikling for å oppfylle norske krav (i henhold til Gøteborgprotokollen skal Norge redusere sine NO_x -utslipp fra dagens 214 000 tonn (2002) til 156 000 tonn i 2010) vil det være behov for betydelig reduksjon for sjøtransport. Utredninger, gjennomført av blant annet SFT og Sjøfartsdirektoratet, av tiltak for hvordan Norge skal innfri sine forpliktelser i forhold til Gøteborgprotokollen om reduksjon av NO_x -utslipp, viser at en vesentlig del av tiltakene kan realiseres innenfor sjøfart og fiske.

Utslippene fra skip kan reduseres opp til 90 prosent for enkelte utslippskomponenter gjennom bruk av teknologi tilgjengelig i dag. Kjente metoder i denne sammenheng er:

- Bruk av alternative drivstoff som naturgass
- Bruk av lavsvovel bunkersolje
- Bruk av avansert renseteknologi for rensing av NO_x og/eller SO_x fra avgassene.

Enkeltstående metoder eller kombinasjon av flere av disse metodene kan gi en reduksjon av NO_x på opptil 90 prosent sammenlignet med internasjonale krav, og en reduksjon av SO_x på opptil 95 prosent. Det er i dag liten utbredelse av avansert renseteknologi innen sjøtransporten.

1. Referanse: Norsk Petroleumsinstitutt, 2001 tall.

4.2 Motorteknologialternativer for skip

4.2.1 Dieselmotorer

Termisk virkningsgrad for langsomløpende dieselmotorer er opptil 54 prosent for de største to-takts motorene², etterfulgt av de største medium speed motorene på 50 prosent (for Wärtsilä 64 uten motordrevne pumper). For hurtigløpende motorer er virkningsgraden noe mindre, ca. 42 prosent (for Mitsubishi S12H) som har betydelig lavere ytelse. Kombinerte framdrifts og kraft/varmeanlegg med basis i stempelmotorer kan oppnå hele 55 prosent virkningsgrad, men er ikke vanlig på grunn av høye investeringskostnader og dagens relativt lave drivstoffpriser.

NO_x-utslipp for dagens marine dieselmotorer er normalt i samsvar med eksisterende krav fra International Maritime Organisation (IMO), men ytterligere reduksjon tilbys fra noen leverandører, blant annet ved å gjennomføre primære motortekniske tiltak. Betydelig lavere NO_x-nivå kan oppnås ved å benytte velkjente NO_x-reduserende tiltak, med liten eller ingen effekt på drivstofforbruk eller andre utslipp. Dette er metoder som direkte vanninjeksjon og vann-drivstoffemulsjoner som begge gir 50 prosent reduksjon av NO_x på medium speed motorer. «The Humid Air Motor concept», eller HAM, kan tilpasses alle motorstørrelser, og påstås å redusere NO_x-utslipp med opptil 70 prosent uten økning i andre utslipp eller drivstofforbruk. Driftserfaringer for dette systemet er begrenset. I tillegg til primære motortekniske tiltak er etterrensing av eksos også en mulighet for skipsmotorer. Katalytisk rensing av avgass for å redusere NO_x-utslipp, og avgassvasking for fjerning av SO_x, er utprøvd og tilgjengelig teknologi også i maritim sektor. Utbredelsen av etterrensingsteknologi er begrenset idet standard motorteknologi uten etterrensing oppfyller de internasjonale kravene til utslipp til luft som i dag gjelder for sjøfart.

4.2.2 Utviklingspotensialet for marine dieselmotorer

For dieselmotoren er det to hovedområder hvor det er potensial for videre utvikling. Dette er innenfor områdene «fuktig motorprosess» (Wet cycle) og forbedring av forbrenningsprosessen for ytterligere å redusere dannelsen av uønskede utslipp, øke virkningsgraden og forbedre reguleringsssystemene. Med «Fuktig motorprosess» menes at det

injiseres vann eller damp inn i forbrenningsrommet på en motor. Det eksisterer i dag betydelig kunnskap om vannets egenskaper og de mekanismer som styrer forbrenningsprosessen, men kombinasjonen av effektene vann har i et forbrenningsrom er ikke like godt kjent. Det vil derfor være viktig å etablere kunnskap om dette området som vil kunne bidra til videre utvikling av dieselmotoren.

Vikningsgraden av skipsmaskineri i ordinær drift kan bli betydelig forbedret ved å benytte reguleringsteknikker med aktiv tilbakekobling som vil øke motorytelsen og redusere drivstofforbruket og avgassutslippene. Skipsbaserte kontrollsystemer utnytter en rekke teknologier som mekanisk, hydraulisk, pneumatisk, elektrisk og elektronisk utstyr, og datasimuleringsprogrammer benyttes i stadig større grad til design av styringssystemene.

4.2.3 Naturgassmotoren

Naturgass forbrenningsmotorer er vanlige i landbaserte anlegg for kraftvarmeproduksjon. Forskjellige motorkonsepter er tilgjengelig, og motorene karakteriseres med høy termisk virkningsgrad og lave utslipp. Det kan oppnås like høy eller bedre virkningsgrad på en naturgassdrevet forbrenningsmotor sammenlignet med en tilsvarende dieseldrevet motor. Utslipp av NO_x reduseres med opptil 90 prosent ved overgang fra diesel/tungolje til naturgassdrift, og svovelutslippene reduseres med opptil 95 prosent. Naturgassmotorer benyttes offshore til kraftgenerering, og er levert som gasselektrisk framdriftssystem for skip.

Gjennom realisering av naturgassferjen Glutra, ble det i 2000 demonstrert at teknologi med svært lave utslipp kan realiseres i ferjeflåten i Norge. Glutra, som representerer verdens første ferje operert på LNG, vekket betydelig internasjonal oppmerksomhet som et innovativt konsept innen sjøtransport. Bygging av flere gassferjer i Norge er allerede lagt ut på anbud, og ulike alternativer er under utredning.

4.2.4 Hydrogen i marine forbrenningsmotorer

Forbrenning av hydrogen med luft ved kontrollerte forhold i forbrenningsmotorer eller gassturbiner resulterer i svært lave eller neglisjerbare utslipp. Spor av HC- og CO-utslipp kan kanskje observeres på grunn av forbrenning av smøreoljen. NO_x-utslippet øker eksponentielt med forbrenningstemperaturen, og kan styres med tilpasset prosesskontroll. Betydelig reduksjon av NO_x-utslipp sammenlignet med andre drivstoff som diesel og naturgass kan

2. Referanse: MAN B&W L90MC-C

forventes, forutsatt at det oppnås lavere forbrenningstemperatur, for eksempel ved høyere luftoverskudd i forbrenningen. Betydelig utviklingsarbeid er påkrevd før hydrogenbaserte systemer kan bli anvendbare. Derfor oppfattes hydrogen som et mulig alternativt drivstoff for maritim sektor en gang i framtiden. Av de alternative drivstoff som er vurdert, oppfattes hydrogen som det drivstoff som er lengst fra å være kommersielt tilgjengelig, og naturgass det som er nærmest.

Det foreligger ikke erfaringer med bruk av hydrogen i marine forbrenningsmotorer. En ser i dag en økende interesse for å studere mulighetene som ligger i hydrogenforbrenning nærmere. Men det anses lite sannsynlig at dette vil være aktuell teknologi innenfor skipsfarten i overskuelig framtid.

4.2.5 Gassturbiner

Den mest vanlige løsningen for marine gassturbiner er et arrangement med enkelt-sykel hvor avgassen ikke benyttes til kraftproduksjon ombord. Disse systemene har en virkningsgrad ved full last på ca. 32 prosent for lavytelses turbiner (2–3000kW), og med beste virkningsgrad på rundt 43 prosent for enkeltsyklus systemer på store landbaserte turbiner. De fleste gassturbiner har imidlertid lav virkningsgrad på delast.

Høyest virkningsgrad oppnås for turbiner som opererer med kombinert syklus, men disse installasjonene er for tunge og uhensiktsmessige for marine applikasjoner.

En interessant utvikling er en ny 25 MW gass-turbin (WR-21)³. Turbinen har en prosjektert virkningsgrad på 42 prosent over 80 prosent av operasjonsområdet. Store landbaserte kombinertsyklus arrangement nærmer seg 60 prosent virkningsgrad, mens skipsbaserte løsninger installert på cruise skip har planlagt virkningsgrad på 45 til 50 prosent i en optimal lastkondisjon.

Gassturbiner for marin propulsjon har lavere virkningsgrad enn dieselmotorer. En av hovedutfordringene for gassturbinen er derfor økt virkningsgrad.

En stor utfordring for marine gassturbiner i framtiden er å kunne benytte tyngre brennstoff, og samtidig opprettholde virkningsgrad og driftstiltgjengelighet, og å utvikle lav-NO_x-teknologi for slike drivstoff.

4.2.6 Brenselceller i skip

Mindre demonstrasjoner 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. Det eksisterer i tillegg i dag ferdig utviklede konsepter for hvordan brenselceller og elektrisk framdrift kan benyttes innen sjøfart. Flere konsepter er under utvikling.

I Norge er riksvegferje med brenselcelledrift utredet i flere omganger, og konseptuelle skisser for demonstrasjon av brenselcelle i ferjer er utviklet.

For skip vil valg av drivstoff være avhengig av ulike kriterier for ulike bruksområder og skipsoperasjoner. Til mindre energibehov og med mulighet for ofte fylling av drivstoff vil hydrogen representere et godt alternativ, mens der det er store kraftbehov vil det være nødvendig med flytende drivstoff med høy energitetthet.

Hydrogen er det optimale drivstoff for brenselcelleteknologien. Krav til store volum og plass til ombordlagring representerer imidlertid i dag en barriere for bruk i skip. Det eksisterer flere brenselcelletyper som også kan operere på andre alternative energibærere som er lettere tilgjengelig i flytende form (for eksempel naturgass, metanol, etanol). For kraftsystemer i skip innebærer dette to alternative muligheter for bruk av brenselcelleteknologi der det vil være en avveining mellom funksjonskrav for skip, potensialet for teknologien og karbon/hydrogenforholdet i drivstoffet.

En utslippsfri kombinasjon vil være hydrogen som drivstoff og lavtemperatur brenselcelleteknologi. Dette representerer en kombinasjon med høy virkningsgrad, men lavt effektområde og lav rekkevidde mellom fylling. En kombinasjon med lave til svært lave utslipp vil være basert på flytende drivstoff og høytemperatur brenselcelleteknologi. Denne kombinasjonen vil kunne representere noe lavere virkningsgrad men større effektområder og større rekkevidde for skipet før ny fylling.

4.3 Drivstoff

4.3.1 Konvensjonelle drivstoff

Diesel og tungolje er de dominerende drivstofftyper benyttet til sjøtransport. I norsk innenriks skipsfart dominerer diesel, mens i internasjonal skipsfart er tungolje (HFO = Heavy Fuel Oil) den mest utbredte drivstofftype.

Med tungolje menes alle drivstoff med tetthet større enn 991 kg/m³ og viskositet større enn 380

3. Referanse: RollsRoyce sin hjemmeside:
www.rolls-royce.com

cSt. HFO er dominerende innenfor internasjonal skipsfart i dag og ca. 80 prosent av all bunkers i internasjonal fart er HFO. Andre drivstoff er å betrakte som alternativer. Prisen for HFO er for tiden lav og forventes å bli lav den nærmeste framtid. Lav pris på HFO gir ingen insitament til å skifte til alternativene. HFO med et svovelinnhold innenfor foreslåtte nye grenseverdier på 1,5 prosent er tilgjengelig i små volum, mens gjennomsnittlig svovelinnhold i dag ligger rundt 2,7 prosent (27 000 ppm).

Marine destillater inkluderer Marin Dieselolje (MDO) og Marin Gassolje (MGO) og utgjør ca. 20 prosent av totalt bunkersforbruk på verdensbasis. Destillatene er imidlertid den dominerende drivstofftypen i norsk innenriksfart og dekker i underkant av 90 prosent av forbruket i innenriks fart. Med destillater som drivstoff og lav- NO_x forbrenningsteknikk kan de laveste grensene for SO_x - og NO_x -utslipp oppnås. Destillater er imidlertid ca. 50 prosent dyrere enn tungoljeprodukter. Svovelinnholdet i marine destillater varierer med kvalitet (ulike kvaliteter er tilgjengelig), men ligger under 2 prosent. På grunn av det norske avgiftssystemet er marin dieselolje med svovelinnhold under 1/2 prosent en dominerende kvalitet i norsk innenriks skipsfart.

4.3.2 Alternative marine drivstoff

Flere alternative drivstoff kan også være relevant innen sjøfart. Det best kjente alternative drivstoffet er naturgass, som i dag er tatt i bruk i Norge i to segmenter (ferje og forsyningskip). Ved bruk i skip lagres gassen flytende i form av LNG for å dekke det mye større behovet for energilager sammenlignet med kjøretøy.

En stor utfordring ved å benytte hydrogen som drivstoff, er lagring om bord i skip. Den lave energitettheten medfører enten begrenset rekkevidde mellom hver fylling eller svært store og tunge lagertanker. Lagring av flytende hydrogen om bord i et skip vil sannsynligvis kreve to og en halv ganger større volum enn for LNG ved lagring av samme energimengde.

Ved bruk av hydrogen som drivstoff har en potensial til å oppnå ren propulsjon uten utslipp til luft. Konseptene som skal benytte hydrogen, enten det er forbrenningsmotorer eller brenselceller, krever betydelig utvikling før de kan anvendes innenfor maritim sektor.

Kapittel 5

Hvordan introdusere hydrogen i transportsektoren?

I dette kapitlet drøftes muligheter for introduksjon av hydrogen i transportsektoren, konsekvenser og utfordringer knyttet til en slik introduksjon, og mulige tiltak og virkemidler for å framskynde bruk av hydrogen i transportsektoren.

5.1 Barrierer for markedsintroduksjon

Det knytter seg stor usikkerhet til tidspunktet for markedsintroduksjon av hydrogenkjøretøy. Tidspunktet for kommersialisering er avhengig av at en rekke utfordringer og barrierer løses – og disse er både av teknisk og ikke-teknisk karakter. De viktigste barrierene som vil kunne påvirke markedsintroduksjon omfatter:

Tekniske barrierer

- **Kostnader ved brenselcellen:** For bruk i kjøretøy må kostnadene nærme seg dagens kostnadsnivå for en forbrenningsmotor.
- **Brenselcellens levetid:** En begrensning for kommersialisering av brenselceller i dag er at leverandører ikke kan garantere for cellens levetid.
- **Lagring:** Det er behov for bedre løsninger for lagring av hydrogen ombord i kjøretøy, spesielt for personbiler.
- **Produksjonskostnader for hydrogen:** Ved dagens produksjonsteknologi vil hydrogen ikke være konkurransedyktig i forhold til konvensjonelle drivstoff.
- **Infrastruktur:** Det foreligger per i dag ikke tilfredsstillende løsninger eller konkrete planer for oppbygging av nødvendig infrastruktur, det vil si for eksempel fyllestasjoner.

Ikke-tekniske barrierer

- **Standarder og regelverk:** I dag opplever vi at regelverk og standarder for produksjon og bruk av hydrogen er svært forskjellige fra land til land. Ulike regelverk kan både være et hinder for kommersialisering, men også et middel for konkurransevidning.

- **Brukeraksept:** Avhengig av drivstofftilgjengelighet, anvendelighet, oppfatninger om sikkerhet og kundenes holdninger. Brukernes usikkerhet i forhold til å ta i bruk ny teknologi må også adresseres.

I tillegg er råoljeprisen og prisen på konvensjonelt drivstoff avgjørende både for utviklingen av ny teknologi og nye drivstoff, og for hvor raskt den tas i bruk i markedet.

5.2 Scenarier for markedsintroduksjon – hva er mulig?

For å kunne illustrere hva en markedsintroduksjon i Norge vil kunne innebære, har vi valgt å presentere noen regneeksempler. Disse regneeksemplene er her omtalt som scenarier ettersom de illustrerer mulige utviklingsløp.

De scenarieberegningene som er foretatt og sammenfattet i dette kapitlet er gjort for å synliggjøre mulige utviklingsbaner for bruk av hydrogen i transportsektoren. Tallene som ligger til grunn for beregningene er usikre, men ikke mer usikre enn at de fungerer i forhold til formålet om å gi nyttige illustrasjoner av en tenkt utvikling. Forutsetninger for beregningene er gjort rede for i vedlegg 1.

Vi har valgt å beregne 3 innfasingsscenarier hvor hydrogen i løpet av en gitt periode erstatter energiforbruket i vegtransport og sjøtransport med 2 eller 5 prosent. Energiforbruket er da basert på det totale drivstofforbruket målt i MegaJoule (MJ) for personbil- og busstransport og innenriks sjøfart.

Ettersom de teknologiske barrierene for å ta i bruk hydrogen og brenselcelleteknologi anses å være større i sjøtransport enn for vegtransport, har vi valgt å se disse to sektorene hver for seg. For vegtransport er det antatt at kjøretøy kan være tilgjengelig til en tilnærmet konkurransedyktig pris tidligst mellom 2010 og 2015¹. Vi har valgt å la sce-

1. Uttalt blant annet av GMs utviklingsdirektør Larry Burns i NyTeknik (Sverige), april 2004.

nariene gå over en tiårs periode hvor *år 1* er det året kjøretøy er satt inn i serieproduksjon hos de store produsentene. For sjøtransport anslås *år 1* å være noe lenger fram i tid, og et scenario for sjøtransport bør også ses over en periode på 20 år ettersom utskiftingstakten i sjøfart vil være langt lavere.

5.2.1 Scenarier for vegtransport

For vegtransport tar scenariene utgangspunkt i et tenkt tidspunkt, *år 1*, hvor hydrogenkjøretøy er tilgjengelige i markedet, det vil si at slike kjøretøy er i serieproduksjon og er tilgjengelig til en pris som er tilnærmet konkurransedyktig med konvensjonell kjøretøyteknologi. Det er vanskelig å si eksakt når et slikt gjennombrudd vil komme, men alt tidligere enn 2010 synes å være urealistisk. I tillegg må en rekke faktorer, som for eksempel infrastruktur og regelverk, være på plass før hydrogenkjøretøy kan representere et reelt alternativ for aktørene i markedet – enten dette er busselskaper, privatbilkunder eller næringsaktører.

I *2 prosent-scenariet* inkluderer vi bruk av hydrogen i brenselcellebusser i byene Oslo/Akershus, Kristiansandsområdet og Stavanger-regionen, og noen brenselcellepersonbiler.

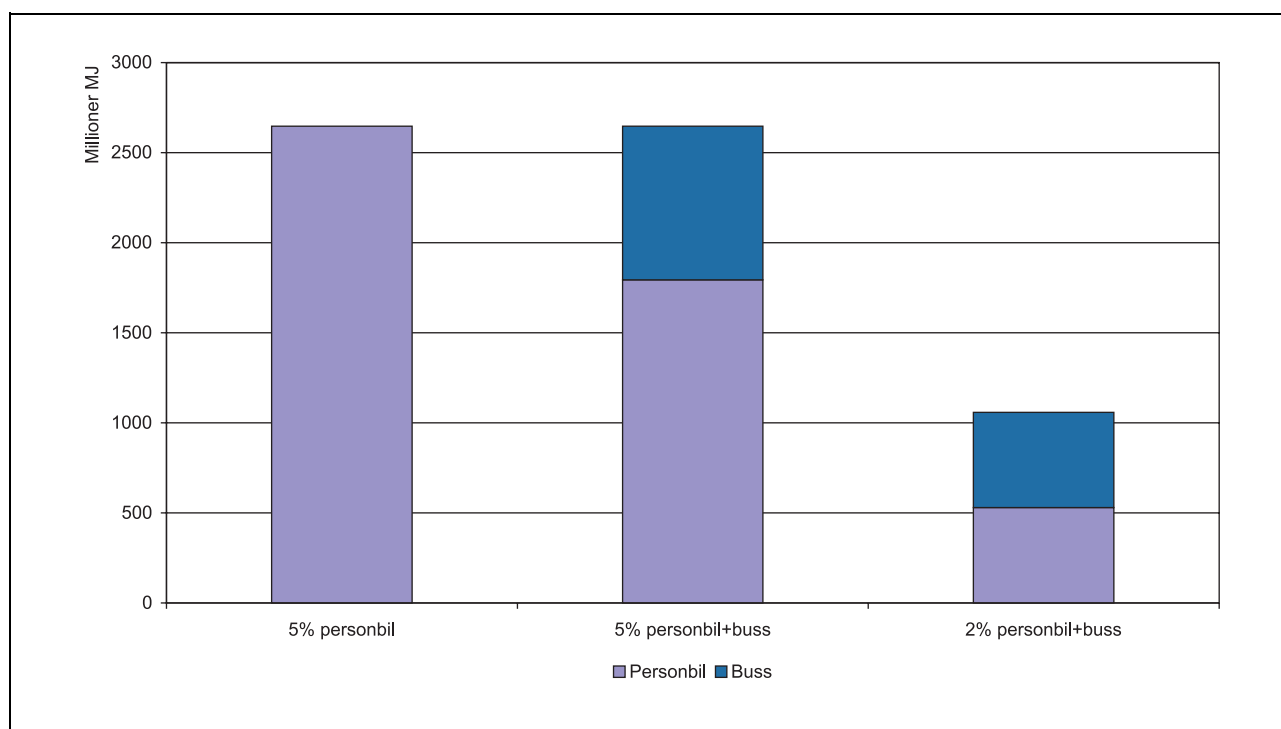
I ett av *5 prosent-scenariene* har vi sett for oss en innfasing i personbiler alene (*5 prosent personbil*). I det andre *5 prosent-scenariet* fases hydrogen inn i

busser i byområdene Oslo, Bergen, Trondheim, Kristiansand, Stavanger og Sarpsborg/Fredrikstad, og noen personbiler (*5 prosent personbil + buss*).

Lastebiltransport er i denne sammenheng utelatt. Denne transporten har en andel på om lag 20 prosent av det totale energiforbruket i vegtransporten.

I scenariene forutsettes det at brenselcellene vil dominere som framdriftsteknologi i hydrogenkjøretøy. Brenselcellekjøretøy basert på hydrogen vil ha høyere virkningsgrad enn konvensjonelle forbrenningsmotorkjøretøy. Det innebærer eksempelvis at det kreves mer enn 5 prosent andel av kjøretøyene for å erstatte 5 prosent av energiforbruket. Kjøretøy med hydrogendrevne forbrenningsmotorer ventes å ta en del av det initielle markedet for hydrogenkjøretøy, men det er det ikke tatt hensyn til her. Våre beregninger viser at med en kjøretøypark på om lag 2 mill. kjøretøy og en gjennomsnittlig årlig kjørelengde på 14 000 km, vil en hydrogenandel på 5 prosent tilsvare om lag 190 000 brenselcellekjøretøy, det vil si en markedsandel i underkant av 10 prosent av kjøretøyparken.

For å fase inn så mange brenselcellekjøretøy i løpet av en tiårsperiode, må den årlige prosentvise veksten i salget av slike kjøretøy ligge på om lag 87 prosent når vi forutsetter et salg av 360 brenselcellekjøretøy første året. I løpet av 10 år vil salget måtte komme opp i et antall på nærmere 90 000



Figur 5.1 Hvordan den hydrogenbaserte energibruken fordeler seg mellom personbiler og busser.

kjøretøy per år. Det vil i praksis bety at alle nye biler som selges i år 10 må være brenselcellekjøretøy. Dette er neppe realistisk etter så kort innfasingperiode, og vil i alle fall forutsette lave kostnader for brukeren kombinert med svært høy kvalitet og brukervennlighet.

Dersom alle nye biler skal være hydrogen-drevne i år 10, må hydrogen være tilgjengelig og representere et svært konkurransedyktig alternativ over alt i Norge. Det er mer sannsynlig at hovedtyngden av hydrogenbruken vil skje omkring større byer. Dette tilsier at det er nødvendig å satse på busstrafikken og/eller andre flåtekjøretøy som har betydelig lengre årlig kjørelengde (for eksempel drosjer) for at det skal være mulig å oppnå en betydelig hydrogenandel i løpet av en tiårs periode.

De to søylene til høyre i figur 5.1 illustrerer hvordan den hydrogenbaserte energibruken fordeles seg mellom biler og busser i de ulike beregningsalternativene. Oppsummert kan vi trekke følgende konklusjoner ut av beregningene:

- Ved å erstatte busser i noen utvalgte byer med hydrogen-brenselcellebusser, for eksempel Oslo/Akershus, Kristiansandsområdet og Stavanger-regionen (2 prosent-scenariet)², vil hydrogen utgjøre 1 prosent av den samlede energibruken til personbiler og busser. Ved å legge til om lag 40 000 personbiler kan vi oppnå 2 prosent av samlet forbruk.
- Ved å erstatte alle lokalbusser i Oslo/Akershus, Bergen, Trondheim, Tromsø, Sarpsborg/Fredrikstad, Kristiansandsområdet og Stavanger-regionen med hydrogen-brenselcellebusser (5 prosent-scenariet personbil+buss)³, vil hydrogen utgjøre om lag 1,5 prosent av det årlige totale energiforbruket for buss og personbil. Ved å legge til om lag 130 000 hydrogen-brenselcellepersonbiler, vil hydrogen ha en andel på 5 prosent av det totale energiforbruket for buss og personbil.

Scenariene forutsetter en gradvis innfasing over ti år og at et viss antall busser og personbiler da tas i bruk i år 1.

I begge scenariene er det naturlig å tenke seg at hydrogenkjøretøyene i år 1 er konsentrert i to til tre utvalgte byområder. De første personbilene vil kunne være bestemte typer flåtekjøretøy eller «nummer to» biler som ikke vil ha behov for tilgang til drivstoff utenfor det aktuelle byområdet.

Hvis man for eksempel konsentrerer seg om drosjer, vil en drosje erstatte fire til fem ganger så mye av det totale energiforbruket som en gjennomsnittspersonbil.

5 prosent scenariet forutsetter at det etableres et nasjonalt distribusjonssystem for hydrogen i løpet av tiårsperioden hvor anslagsvis hver tiende fyllestasjon tilbyr hydrogen. Det er vanskelig å tenke seg 130 000 hydrogen-drevne personbiler dersom tilgangen til hydrogen er begrenset til byområdene.

I 2 prosent scenariet er det mulig å tenke seg en begrenset utbygd infrastruktur for levering av hydrogen konsentrert omkring to til tre utvalgte byområder, og mulighet med trafikk mellom dem. Hovedmarkedene for personbiler vil da være flåter og «nummer to» biler.

For eksempelvis å kunne betjene 80 busser og 80 personbiler fordelt på to byer i år 1, vil det være behov for en fyllestasjon i hver by, med enten en stor elektrolyse eller reformer. I år 10 vil det være behov for rundt 250 stasjoner for en andel hydrogen på 5 prosent.

5.2.2 Scenarier for framtidig utvikling av hydrogen i maritim sektor

I scenariene for maritim sektor er det ikke tatt utgangspunkt i spesifikke geografiske områder, men i alternative fartøyssegmenter der en overgang til bruk av hydrogen er realistisk. Som i scenariene for vegtransport vil infrastruktur for hydrogen være av stor betydning for anvendelsen også i maritim sektor. For forsyning til skip vil det være enklest å etablere en infrastruktur for skip med fast anløpshavn og som i tillegg opererer i rutefart. Det er tatt hensyn til hvilke segmenter som på lang sikt kan representere et maritimt marked, og i scenariene er det derfor vurdert tre alternative fartøystyper.

For maritim sektor kan 2 prosent og 5 prosent penetrering av hydrogen i markedet for innenriks skipsfart i løpet av 20 år oppnås med følgende alternativer med hensyn til antall hydrogen-drevne fartøy, jf. tabell 5.2.

For å oppnå 2 prosent hydrogenpenetrering i bunkersmarkedet for innenriks skipsfart krever dette at drivstoff til 19 ferjer må erstattes med hydrogen. For å oppnå 5 prosent hydrogenpenetrering må hele 47 ferjer operere på hydrogen. Stor geografisk spredning av fartøy langs kysten innebærer at infrastrukturen for ferjer blir mer krevende enn for vegtransport. Ferjeflåten har i tillegg en relativt lav utskiftingstakt, og det betyr at det for å oppnå selv 2 prosent penetrering av hydrogen

2. Totalt ca. 1100 busser med en gjennomsnittlig årlig kjørelengde på ca. 50 000 km.

3. Totalt ca. 1850 busser med en gjennomsnittlig årlig kjørelengde på ca. 50 000 km.

Tabell 5.1 Antall hydrogendrevne fartøy i år 20 for tre alternative fartøystyper nødvendig for å oppnå hhv. 2 og 5 prosent hydrogenbruk.

Fartøytype	2 % H ₂	5 % H ₂
Ferje	19	47
Forsyningsskip	7	18
Fiskebåt	35	87

som alternativt drivstoff bør det inkluderes flere kategorier skip.

Forsyningsfartøy opererer ofte i et kjent seilingsmønster med rundturer fra forsyningsbasene på land ut til oljeplattformene. Det betyr at de ofte bunkrer på samme sted. Derfor er det mulig å lage et konsentrert bunkringssystem for hydrogen knyttet til hjemmehavn for fartøyene. 7 forsyningskip forbruker bunkers tilsvarende om lag 2 prosent av samlet forbruk for innenriks skipsfart, mens 18 skip må til for å oppnå 5 prosent hydrogenpenetrering.

Norge har et betydelig antall fiskefartøyer. Det kan være vanskelig å realisere en høy hydrogenandel blant fiskefartøyer da operasjonsmønstrene er meget varierende innen ulike typer fiske. For at fiskeflåten skal kunne skifte ut 2 prosent av drivstofforbruket med hydrogen, vil det kreve at et betydelig antall fartøy erstattes med hydrogendrift. De fartøyene som i utgangspunktet vil være mest egnet for hydrogen er de som har begrenset behov for bunkers og som ofte er tilbake i hjemstedshavn. Men dette er samtidig relativt små fartøy som har begrensede muligheter til lagring av hydrogen. Ca. 35 fartøyer på 45–50 meter har et totalt forbruk som til sammen gir 2 prosent av det årlige innenriks bunkersforbruket.

Overgang til 2 prosent av bunkersforbruket innen sjøtransport vil representere et årlig forbruk i størrelsesorden 10 000 tonn, mens en andel på 5 prosent krever 25 000 tonn per år.

5.3 Verdikjedeberegninger for vurdering av virkningsgrad og utslipp

Ved å erstatte henholdsvis 2 og 5 prosent av energiforbruket basert på fossile energikilder med utslippsfrie alternativer, vil CO₂-utslippene reduseres tilsvarende. De reelle utslippreduksjonene vil avhenge av hvordan hydrogen er framstilt. CO₂-utslippene vil også kunne reduseres ved bruk av

andre typer alternative drivstoff som biodiesel og bruk av lavutslippsteknologi som hybridkjøretøy.

SINTEF har i samarbeid med IFE, MARINTEK og TØI gjennomført verdikjedeberegninger for de potensielt mest interessante teknologiene for transportsektoren med 2010–2015 som tidsperspektiv. Konvensjonelle drivstoff som bensin og diesel er sammenlignet med hydrogen produsert fra naturgass og fra vann ved elektrolyse. Formålet med beregningene er å synliggjøre virkningsgrad og utslipp ved bruk av de mest aktuelle drivstofftypene og kjøretøyteknologiene. Alle ledd fra energikilde til sluttbruk er tatt med for at tallene skal reflektere den reelle miljøgevinsten ved overgang til ny teknologi og hydrogen som energibærer. Virkningsgrad er enkelt forklart forholdet mellom den nyttige energien man får ut av en prosess og den energien som settes inn i prosessen. Virkningsgrad har stor betydning for utslippstørrelsene. Analysen i sin helhet er presentert i vedlegg 3. Her er resultatene fra analysen oppsummert med fokus på mulig miljøgevinst ved overgang til hydrogen i transportsektoren:

Det gir ingen miljømessig gevinst å gå via hydrogen hvis det produseres ved reformering av naturgass uten CO₂-håndtering sammenlignet med å anvende konvensjonelle drivstoff som diesel og bensin. Dette gjelder for både buss og bil. Forbrenningsmotor på hydrogen har lav virkningsgrad. Langt høyere virkningsgrader og lavere utslipp forventes for brenselcelledrevne biler og busser, men det er interessant at heller ikke disse oppnår vesentlig bedre virkningsgrad/utslipp enn bensin hybridbiler hvis hydrogenet produseres ved lokal reformering. Brenselcelledrevne biler/busser representerer relativt umoden teknologi, og er neppe kommersielt tilgjengelige før etter 2010. Den høye gevinsten av hybridisering forutsetter imidlertid en kjøresyklus som er typisk for bykjøring. Ved kjøring i konstant høy hastighet på motorvei er effekten av hybridisert drift minimal. Med unntak av elbiler, som har en noe begrenset anvendelse, oppnår imidlertid brenselcelledrevne biler høyest virkningsgrad uten utslipp, forutsatt at hydrogen produseres fra fornybare energikilder ved elektrolyse.

De gunstige resultatene for elektriske biler, samt for brenselcelledrevne biler med hydrogen produsert ved elektrolyse, er typiske for det norske energisystemet, med elektrisitetsproduksjon primært fra vannkraft. Ved bruk av gjennomsnittlig elektrisitet i det europeiske markedet (EU-mix) gir elbilen noe lavere CO₂-utslipp, men høyere NO_x-utslipp enn bensinhybridbiler. Hvis det forutsettes CO₂-fangst er kjedene basert på naturgass bedre

enn bensinhybrid, men uten CO₂-håndtering gir naturgasskjedene høyere CO₂-utslipp enn bensinhybrid, med unntak av kjeder der brenselceller (PEMFC) brukes i kjøretøyet.

Det er mulig å oppnå så å si utslippsfri transport forutsatt at hydrogen er produsert fra fornybare energikilder eller fra naturgass med CO₂-håndtering. Ny teknologi i form av brenselceller med høy virkningsgrad vil bidra til at ressursene kan utnyttes på en mer effektiv måte. Det betyr at ressursene varer lengre, samtidig som utslippene reduseres kraftig eller elimineres helt. For detaljer vises det til vedlegg 3.

5.4 utfordringer knyttet til introduksjon av hydrogen i transportsektoren

Det er en rekke utfordringer knyttet til å kunne ta i bruk ny teknologi og nye typer drivstoff på et gitt tidspunkt. Selv om bilprodusenter tilbyr kjøretøy til en overkommelig pris, må det på forhånd være lagt til rette for at det skal være interessant for brukere i markedet å ta i bruk slike kjøretøy. Det gjelder både for drivstofftilgjengelighet og muligheter til å kunne få kjøretøyene godkjent, vedlikeholdt, reparert og forsikret. I dag er det for eksempel et problem at brenselcellen har kort levetid. Når det gjelder etterspørsel etter hydrogen vil dessuten framtidig oljepris ha avgjørende betydning for hvor stor denne vil bli. Dagens lave priser på bensin i for eksempel USA vil kreve store subsidier for at hydrogen skal bli konkurransedyktig.

I scenariene i avsnitt 5.2.1. tok vi utgangspunkt i at hydrogenkjøretøyene i år 1 var konsentrert til noen få byer. Har man for eksempel i år 1 80 busser og 80 personbiler fordelt på to byer, kan det være tilstrekkelig med for eksempel en stor elektrolyser i den ene byen og en naturgassreformer i den andre. For å oppnå en hydrogenandel på opp til 5 prosent i år 10, vil det anslagsvis være behov for at hver tiende fyllestasjon tilbyr hydrogen, men behovet vil variere mellom by og land. For at prisen på hydrogen skal være overkommelig, vil det være behov for en betydelig produktutvikling både når det gjelder elektrolyser og reformer.

For at hydrogendrevne kjøretøy i et omfang som beskrevet i avsnitt 5.1.1. skal kunne bli tatt i bruk, må kjøretøyene ikke bare være tilgjengelige for aktuelle brukere, men være tilgjengelig til en overkommelig pris. Tidlige brukere vil gjerne være noe mindre kritiske og ha en noe høyere betalingsvillighet enn gjennomsnittskunden. Erfaringer med gassbusser viser imidlertid at merkostnadene

for kjøp av slike busser må dekkes av andre enn busselskapene. Direkte tilskudd er et mulig tiltak for å redusere merkostnaden ved kjøp av hydrogenbusser. Når produksjonen av slike busser nærmer seg 100 000, venter produsentene at de skal kunne konkurrere med konvensjonelle busser på pris.

For at brenselcellepersonbiler skal kunne erstatte konvensjonelle biler i personbilmarkedet, må slike biler kunne konkurrere på pris, komfort, kjøreegenskaper, sikkerhet og rekkevidde. Avgiftsincentiver reduserer kostnadene i en introduksjonsfase. For spesielle brukere som drosjeeiere og bedrifter vil egenskaper knyttet til driftssikkerhet være spesielt viktig. Det vil derfor være behov for oppbygging av kunnskap og erfaringer med hvordan slike kjøretøy fungerer i bruk. Dette er kunnskap som kan utvikles gjennom utviklings- og demonstrasjonsprosjekter.

Utviklings- og demonstrasjonsprosjekter kan også bidra til helt nødvendig utvikling av regler og standarder for å kunne godkjenne ny teknologi og drivstoff for bruk i et større marked. Fagmyndighetene må utvikle nødvendig kompetanse og utarbeide nødvendige standarder for godkjenning av så vel kjøretøy som fyllestasjoner. Det vil på sikt være en forutsetning med internasjonale standarder, men i en introduksjonsfase vil det sannsynligvis være nødvendig med egne nasjonale regelverk. Det er også viktig å både delta i og prøve å forsere det internasjonale arbeidet med standarder og regelverk.

For å unngå uhell og ulykker ved introduksjon av hydrogen er det viktig med systematisk sikkerhetsarbeid gjennom hele introduksjonsfasen. Hydrogen har helt andre egenskaper enn bensin og diesel som stiller egne krav til sikkerhet. Dette gjelder både i forhold til lagring av hydrogen og mulige konsekvenser av hydrogenlekkasjer som kan oppstå som resultat av ulykker. Her er det behov for økt kunnskap, regelverk- og teknologiutvikling før hydrogen blir tatt i bruk i større skala.

5.4.1 Infrastrukturutfordringer ved overgang til hydrogen

Når markedet for hydrogen som drivstoff skal bygges opp vil hydrogenforsyningen skje ved distribuert produksjon (produsert ved fyllestasjonen) eller ved tilkjørt hydrogen fra et industrielt anlegg der dette er tilgjengelig. De to forsyningsformene tar utgangspunkt i en allerede etablert energi- og transportinfrastruktur. På lang sikt med stor etterspørsel i markedet, kan det være aktuelt med sentral produksjon fra store hydrogenproduksjonsanlegg.

Tilkjørt hydrogen

Innen raffinerinæringen og prosessindustrien brukes hydrogen som mellomprodukt hvor det forekommer overskudd av hydrogen. Dette er blant annet tilfellet på klorfabrikken på Rafnes i Grenland. I slike tilfeller kan det være interessant å levere hydrogen tilkjørt. Industriselskapene har et transportsystem for utkjøring av hydrogen som kan benyttes. Det mest aktuelle er trykksatt hydrogen og transporttrykket er vanligvis om lag 200 bar. Et tankingsanlegg med tilkjørt hydrogen innebærer at gassleverandøren plasserer «flak» med trykksatt hydrogen gass på stedet. I tillegg er det nødvendig med en kompressor for å øke trykket til det kjøretøyene trenger, og for å kunne tømme lagertankene på flaket. I mange tilfeller vil man velge å bygge et permanent lager på fyllestasjonen for å mellomlagre etter kompressor. Dette er imidlertid ikke nødvendig dersom man har en tilstrekkelig stor kompressor. Et fylleanlegg basert på tilkjørt hydrogen vil være forholdsvis plasskrevende fordi flakene tar stor plass, og fordi omfanget av sikkerhetssonen blir større jo mer gass som står lagret.

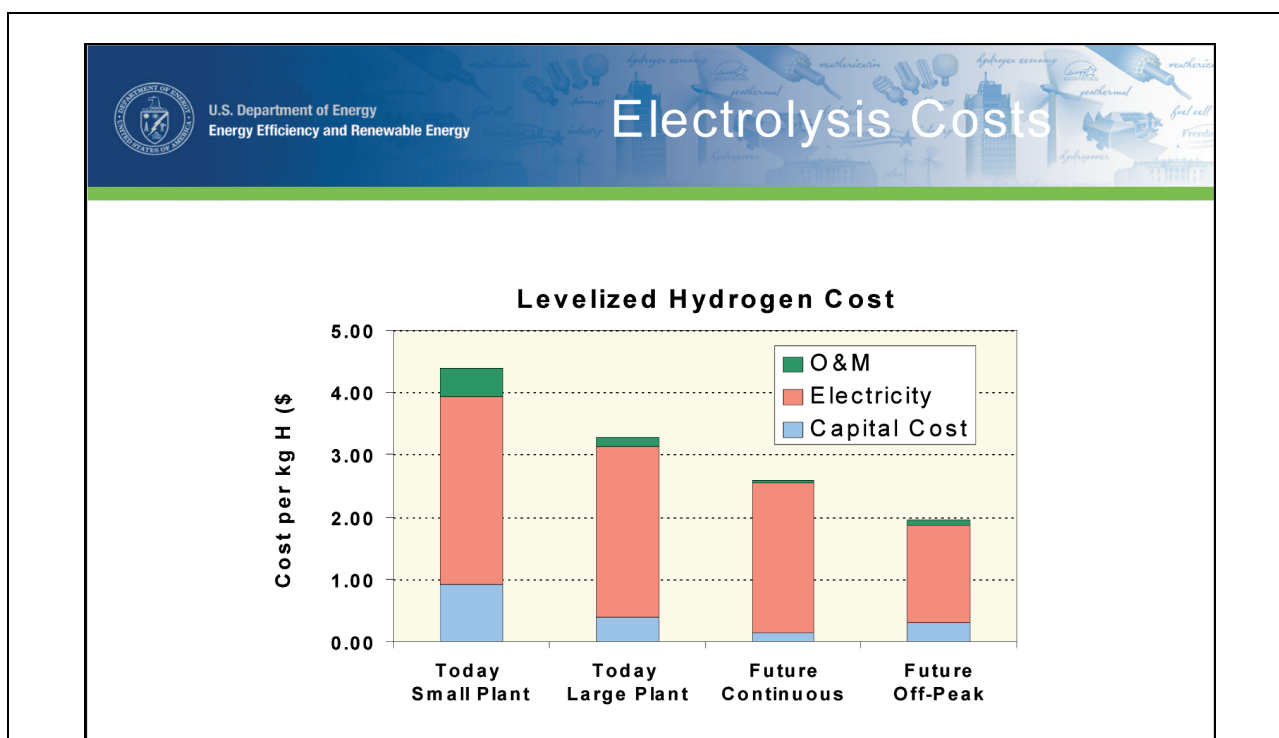
Distribuert produksjon

Distribuert produksjon av hydrogen på fyllestasjonen tar utgangspunkt i den eksisterende infrastrukturen for elektrisitet og naturgass. I Norge er

naturgassnettet i liten grad bygget ut bortsett fra i fylkene Rogaland og Hordaland. På lang sikt kan man tenke seg utvinning av hydrogen fra en rekke hydrokarbonkilder, blant annet biomasse. Disse mulighetene er ikke kommersielt tilgjengelige ennå. Distribuert produksjon av hydrogen kan i dag skje enten ved å spalte vann med elektrolyse eller å spalte hydrokarboner, hvor den hydrogenrike naturgassen er mest aktuell. Elektrolyse er en moden teknologi mens småskalareformering er på et tidlig stadium.

Distribuert produksjon basert på elektrolyse

Elektrolyse er en kjent og kommersiell teknologi tradisjonelt benyttet til produksjon for industrielle formål. Utfordringene ved å bruke teknologien til distribuert hydrogenproduksjon for energimarkedet er knyttet til andre betingelser, omgivelser og kunder i drivstoffmarkedet. En tankingsstasjon må være tilgjengelig for brukerne og dette stiller nye krav til funksjonalitet, kvalitet og sikkerhet. I Europa er det nå sju hydrogenstasjoner basert på elektrolyse: Munchen, Berlin, Amsterdam, Barcelona, Stockholm, Reykjavik og Malmø. Produksjonskostnadene er svært avhengig av elektrisitetskostnadene. Det er også et fortsatt stort potensial for reduksjon av kapitalkostnader for elektrolyse. Fig. 5.2 illustrerer hvordan kostnadsnivåene for elektrolyseprodusert hydrogen varierer med kapa-



Figur 5.2 Beregnede kostnader for hydrogen fra elektrolyse, US Department of Energy.

sitet på anlegget og elektrisitetskostnadene, og indikerer potensialet for framtidige reduksjoner i kostnadsnivå.

Et anlegg basert på elektrolyse består av 4 hovedkomponenter, elektrolysør, kompressor, lager og dispenser. Elektrolysører i dag er hovedsakelig alkaline med kapasitet opp til 500 Nm³ hydrogen per time, og produserer hydrogen enten ved atmosfærisk trykk eller ved trykk opp til 25 bar. Elektrolysører basert på PEM (polymer electrode membrane) er også kommersielt tilgjengelig, men med lave kapasiteter, vanligvis under 10 Nm³ hydrogen per time. Siden kravet til kjøretøyene ligger på 350 – 400 bar må hydrogengassen ytterligere komprimeres. Lageret av komprimert hydrogen på fyllstasjonen skal sikre mellomlagring av hydrogen og må designes slik at lageret er optimalt i forhold til kapasitet generelt og variasjoner i etterspørsel/krav til drivstofftanking, samtidig som kostnadene skal holdes nede ved lavest mulig energiforbruk og lagervolum. Systemanalyser for slik optimalisering er en viktig kunnskap for å oppnå lavest mulige kostnader.

Distribuert produksjon basert på reformer

Spalting av naturgass og andre hydrokarboner er kjent teknologi fra prosessindustrien. Småskalaanlegg for distribuert reformering av naturgass er imidlertid krevende fordi reformering inneholder mange prosesstrinn, samt forbrenning og høye temperaturer. Små naturgassreformere er derfor å

betrakte som en ny teknologi, og design, drift og kostnader har fortsatt et stort forbedringspotensial med hensyn til drift og lokal tilpasning. Det er sannsynligvis Japansk industri som har kommet lengst når det gjelder å prøve ut småskala reformerteknologien for distribuert hydrogenproduksjon. Det er åtte hydrogenstasjoner i Japan basert på denne teknologien, de fleste er lokalisert i nærheten av Tokyo. I Europa er det to slike anlegg i drift, ett i Madrid og ett i Stuttgart. Begge disse er en del av CUTE⁴-prosjektet.

Teknisk og kommersiell status for hydrogenstasjoner

Hydrogenstasjonene som er bygget i Europa så langt har en kapasitet på omkring 60 Nm³/time og kan forsyne tre bybusser. Arealbehov vil være en kritisk faktor når markedet for hydrogen skal utvikles, og utvikling av kompakte anlegg er en prioritert oppgave. Kapasitetskravet for hydrogenstasjonene vil ligge langt over dagens nivå, det vil si omkring 500 m³/time eller høyere. Både elektrolyseteknologien og reformerteknologien må videreutvikles for å møte kravene i drivstoffmarkedet. Kravene omfatter kapasiteter, arealbehov, og reduserte investeringskostnader samt en rekke krav knyttet til en fleksibel drift med høy pålitelighet og sikkerhet.

Utfordringer og muligheter for hydrogen infrastruktur

En utfordring ved utbygging av infrastruktur for hydrogen til transportsektoren i et tidlig marked er å finne en god balanse mellom kapasitet og etterspørsel. Produksjonsanlegg for hydrogen fordrer relativt høye initielle investeringer, og det er fordelaktig å kunne garantere et minsteavtak for produksjonskapasiteten, som kan oppnås ved å starte markedsintroduksjon med flåtekjøretøy som buss og andre kjøretøy med faste fyllingsstasjoner. Slike anlegg kan senere utvides til å tilby drivstoff til privatbiler. Tilsvarende vil en hydrogenfyllstasjon for sjøtransport representere en god grunnkapasitet som i tillegg kan utnyttes for busser og personbiler.

Hydrogenstasjoner for stasjonært bruk, der hydrogen primært benyttes som energilager som energiforsyningssikkerhet tilknyttet fornybar



Figur 5.3 Elektrolysør i container installert i Reykjavik og Hamburg 2003. Elektrolysørene er levert av Norsk Hydro Electrolysers AS og betjener hver 3 brenselcellebusser. Kapasitet på 60 Nm³/h, 15 bar.

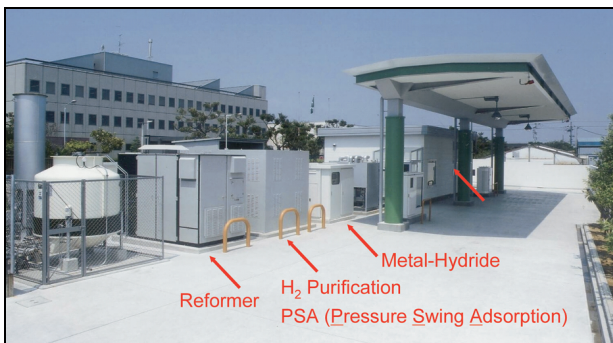
Kilde: Norsk Hydro

4. CUTE: Clean Urban Transport Europe, EU demoprojekt med 27 brenselcellebusser i 9 europeiske byer. Samkjøres med EU-prosjektet, ECTOS på Island og ett tilsvarende prosjekt i Australia.



Figur 5.4 Hydrogenfyllestasjon basert på elektrolyse i Hamburg.

Kilde: Norsk Hydro



Figur 5.5 Hydrogenfyllestasjon med naturgassreformer i Osaka, Japan.

Kilde: SINTEF Materialteknologi

kraft, kan med fordel utnyttes også til fyllestasjon for kjøretøy og eventuelt sjøtransport. En slik løsning vil skape gode synergieffekter – økonomisk og for en mer stabil drift av elektrolysøren. I Europa, med til dels store problemer i mange områder med balansering av el-nettet på grunn av vindkraft, vurderes elektrolyseprodusert hydrogen som en meget interessant løsning. I Norge kan kombinasjonen av fornybar kraft og hydrogenproduksjon være interessant i forbindelse med for eksempel småkraftanlegg og i områder uten kabel eller nettilknytning. I slike områder vil hovedsakelig overskuddskraft med lave priser benyttes for elektrolyse og kan gi lave hydrogenkostnader.

5.4.2 Utfordringer knyttet til sikkerhet og regelverk

Hydrogen gass har de minste molekylene og er lettere enn alle andre gasser. Gassen er dessuten fargeløs og uten lukt. Hydrogen har andre egenskaper og vil derfor oppføre seg annerledes enn dagens drivstoff. Det er derfor nødvendig med sikkerhets-

studier og utvikling av regelverk som tar hensyn til hydrogenets faktiske egenskaper for sikker introduksjon av allment tilgjengelig hydrogen. For eksempel vil hydrogen ha høy volumetrisk utstrømningsrate, stor oppdrift, og fortynnes raskere enn andre gasser. Flammentemperaturen og flammehastigheten vil være høyere enn for naturgass og bensin, mens varmestralingen utenfor en hydrogenflamme vil være betydelig mindre enn strålingen fra sammenlignbare hydrokarbonflammer. Hydrogen gass er brennbar i de fleste blandingsforhold med luft, og kan også være eksplosiv (og endog forårsake detonasjon), spesielt i lukkede rom og delvis omsluttete områder. De små molekylene vil diffundere inn i metaller og andre faste stoff som anvendes til lagring av trykksatt hydrogen. Materialer som skal anvendes til lagring av trykksatt hydrogen må derfor være spesielt utviklet og godkjent for hydrogen.

Sikkerhetsmessige sammenligninger av hydrogen med andre stoffer må baseres på en totalvurdering av de faktorer som påvirker sannsynligheten for uønskede utslipp og mulige konsekvenser av slike utslipp. Eksemplene over illustrerer at hydrogen under enkelte forhold vil være tryggere enn konvensjonelle drivstoff, mens det i andre situasjoner vil være større risiko forbundet med hydrogen. Det er derfor viktig å ta hensyn til hydrogens fysiske egenskaper i alle faser av design, drift og vedlikehold av hydrogenholdig utstyr. Dette medfører særlige utfordringer – spesielt i en introduksjonsfase. Viktige faktorer i denne fasen vil være beredskapstiltak, opplæring og trening av personell som skal håndtere hydrogen, både rutinemessig og dersom uhell skulle skje. For å sikre en akseptabel risiko, må sikkerhetsarbeidet utføres systematisk, og det må inkludere alle relevante aspekter ved hydrogensystemet, ikke bare enkeltkomponentene. Hva som vil kunne godtas som akseptabel risiko, bør fortrinnsvis vedtas ved hjelp av akseptkriterier, det vil si overordnede krav til den risiko som anses som akseptabel.

Av sikkerhetsmessige grunner er det viktig å skaffe erfaring og bygge opp kompetanse innen relevante organisasjoner for utvikling av de godkjenningprosesser som vil være påkrevd for introduksjon av hydrogen. Elementer i en slik kompetanseoppbygging inkluderer sikkerhetsstudier og utvikling av metodikk for sikkerhetsmessig godkjenning, eventuelt kvalifisering av teknologier der regelverk og standardiserte godkjenningsordninger mangler. Der det finnes standarder for de enkelte deler av en løsning, vil det likevel måtte utføres en sikkerhetsvurdering av helheten.

Regelverk utviklet med tanke på industrielle formål kan inneholde spesifikke krav (så som

fysiske barrierer, sikringsfelt, utslippstillatelse og -overvåking) som kan være u hensiktsmessige eller kostnadsineffektive for anlegg i mindre skala, eller til og med uforenlig med distribusjon og salg av hydrogen til forbrukere. For at eksisterende eller manglende regelverk ikke skal blokkere nye løsninger, og sikkerhetstiltak skal kunne tilpasses forholdene lokalt, anbefales det derfor at utvikling av regelverk for hydrogenanvendelser i størst mulig grad er basert på funksjonskrav og demonstrasjon av sikkerhetsnivå, for eksempel ved risikoanalyser, heller enn detaljkrav.

Manglende eller uegnet regelverk vil erfaringsmessig være en kostnadsdriver i prosjekter med ny teknologi da det blir vanskelig å forutsi myndighetskrav tidlig i prosjektet. Krav som utkrystalliseres i en sen fase av designprosessen har vesentlig større økonomiske konsekvenser enn om de samme kravene er kjent fra første dag. Dette kan illustreres ved erfaringer gjort i demonstrasjonsprosjektet CUTE, der 30 prosent av kostnadene for hydrogen fyllestasjonen i Madrid kan relateres tilbake til myndighetskrav. Med kjente og forutsigbare rammebetingelser fra myndighetenes side, kan slike kostnader reduseres betydelig.

Systematisk arbeid med sikkerhet og utvikling av standarder og regelverk starter normalt ikke før en har konkrete behov. Gode demonstrasjonsprosjekter vil kreve lokal myndighetsgodkjenning i henhold til gjeldende standarder og regelverk. Slike initiativ er derfor godt egnet for identifisering av mangler i eksisterende regelverk, og gir en mulighet for effektiv utvikling og implementering av nye, gode standarder og regelverk. Siden utvikling av gode standarder og regelverk er tidkrevende, er det viktig at slikt arbeid startes tidlig. Økt satsing fra norsk industri og myndigheter (tilrettelegging, midler, etc.) er nødvendig dersom Norge skal hevde seg internasjonalt, og dermed skape vekstgrunnlag for norsk industri og arbeidsplasser.

Standarder og regelverk er rammebetingelser som vil påvirke konkurranseforhold for ny teknologi sammenlignet med innarbeidet konvensjonell teknologi, både for veg- og sjøtransport. Det er derfor viktig at norske aktører er aktive i slikt arbeid, både i Norge og internasjonalt. Norske aktører har betydelig kunnskap og erfaring med utvikling av standarder og regelverk basert på funksjonskrav og demonstrasjon av sikkerhetsnivå. Erfaringene er både nasjonale og internasjonale. Dersom forholdene legges til rette, kan Norge medvirke til å framskynde den internasjonale utviklingen ved å bidra til nødvendig internasjonal harmonisering av

gode standarder og regelverk for hydrogenanvendelser. Dette vil være et viktig bidrag for å fjerne en betydelig barriere som ellers vil kunne forsinke introduksjon av miljøvennlig nullutslippsteknologi i transportsektoren. Teknologier for produksjon av hydrogen, brenselceller, lagring av hydrogen som metallhydrid samt fylling av hydrogen, er eksempler på områder der norske aktører til dels er langt framme og vil ha utbytte av deltakelse i internasjonalt standardiseringsarbeid. Et annet eksempel er systemløsninger på hydrogen og brenselcelleanlegg.

I tillegg til de enkelte komponentene i et hydrogensystem (for eksempel lagringsenhet, pumpe, kompressor, ventiler), vil sikkerhetsnivået i vesentlig grad påvirkes av totalløsningene som utvikles. Norsk industri og FoU-miljøer har gode muligheter for å utvikle spesiell kompetanse innen design av slike hydrogensystemløsninger som er effektive, funksjonelle og sikre.

Mens industrien har lang erfaring med bruk av hydrogen, er erfaringer med allment tilgjengelig hydrogen svært begrenset. Som eksempel kan nevnes at de hydrogenfyllestasjonene som er i bruk i dag generelt er betjent av personell med spesiell opplæring. En av hovedgrunnene til dette er at systemene for fylling fremdeles er under utvikling, og at videre arbeid og mer erfaring trengs for å sikre standardiserte, robuste og pålitelige systemer for fylling på hydrogenkjøretøy. Siden det forventes å være et absolutt krav for storskala introduksjon av hydrogen at hydrogen skal kunne fylles av «vanlige bilførere» på ubemannede stasjoner, bør arbeid for sikker fylling prioriteres høyt. Det kan også bli behov for å legge opplæring og bevisstgjøring rundt hydrogen som drivstoff, for eksempel et «hydrogentankingskurs» inn i kjøreopplæringen, i alle fall i en introduksjonsfase.

Se vedlegg 2 for utdypende informasjon om sikkerhet og regelverk.

5.5 Hva kan gjøres for å framskynde markedsintroduksjon?

Det finnes en rekke eksempler fra andre land både på hvordan man kan utforme en nasjonal politikk for en framtidig markedsintroduksjon, og erfaringer med bruk av virkemidler for introduksjon av andre typer drivstoff og teknologier. Hva som er gjort og gjøres i andre land gir et viktig grunnlag for å vurdere både ambisjonsnivå og mulige tiltak og virkemidler i Norge.

5.5.1 Politikk for markedsintroduksjon i EU, USA og Japan

EU har vedtatt en målsetning om å erstatte fem prosent av drivstofforbruket med hydrogen innen 2020. For å bidra til at dette skal kunne la seg realiseres, satses det særlig på målrettet forskning. Det er opprettet en ny organisasjon, «The Hydrogen and Fuel Cell Technology Platform» med stor deltagelse fra industri, institutter og miljøer fra hele Europa, som skal bidra til å fremme og påskynde utviklingen mot bruk av hydrogen og brenselcellebaserte teknologier blant annet i transportsektoren.

Også i USA satses det betydelig på å fremme utvikling og bruk av hydrogen og brenselcelleteknologi. Myndighetene ser for seg flere tiår før markedet kan overta og myndighetene trekke seg ut: I første fase vil det være fokus på forskning, utvikling og demonstrasjoner knyttet til avgjørende teknologivalg. Parallelt bør det arbeides med etablering av sikkerhetsrutiner, regelverk og standarder. Det første operative målet er å bringe teknologiene så langt fram at det er grunnlag for å ta kommersielle beslutninger i 2015. I andre fase er det fokus på markedsintroduksjon. Myndighetene kan stimulere markedet gjennom ulike virkemidler, og ved å påta seg en rolle som tidlig etterspørter av hydrogenløsninger. Deretter følger tredje fase som 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. Fjerde fase begynner i 2025 med marked og infrastruktur på plass.

I Japan ser man for seg et framtidig energisystem hvor hydrogen og brenselceller er viktige ledd. I samarbeid med industrien har myndighetene etablert klare målsetninger knyttet til praktisk anvendelse og kommersialisering av hydrogen og brenselceller. Satsingen omfatter forskning, demonstrasjon og markedsintroduksjon. Fasen fram til 2010 er definert som introduksjonsfasen, mens fasen fram til 2020 er markedspenetreringsfasen. I penetreringsfasen tror man det er mulig å la markedsutviklingen skje uten spesielle offentlige støtteordninger.

5.5.2 Internasjonale erfaringer med virkemiddelbruk

Brasil innførte i 1975 et program (PROALCOOL) for å erstatte bruk av bensin med etanol i transportsektoren. Målet var å redusere avhengigheten av oljeimport, og å skape intern økonomisk og sosial

utvikling gjennom sukkerindustrien. Gjennom å sikre overlegent konkurransedyktig pris og tilgang på etanol og kjøretøy, erstattet etanol bensin med nesten 100 prosent. Programmet var kostnadskrevenende gjennom høye subsidier, men lønnsomt for staten fordi besparelsene knyttet til redusert oljeimport var større.

Likevel, politisk regimeskifte, samt økonomisk krise med inflasjon og lave oljepriser førte til at programmet ble avsluttet i 1996 og etanolproduksjonen ble deregulert. Dette førte til at etterspørselen nærmest forsvant. I de senere år er etterspørselen økt noe ettersom etanol igjen er blitt konkurransedyktig på pris, men fremdeles utgjør etanol mindre enn to prosent av markedet.⁵

Naturgass

Mer enn 50 land fra alle verdensdeler har iverksatt programmer for å stimulere til overgang til bruk av naturgass i transportsektoren. Erfaringer fra ulike land forteller oss om mer eller mindre vellykkede tiltak. Hovedkonklusjonene fra de internasjonale trendene når det gjelder bruk av naturgass er som følger:

- Fokus bør være på tett befolkede områder med forurensningsproblemer.
- Store flåter med kjøretøy, som for eksempel drosjer og busser, passer best.
- Kort nedbetalingstid for investering eller andre åpenbare gevinster i tillegg til god økonomi, er nødvendig.
- Lav pris på gass relativt til bensin og diesel er en viktig faktor for å oppnå økt bruk av naturgass.
- Utvikling av standarder og regelverk har tatt svært lang tid og vært dårlig harmonisert landene imellom.
- Manglende infrastruktur er ofte et hovedproblem.
- Antall naturgasstasjoner og kapasitet må stå i forhold til antall kjøretøy for å sikre økonomisk drift av fyllestasjoner og kjøretøy.

5.5.3 Norges rolle: Ambisjonsnivå og aktuelle virkemidler

Det viktigste virkemidlet for å legge til rette for en tidlig introduksjon av hydrogen og brenselcelleteknologi i transportsektoren er knyttet til målrettet FoU-satsing, inklusive demonstrasjonsprosjekter. Som vi har sett satses det målrettet både i EU, USA

5. Referanse: Rodolfo Dourado Maia Gomes, Statkraft Grøner, 2003.

og Japan. Hvordan kan og bør Norge bidra i denne utviklingen?

Alene kan ikke Norge påvirke utviklingen mot bruk av hydrogen i transportsektoren i særlig stor grad. Norge kan velge å «sitte på gjerdet» og avvente utviklingen internasjonalt. For transportsektoren som sådan vil miljøkonsekvensene ved å ikke ha en aktiv politikk neppe være dramatiske. Miljøegenskapene ved konvensjonelle kjøretøy blir stadig bedre. Innen sjøfarten er det fortsatt et betydelig potensial for reduksjon av miljøskadelige utslipp ved bruk av forbedrede drivstoffkvaliteter og, ikke minst, naturgass. Samtidig ligger det et stort potensial i å få redusert utslipp av CO₂ gjennom overgang til bruk av hydrogen og brenselcelleteknologi. Ved å «sitte på gjerdet» vil det ta lenger tid før man også i Norge kan ta ut dette potensialet.

Samfunnet totalt sett kan høste betydelige gevinster ved å ligge langt framme i denne utviklingen. Norske forskningsmiljøer og norsk industri har kompetanse og ressurser som *kan* bidra til å påvirke den internasjonale utviklingen mot overgang til bruk av hydrogen. Det vil være av økonomisk interesse for Norge at norske aktører blir involvert i denne utviklingen, og det er nok på dette området at risikoen ved å være passiv er størst.

For at Norge skal dra mest mulig nytte av utviklingen mot overgang til bruk av hydrogen som drivstoff i transportsektoren, vil det være nødvendig med en målrettet satsing også i Norge. En slik satsing vil innebære både FoU-satsing og andre typer virkemidler for å bidra til markedsintroduksjon. Hva som bør være innholdet i en norsk FoU-strategi, kommer vi tilbake til i neste kapittel.

Bruk av avgiftsincentiver

Bilavgiftene har i dag to hovedformål, korrigere for eksterne kostnader og skaffe staten inntekter. Avgifter som skal skaffe staten inntekter (fiskale avgifter) bør settes slik at folks og bedrifters tilpasning endres minst mulig. Engangsavgiften og årsavgiften er i dag hovedsakelig fiskalt begrunnet.

Avgifter som skal korrigere for eksterne kostnader bør i størst mulig grad settes lik de marginale eksterne kostnadene. CO₂-avgiften, autodieselavgiften og bensinavgiften er helt eller delvis begrunnet ut fra eksterne kostnader. De marginale kostnadene avhenger av bilens teknologi, drivstoff og sted og tidspunkt for kjøringen. Den ideelle løsningen vil være et vegprisingssystem som fanger opp disse komponentene, hvor avgiftene varierer etter teknologi, sted og tidspunkt.

Miljøkostnader er bare en av flere typer kostnader transportaktivitet påfører samfunnet. Kø-, ulykkeskostnader og vegslitasje er de viktigste andre kostnadene, og også nullutslippsbiler bør avgiftslegges for disse kostnadene.

Avgifter bør knyttes til de eksterne kostnadene og være teknologinøytrale slik at de ikke favoriserer bestemte teknologier/løsninger framfor andre. Bilavgiftsgruppen⁶ foreslo en miljødifferensiering av årsavgiften ut fra utslipp med regional og lokal virkning. En slik differensiering vil belønne nullutslippsbiler. Unntak fra CO₂-avgiften på drivstoff gir en tilsvarende belønning.

Helt eller delvis unntak fra avgifter for en bestemt teknologi vil være en indirekte subsidie, og kan bare forsvares i en tidsbegrenset periode for å bidra til at en bestemt type teknologi blir introdusert i markedet, altså en form for «fødselshjelp». Forutsetningen må være at disse teknologiene eller løsningene har større fordeler for samfunnet som helhet enn de har for den enkelte bruker i forhold til konvensjonelle teknologier, og at de etter en introduksjonsfase kan konkurrere på like vilkår. Batteridrevne elbiler er en slik type kjøretøyteknologi. Miljøfordelene er opplagte og kjøretøyet vil ikke kunne make en reell markedsintroduksjon uten fordelaktige virkemidler. Det kan imidlertid reises spørsmål om denne løsningen vil kunne bli et reelt alternativ på sikt som kan konkurrere på like vilkår når favoriseringen opphører, ettersom bilprodusentene internasjonalt ikke lenger virker interessert i å satse på denne løsningen. Ved å ha en teknologinøytral nullutslippstilnærming vil det være opp til aktørene i markedet om de vil satse på batteri- eller brenselcelleteknologi.

I utgangspunktet kan det ikke miljømessig forsvares at såkalte nullutslippsalternativer favoriseres uforholdsmessig mye i avgiftssystemet i forhold til mer konvensjonelle alternativer som har svært lave utslipp. Små miljømessige differanser bør i utgangspunktet gi små avgiftsmessige differanser. Uforholdsmessige avgiftsfordeler bør forbeholdes det vi her har valgt å kalle «fødselshjelp» for å hjelpe ny teknologi inn i markedet.

Et eksempel er hydrogenkjøretøy som i en introduksjonsfase kan være basert på forbrenningsmotorer. Selv om disse slipper ut noe NO_x og slik ikke representerer nullutslippsteknologi, kan hydrogenkjøretøy med forbrenningsmotorer være et rimeligere alternativ til brenselceller og ha stor nytteverdi i en oppbyggingsfase av et hydrogenkjøretøymarked ved å bidra til en utvikling av hydro-

6. Bilavgifter. Rapport fra en arbeidsgruppe, levert Finansdepartementet april 2003.

geninfrastruktur og gi erfaring i håndtering av hydrogen som drivstoff.

Ekspertgruppen er derimot kritisk til ombygging av konvensjonelle kjøretøy til bruk av hydrogen. Stimulering til slik ombygging gjennom avgiftssystemet frarådes. Ombygging av brukte konvensjonelle kjøretøy ligger utenfor bilindustriens sikkerhetskontroll. I tillegg vil slik ombygging eller konvertering være begrenset til konvertering av eldre biler uten ombord diagnose og annen ny elektronikk. Betydelig subsidiering vil i slike tilfeller kunne ha uheldige vridninger. Totale avgiftsfritak bør brukes med forsiktighet og vurderes i en bredere sammenheng. Offentlig støtte til bruk av ombygde konvensjonelle kjøretøy for tidlig bruk av hydrogen bidrar ikke til nødvendig teknologisk utvikling eller markedsutvikling, og bør derfor ikke gis «fødselshjelp» gjennom avgiftssystemet.

Stimulering gjennom offentlige subsidier til bruk av hydrogenkjøretøy som ikke representerer nullutslipp, for å skape et tidlig marked for hydrogen, bør i utgangspunkt skje direkte via prosjektfiansiering snarere enn indirekte gjennom avgiftssystemet. Slik kan støtte til bruk av slike kjøretøy vurderes i en bredere hydrogenpolitisk sammenheng.

De relativt høye engangsavgiftene på personbiler i Norge gjør det mulig gjennom fritak fra engangsavgiften å gjøre slike kjøretøy konkurransedyktige på pris tidligere i Norge enn i de fleste andre land som i stedet må subsidiere nullutslippsbilene direkte. Dette muliggjør en tidlig markedsintroduksjon i Norge. Samtidig er det kritisk at disse kjøretøyene da etter en viss tid kan konkurrere på like vilkår.

Bruk av alternative drivstoff kan også stimuleres gjennom avgiftsincentiver. På samme måte som for kjøretøy kan totale fritak bare forsvares i en introduksjonsfase. På sikt må drivstoffet kunne konkurrere på like vilkår basert på objektive avgiftskriterier. Naturgass og LPG er i dag fritatt

for all avgift selv om bruken medfører klimagassutslipp og andre eksterne kostnader. Hydrogen bør også være avgiftsfri i en introduksjonsfase.

Andre mulige virkemidler

Selv med like kostnader knyttet til kjøp og bruk av bil vil ikke nødvendigvis brenselcellekjøretøy kunne utkonkurrere konvensjonelle kjøretøy. I tillegg til pris vil kundene være opptatt av komfort, sikkerhet, rekkevidde, og image. Ved lav pris blir de andre faktorene mindre viktige. Inntil de nye kjøretøyene er konkurransedyktige, er det mulig å stimulere bruk av slike kjøretøy gjennom for eksempel gratis parkering, gratis passering av bomstasjoner og adgang til å kjøre i kollektivfelt. Erfaringene med elbilen tilsier at mulighet til å kjøre i kollektivfeltene verdsettes høyere enn gratis parkering og fritak fra bompengavgifter. Det sier seg imidlertid selv at slike fordeler bare kan gis i en tidlig fase og for å framskynde en markedsintroduksjon man både ønsker og venter vil skje. Slike tiltak må brukes med stor forsiktighet og vurderes i en bredere transportpolitisk/faglig sammenheng. Det må være et mål å stimulere til at slike biler med ny teknologi faktisk erstatter konvensjonelle biler.

Når det gjelder innfasing av nye typer busser, må det andre typer virkemidler til. Den typiske formen for offentlig styring av lokal busstrafikk i framtiden vil være gjennom offentlig kjøp av tjenester og fri konkurranse om å selge disse tjenestene. Ved slike kjøp er det mulig å stille miljøkrav som går utover de generelle avgasskravene til kjøretøy. Samtidig kan slike krav ikke virke diskriminerende ved at de favoriserer bestemte leverandører. Det kan for eksempel være mulig, enten det gjelder kjøp av ferjetransport eller busstransport, å stille krav til bruk av nye fartøy/kjøretøy, og krav om at det mest miljøvennlige drivstoffet som er kommersielt tilgjengelig skal benyttes.

Kapittel 6

Ekspertgruppens anbefalinger

I dette kapitlet oppsummerer og konkluderer ekspertgruppen sine anbefalinger til norske myndigheter om hva som bør gjøres for å legge til rette for at en reell markedsintroduksjon vil finne sted fra *år 1*, på en slik måte at hydrogen vil penetrere markedet med 2 til 5 prosent i løpet av 10 år for vegtransport og 20 år for sjøtransport. Ekspertgruppen har definert *år 1* som det år kjøretøy og skip er tilgjengelig i markedet til en akseptabel pris. For skipsfarten vil dette tidspunktet falle betydelig senere enn hva tilfellet er for kjøretøy. Hovedutfordringene er knyttet til at drivstoffet skal være tilgjengelig til en akseptabel pris der kjøretøy og skip skal ha sitt virke, at nødvendig regelverk for godkjenning og kunnskap om bruk av ny teknologi er etablert, og at den nødvendige teknologien for å kunne realisere markedsintroduksjon er tilfredsstillende både når det gjelder kostnader og funksjonalitet.

I utgangspunktet bør det foreligge en overordnet langsiktig strategi for satsing på hydrogen i Norge for støtte til ulike typer FoU-prosjekter. Videre er organisering et viktig spørsmål ettersom det organ som skal vurdere prosjekter må besitte den nødvendige kompetanse og, ikke minst, objektivitet. Slike spørsmål ligger imidlertid innenfor Hydrogenutvalgets mandat. I dette ligger også spørsmål om finansiering og risikodeling. Når det gjelder risikodeling kan EU-kommisjonens regler

være et fornuftig referansepunkt hvor det blant annet skilles mellom støtte til prototyp utvikling, demonstrasjonsprosjekter og investeringsstøtte.

En overordnet strategi for en norsk hydrogen-satsing bør forankres som en oppfølging av de to ekspertgruppens arbeid og Hydrogenutvalgets anbefalinger.

6.1 Tiltak og virkemidler rettet mot *år 1* og *år 10/20*

Ut fra den kunnskapen vi har i dag kan vi anta at *år 1* i vegtransportsektoren kan være mellom 5 og 10 år fra i dag. For sjøtransport er dette vanskeligere å anslå, men markedsintroduksjon kan komme mellom 10 og 20 år fra i dag. Ut fra dette kan vi tenke oss et utviklingsløp fra i dag og fram mot markedsintroduksjon med en angivelse av mulige og nødvendige virkemidler underveis som vist i tabell 6.1.

6.2 Fase 1: Forskning og utvikling

Den mest åpenbare konklusjonen når det gjelder å ta i bruk hydrogen som drivstoff i transportsektoren, er behov for økt kunnskap og dermed økt offentlig støtte til forskning og utviklingsarbeid. Utfordringen er å være mest mulig målrettet og

Tabell 6.1 Faser for mulig utviklingsløp fram mot markedsintroduksjon

Fase 1 (2004–).
Hydrogenprogram operasjonaliseres, forsknings- og utviklingsprosjekter initieres.
Fase 2 (2005–2015 år)
Målrettet FOU/prototyp utvikling/pilot- og demonstrasjonsprosjekter startes, fokus også på utvikling av kompetanse, regelverk og standarder.
Fase 3 (2010–2020)
Markedsintroduksjon vegtransport, markedsintroduksjonsprosjekter og innfasing av virkemiddelbruk.
Fase 3b (2015–2030)
Markedsintroduksjon sjøtransport.

treffsikker når det gjelder hvilke typer prosjekter som bør gjennomføres og prioriteres. Det blir her viktig å se sammenhengen mellom langsiktig forskning som kanaliseres via større forskningsprogrammer og konkrete utviklingsprosjekter knyttet til bestemte produkter, uttesting av ulike typer produkter under reelle forhold og støtte til introduksjon av produkter i større skala i markedet. Denne type forsknings- og utviklingsarbeid vil sannsynligvis være nødvendig for å kunne realisere en reell markedsintroduksjon i år 1. Samtidig er det viktig å være bevisst at det ikke er Norges oppgave alene å sørge for at dette skjer. Når år 1 vil inntreffe vil for en stor del være avhengig av hva som skjer internasjonalt.

Sentrale kriterier som bør ligge til grunn for *FoU-bevilgninger* er at prosjektene

- dekker behov for å realisere målet om verdiskaping,
- adresserer både teknologiske og ikke-teknologiske problemstillinger,
- er fokusert omkring utvalgte teknologier hvor Norge har spesielle forutsetninger, men samtidig ivaretar bredden for å sikre behovet for grunnleggende forskning, innovasjon, rekruttering, samt innkjøps- og brukerkompetanse, og
- er komplementære til det som foregår internasjonalt.

Aktuelle temaer

Når det skal tas stilling til prioritering av forskningsoppgaver i Norge, bør en samtidig vurdere hva som er fornuftig i forhold til aktiviteter i andre land og hva som kan være en fornuftig arbeidsdeling mellom norsk og internasjonal forskning og utvikling. Et naturlig område hvor norske miljøer kan bidra er knyttet til framstilling og lagring av hydrogen. Ut fra denne ekspertgruppens mandat, har vi ikke kunnet gå i dybden på dette feltet. Disse spørsmålene ligger innenfor den andre ekspertgruppens mandat. Det er imidlertid en forutsetning for en betydelig innfasing av hydrogen i transportsektoren at det skjer en vesentlig utvikling på dette feltet. Denne utviklingen vil imidlertid avstedkomme i ulike deler av verden i tillegg til i Norge.

Samtidig er det gruppens konklusjon at det er mye å gripe tak i også når det gjelder utvikling av hydrogenkjøretøy og at det finnes kompetanse i Norge som kan være med å bidra også her. Vi har valgt å peke på følgende eksempler:

- Forbrenningsmotorer for hydrogen har et betydelig potensial for forbedring. Norge har høy kompetanse på forbrenning og forbrenningsmotorer.
- Førstegenerasjons brenselcellebusser er kompliserte, lite driftsikre, kostbare og dårlig virkningsgrad i forhold til brenselcellens potensial. For at disse skal bli reelle alternativer til konvensjonell teknologi, må levetiden bedres betraktelig. Norge kan, slik vi allerede gjør i våre leveranser til dagens bilprodusenter, også levere avanserte komponenter og/eller materialer for framtidens brenselcellekjøretøy.
- Lagring av hydrogen i kjøretøyet er en stor utfordring, kanskje den største. Norge har kompetanse på hydrogenhåndtering generelt, lagring i faste materialer, flytendegjøring og utvikling av trykktanker.

Når det gjelder sjøfart er situasjonen for Norge en helt annen enn for kjøretøy. Norge regnes i dag som verdensledende for utvikling av ny teknologi innen skipsfarten. Dette er ikke minst illustrert gjennom MS Glutra, som er verdens første og fremdeles eneste passasjerfartøy som drives på flytende naturgass. Norge kan også være det første land som tar i bruk hydrogen og brenselcelleteknologi på skip i større skala. Det er imidlertid behov for nasjonal støtte og betydelig teknologiutvikling før dette vil kunne la seg realisere. Eksempler på områder med behov for forskning og utvikling rettet mot sjøtransport er:

- Videre utvikling av brenselcelleteknologi som dekker maritime behov knyttet til operasjonsprofil, vekt/volum og robusthet. Dette dekker både selve brenselcelleteknologien, kombinasjon av teknologier (hybridløsninger) og verifikasjon av sikkerhet og egnethet i et maritimt miljø.
- Utvikling av gode maritime systemløsninger både med hensyn til kraftproduksjon og effektive systemløsninger for kombinasjon kraft/varme samt tilhørende energilagerløsninger og hjelpesystemer for et maritimt anlegg
- Nye verktøy og designmetoder for utvikling av maritime skipskonsept med hydrogenteknologi for kraftproduksjon ombord, samt maritime krav til drift og vedlikehold.

Forskning og utvikling rettet mot sjøtransport bør ha som formål å utvikle produkter, nye skipskonsepter eller tjenester med potensial for ny verdiskapning for norsk maritim industri.

6.3 Fase 2–3: Utviklings- og demonstrasjonsprosjekter

Sentrale kriterier som bør ligge til grunn for utvelgelse av demonstrasjonsprosjekter bør være

- teknologimodenhet,
- verdiskaping,
- potensial for utslippsreduksjoner på kort, mellom og lang sikt,
- positiv profilering,
- nasjonale forutsetninger når det gjelder kompetanse, industri og naturressurser og
- internasjonalt samarbeid

Det kan være nyttig å skille mellom de forskjellige utviklings- og demonstrasjonsprosjektene.

Prototyputvikling blir her forstått som støtte til utvikling eller forbedring av en eller flere produkt- eller komponentenheter. Formålet med slike prosjekter er å bidra til nødvendig utvikling i forhold til både funksjonalitet og kostnader. Eksempler på enheter hvor en slik utvikling er påkrevd er lagringstanker, hydrogen forbrenningsmotor, elektrolysør og naturgassreformer. Utviklingsarbeidet kan også inkludere systemløsninger og produkter bedre tilpasset brukerens anvendelse. Kostnader for slike prosjekter vil kunne være svært variable, eksempelvis har utvikling av brenselcellekjøretøy hittil vært på flere milliarder, mens en prototyp for ny småskala produksjonsteknologi kan typisk ligge mellom 50–100 millioner kr.

Pilotprosjekter blir her forstått som prosjekter for utprøving eller testing av produkter i systemløsninger for å framskaffe nødvendig erfaring for senere bruk i større skala. Aktiviteten kan ha et langsiktig perspektiv, men også være en utprøving over et begrenset tidsrom. Et eksempel på et slikt prosjekt er CUTE hvor 27 brenselcellebusser og ulike typer fyllestasjoner testes ut over en periode på to år. Kostnader for dette prosjektet er totalt 52 millioner euro.

Markedsintroduksjonsprosjekt blir her forstått som støtte til introduksjon av uttestede løsninger i større skala for å skape grunnlag for, eller legge til rette for, bredere markedsintroduksjon på et senere stadium blant annet gjennom risikodeling og synlighet. Et eksempel på et slikt prosjekt er Gassbuss Bergen hvor etablerte teknologiske løsninger settes ut i markedet i en viss skala ved hjelp av økonomisk støtte fra ulike aktører. En forutsetning for at et slikt prosjekt skal være vellykket vil være at teknologien i neste omgang faktisk blir tatt i bruk i markedet uten særskilte finansielle tilskudd. Totale kostnader for et slikt prosjekt vil

typisk kunne være alt fra 100–500 mill. kr over en femårs periode.

Fyrtårnsprosjekt er et begrep som er introdusert av EU-kommisjonen i planlegging av framtidige demonstrasjonsprosjekter for hydrogen. Med et fyrtårnsprosjekt tenker man seg et større prosjekt med bred deltakelse, stor synlighet og oppmerksomhet, og med potensial for stor påvirkning for den videre markedsutvikling. I tillegg til å bidra til å øke erfaringsgrunnlaget og fremme markedsintroduksjon, kan et slikt prosjekt for eksempel ha i seg et element av politisk profilering, «plassere Norge på kartet».

Eksempel på et mulig fyrtårnsprosjekt

Norge kunne ta initiativet 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. Man kunne tenke seg en hydrogenkorridor mellom byer fra vestlandet via Kristiansand og Oslo gjennom Sverige til København. Det vil kreve fyllestasjoner i de aktuelle byene på strekningen og anskaffelse av et viss antall busser og flåtekjøretøy. En eller flere demonstrasjoner av bruk av brenselcelleteknologi i skip, enten lokalt eller ved en ferje eller et større passasjerskip (brenselcelle på hjelpe-motor), er en annen mulighet. Et slikt prosjekt vil kreve betydelig forberedelse, og bør inkludere et grundig forarbeid med blant annet regler og standarder og kunnskapsoppbygging for godkjennende instanser, verkstedspersonell med videre. Hele prosjektet vil typisk ha en ramme på minimum fem år, og anskaffelse av kjøretøy bør i tid måtte forekomme tett opp til mulig markedspenetrering i større skala.

6.4 Fase 3: Innfasing av virkemiddelbruk

Når teknologien er moden for markedsintroduksjon vil det være nødvendig med avgiftsincentiver og andre favoriserende tiltak for å hjelpe hydrogen og hydrogenkjøretøy inn i transportmarkedet. Avgiftsfordelene må imidlertid utformes slik at uønskede vridninger i forhold til konvensjonelle teknologier unngås. Gruppen ønsker derfor ikke å fremme konkrete forslag om avgiftsendringer i forhold til dagens system. Slike endringer må vurderes i en bredere avgifts- og miljøpolitisk sammenheng.

Gruppen mener imidlertid at fritak for engangsavgift for nullutslippsbiler sannsynligvis er nødven-

dig for å stimulere til innfasing av slik teknologi. Alle teknologier med samme egenskaper bør imidlertid ha like rammebetingelser. «Fødselshjelp» i form av avgiftsfritak er et godt virkemiddel men må forbeholdes utprøvet, ny teknologi. Offentlig subsidiering av kjøretøy for tidlig bruk av hydrogen bør fortrinnsvis skje direkte i form av investeringsstøtte eller prosjektfinansiering, og ikke indirekte via avgiftssystemet.

På samme måte som for naturgass i dag, bør også hydrogen være avgiftsfritt inntil drivstoffet har penetrert markedet og kan konkurrere på like vilkår. Avgiftsnivået bør da avspeile miljøegenskapene. På sikt må drivstoffet kunne konkurrere på like vilkår basert på nøytrale avgiftskriterier.

Ved offentlig kjøp av transporttjenester mener gruppen man bør se på muligheter for å sette krav til teknologi og/eller drivstoff for slik å bidra til økt bruk av hydrogen og brenselcelleteknologi. Dette kan være aktuelt for både kjøp av ferjetransport og busstransport.

Gruppen mener det må være et mål at nye hydrogenkjøretøy erstatter konvensjonelle kjøretøy når de introduseres i markedet. For stor stimulering til bruk av slike kjøretøy kan i verste fall lede til at de kjøpes som ekstrabiler. Gruppen mener likevel at stimulering til bruk av ny teknologi gjennom for eksempel gratis parkering, gratis passering av bomstasjoner og adgang til å kjøre i kollektivfelt kan være verdifulle bidrag til å framskynde markedsintroduksjon. Slike tiltak, som i dag i stor grad er gjeldende for elbiler, bør vurderes som en framtidig drahjelp for hydrogen og hydrogenbiler.

6.5 Oppsummerende konklusjoner og anbefalinger

Ekspertgruppen anbefaler at Norge satser målrettet mot overgang til bruk av hydrogen i transportsektoren. Aktiv norsk politikk på dette området vil kunne gi betydelige økonomiske gevinster i tillegg til de miljømessige gevinstene som vil slå ut særlig på noe lengre sikt. Det innebærer at det allerede nå må utformes og føres en aktiv politikk på dette området. Ekspertgruppen anerkjenner den utfordringen det er å skissere innholdet i en hydrogensatsning for Norge som dekker alle aspekter. Ved en etablering av et nasjonalt handlingsprogram for hydrogen, vil det i en oppstartsfase være behov for detaljering av ekspertgruppens anbefalinger. I en slik prosess anbefales det at et representativt tverr-

snitt av aktører i transportsektoren, bredere sammensatt enn ekspertgruppen, er representert.

Nå – og fram mot masseproduksjon av hydrogenkjøretøy

- Det må **etableres en organisasjon** som kan bidra til å utvikle og implementere en nasjonal hydrogensatsing inklusive bruk av hydrogen i transportsektoren. Dette er nødvendig for å sikre en helhetlig virkemiddelbruk på tvers av sektorer.
- Det må satses målrettet på **forskning og utvikling** med betydelige årlige bevilgninger. Ulike typer utviklingsprosjekter vil være nødvendig, blant annet for å utvikle teknologi og forbedrede produkter, utvikling og testing av gode systemløsninger.
- Det er viktig å gjennomføre **demonstrasjonsprosjekter** for å høste erfaringer, skape brukeraksept og utvikle nasjonal kompetanse og regelverk.
- Offentlig subsidiering av kjøretøy for tidlig bruk av hydrogen bør fortrinnsvis skje direkte i form av **investeringsstøtte eller prosjektfinansiering**, og ikke indirekte via avgiftssystemet.

Når kjøretøyene kommer

- **Avgiftsincentiver** og andre favoriserende tiltak må benyttes for å hjelpe hydrogen og brenselcellekjøretøy inn i transportmarkedet.
- Fritak for engangsavgift for nullutslippsbiler bør videreføres. Alle teknologier med samme egenskaper bør ha like rammebetingelser og «fødselshjelp» i form av avgiftsfritak må forbeholdes ny teknologi.
- På samme måte som for naturgass i dag, bør hydrogen være avgiftsfritt inntil drivstoffet har penetrert markedet og kan konkurrere på like vilkår. Avgiftsnivået bør da avspeile miljøegenskapene.
- Ved **offentlig kjøp av transporttjenester** for busstrafikk og ferjetrafikk, bør det vurderes å sette krav til teknologi og/eller drivstoff.
- Tiltak som etter en nærmere vurdering anses som vellykket for å fremme bruk av elbiler framfor konvensjonelle kjøretøy, bør også vurderes ved en **framtidig introduksjon** av brenselcellekjøretøy i markedet, som tilgang til kollektivfelt eller gratis parkering.

Vedlegg 1

Tallgrunnlag for beregninger av scenarier for veg- og sjøtransport

1 Vegtransport

Når det gjelder personbiler har vi tatt utgangspunkt i gjennomsnittlige bensin- og dieselskjøretøy som kjører 14 000 km per år. Det er antatt en personbilkjøretøypark i år 10 på 2 millioner kjøretøy. 5 prosent scenariet forutsetter i våre beregninger en årlig vekstrate i hydrogenbruk på 109,1 prosent.

Når det gjelder bybusser har vi tatt utgangspunkt i tall fra Transportøkonomisk institutt for busspark og totale vognkilometer per år i aktuelle byområder. For Bergen mangler vi gode tall og har i dette tilfellet gjort et grovt anslag. Tabell 1.1. viser tallgrunnlaget for bussberegningene.

Estimert energiforbruk for personbiler gjelder ved blandet bykjøring, *European Driving Cycle* og er korrelert med data-ark som ligger til grunn for ekspertgruppens verdikjedeanalyse for 2004–2010. Det forutsettes at personbilene veier ca. 1250 kg og kan yte 70 kW.

Estimert energiforbruk for bybusser gjelder ved blandet bykjøring. Drivstofforbruk for bybusser relateres til at bybusser i Trondheim i 2000 brukte 4,2 l diesel per mil. Dette er omtrent det samme energiforbruket som ved kjøring av en Braunzweig kjøresyklus for bybusser. Det estimerte drivstofforbruket for bybussene er korrelert med data-ark og verdianalysen for 2004–2010, jf.

vedlegg 3. Det forutsettes at drivlinjen for bybusser kan yte 200 kW.

Energiforbruket har en størrelse som vi mener vil være teknisk mulig å oppnå med best mulig teknologi i 2020. For noen kjøretøy og noen drivlinjer har vi estimert en fortsatt teknisk utvikling og lavere energiforbruk enn hva som er angitt i ekspertgruppens verdianalyse for 2010. For andre drivlinjer er estimatene for 2010 så optimistiske at vi ikke ser noen god grunn til ytterligere reduksjon i energiforbruk. Alle drivlinjer med elektrisk hybridteknologi har *strong* hybridløsning for optimal energiutnyttelse.

Usikkerheten i estimatene oppskattes til $\pm 15\%$.

Estimert energiforbruk for utvalgte kjøretøygrupper i 2020¹

- Personbil bensin bruker i gjennomsnitt 1,8 MJ drivstoff per km.
- Personbil bensin – hybrid bruker i gjennomsnitt 1,3 MJ drivstoff per km.
- Personbil H2-FC bruker i gjennomsnitt 1,0 MJ drivstoff per km.
- Personbil diesel bruker i gjennomsnitt 1,4 MJ drivstoff per km.

1. Kilde: Transportøkonomisk institutt

Tabell 1.1 Tallgrunnlag for bussberegninger.

Byområde	1000 vogntkm	Busspark	Vogntkm/buss
Kristiansand (TØI)	7 408	120	61 733
Sarpsborg/Fredrikstad (TØI)	4 909	100	49 090
Stavangerregionen (TØI)	11 661	220	53 005
Bergen	16 961	320	53 005
Tromsø (TØI)	6 091	124	49 121
Trondheim (TØI)	8 105	194	41 778
Akershus (Kilde: SL)	23 673	537	44 084
Bussdrift i regi av Oslo sporveier (Kilde: Oslo sp.v)	16 000	240	66 667
Sum, Gj.snitt	94 808	1 855	52 310

- Personbil H2-ICE bruker i gjennomsnitt 1,7 MJ drivstoff per km.
- Personbil H2-FC hybrid bruker i gjennomsnitt 0,86 MJ drivstoff per km.
- Personbil diesel-hybrid bruker i gjennomsnitt 1,1 MJ drivstoff per km.
- Buss diesel bruker i gjennomsnitt 14 MJ drivstoff per km.
- Buss diesel-hybrid bruker i gjennomsnitt 9,5 MJ drivstoff per km.
- Buss H2-FC bruker i gjennomsnitt 9 MJ drivstoff per km.
- Buss H2-ICE bruker i gjennomsnitt 15 MJ drivstoff per km.
- Buss H2-FC hybrid bruker i gjennomsnitt 7 MJ drivstoff per km.

2 Forutsetninger for sjøtransport

Samlet bunkerssalg til innenriks sjøfart utgjør ca. 1559 mill liter eller ca. 1,3 mill tonn. Inkludert i dette er ca. 470 tusen tonn til fiske og fangst. Tidligere studier av SSB har vist at totalt forbruk ikke tilsvarende totalt salg. Avviket fra salgsstatistikken er vanskelig å kvantifisere, men ble i 2001 vurdert til å være ca. 10 prosent (utslippsstudie av SSB basert på tall for 1998). I denne scenarioskissen er vekst i årlig forbruk ikke tatt i betraktning ved ekstrapolering inn i fremtiden, og avvik mellom salgstall og reelle forbrukstall ikke hensyntatt. Som en ytterligere forenkling er fordeling av forbruket mellom ulike sektorer i skipsfart antatt lik den som ble etablert av SSB i deres studie fra 2001.

Med utgangspunkt i forbruks- og flåtestatistikk er ferjer, supply- og fiskefartøy vurdert som alter-

native segmenter som kan ha mulighet til å benytte hydrogen som drivstoff. Nødvendig volum hydrogen og andel av eksisterende flåte som må inkluderes er beregnet. Flåtestatistikk og beregnet drivstofforbruk for de ulike flåtesegmenter framgår av tabell 1.2.

Gjennomsnittlig bunkersforbruk for ferjer er beregnet basert på statistikk fra Vegdirektoratet for ferjeflåten for 1998. For supplyfartøy er gjennomsnittsforkbruk antatt basert på prosjekteringsdata og gitt driftsprofil for et typisk PSV fartøy. For fiskefartøy er bunkersforbruket beregnet ut fra rapporterte driftsutgifter til drivstoff. Det betyr at forbruksdata for supply- og fiskefartøyer er å betrakte som anslag, men som gir en indikasjon på fordelingen av de årlige bunkersforbruk mellom de tre fartøykategorier som diskutert. Alle forbruksdata er estimert på linje med studie utført av SSB i 2001.

Referanser

Statistisk årbok for Oslo 2002

Rideng, Arne: Transportytelser 2003, Transportøkonomisk institutt.

Vibe, Nils: Bytransport under ulike vilkår, Transportøkonomisk institutt 653/2003.

Opplysningsrådet for vegtrafikken AS

Statistisk sentralbyrå, Statistikk handelsflåte, utslippsstatistikk

Fiskeridirektoratet, fangsstatistikk

Tornsjø; Utslipp til luft fra innenriks sjøfart, fiske og annen sjøtrafikk mellom norske havner, SSB rapport 2001/6

Diverse MARINTEK rapporter, energibruk supply og ferge.

Tabell 1.2 Flåtestatistikk og beregnet drivstofforbruk for de ulike flåtesegmenter.

	Størrelses-klasse	Antall fartøy	Gj.snitt. Bunkers-forbruk tonn/år	Årlig bunkersforbruk, alle fartøy tonn/år
Ferje	< 50pbe	79	297,5	23 502,5
Ferje	50–100 pbe	56	856,8	47 980,8
Ferje	101–150 pbe	21	1 713,6	35 985,6
Ferje	> 151 pbe	5	3 046,4	15 232
		161		122 701

For ferger bør totalt forbruk være ca. 130 mill liter, totalt ca. 9 % av total for alle ferger

Supply	< 1 000	13	800	10 400
	1 000–3 000	16	800	12 800
	3 000–5 000	30	1 600	48 000
	5 000–7 500	25	2 500	62 500
	7 500–10 000	24	3 500	84 000
	> 10 000	16	4 250	68 000
		124		285 700

For supply bør totalt forbruk være drøyt 200 tusen tonn, totalt ca. 15 % av total

Fiskefartøy	< 10 m	7 361	1	7 361
Fiskefartøy	10–14,99m	2 248	20	44 960
Fiskefartøy	15–20,99 m	462	39	18 018
Fiskefartøy	21–27,99 m	261	160	41 760
Fiskefartøy	> 28	6	160	960
Fiskefartøy	>30	46	460	21 160
Fiskefartøy	>35	47	460	21 620
Fiskefartøy	>40	54	600	32 400
Fiskefartøy	>45	42	800	33 600
Fiskefartøy	>50	28	1 000	28 000
Fiskefartøy	>55	21	1 300	27 300
Fiskefartøy	>60	73	1 600	116 800
				393 939

For supply bør totalt forbruk være drøyt 400 tusen tonn, totalt ca. 30 % av total

Vedlegg 2

Sikkerhet og regelverk

DNV Det Norske Veritas

Gerd Petra Haugom Angunn Engebø, Torill Grimstad Osberg og Eirik Andreassen

1 Sikkerhetsrelaterte egenskaper for hydrogen

I det følgende er det gitt en oppsummering av relevante fysiske og sikkerhetsrelaterte egenskaper for hydrogen og sammenligninger med andre relevante drivstoff som naturgass, bensin og diesel. En sikkerhetsmessig sammenligning av hydrogen med andre relevante stoffer må ta hensyn til en totalvurdering av de faktorer som påvirker sannsynligheten for uhellsutslipp og mulige konsekvenser av slike utslipp. I enkelte situasjoner kan hydrogen være tryggere enn konvensjonelle drivstoff, mens det i andre situasjoner vil være større risiko forbundet med hydrogen enn med konvensjonelle drivstoff.

Hydrogen er den letteste av alle gasser (7), med de minste molekylene. Hydrogengass vil ha en høy volumetrisk utstrømningsrate; mer enn 3 ganger høyere enn propan eller metan under ellers like forhold (trykk, hullstørrelse).

De små molekylene kan også diffundere inn i metall. Hydrogengass (under trykk) vil derfor diffundere (langsomt) ut gjennom gassbeholdere (8). Dette er en grunn til at innendørs lagring av trykksatt hydrogen medfører spesielle utfordringer mht. sikkerhet.

Mange av de vanlige ståltypene er dessuten utsatt for såkalt hydrogen-sprøhet fordi hydrogen diffunderer inn i materialet (8). Riktig materialvalg er derfor viktig. Materialer som benyttes må derfor være spesielt testet og godkjent for bruk med hydrogen.

Hydrogen er mye lettere enn luft (7). Utendørs vil den derfor stige raskt sammenlignet med tynne gasser, som propan, eller bensindamp. Dens oppdrift og diffusjonsegenskaper (8) gjør at den raskt vil blandes med luft (fortynnes) (raskere enn alle andre gasser). Etter et utslipp av hydrogen vil derfor brann/eksplosjonsfaren avta raskt, sammenlignet med et utslipp av bensin. Miljømessig vil et utslipp av hydrogen være tilnærmet uproblema-

tisk, men det bør bemerkes at eventuelle atmosfæriske effekter (for eksempel drivhuseffekt) av hydrogen hittil har vært lite forsket på.

Hydrogengass er fargeløs og lukter ikke (8); følgelig er den vanskelig å oppdage. Hydrogengass er brennbar (7), og en blanding av hydrogen og luft (eller oksygen) kan dessuten være eksplosiv (8).

Hydrogen er brennbar i nesten alle blandingsforhold i luft: konsentrasjoner fra og med 4 prosent til og med 74 prosent hydrogen i luft er brennbare (6). Til sammenligning er metan (hovedbestanddelen i naturgass) kun brennbar i konsentrasjoner mellom 5 prosent og 15 prosent i luft. Tennenergien for hydrogen (den energimengde som kreves for å antenne en brennbar blanding) er også svært lav; kun 0.019 mJ for en støkiometrisk blanding av hydrogen i luft (4), mens den er på 0.29 mJ for en tilsvarende blanding av metan/luft og 0.25 mJ for heksan/luft (typisk komponent i bensindamp). Dette innebærer at det er meget lett å antenne hydrogen; statisk elektrisitet fra tekstiler eller en gnist fra en metallgjenstand som faller i bakken kan være tilstrekkelig. Nedre eksplosjonsgrense er imidlertid svært lik for hydrogen og metan, og nær nedre eksplosjonsgrense er også tennenergien høyere, samt tilnærmet den samme, for både metan og hydrogen (16), slik at ved lave konsentrasjoner vil tennsansynligheten være omtrent den samme for metan og hydrogen.

Flammetemperaturen er mye høyere for hydrogen enn for hydrokarboner (som naturgass og bensin består av). En ren hydrogenflamme er også nærmest usynlig i dagslys (8). Imidlertid er varmestrålingen fra hydrogenflammer betydelig mindre enn stråling fra sammenlignbare hydrokarbonflammer. Hydrogenets høye flammetemperatur, sammen med en svært høy flammehastighet (sammenlignet med hydrokarboner), innebærer også et potensial for svært høye overtrykk og endatil detonasjon ved forbrenning av hydrogen (6). Dette gjør at gassen er spesielt farlig i et lukket rom eller et delvis omsluttet område der lommer av brennbar

gass kan samles (for eksempel under tak, inntil en vegg, i et område med mange gjenstander – eller i en tunnel).

Det er viktig å ta hensyn til hydrogens fysiske egenskaper i alle faser av design, drift og vedlikehold av hydrogenholdig utstyr. Det er for eksempel ikke nødvendigvis sikkerhetsmessig forsvarlig å anta at utstyr som er godkjent for naturgass, automatisk vil være sikkerhetsmessig akseptabelt for hydrogen. En slik konklusjon må kun komme etter en strukturert sikkerhetsgjennomgang. Det er kjent at enkelte europeiske produsenter har markedsført seg som leverandører av utstyr for hydrogen, basert på erfaring fra tilsvarende for naturgass. Selv om erfaring med naturgass, i mange henseender er et godt utgangspunkt for utvikling av hydrogenapplikasjoner, er det som vist over, ingen automatikk i dette.

Sikkerhet i hydrogensystemer er tema for ISO-standarden «Safety of hydrogen systems» (9) som snart vil bli utgitt.

1.1 Erfaringer med hydrogen og sikkerhet

Hydrogen benyttes i stor grad til industriformål, for eksempel ved oljeraffinerier, som reduksjonsmiddel ved metallframstilling eller i næringsmiddelindustrien for å framstille mettede fettsyrer (margarin). Europeisk industri og norsk industri har følgelig lang erfaring med forsvarlig håndtering av hydrogen. Norsk Hydro har lang erfaring med framstilling av hydrogen ved elektrolyse. Industriens erfaringer er imidlertid i liten grad tilgjengelig utenfor eksisterende industri.

Introduksjon av hydrogen i det offentlige rom innebærer nye utfordringer. Farene som hydrogen medfører har en del likhetstrekk med de som er relevante for tradisjonelle drivstoff, spesielt med hensyn til generell brann og eksplosjonsfare, men hydrogen vil, som tidligere nevnt, oppføre seg annerledes i en del situasjoner. I en introduksjonsfase vil derfor faktorer som beredskapstiltak, opplæring og trening av personell som skal håndtere hydrogen (både rutinemessig og dersom uhell skulle skje) være viktig.

En av hovedutfordringene ved å skaffe de nødvendige tillatelser eller samtykker fra myndighetene kan være mangel på erfaring med bruk av hydrogen for ikke-industrielle eller allmenne formål, samt at det ikke finnes regelverk som eksplisitt regulerer bruk av hydrogen for allmenne formål.

På det nåværende tidspunkt har alle involverte parter begrenset erfaring med bruk av hydrogen til

person- og varetransport. Det er derfor viktig å skaffe seg erfaring og bygge opp kompetansen innen de involverte organisasjonene for å få til en effektiv godkjenningsprosess som tar høyde for sikkerhetsaspektene ved slik bruk av hydrogen. Det vil være behov for systematisk risikoarbeid, sikkerhetsstudier, og metodikk for sikkerhetsmessig kvalifisering av disse nye teknologiene de regelverk og standardiserte godkjenningsordninger mangler. Og der hvor det finnes standarder for de enkelte deler av en løsning, må man likevel gjøre en sikkerhetsvurdering av helheten.

Norsk industri har vært og er involvert i europeisk sikkerhetsarbeid tilknyttet nye bruksområder for hydrogen, som the European Integrated Hydrogen Project¹ (EIHP2), HYPNET² og HySafe (19). Norsk Hydro og Stor-Oslo Lokaltrafikk har også hatt utrednings- og forsøksprosjekter med bruk av hydrogenbuss samt fyllestasjoner for hydrogen, og flere sikkerhetsstudier er gjort i den forbindelse. Nye demonstrasjonsprosjekter er også under planlegging.

Stor-Oslo Lokaltrafikk (SL) har en visjon om et utslippsfritt kollektivtilbud i 2020. I forbindelse med SLs planer om et 12–24 måneders demonstrasjonsprosjekt av en brenselcelledrevet hydrogenbuss i Oslo i 2003/4 utførte DNV en sikkerhetsstudie. Denne studien (2) behandlet alle relevante operasjonelle faser, og identifiserte relevant regelverk. Studien konkluderte med at operasjon av den planlagte brenselcelledrevne hydrogenbussen kan bli like sikker som tilsvarende drift av en konvensjonell buss, forutsatt implementering av identifiserte risikoreduserende tiltak. På det tidspunkt da denne studien ble utført, var det kun en hydrogenbuss i drift i Europa. Erfaringene med hydrogenbusser er atskillig større nå, blant annet basert på de pågående demonstrasjonsprosjektene CUTE³ og ECTOS⁴ der i alt 30 hydrogenbusser testes i 10 europeiske storbyer (med tilhørende hydrogen infrastruktur). Det vil derfor ikke nødvendigvis være behov for implementering av alle tiltak identifisert i denne tidlige fase studien for å oppnå et tilfredsstillende sikkerhetsnivå.

Norsk Hydro har opparbeidet europeiske erfaringer gjennom ansvar for arbeidspakken om sikkerhet og kvalitet i det EU støttede CUTE (Clean Urban Transport for Europe) prosjektet. I løpet av de 2–3 årene dette demonstrasjonsprosjektet varer

1. www.eihp.org

2. <http://www.hypnet.info/>

3. <http://www.fuel-cell-bus-club.com/>;

http://europa.eu.int/comm/energy_transport/en/prog_cute_en.html#cute

4. <http://www.ectos.is/>

vil data om sikkerhet og pålitelighetsforhold bli samlet systematisk ved hjelp av måleindikatorer (18). Disse erfaringene vil være av stor nytte i videre utvikling av standarder og regelverk for transportsektoren. Norsk Hydro har utført sikkerhetsstudier i forbindelse med ECTOS prosjektet i Reykjavik. Her er en hydrogen fyllestasjon basert på produksjon av hydrogen fra elektrolysører fra Norsk Hydro Electrolysers nå i drift.

HyNor⁵-initiativet har som mål å bygge ut hydrogen infrastruktur mellom Oslo og Stavanger.

DNV gjennomførte i 2002/2003 en sikkerhetsvurdering av to planlagte hydrogenproduksjons- og fyllestasjoner for Hydro Energi (1). Rapporten er basert på et konsept med produksjon av hydrogen på fyllestasjonen (i Oslo ved elektrolyse; i Stavanger fra naturgass via syntesegass). Hydrogen lagres i flaskebatterier og fylling forutsettes gjort i en automatisert operasjon som er sikret mot feilbetjening. Rapporten konkluderer med at lagring av hydrogen utgjør det største risikobidraget, men at Hydro Energis foreslåtte lagringskonsept med batterier av 25 kg beholdere vil være relativt sikkert forutsatt at man sørger for segregering av kunder/besøkende fra produksjon/lagring og har god kontroll med potensielle tennkilder. Det bør bemerkes at man på hele 1900-tallet har benyttet hydrogen lagret på gassflasker (også innendørs) i industri og ved forskningsinstitusjoner etc., uten at dette betraktes som spesielt risikofyllt.

DNV gjennomførte i 2003 også en sikkerhetsvurdering av en fyllestasjon for hydrogen, eid av Berlins busselskap BVG i samarbeid med TOTAL (12). Anlegget har fyllestasjon både for flytende hydrogen (levert av Linde) samt for gassformig hydrogen, produsert på stedet i et anlegg levert av Pronova. Anlegget for flytende hydrogen er et kommersielt anlegg hvor Lindes erfaring som leverandør av gasser til industrien har resultert i praktiske løsninger på sikkerhetsmessige utfordringer. Hydrogengassanlegget er et pilotanlegg (basert på elektrolyse) og med sikkerhetsløsninger som kanskje ikke vil være hensiktsmessige i stor skala. Begge anleggene ble vurdert som sikkerhetsmessig akseptable. Men det ble identifisert noen utfordringer. (Blant annet behov for stans i all aktivitet på anlegget hvis uønsket hendelse ved et fyllpunkt – noe som også vil være relevant for eksempel ved hydrogenfyllestasjon på en bensinstasjon.) Anlegget er dessuten kun for bruk av sjåfører/personell med spesiell opplæring, og for kontinuerlig overvåkning av driftspersonell.

Også ved andre hydrogenfyllestasjoner som er i bruk i dag utføres tanking av stasjonens personell eller er kun for en fast flåte av kjøretøy, hvor sjåførene har spesiell opplæring. Hvis hydrogen en gang skal kunne fylles av «vanlige bilførere» på ubemannede stasjoner, bør man vurdere behovet av å legge «hydrogenfyllekurs» inn i kjøreopplæringen.

NH, Raufoss og DNV er norske partnere i EIHP2, som er et prosjekt i EUs 5 rammeprogram. I dette prosjektet har DNV og NH vært tungt involvert blant annet med sikkerhetsstudier av alternative konsepter for produksjon av hydrogen på fyllestasjoner (11). Sikkerhetsstudiene har vurdert reformering av naturgass, ammoniakk, metanol, samt fyllestasjoner der hydrogenet tilføres via rørledning eller tankbil. Resultatene fra disse studiene har gitt sikkerhetsmessige innspill til regelverk for hydrogen fyllestasjoner som er under utarbeidelse i EIHP2.

Historisk sett har erfaring med hydrogen bidratt til dagens regelverk. Så tidlig som i 1894 (!) skjedde det en ulykke på Berlins flyplass Tempelhof (16) der 1000 hydrogengass-sylindere var lagret i et skur da 400 sylindere revnet/eksploderte, og forårsaket store skader. Ulykken ble etterforsket og hovedårsaken ble funnet å være at sylindrene var laget av et materiale som ikke var egnet for hydrogen. Etterforskningen resulterte i en rekke forslag for å forebygge tilsvarende hendelser; flere av dem ble en del av et kvalitetssikringsprogram som ble basis for den tyske trykkbeholderkoden. Denne er igjen del av basisen for det europeiske trykkbeholderdirektivet (se kap. 16.2.1.2) og norsk forskrift om enkle trykkbeholdere (se kap. 16.2).

Flere norske aktører (DNV, GexCon og NH) har involvert seg i HySafe som er et større europeisk nettverk for hydrogen og sikkerhet støttet av EUs 6. rammeprogram (19). Nettverket starter i 2004 og vil være av fem års varighet. Fokus for de 26 partnerne fra i alt 14 europeiske land blir blant annet å utvikle felles forståelse, metoder og tilnærningsmåter for behandling av problemstillinger rundt hydrogen og sikkerhet. Fra EUs side er det uttrykt forventninger om at initiativet skal resultere i et felles europeisk «senter» for hydrogen og sikkerhet.

1.2 Sikkerhetsaspekter relatert til hydrogen for transportformål

Systematisk sikkerhetsarbeid er viktig for å unngå uhell og sikre akseptable sikkerhetsforhold i den nåværende fasen med introduksjon av nye teknolo-

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

gier og applikasjoner for hydrogen og nullutslipps-teknologi, spesielt i det offentlige rom.

Det er flere mulige tilnærmingemetoder, som bør være integrert som en del av en bedrifts systematiske Helse, Miljø, og Sikkerhetsarbeid (HMS) for eksempel:

- Riskikooanalyser
- Sikkerhets-kvalifisering av ny teknologi
- Sertifisering av utstyr

For å sikre lav, og akseptabel risiko, er det alltid viktig at sikkerhetsarbeidet utføres systematisk, og at det inkluderer alle relevante aspekter. For innføring av hydrogen som drivstoff vil dette inkludere aspekter relatert til alle operasjons faser relatert til utstyr som inneholder eller kommer i kontakt med hydrogen. Det vil også inkludere vurdering av behov for sikring mot sabotasje, uvitenhet, krav til robusthet for systemer med mer.

Hva er sikkert nok?

Dette er et meget relevant spørsmål. *Oppfatningen* av hva som er sikkert nok vil være forskjellig for forskjellige typer mennesker, avhengig for eksempel av om man eksponerer seg frivillig for risikoen eller om den er påtvunget. Kjente situasjoner blir ofte oppfattet som mindre risikofylte enn ukjente, selv om en risikovurdering i en del tilfeller kan vise at virkelig risiko kan være størst for den kjente situasjonen. Mennesker har derfor generelt en subjektiv oppfatning av risiko. Det er derfor mulig at det å ta i bruk hydrogen som drivstoff, kan bli oppfattet som «farlig» selv om det ikke nødvendigvis vil innebære en økt generell risiko sammenlignet med bruk av dagens drivstoff.

Et interessant spørsmål å stille seg, er om dagens drivstoffbruk i transportsektoren – samt bilbruk generelt, fyllestasjoner og annen veitran-sport ville blitt akseptert hvis det hadde blitt introdusert i dag. Da dagens drivstoff i dagens biler, og dagens infrastruktur generelt blir oppfattet som akseptabel m.h.t risiko, er risikonivået forbundet med dagens teknologi et naturlig utgangspunkt for sikkerhetsvurderinger av biler og infrastruktur basert på hydrogen.

Som en del av EIHP-prosjektet (European Integrated Hydrogen Project) er det utarbeidet forslag til akseptkriterier for hydrogenfyllestasjoner. Arbeidet er beskrevet i rapporten «Risk acceptance criteria for Hydrogen refuelling stations» (10). Akseptkriterier ble her utarbeidet ved å sammenligne med den generelle risiko i samfunnet. Dette først og fremst fordi det ikke finnes relevant statistikk eller analyser av risikoen forbundet med ben-

sinstasjoner og bruk av bensin som drivstoff. Dessuten sikrer man slik at kriteriet om at risikonivået for bruk av hydrogenutstyr er tilsvarende eller lavere enn for ellers sammenlignbart «ikke-hydro-gen»-utstyr.

Akseptkriterier vil vanligvis være forskjellige for ulike grupper av eksponerte personer. De som har direkte (økonomisk) nytte av aktiviteten som medfører risiko (første part) vil akseptere høyere risiko enn de som ikke har noen nytte av den (tredje part).

Hovedkriteriet for samfunnet generelt (tredje part) ble satt basert på at hydrogenfyllestasjoner ikke skal føre til mer enn 1 prosent økning i samfunnets «naturlige» fatalitetsrate. Aldersgruppen 5 til 14 år har den laveste fatalitetsraten og ble benyttet som basis, og akseptkriteriet ble fastsatt til et dødsfall pr en million innbyggere pr år. Det ble dessuten foreslått kriterier som gir en aversjon mot storulykker: En ulykke med ti drepte er tilsvarende akseptabelt som hundre ulykker med en drept.

Lagring av hydrogen

For lagringsformål, har hydrogen det mest fordelaktige energi til vekt forholdet av alle drivstoff. Siden hydrogen også er det aller letteste stoffet, og har meget lav tetthet ved atmosfæretrykk, er det en utfordring å finne lagringsformer for hydrogen som er lite plasskrevende og samtidig tilfredsstillende krav til funksjonalitet og sikker lagring.

Hvilke krav som stilles for lagring avhenger av anvendelsen. Bilindustrien ønsker en lagringsform som tilfredsstillende krav til både lavt volum og lav vekt. Det forventes at lagringsmetoden skal ha kapasitet til lagring av tilstrekkelig hydrogen for en kjørelengde på mellom 400 og 500 km mellom oppfylling (17).

For stasjonære applikasjoner, og til en viss grad maritime, er ikke lav vekt like viktig. Fremtidige hydrogen fyllestasjoner vil ha krav til blant annet fleksibilitet og responstid, slik at fylling kan skje raskt og ta hensyn til et variabelt trafikkmønster. For en typisk hydrogen fyllestasjon har behovet for hydrogen blitt estimert til 2–3 tonn per dag⁶.

Sikre lagringsforhold under alle relevante belastninger og forhold er viktig for alle energibærere. For en ny energibærer som hydrogen, er det spesielt viktig at sikkerhetsutfordringene kartleg-

6. Estimate is based on energy conversion from conventional fuels and typical demands on conventional refuelling stations. EIHP2 Mid Term Assessment Workshop, WP2 Refuelling Station Breakout session, 2.oct 2002.

ges systematisk, slik at risikoen for uforutsette og uønskede hendelser kan kontrolleres. Risikoen ved lagring av hydrogen avhenger av en rekke faktorer. En viktig faktor er lagringsform. Dette blir diskutert nærmere i det følgende. Felles for alle tilgjengelige metoder for lagring av hydrogen, er at de fremdeles er under utvikling. Siden de forskjellige lagringsmetodene har forskjellige styrker og svakheter, kan det forventes at forskjellige anvendelser i fremtiden vil anvende forskjellige lagringsformer.

US Department of Energy⁷ (US DoE) har utviklet en referansedatabase om forskning på teknologier for hydrogenlagring.

Flytende hydrogen

For øyeblikket oppnås den høyeste kommersielle lagringstettheten ved lagring av hydrogen i væskeform. For kjøretøy betyr dette potensielt større kjørelemlengde mellom hver fylling. Siden flytende hydrogen koker ved -253 °C, må lagertankene isoleres godt for å minimere fordampning av hydrogenet. Typisk sies det at 1–2 prosent av hydrogenet vil fordampe per døgn selv i godt isolerte tanker⁸. I praksis vil det ofte kreves et system for avkokhåndtering for å unngå netto avdampning av hydrogen. Dersom en ikke har et slikt system, og for de betingelser systemet ikke vil være i drift, må det vurderes om den avdampede hydrogengassen medfører noen potensiell risiko for systemet og omgivelsene. For å kunne kreditere et avkokhåndteringssystem med hensyn til økt sikkerhet, kan det også være behov for en vurdering av påliteligheten til systemet. Det forventes at hydrogenbiler med hydrogenlagring i væskeform, vil ha krav til et slikt system med kapasitet til rekondensering av det hydrogen som vil fordampe under normale driftsforhold⁹.

En potensiell risikofaktor forbundet med lagring av hydrogen som væske, er den sterke volumetriske ekspansjonen av hydrogen under fordampning. Dersom hydrogenet er i et lukket rom uten tilstrekkelig kapasitet til trykkavlastning, kan uønskede høye trykk oppstå.

En annen konsekvens av den lave temperaturen er at alle gasser unntatt helium vil kondensere (og potensielt også fryse) ved eksponering til slike temperaturer. Kontakt med bar hud, vil derfor heller ikke være heldig. Risiko for slik kontakt, forven-

tes imidlertid kun ved lekkasje av flytende hydrogen. Siden hydrogen normalt vil fordampe meget raskt, og hydrogengass normalt vil stige og blande seg raskt med luft, anses denne risikoen normalt som håndterbar.

Prosessen med å kondensere hydrogen til væskeform estimeres typisk til å ha et energiforbruk i området 20 – 30 prosent av energiinnholdet (17) i hydrogen.

Hydrogen under høye trykk

I EU prosjektet EIHP, har et betydelig arbeid blitt nedlagt for å komme frem til et optimalt lagringstrykk for lagring av hydrogen som komprimert gass i kjøretøy¹⁰. En faktor som driver utviklingen mot høyere lagringstrykk, spesielt med henblikk på bruk av hydrogen som drivstoff i kjøretøy, er at nødvendig lagringsvolum for ønsket mengde hydrogen reduseres med økende trykk. For tiden er standard lagringstrykk 300 – 350 bar. En 700 bars gass-sylinder har imidlertid blitt sertifisert etter Europeisk og Nord Amerikansk regelverk, av TÜV i Tyskland¹¹. Det er i denne forbindelse verd å merke seg at en lokal tysk TÜV godkjenning ikke automatisk impliserer at alle relevante sikkerhetsforhold er klarlagt.

Arbeid med lagringstrykk opp mot 700 bar viser at slike trykk medfører nye utfordringer. For lagring av komprimert hydrogen i sylindriske tanker, vil sylinderveggene bli tykkere sammenlignet med diameteren med økende trykk. Hydrogen oppfører seg som en ikke-ideell gass ved slike høye trykk. Andre utfordringer er forbundet med materialegenskaper, materialvalg og fremstillingsteknologi. Sylinderdesign vil også påvirke temperaturendringer under rask fylling. Tester av slike operasjoner har gitt temperaturer som utløser det automatiske trykkavlastningssystemet i dagens sylindere (ca. 82 °C)¹². Dette indikerer at dagens systemer ikke nødvendigvis vil ha tilstrekkelig pålitelighet for hydrogenanvendelser med høyt trykk og høye temperaturer. Dermed kan hydrogen slippe ut til omgivelsene i tilfeller det ikke vil være nødvendig for å hindre uønsket trykkoppbygging i trykkbeholdere.

Sikkerhetsmessig er uhellsutslipp både direkte fra beholdere der hydrogen er lagret under høyt trykk og fra utstyr direkte forbundet med slike

7. <http://www.eere.energy.gov>

8. http://europa.eu.int/comm/research/energy/nn/nn_rt_hy4_en.htm

9. EIHP LH2 draft rev 12 unofficial (20.06.2002).

10. www.eihip.org

11. GM press release 29 july 2002. <http://www.dwv-info.de/wss/wse024.htm#Mit%20Stempel>

12. Rau, S., Dynetek Europe. Invited presentation on Infrastructure. EIHP2 Mid Term Assessment Workshop, Brussels, 2. oct. 2002.

beholdere en hovedutfordring. Det mest effektive tiltaket for å kontrollere denne risikoen er et systematisk sikkerhetsarbeid for å minimere sannsynligheten for slike ukontrollerte utslipp. På grunn av at hydrogen er lettantennelig, og de potensielle konsekvensene av dette, spesielt i form av eksplosjonsfare i lukkede eller delvis lukkede rom, vil det i de fleste tilfeller også være påkrevd med en systematisk konsekvenskartlegging. Det vil det oftest også være nødvendig å vurdere hvilke krav som skal stilles til trykkavlastning (hva slags hendelser som skal initiere automatisk trykkavlastning, hvor raskt det skal skje og hvor gassen skal ledes).

Komprimering av hydrogen til høye trykk krever typisk omtrent 10 prosent av energiinnholdet i hydrogenet. Lagringstrykket påvirker ikke dette tallet i særlig grad.

Andre lagringsmetoder

Det forskes på utvikling av metoder for lagring av hydrogen i metallhydrider, karbonbaserte nanostrukturer, kjemiske blandinger rike på hydrogenbindinger, blandet med andre drivstoff, og i materialer som absorberer hydrogen. En hovedgrunn til denne interessen er at lagring av hydrogen i faste stoffer ses på som den metoden som har potensial til å bli mest effektiv både med hensyn på lite lagringsvolum og energieffektivitet. Sikkerhetsmessig er det også en rekke fordeler; spesielt med hensyn på lekkasjesikkerhet og at risiko for utslipp av gass under høyt trykk unngås. En grunn, er at det kan bli mulig å lagre hydrogen uten de energitap som lagring i væskeform eller som trykksatt gass medfører. For lagringsmetoder som involverer kjemikalier, må sikkerhetsvurderinger av disse stoffene inkluderes for å få et helhetsbilde av sikkerhetsforholdene. Ulemper inkluderer høy vekt, utfordringer med reversibilitet, pris og tilgjengelighet.

Lagring i metallhydrider baserer seg på observasjonen at enkelte metaller teoretisk kan absorbere opp til ett tusen ganger sin egen vekt i hydrogen ved oppvarming. Etter nedkjøling vil hydrogenet dermed være lagret i stabil form i metallstrukturen. IFE (Institutt for Energiteknikk) er langt fremme innen dette fagfeltet.

2 Standarder og regelverk

2.1 Internasjonalt arbeid med standarder og regelverk for hydrogen

Som beskrevet i kapittel 15.1 er hydrogen vesentlig forskjellig både fra flytende drivstoff og fra naturgass. Regelverk, og spesielt standarder, utarbeidet for naturgass som drivstoff vil derfor trenge endringer for å være egnet for hydrogen.

For at regelverket ikke skal blokkere for nye løsninger og for at sikkerhetstiltakene skal kunne tilpasses forholdene lokalt må regelverket basere seg på funksjonskrav/demonstrasjon av sikkerhetsnivå heller enn detaljkrav. EU-direktiv er normalt kun rammeregulering, mens detaljkrav finnes i standardene.

Det er da sterkt å anbefale at norsk industri deltar i utviklingen av europeiske standarder for hydrogenapplikasjoner. Kunnskap om og mulighet til påvirkning av europeiske og internasjonale aktiviteter for utarbeidelse av regelverk og standardiseringsarbeid er viktig for norsk industri og norske interesser. Dette gjelder for eksempel produsenter av produksjonsanlegg og aktører innen distribusjon og salg, og produsenter, for eksempel av deler til hydrogenanlegg deriblant biler. For eksempel kan sikkerhetsmessige utfordringer med hydrogen i noen tilfeller ivaretas ved design eller med tilstrekkelig fysisk avstand. Dette er et sikkerhetstiltak som egner seg godt i store deler av Norge, men er mindre egnet i folkerike Mellom-Europa. Teknologien er under utvikling, og der er derfor viktig med utvikling av et regelverk som ikke blokkerer for nye, gode løsninger, og som har tilstrekkelig fleksibilitet til å ta hensyn til relevante lokale forhold.

Standarder blir utviklet av nasjonale og internasjonale standardiseringsorganisasjoner, blant annet ISO, International Electrotechnical Commission (IEC), NFPA og ASME. Industri og andre organisasjoner kan her gi råd om tekniske løsninger, rutiner etc. Standarder er ikke juridisk bindende i Europa, men industrien ser allikevel på standarder som meget sentrale for å sikre fri flyt av varer og tjenester over landegrenser. Regelverk og standarder i USA, EU-landene og Asia blir vanligvis ikke harmonisert med hverandre. Dette skaper lett handelsbarrierer mellom disse områdene.

Flere detaljerte standarder er under planlegging og utarbeidelse for å sikre en homogen og sikker utvikling av hydrogenteknologi, for eksempel i:

- ISO technical committee – TC 197 – «Hydrogen Technologies» arbeider med standardisering av systemer og utstyr involvert i produksjon,

lagring, transport, måling og bruk av hydrogen i en rekke arbeidsgrupper¹³.

- IEC technical committee – TC 105 – «Technologies of fuel cell technologies for both stationary and mobile applications»¹⁴

(18) gir en oversikt over pågående relevant standardiseringsarbeid innen ISO og IEC. EIHP prosjektet har også gitt ut en oversikt over relevant standardiseringsarbeid. Det samarbeides internt i ISO mellom ISO/TC 197 og ISO/TC 22, ISO/TC58 og ISO/TC220. Samarbeid er også etablert mellom ISO/TC 197 og IEC/TC 105. Harmonisering mellom ISO/IEC og europeiske/internasjonale standarder på hydrogenområdet er imidlertid mangelfull. Dette peker på viktigheten av europeisk- og norsk involvering i internasjonalt standardiseringsarbeid.

I Nord-Amerika, er organisasjoner som the National Hydrogen Association (NHA), the Canadian Hydrogen Association, the National Fire Protection Association (NFPA), the American National Standards Institute (ANSI), og the American Society for Mechanical også involvert i utvikling av standarder. IGC (International Gas Association) har så langt ikke vært involvert i slikt arbeid.

2.2 Regelverk for hydrogen kjøretøy

European Directive 70/156/CE «type-approval of motor vehicles and their trailers» inkluderer i dag ikke hydrogenkjøretøy. For å imøtekomme dette er UNECE-regelverk (United Nations Economic Commission for Europe) under utarbeidelse. Dette regelverket vil imidlertid ikke omfatte brenselcelle-kjøretøy.

13. ISO/TC 197 – Hydrogen Technologies:

ISO 13984 Liquid hydrogen – Land vehicle fuelling system interface: 1999

ISO 14687 Hydrogen fuel – Product specification: 1999/Cor 1:2001

TC 197/WG 1 Liquid hydrogen – Land vehicles fuel tanks

TC 197/WG 5 Gaseous hydrogen – Land vehicle filling connectors

TC 197/WG 6 Gaseous hydrogen and hydrogen blends – Land vehicle fuel tanks

TC 197/WG 7 Basic considerations for the safety of hydrogen systems

TC 197/WG 8 Hydrogen generators using water electrolysis process

TC 197/WG 9 Hydrogen generators using fuel processing technologies

TC 197/WG10 Transportable gas storage devices – Hydrogen absorbed in reversible metal hydride

TC 197/WG 11 Gaseous hydrogen – Service stations

ISO/TC 22 – Road Vehicles

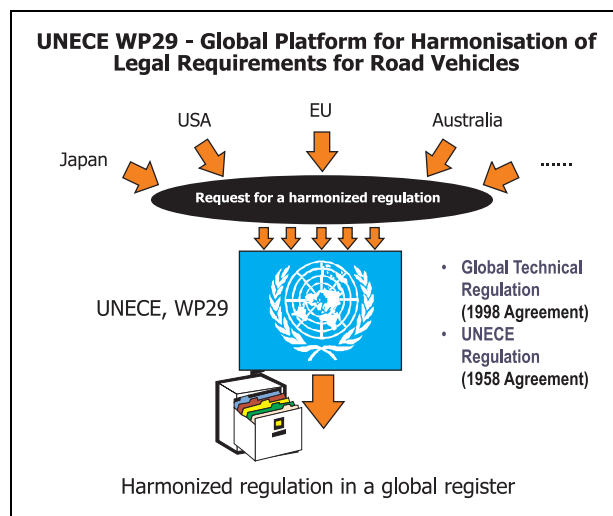
ISO/TC58 – Gas Cylinders

ISO/TC220 – Cryogenic Vessels

I påvente av regelverk for typegodkjenning kan en fabrikant søke om godkjenning av et kjøretøy som prototyp.

Europeisk industri, hittil representert ved det EU støttede prosjektet EIHP¹⁵, har valgt UN body WP.29, den globale plattformen for harmonisering av regelverk for kjøretøy, som basis for å få masseproduserte, typegodkjente hydrogenkjøretøy på europeiske veier, se illustrasjon i figur 2.1 under. Målet er å oppnå en global godkjenning av kjøretøy som bruker hydrogen som drivstoff gjennom utvikling av «Global Technical Regulations» (GTR). GTR vil bli lagt frem for UNECE, WP.29 for diskusjon og godkjenning. Så snart de blir godkjent, vil de erstatte europeisk UNECE regelverk.

Regelverket utarbeidet i EIHP2 fokuserer på problemstillinger rundt lagring av hydrogen. Det er utviklet separate regelverk for hydrogen biler med lagring av hydrogen som trykksatt gass (14), og væske (15). Dette regelverket fokuserer mer på krav til komponenter enn selve systemene, hvilke komponenter som kreves for å oppfylle disse og krav til komponentene i den sammenheng.



Figur 2.1 Illustrasjon av godkjenningsprosedyre for hydrogen kjøretøy.

14. IEC/TC 105 – Standards related to Fuel Cell Technologies
IEC TC 105/ Draft Technical Specification 105/64/DTSFuel cell technologies Part 1: Terminology, Nov 14th 2003
IEC TC 105/WG2 Fuel Cell Module: Committee Draft 2003
IEC TC 105/WG3 Stationary Safety (fuel cell power plants)
IEC TC 105/WG4 Performance: Committee Draft 2 March 2003

IEC TC 105/WG5 Installation

IEC TC 105/WG6 Propulsion

IEC TC 105/WG7 Portable FC Systems

15. www.eihip.org (prosjektet EIHP2 er nå avsluttet).

For resten av kjøretøyet vil standarder i ISO og IEC systemene vil være av relevans. Dette gjelder for eksempel brenselceller, kollisjonssikkerhet og drivstofforbruk. Det forventes her av GTR vil referere til ISO og IEC.

2.3 Regelverk for hydrogen fyllestasjoner

EUs rammeregelverk innen sikkerhet (CE-merking) er i prinsippet gyldig også for stasjonære installasjoner for hydrogen, men ikke for hydrogen-kjøretøy.

Relevant gjeldende regelverk er:

- Sevesodirektivet (Storulykkesforskriften) Directive 96/82/EC
- Machine Directive 98/37/EC
- Utstyr for bruk i eksplosjonsfarlig atmosfære: ATEX Direktiv 94/9/EC
- Pressure Vessel Directive 97/23/EC (PED)
- Low voltage Directive 73/23/EEC
- Electromagnetic Compatibility Directive 89/336/EEC, 92/31/EC, 98/13/EC.
- NFPA 50A og NFPA 50B

Følgende standard, under utarbeidelse i ISO's tekniske komité 197 vil være relevant:

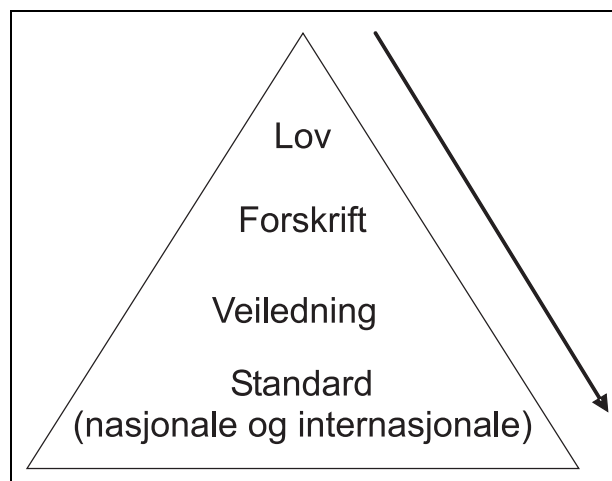
Gaseous hydrogen – Hydrogen generators using the water electrolysis process – ISO/TC 197 N/186 – Draft 2001–07–20

EIHP prosjektet har utviklet et standardiseringsdokument for hydrogen fyllestasjoner basert på trykksatt hydrogen gass. Dette dokumentet, som er utarbeidet under ledelse av Norsk Hydro er planlagt lagt frem for ISO's tekniske komité 197 «Hydrogen Technologies» (ISO/TC 197).

For CUTE prosjektets fyllestasjoner har godkjenningssprosessen vært tidkrevende (18). Manglende/uegnet regelverk har vist seg å være en uønsket kostnadsdriver da det blir umulig å forutsi myndighetskrav tidlig i prosjektet. Som eksempel nevnes at 30 prosent av kostnadene for CUTE prosjektets hydrogen fyllestasjonen i Madrid kan relateres tilbake til myndighetskrav (3). Med kjente og forutsigbare rammebetingelser fra myndighetenes side, kan slike kostnader raskt reduseres betydelig.

2.4 Norske standarder og regelverk

Som illustrert i figur 2.2 er oppbygningen av norsk regelverk hierarkisk. Norsk regelverk for stasjonære applikasjoner er et rammeregelverk som for eksempel spesifiserer at materialer som benyttes i



Figur 2.2 Illustrasjon av hierarkisk oppbygning av regelverk.

prosessutstyr og lagerbeholdere skal være testet for mediet som behandles/oppbevares. Regelverket åpner for bruk av internasjonale standarder etter hvert som disse utvikles.

Som figuren viser er lover i prinsippet overordnet forskrifter. Dette betyr i praksis at en lov vedtas av Stortinget mens en forskrift må være hjemlet i en lov, men vedtas av Kongen i statsråd. Forskrifter regnes som en del av lovverket og et forskrifts-krav er like bindende som et lovkrav.

Til forskrifter kan det utarbeides veiledninger. En veiledning utarbeides normalt av en eller flere etater som har forvaltningsmyndighet på området veiledningen gjelder. Veiledningen kan beskrive myndighetenes tolkning av forskriften(e) samt foreslå praktiske løsninger som etter myndighetenes syn vil oppfylle forskriften(e)s krav. Forslag i en veiledning er ikke bindende; man kan velge andre løsninger, men må da dokumentere at den valgte løsningen er minst like bra som den veiledningen anbefaler.

Veiledninger kan for eksempel anbefale at utstyr produsert etter en bestemt standard benyttes. Man kan da likevel velge å benytte utstyr produsert etter en annen standard, men må da kunne dokumentere at dette gir tilsvarende grad av sikkerhet.

Også forskrifter kan kreve at utstyr skal være produsert/godkjent etter en bestemt standard. Et krav i en forskrift er bindende. Normalt kan man søke myndighetene om dispensasjon fra krav i en forskrift. Dette vil være beskrevet i den aktuelle forskriften.

Noen eksempler på relevant regelverk i Norge er gitt i det følgende:

Lov:

- Brann og eksplosjonsvernloven av 14. juni 2002.
- Lov av 24 mai 1929 om tilsyn med elektriske anlegg og elektrisk utstyr
- Produktkontrollloven av 1977
- Arbeidsmiljøloven
- Forurensningsloven
- Forskrift:
- Forskrift om behandling av brannfarlig vare av 16. juli 1996
- Forskrift om brannfarlige varer av 26. juni 2002
- Forskrift om anlegg som leverer motordrivstoff (bensinstasjon, marina eller lignende) av 10. juli 2002
- Forskrift av 11. november 2002 om transport av farlig gods på veg og jernbane (ADR/RID)
- Forskrift av 18. desember 1995 nr. 1111 om enkle trykkbeholdere. (Directive 97/23/EC)
- Storulykkesforskriften (Sevesodirektivet 96/82/EC)
- Forskrift av 19.08.1994 nr 820 om maskiner (Machine Directive 98/37/EC)
- Forskrift av 09.12.1996 nr 1242: Utstyr og sikkerhetssystem til bruk i eksplosjonsfarlig område (ATEX-Direktivet 94/9/EC)
- Forskrift av 12. nov 1999 nr. 1155. om elektriske lavspenningsanlegg (Low voltage Directive 73/23/EEC)
- Forskrift av 10. juli 2002 om sikkerhet ved arbeid i og drift av lavspenningsanlegg
- Veiledning:
- Veiledning for gassinstallasjoner
- Veiledning til forskrift om behandling av brannfarlige varer

I veiledningen for gassinstallasjoner ligger en del generelle sikkerhetsmessige krav for gassanlegg, for eksempel krav om gjennomføring av risikoanalyse og bestemmelser om sikkerhetsavstander.

Lagring og fylling av hydrogen vil i dag kreve tillatelse fra Direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap (DSB). Her vil det være naturlig med tidlig involvering av DSB, som er den vanlige saksgangen ved nyetableringer også av mer tradisjonelle installasjoner. Kravet er hjemlet i Brann og eksplosjonsvernloven, samt i Forskrift om brannfarlige varer. DSB forvalter også de andre lover og forskrifter listet opp over, med unntak av Arbeidsmiljøloven med forskrifter.

Det finnes ingen veiledning eller norsk standard som omhandler hydrogen. Det er imidlertid DSBs forvaltningspraksis at regelverk eller standarder fra land med sammenlignbare sikkerhetssnormer kan benyttes som veiledning ved søknad

om tillatelser innen et område hvor detaljer regelverk mangler. For installasjoner hvor det ikke finnes standarder (eller hvis man ønsker å fravike et standardkrav), kreves en grundig risikoanalyse for å dokumentere at sikkerheten er ivaretatt.

Når det gjelder kjøretøy finnes det i dag et ferdig utviklet regelverk for naturgass-kjøretøy, men ikke for hydrogenkjøretøy. Når EU-regelverk er utviklet og vedtatt, vil dette normalt også bli norsk regelverk. Dette er også i tråd med de signaler som er kommet fra Vegdirektoratet og Direktoratet for Samfunnssikkerhet (DSB) i forbindelse med pågående arbeid for import og godkjenning av hydrogenkjøretøy til Norge.

DNV er involvert i arbeid med å få godkjent kjøretøy ombygd til hydrogendrift i Norge. Status på de første kjøretøyene er at ut fra en sikkerhets- og funksjonsvurdering må installasjonen modifiseres før den kan anbefales godkjent av Vegdirektoratet.

Regelverksforslagene som er utarbeidet i EIHP prosjektet (14 og 15) er utarbeidet med henblikk på nye kjøretøy som skal bygges i større serier (kommersiell masseproduksjon), og er derfor kun delvis egnet til vurdering av ombygde systemer og eldre kjøretøy.

Det er hittil ikke gjennomført noen strukturert gjennomgang av i hvilken grad norsk regelverk har behov for endringer i forbindelse med introduksjon av hydrogen og nullutslippsteknologi. For å unngå at manglende, eller uegnet regelverk blir en barriere mot effektiv introduksjon av slik teknologi og nye løsninger, vil det være påkrevd med aktiv og tidlig involvering av relevante myndigheter.

2.5 Landtransport

Norsk regelverk for landtransport av farlig gods er det internasjonale ADR/RID 2003 for vegtransport/transport på jernbane. Dette regelverket er hjemlet i Forskrift av 11. november 2002 om transport av farlig gods på veg og jernbane. Dette regelverket dekker også transport av hydrogen. ADR-avtalens bestemmelser gjelder ikke for transport av gasser som befinner seg i tankene på et kjøretøy som utfører en transportoperasjon når gassen er beregnet for kjøretøyets fremdrift.

3 Sjøtransport

3.1 Eksisterende standarder og regelverk

Transport av gass på skip dekkes av den internasjonale gasskoden, IGC-koden. Den har også regel-

krav som dekker bruk av gass som drivstoff i kjeler. Den setter typisk krav til hvordan sikker nedstengning ved gasslekkasje skal arrangeres, hvilke materialkrav som er relevante for gassrør ved lave temperaturer, designkrav for tanker for flytende gass, hvor langt fra skipssiden tanker og gassrør må plasseres og lignende. Hydrogen er per definisjon en gass, og transport av hydrogen på skip dekkes dermed av IGC-koden, selv om det må tas en del spesielle hensyn når det gjelder hydrogen, særlig i flytende form på grunn av den lave temperaturen. Videre har DNV og etter hvert noen flere klasseselskaper regler for bruk av gass i dieselmotorer på alle typer skip, deler av disse kan også brukes for hydrogeninstallasjoner. Norske myndigheter har for øvrig nylig fremmet forslag til IMO (den internasjonale maritime organisasjonen) om at det skal lages en internasjonal standard for gassframdrift på skip, med DNVs regelverk som eksempel.

Dette avsnittet beskriver den overordnede struktur og hensikt med regler for klassifikasjon av skip i relasjon til hovedinteressentene (skipsrederer, classeselskap og myndigheter)

- Skipsrederne er primært opptatt av at selve transporten av varer til havs skal være lønnsom. Dette innebærer beskrivelse av hva skipet skal brukes til, og hva som må til for at skipet skal egne seg til dette. Normalt overlates tekniske krav og rammebetingelser relatert til sikkerhet og pålitelighet til classeselskap og myndigheter.
- Classeselskap har som formål å sikre liv, verdier og miljø. Hensikten med reglene utviklet av classeselskapene er å sikre ivaretagelse av et akseptabelt sikkerhets og pålitelighetsnivå gjennom hele skipets levetid.
- Nasjonale og internasjonale myndigheter (IMO, flaggstater etc.) stiller primært krav til mannskapets sikkerhet samt beskyttelse av naturressurser mot oljesøl og andre miljøpåvirkninger fra skipsfart.

Regulering av skip – hva og hvem

Etter den andre verdenskrig ble de forente nasjoner utvidet til også å omfatte sjøfart gjennom den Internasjonale Maritime Organisasjon (IMO). Hovedhensikten med IMO er å utvikle og vedlikeholde internasjonale konvensjoner innen følgende områder:

- Sikkerhet (SOLAS, ISM)
- Bekjempe forurensing (MARPOL)
- Ansvar og kompensasjon i forbindelse med ulykker
- Kvalifikasjoner til mannskap (STCW)

I løpet av 1990-årene har man også sett en oppblomstring av regionale reguleringsbestemmelser (USA og EU) for skipsfart, men de fleste av disse har også blitt innarbeidet i internasjonale konvensjoner.

Når classeselskap utvikler regler for skip, er de primære fokusområdene

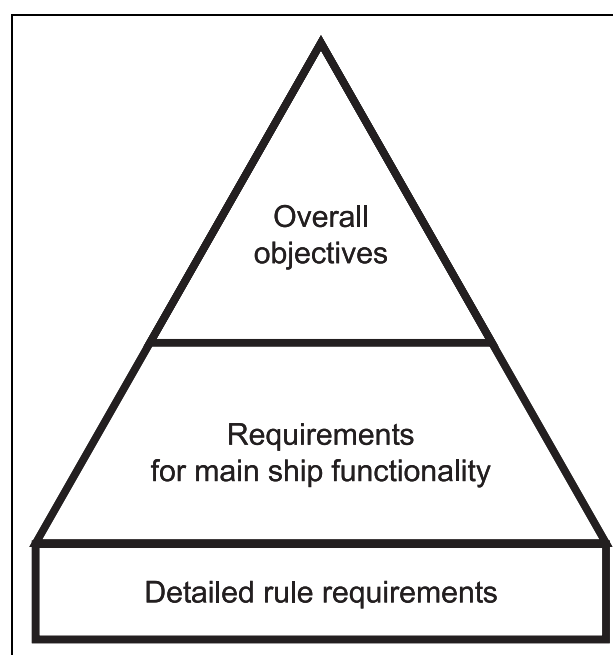
- Skipsskroget (dimensjoner, materialeegenskaper og sveising/sammenføyning)
- Maskineri og tilknyttede systemer (inkludert rørarrangement)
- Automasjon, kontrollsystemer og elektriske installasjoner)

Regelutvikling og overordnet regelstruktur

For å sikre at skip møter overordnede sikkerhetskrav (satt av IMO), blir regler utviklet i henhold til prinsipper og prosedyrene nedfelt av IMO gjennom «Guideline for Formal Safety Assessment (MSC/Circ.1023, MEPC/Circ.392, 5 April 2002), etter følgene struktur, se figur 2.3.

Overordnede krav (Overall Objectives)

Overordnede sikkerhets mål og akseptkriterier for beskyttelse av mannskap/passasjerer og miljø er primært tiltenkt å være en ledestjerne for sikkerhetsarbeid. Det er IMO som ideelt sett definerer de overordnede sikkerhets kravene. Foreløpig er følgende kriterier oppe til diskusjon i IMO (basert på innspill fra Norge: MSC 72/16 FSA – Decision Parameters including Risk Acceptance Criteria)



Figur 2.3 Regelstruktur

Tabell 2.1 Overordnede akseptkriterier for sikkerhet ombord på skip

Maximum tolerable risk for crew members	10 ⁻³ annually
Maximum tolerable risk for passengers	10 ⁻⁴ annually
Maximum tolerable risk for public ashore	10 ⁻⁴ annually
Negligible risk	10 ⁻⁶ annually

Krav til skipets hovedfunksjonalitet (Requirements to main ship functionality)

For å organisere regler på en effektiv måte, blir de først kategorisert i henhold til høy-nivå hovedfunksjoner (som fremdrift og integritet) heller enn spesifikke systemer (hovedmaskiner, dekksplater, ...). Dette gir designeren frihet til å løse de overordnede kravene til hovedfunksjoner på den måten han finner formålstjenelig.

Detaljerte regelkrav (Detailed Rule Requirements)

De detaljerte regelkravene utarbeides for de mest brukte systemene og løsningene, og kan betraktes som en byggespesifikasjon som tar inne i seg dagens byggeskikk og praksis.

Sammen med krav til design og bygging av skip, utformes også krav til hva som må være på plass i driftsfasen for at skipene skal kunne betraktes som sikre nok når de opereres.

3.2 Regelverk for bruk av hydrogen og brenselceller i skip

Det eksisterer per i dag ikke et relevant regelverk som dekker alt som installasjon av brenselceller med hydrogen som brennstoff i skip vil innebære. Dette er i seg selv en alvorlig barriere som kan forhindre, eller i alle fall forsinke introduksjon av hydrogen og brenselceller i skip. Utvikling av sikkerhetskrav for brenselceller i skip har imidlertid blitt initiert i det EU-støttede initiativet Fuel Cell Technology for Ships (FCSHIP). Fire store klasseselskaper er involvert i dette prosjektet, der norske aktører er representert ved Rederiforbundet, DNV, Marintek, Norsk Hydro, Color Line og Knutsen OAS. Eksisterende norsk kompetanse kan dermed bidra positivt til utvikling av internasjonalt regelverk på dette feltet.

Regelverk er også ett av temaene for et prosjekt påbegynt i 2003 kalt FellowSHIP (Fuel Cell Low

Emission Ship). Hovedpartnere så langt er Aker Kværner Elektro, DNV, Eidesvik, Wallenius Marine og Vik-Sandvik. Prosjektet har som hovedmål å designe og senere bygge brenselcellesystemer for hjelpemotor- og fremdriftsløsninger. Etter en konseptavklaringsfase inkludert regelverkmesige momenter, jobbes det i skrivende stund konkret med avklaring mot utstyrsleverandører og energileverandører. Kunnskapsmiljøene NTNU/Sintef/Marintek er også aktuelle samarbeidspartnere/underleverandører.

For deler av installasjonen kan en bruke relevante regelkrav som er laget for andre type installasjoner som grunnlag for et slikt regelverk. Der det ikke finnes noe relevant regelverk må en benytte kjente metoder basert på risikovurderinger for å komme frem til relevante regelkrav.

Først og fremst er det regelverket for gassdrift på skip (ref. DNV Rules for Classification of Ships Pt.6 Ch.13) «Gas fuelled engine installations», samt (ref. Pt.5 Ch.5) «Liquefied gas carriers» som kan benyttes som bakgrunnsmateriale, særlig når det gjelder arrangementsmessige problemstillinger, som utforming og plassering av tanker og gassrørledninger i skipet, inndeling i flere maskinrom, og også til en viss grad når det gjelder sikkerhetsmessige problemstillinger som krav til gassdeteksjon, ventilasjon og lignende. De neste avsnittene gir en beskrivelse av hvordan eksisterende kunnskap kan anvendes, og et overordnet bilde av hva som må utredes nærmere.

Regelstruktur

Det er flere alternative måter å få dekket bruk av hydrogen og brenselceller på skip inn i eksisterende regelverk. Den beste løsningen er sannsynligvis et samlet regelkapittel for bruk av hydrogen og brenselceller på skip for å øke brukervennligheten. Dette kan lages som et eget «frittstående» regelkapittel som tar for seg alle deler av en installasjon med H₂ (og andre relevante brennstoff for brenselceller) og brenselceller, på samme måte som det er gjort for bruk av gassmotorer på skip. Den erfaring og kompetanse som er opparbeidet av norske miljøer gjennom utvikling av regelverk for gassmotorer på skip vil være nyttig ved utarbeidelse av regelverk for hydrogen og brenselceller i skip.

Lagring av hydrogen i skip

Hydrogen kan lagres på forskjellige måter. Aktuelt på skip er i gassform under høyt trykk, i væskeform ved lav temperatur eller i metallhydrid. Det

siste er mindre praktisk i de tilfeller der kort bunkringstid er avgjørende. Så selv om dette er en aktuell lagringsform i fremtiden, er ikke metallhydrider med i denne første vurderingen av regelverk for sjøtransport. Fra eksisterende regelverk (ref. DNV regelverk), kan det trekkes ut en god del relevante, grunnleggende sikkerhetskrav som dekker faktorer som ventilasjon, gassdeteksjon, materialkrav og relativ plassering av utstyr og lagertanker.

For tanker for lagring av LNG (flytende metan) brukes design- og materialkravene som settes i den internasjonale gasskoden, og tilsvarende krav som finnes i DNVs regelverk. Noe tilsvarende finnes ikke i DNV-reglene for flytende H_2 . Eksisterende standarder fra annen industri kan brukes som utgangspunkt:

- NASA Safety standard for hydrogen and hydrogen systems, 1997.02.17
- PR EN 13371 Cryogenic vessels. Couplings for cryogenic service
- ISO/WD 15916 Basic considerations for the safety of hydrogen systems

I tillegg til lagring av hydrogen til bruk for skipets egen fremdrift, kan det i fremtiden bli behov for regelverk for skip for transport av hydrogen.

Gassrør i skipet

En del relevante krav fra eksisterende regelverk (DNV Steel Ship Rules Pt.6 Ch.13 Sec.3.) vil kunne anvendes for hydrogen. Dette gjelder for eksempel begrensninger med hensyn til hvor slike rørledninger kan tillates.

Bunkringsstasjon

I følge eksisterende regelverk (DNV Steel Ship Rules Pt.6 Ch.13 Sec.3) medfører en bunkringsstasjon for flytende gass at noen spesielle hensyn må tas for eksempel for ventilasjon, isolasjon, sikkerhetsdetaljer og plassering av utstyr. Disse kravene vil kunne brukes også for bunkring av hydrogen. Bunkringssystemet må oppfylle krav til arrangement, alarmer, gassdeteksjon, mulighet for drenering med mer.

Maskinrom

I eksisterende regelverk (DNV Steel Ship Rules Pt.6 Ch.13 Sec.3) defineres to alternative metoder for å skape et sikkert maskinrom. Det ene baseres på at det er doble rør hele veien, også helt inn på motoren, slik at alle gasslekkasjer vil bli fanget opp av det ytre røret og ventileres ut, uten spredning til resten av

maskinrommet. Det andre konseptet er basert på at det ikke er doble rør i maskinrommet, slik at en gasslekkasje er mulig og medfører at rommet blir gassfarlig. Sikkerheten ivaretas ved at gassdeteksjon medfører nedstenging av gasstilførsel og frakobling av elektrisk utstyr som ikke er eksplosjonssikkert. Hele rommet skal ventileres. Konseptet kalles ESD (emergency shut down) beskyttet maskinrom.

Tilsvarende tankegang som for eksisterende regelverk kan sannsynligvis benyttes også for et maskinrom med H_2 som brennstoff og med brenselcelle. Men det er en del ukjente faktorer som må utredes nærmere. Egenskapene til H_2 sammenlignet med naturgass eller andre hydrokarboner må vurderes spesielt.

En annen problematikk som må vurderes videre er problemstillinger rundt hurtig avstengning av gasstilførselen til brenselceller ved lekkasjer eller andre feil. Konseptene som brukes for gassfremdrift i dag er basert på automatisk avstengning av gasstilførselen ved visse typer feil eller deteksjon av gass. Dette kan være problematisk for brenselceller, fordi en hurtig nedstengning med påfølgende hurtig nedkjøling kan ødelegge hele brenselcellen. En mulig løsning kan være et arrangement med en alternativ metode for å redusere varmen gradvis. Varm eksos fra en kjel er en mulig varmekilde. Krav med hensyn til umiddelbar tilgjengelighet av en slik varmekilde må også vurderes, avhengig av kravene brenselcellen setter.

ESD beskyttet maskinrom avhenger av at kraftkildene er delt på to separate rom, slik at nedstengning av et rom, inkludert elektrisk utstyr, ikke går ut over tilgangen til kraft til fremdrift eller andre viktige funksjoner. Relevansen av et slikt krav avhenger av brenselcellenes anvendelsesområde.

Brannisolering

Eksisterende regelverk (ref. DNV Steel Ship Rules Pt.6 Ch.13 Sec.4) setter krav til brannisolering av tankrom, ventilasjonssjakter og sjakter med gassrør mot andre typer rom inneholder en viss brannfare. Bunkringsstasjonen skal også brannisoleres mot andre rom. Mellom to separerte ESD- beskyttede maskinrom er det krav om isolasjon dersom disse ligger inntil hverandre.

De samme prinsippene kan benyttes for lagring, bunkring og rørføringer for H_2 og for maskinrom med brenselceller.

Brannslukning

Gasstanker som er plasserte over dekk skal generelt beskyttes med vannspray, dette er krav i gass-

koden (ref. IGC koden Chapter 11, Pt.6 Ch.13 Sec.4) samt i eksisterende regelverk (referanse Pt.5 Ch.5 og Pt.6 Ch.13). Dette vil være det samme også dersom innholdet er H₂. Hvorvidt det skal settes egne krav til brannslukning for installasjoner som inneholder H₂ må vurderes nærmere.

Materialkrav

Hydrogen har spesielle egenskaper som krever særskilte krav til materialer for rør, tanker og andre komponenter i systemene. Dette krever særkrav som må utredes nærmere.

4 Oppsummering og anbefalinger sikkerhet, standarder og regelverk

Sikkerhetsmessige sammenligninger av hydrogen med andre stoffer må baseres på en totalvurdering av de faktorer som påvirker sannsynligheten for uhellsutslipp og mulige konsekvenser av slike utslipp. Under enkelte forhold vil hydrogen være tryggere enn konvensjonelle drivstoff, mens det i andre situasjoner vil være større risiko forbundet med hydrogen. Det er derfor viktig å ta hensyn til hydrogens fysiske egenskaper i alle faser av design, drift og vedlikehold av hydrogenholdig utstyr.

Hydrogen vil altså i en del situasjoner oppføre seg annerledes enn tradisjonelle drivstoff, noe som representerer utfordringer i en introduksjonsfase. Viktige faktorer i denne fasen vil være beredskapsiltak, opplæring og trening av personell som skal håndtere hydrogen (både rutinemessig og dersom uhell skulle skje). For å sikre en akseptabelt lav risiko, må sikkerhetsarbeidet utføres systematisk, og det må inkludere alle relevante aspekter ved hele hydrogensystemet, ikke bare enkeltkomponentene. Hva som vil kunne godtas som akseptabel risiko, bør fortrinnsvis vedtas ved hjelp av akseptkriterier.

Av sikkerhetsmessige grunner er det viktig å skaffe erfaring og bygge opp kompetanse innen relevante organisasjoner for utvikling av de godkjenningsprosesser som vil være påkrevd for introduksjon av hydrogen. Elementer i en slik kompetanseoppbygging inkluderer sikkerhetsstudier og utvikling av metodikk for sikkerhetsmessig godkjenning evt. kvalifisering av teknologier der regelverk og standardiserte godkjenningsordninger mangler. Der det finnes standarder for de enkelte deler av en løsning, vil det likevel måtte utføres en sikkerhetsvurdering av helheten.

For at eksisterende eller manglende regelverk ikke skal blokkere for nye løsninger og for at sikkerhetstiltak skal kunne tilpasses forholdene lokalt anbefales det at regelverk for hydrogen applikasjoner i størst mulig grad utvikles basert på funksjonskrav og demonstrasjon av sikkerhetsnivå, for eksempel ved risikoanalyser, heller enn detaljkrav.

Manglende eller uegnet regelverk, vil erfaringsmessig være en kostnadsdriver i prosjekter med ny teknologi da det blir vanskelig å forutsi myndighetskrav tidlig i prosjektet. Krav som utkrystalliseres i en sen fase av designprosessen har vesentlig større økonomiske konsekvenser enn om de samme kravene hadde vært kjent fra første dag. Dette kan illustreres ved erfaringer gjort i demonstrasjonsprosjektet CUTE, der 30 prosent av kostnadene for hydrogen fyllestasjonen i Madrid kan relateres tilbake til myndighetskrav (3). Med kjente og forutsigbare rammebetingelser fra myndighetenes side, kan slike kostnader reduseres betydelig.

Regelverk utviklet med tanke på industrielle formål kan inneholde spesifikke krav (så som fysiske barrierer, sikringsfelt, utslippstillatelse og -overvåkning) som kan være uhensiktsmessige eller kostnadsineffektive for anlegg i mindre skala, eller til og med uforenlige med distribusjon og salg av hydrogen til forbrukere.

Systematisk arbeid med sikkerhet og utvikling av standarder og regelverk starter normalt ikke før en har konkrete behov. Gode demonstrasjonsprosjekter vil etablere case som trenger lokal myndighetsgodkjenning i henhold til gjeldende standarder og regelverk. Slike initiativ er derfor godt egnet for identifisering av mangler i eksisterende regelverk, og gir en mulighet for effektiv utvikling og implementering av nye, gode standarder og regelverk. Siden utvikling av gode standarder og regelverk er tidkrevende, er det viktig at slikt arbeid startes tidlig. Det eksisterer i dag flere gode norske demonstrasjonsprosjekter innen hydrogen og brenselceller, også innenfor næringer der Norge er langt fremme internasjonalt (gass, maritim). Initiativene har hittil vært lite koordinert, sett fra et nasjonalt synspunkt. Økt satsning fra norsk industri og myndigheter (tilrettelegging, midler etc.) er nødvendig dersom Norge skal hevde seg internasjonalt, og dermed skape vekstgrunnlag for norsk industri og arbeidsplasser.

Standarder og regelverk er en del av de rammebetingelser som vil påvirke konkurranseforhold for ny teknologi sammenlignet med innarbeidet konvensjonell teknologi både for land og sjøtransport. Det er derfor viktig at norske aktører er aktive i slikt arbeid, både i Norge og internasjonalt.

Norske aktører har betydelig kunnskap og erfaring med hensyn til utvikling av standarder og regelverk basert på funksjonskrav og demonstrasjon av sikkerhetsnivå. Erfaringene er både nasjonale og internasjonale. Dersom forholdene legges til rette, kan Norge markere seg positivt ved å bidra til å fremskynde den internasjonale utviklingen og bidra til nødvendig internasjonal harmonisering av gode standarder og regelverk for hydrogen applikasjoner. Dette vil være et viktig bidrag til fjerning av en betydelig barriere som ellers vil kunne forsinke introduksjon av miljøvennlig nullutslippsteknologi for transportsektoren med mange år.

Lokal framstilling av hydrogen (for eksempel ved elektrolyse), brenselceller, lagring av hydrogen som metallhydrider samt tanking av hydrogen er eksempel på teknologier som er under utvikling hvor norske aktører til dels er langt fremme og vil ha interesse av å kunne delta i internasjonalt standardiseringsarbeid. Et annet eksempel er systemløsninger på hydrogen og/eller brenselcelleanlegg. I tillegg til de enkelte komponentene i et hydrogensystem (for eksempel. lagringsenhet, pumpe, kompressor, ventiler), vil sikkerhetsnivået i vesentlig grad være påvirket av de systemarrangementene som utvikles. Norsk industri samt FoU miljøer har gode muligheter for å utvikle spesiell kompetanse innen design av hydrogen systemløsninger som er effektive, funksjonelle og sikre.

Mens industrien har lang erfaring med bruk av hydrogen, er erfaringer med allment tilgjengelig hydrogen svært begrenset. Som eksempel kan nevnes at de hydrogenfyllestasjonene som er i bruk i dag generelt er betjent av personell med spesiell opplæring. En av hovedgrunnene til dette er at systemene for fylling fremdeles er under utvikling, og at videre arbeid og mer erfaring trengs for å sikre standardiserte, robuste og pålitelige systemer for fylling på hydrogenkjøretøy. Tanking utføres derfor typisk av stasjonens personell, eller av sjåfører med spesiell opplæring (typisk for en fast flåte av kjøretøy). Siden det forventes å være et absolutt krav for storskala introduksjon av hydrogen at hydrogen skal kunne fylles av «vanlige bilførere» på ubemannede stasjoner, bør arbeid for sikker fylling prioriteres høyt. Det kan også bli behov for å legge opplæring og bevisstgjøring rundt hydrogen som drivstoff, for eksempel et «hydrogenfyllekurs» inn i kjøreopplæringen, i alle fall i en introduksjonsfase.

Konkrete elementer i en norsk tiltaksplan kan være:

- Systematisk gjennomgang av norsk regelverk for å identifisere behov for endringer. Dette bør gjøres av en gruppe som innehar relevant kom-

petanse om elementer i «hydrogensamfunnet», for eksempel produksjon, distribusjon, salg og forbrukere. Relevante forvaltningsmyndigheter (DSB¹⁶, DAT, SFT) bør også være representert.

- Målrettet og systematisk påvirkning av sikkerhetsnivået, det vil si hvor sikkert hydrogen vil være, gjennom utvikling og aktiv bruk av akseptkriterier, også integrert i demonstrasjonsprosjekter. Med akseptkriterier menes overordnede krav til den risiko som anses som akseptabel.

Referanser

1. Engebø, A. SAFETY OF HYDROGEN REFUELLING STATIONS for Norsk Hydro, DNV Report No. 2003-0307 Rev. 2, 2003-03-17
2. Haugom, G.P, Foyen T. og Engebø, A (2000). «Safety Assessment of Hydrogen Buses – Pre-study» for Stor-Oslo Lokaltrafikk. DNV Report. 2000-3525.
3. Hansen, Anne Marit, Norsk Hydro. Presentasjon 9. okt.2003.
4. Less, F.P. «Loss Prevention in the Process Industries», Butterworth-Heinemann, 2. ed. 1996
5. DNV regelverk. Pt.6 Ch. 13.
6. Herring, J.S. and Cadwallar, L.C. (1999) «Safety Issues with Hydrogen as a Vehicle Fuel», Prepared for the U.S. Department of Energy, Office of Energy Research, INEEL/CON-1999-1150
7. Aylward, G.H. and Findlay, T.J.V. «SI Chemical Data», WILEY, 2nd Edition, 1971
8. Bain, A. et al. (1998): «Sourcebook for Hydrogen Applications», Hydrogen Research Institute and National Renewable Energy Laboratory
9. ISO/TR 15916 Basic considerations for the safety of hydrogen systems
10. European Integrated Hydrogen Project (EIHP2): Risk acceptance criteria for Hydrogen refuelling stations, February 2003, rev.0, Norsk Hydro ASA and Det Norske Veritas AS for WP5.2
11. European Integrated Hydrogen Project (EIHP2): Risk Analysis of Refuelling Infrastructure, September 2003, rev.0, Norsk Hydro ASA, Det Norske Veritas AS, NCSR Demokritos and JRC/EC for WP5.2

16. DSB – Direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap.
www.dsb.no

12. Engebø, A and Haugom, G.P: Risk Assessment for the Berlin Hydrogen Competence Centre, DNV Report No. 2003-1541, November 2003, rev. 1
 13. Saugerud, Odd Tore i Det Norske Veritas AS
 14. European Integrated Hydrogen Project (EIHP2): Proposal for a New Draft Regulation Uniform Provisions Concerning the Approval of I. Specific Components of Motor Vehicles Using Liquid Hydrogen; II. Vehicles with Regard to the Installation of Specific Components for the Use of Liquid Hydrogen
 15. European Integrated Hydrogen Project (EIHP2): Proposal for a New Draft Regulation Uniform Provisions Concerning the Approval of I. Specific Components of Motor Vehicles Using Compressed Gaseous Hydrogen; II. Vehicles with Regard to the Installation of Specific Components for the Use of Compressed Gaseous Hydrogen
 16. Schmidtchen, U: Hydrogen Safety, EIHP, Brussels, 2 October 2002
 17. HyNet – On the Way Towards a European Hydrogen Energy Roadmap. Executive Summary Report, Draft, February 2004, utarbeidet av HyNets partnere. Vil bli publisert på www.HyNet.info
 18. Nilsen, S m.fl. Rapport for HyNet. Status, gaps and needs in safety regulations and standards relevant for hydrogen applications. NH Corporate Research Centre, Porsgrunn. Draft Nov 2003.
 19. Dorofeev, S. (2003) «Safety aspects of hydrogen as an energy carrier». Rundebordspresentasjon «Daily use of hydrogen: safety, codes and regulations», ved 1st European Hydrogen Energy Conference, Grenoble 3 sept 2003.
-

Vedlegg 3

Resultater fra kjedeberegninger

SINTEF Materialer og kjemi

Steffen Møller-Holst og Ann Mari Svensson

1 Innledning

1.1 Prosjektets motivasjon og målsetting

Motivasjon

Hydrogen blir av mange sett på som framtidens energibærer i et bærekraftig energisystem, fordi hydrogen gir nullutslipp hos sluttbruker. Videre vil innfasing av ikke-kontinuerlige fornybare energikilder (som for eksempel vindkraft og bølgekraft) kreve nye, egnede energilagringsmetoder for å kompensere asymmetri i tilgang og etterspørsel av energi. Her kan hydrogen komme til å spille en sentral rolle som lagringsmedium.

Hydrogen kan framstilles fra ulike kilder, og anvendes til ulike formål både stasjonært og innen transport. Det er en generell konsensus om at hydrogen vil dekke en betydelig andel av energibruken innen utgangen av dette århundre. Det hersker imidlertid ulike oppfatninger om energieffektiviteten ved bruk av hydrogen. Det er også uenighet om når man bør introdusere hydrogen i energisystemet. Noen mener at introduksjon av naturgass i energisystemet i Norge medfører en unødvendig forsinkelse for introduksjon av hydrogen, mens andre ser naturgassen som det naturlige bindeledd mellom dagens og fremtidens energisystemer.

Det er derfor behov for en objektiv gjennomgang av ulike energikjeder som er aktuelle i Norge. Faktabaserte beregninger gir resultater i form av et energi- og utslippsregnskap som tar hensyn til alle ledd i verdikjeden.

Målsetting

Målsettingen med dette prosjektet er å framskaffe et objektivt datagrunnlag og utføre beregninger av effektivitet og miljøbelastning knyttet til et utvalg energikjeder der hydrogen anvendes som energibærer for transportsektoren. Resultatene fra prosjektet skal muliggjøre rettferdig sammenligning

av energieffektivitet og miljøkonsekvenser ved bruk av ulike energibærere for utvalgte verdikjeder der hydrogen kan være et realistisk alternativ.

Et objektivt energi- og utslippsregnskap for hydrogen i noen utvalgte verdikjeder vil hjelpe myndighetene i deres arbeid for å tilstrebe en optimal virkemiddelpolitikk med hensyn på innføring av hydrogen i det norske energisystemet.

1.2 Om energikjeder og prosjektets omfang

Alle ledd i energikjeden fra kilde til sluttbruk tas med i energi- og miljøregnskapet:

- Kilde
- Lagring/transport av kilden
- Konvertering til energibærer
- Lagring/transport av energibæreren
- Sluttbruk

Alle verdikjeder starter med en kilde og avsluttes med sluttbruk, mens de tre andre elementene i kjeden kan opptre flere ganger og i ulik rekkefølge. En skjematisk oversikt over alle energikjedene som er vurdert (stasjonær og transport) er gitt i figur 3.1.

Hos sluttbruker anvendes energien generelt til mekanisk arbeid, elektrisitet til lys og apparater eller som varme. I dette prosjektet er transportsektoren vurdert og mekanisk energi (bevegelse av kjøretøyet) er det ønskede sluttprodukt.

Energikjeder som inneholder hydrogen sammenlignes med referanseenergikjeder basert på konvensjonelle energibærere som bensin og diesel og konvensjonell forbrenningsteknologi.

Energieffektivitet og miljøkonsekvenser som presenteres i denne rapporten gjenspeiler alle ledd i de valgte energikjedene. Det presiseres at resultater og vurderinger begrenses til energikjedeanalyser, fra energikilde til sluttbruk. Det er i dette arbeidet ikke utført såkalte livsløpsanalyser (life-cycle assessment (LCA)). Energibruk og miljøpåvirkninger knyttet til produksjon av materialer og komponenter (som brukes for eksempel til konver-

tering eller transport) er derfor ikke tatt med. Livsløpsanalyser utgjør grundige studier av tekniske, økologiske så vel som økonomiske aspekter og er i så måte langt mer omfattende. Den økologiske delen tar for seg systemets fullstendige livssyklus, som omfatter alle aspekter av materialflyt (inkl. produksjon og resirkulering av materialer etc.), utslipp og annen påvirkning på naturen.

En fullstendig LCA ville tatt hensyn til alle utslipp knyttet til produksjon, drift og avhending (evt. resirkulering) av materialer. Denne studien er i så måte mindre omfattende, da kun CO₂, og NO_x tatt med. Studien fokuserer på energi og det anses derfor som høyst adekvat å vurdere energikjedene på en enklere måte.

I tillegg til ulike deler av SINTEF-gruppen, har IFE og TØI bidratt til etablering av dataark.¹

1.3 Kategorier kjøretøy omfattet av denne rapporten

Det er definert 2 kategorier kjøretøy for sluttbruk i transportsektoren. Disse er:

1) Personbil (ca. 70 kW) og 2) Buss (ca. 200 kW).

En samlet oversikt over energikjedene er gitt i figur 3.1. På bakgrunn av opplysningene som er gitt i data-arkene, er det gjort kjedeberegninger for de potensielt mest interessante teknologiene for transportsektoren, med 2010 som tidsperspektiv. Det har i svært få tilfeller latt seg gjøre å få gode anslag for kostnader. Dette skyldes at kostnadsutviklingen i tillegg til å være knyttet til teknologiske gjennombrudd også er svært avhengig av produksjonsvolumer. Dette gjelder særlig for de alternative sluttbruksteknologiene, som stort sett karakteriseres som umodne. Det har derfor ikke vært mulig å ta med økonomi i vurderingene.

1.4 Vurdering og utvalg av aktuelle kjeder for personbil

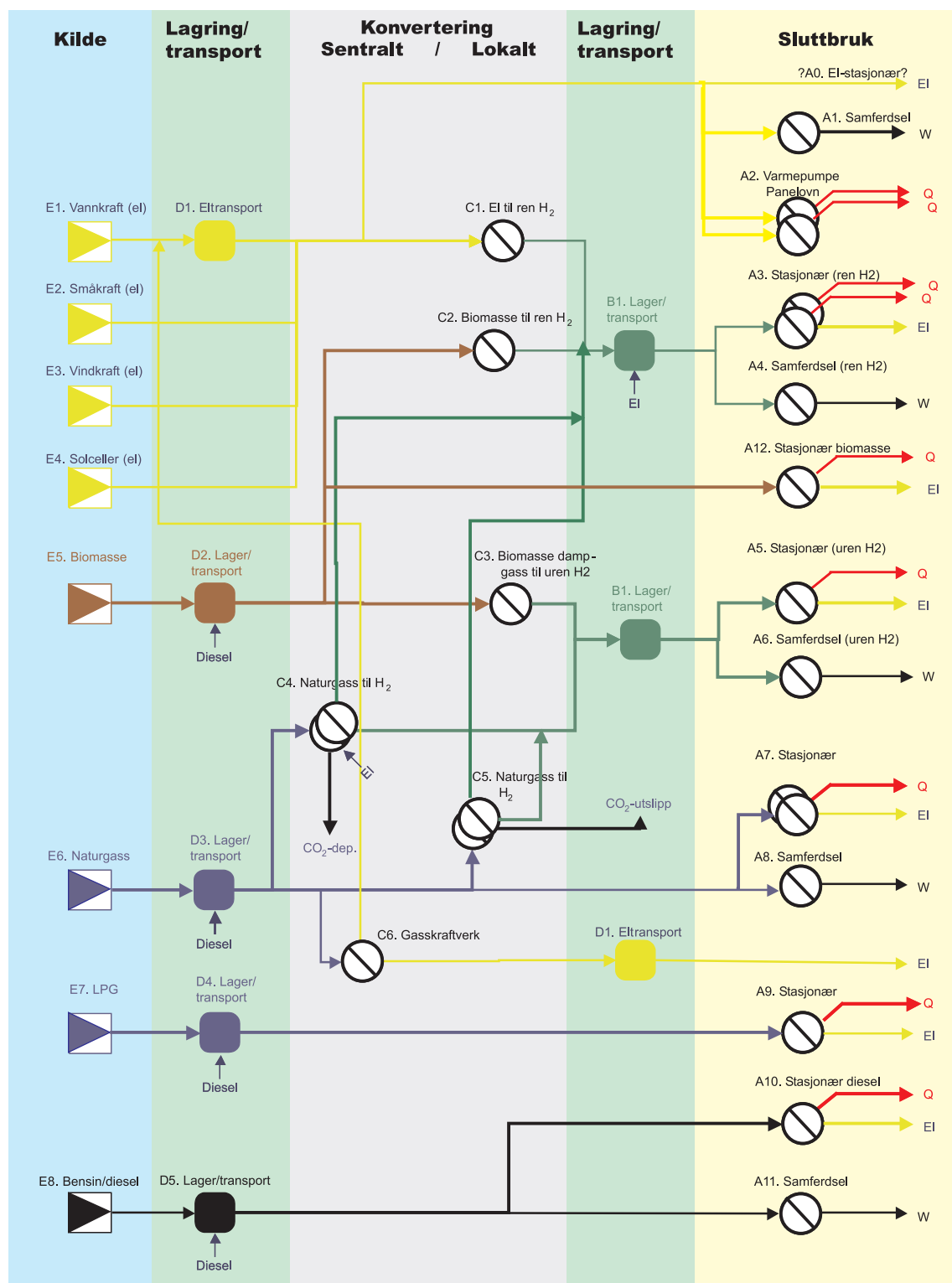
For personbiler (P), er følgende kjeder valgt (i parentes er kjeden angitt iht. benevnelse i figur 3.1):

- P1: Råolje – Raffinering – Bensin – Transport – Forbrenningsmotor (bensin) (E8-D5-A11)
- P2: Råolje – Raffinering – Bensin – Transport – Hybrid drift (bensin) (E8-D5-A11)
- P3: Råolje – Raffinering – Diesel – Transport – Forbrenningsmotor (diesel) (E8-D5-A11)

- P4: Naturgass – Transport – Forbrenningsmotor (CNG) (E6-D3-A8)
- P5: Naturgass – Transport – Sentral reformering til H₂ m/CO₂ fangst (inkl. CO rensing) – H₂ transport – PEMFC (E6-D3-C4-B1-A4)
- P6: Naturgass – Transport – Sentral reformering til H₂ m/CO₂ fangst-H₂ transport – ICE H₂ (E6-D3-C4-B1-A4)
- P7: Naturgass – Transport – Lokal reformering til H₂ u/CO₂ fangst (inkl. CO rensing)- H₂ lager/distribusjon – PEMFC (E6-D3-C5-B1-A4)
- P8: Naturgass – Transport – Lokal reformering til H₂ uten CO₂ fangst-H₂ lager/distribusjon – ICE H₂ (E6-D3-C5-B1-A4)
- P9: Naturgass – Transport – Gasskraft m/CO₂-Transport, El – Elektrolyse – H₂ lager/distribusjon – PEMFC (E6-D3-C6-D1- C1 – B1 – A4)
- P10: Naturgass-Transport – Gasskraft m/CO₂-Transport, El- Elektrolyse – H₂ lager/distribusjon – ICE H₂ (E6-D3-C6-D1- C1 – B1 – A4)
- P11: Naturgass – Transport – Gasskraft m/CO₂ – Transport, El – Elbil (E6-D3-C6-D1-A1)
- P12: Vannkraft – Transport, El- Elektrolyse – H₂ lager/distribusjon – PEMFC (E1/E3-D1- C1 – B1 – A4)
- P13: Vannkraft – Transport, El- Elektrolyse – H₂ lager/distribusjon – ICE H₂ (E1/E3-D1- C1 – B1 – A4)
- P14: Vannkraft – Transport, El – Elbil (E1 – D1 – A1)
- P15: Lokal kraft – Elektrolyse – H₂ lager/distribusjon – PEMFC (E2, E4 – C1 – B1 – A4)
- P16: Lokal kraft – Elektrolyse – H₂ lager/distribusjon – ICE H₂ (E2, E4 – C1 – B1 – A4)
- P17: Lokal kraft – Elbil (E2/E4 – A1)

Brenselceller (PEMFC) og forbrenningsmotorer (ICE) er vurdert til å være de teknologiene som er mest aktuelle med hydrogen som drivstoff. I tillegg er elbilen inkludert pga. potensielt høy virkningsgrad og lave utslipp, selv om denne i nær framtid er begrenset til nisjeapplikasjoner pga. svært begrenset rekkevidde. Kombinasjon av forbrenningsmotor med elektrisk motor i kjøretøy betegnes Hybridbiler. I Hybridkjøretøy opererer forbrenningsmotoren under optimale betingelser og lader batterier som så igjen driver elektromotoren. I dag er hybridteknologien kun tilgjengelig med bensin som drivstoff. Toyota har siden 1997 levert en hybridversjon av mellomklassebilen Prius. Hybrid/diesel drift er også en svært aktuell teknologi, men vil neppe avvike særlig fra hybrid/bensin og ansees derfor å være tilstrekkelig representert ved denne. ICE-Hybrid/hydrogen er umoden teknologi (på konseptstadiet), og er derfor ikke inkludert. Effekten

1. Data-arkene som ligger til grunn for miljø- og energiregnskapet kan framskaffes ved å kontakte forfatterne ved SINTEF.



Figur 3.1 Skjematisk oversikt over alle noder i kjedeberegningene. For transportkjedene er kildene naturgass vurdert samt lokalt og sentralt generert elektrisitet. For referansekjedene er konvensjonelle drivstoff i form av bensin og diesel valgt.

av hybridisering for en hydrogendrevet bil forventes imidlertid å være tilnærmet den samme som for bensin/dieseldrevne biler. Hydrogenproduksjon ved vannelektrolyse er antatt å foregå lokalt. Lokal kraft er definert som PV, småskala vannkraft og vindkraft. For kjeder der elektrisitet er produsert ved gasskraft, er både gasskraft med og uten CO₂-håndtering inkludert. Det samme gjelder for hydrogenproduksjon ved sentral reformering, mens CO₂-håndtering ikke er tatt med ved lokal reformering da dette antas å være uhensiktsmessig i liten skala.

1.5 Vurdering og utvalg av aktuelle kjeder for buss

Følgende kjeder er valgt for buss (200kW):

- B1: Råolje – Raffinering – Diesel – Transport – Forbrenningsmotor (diesel) (E8-D5-A11)
- B2: Råolje – Raffinering – Diesel – Transport – Hybrid drift (diesel) (E8-D5-A11)
- B4: Naturgass – Transport – Forbrenningsmotor (CNG) (E6-D3-A8)
- B5: Naturgass – Transport – Sentral reformering til H₂ med CO₂ fangst (inkl. CO rens) - H₂ transport – PEMFC (E6-D3-C4-B1-A4)
- B6: Naturgass – Transport – Sentral reformering til H₂ med CO₂ fangst-H₂ transport – ICE H₂ (E6-D3-C4-B1-A4)
- B7: Naturgass – Transport – Lokal reformering til H₂ uten CO₂ fangst (inkl. CO rens) – H₂ lager/distribusjon – PEMFC (E6-D3-C5-B1-A4)
- B8: Naturgass – Transport – Lokal reformering til H₂ uten CO₂ fangst-H₂ lager/distribusjon – ICE H₂ (E6-D3-C5-B1-A4)
- B9: Naturgass – Transport – Gasskraft m/CO₂-Transport, El – Elektrolyse – H₂ lager/distribusjon – PEMFC (E6-D3-C6-D1- C1 – B1 – A4)
- B10: Naturgass- Transport – Gasskraft m/CO₂-Transport, El- Elektrolyse – H₂ lager/distribusjon – ICE H₂ (E6-D3-C6-D1- C1 – B1 – A4)
- B12: Vannkraft – Transport, El- Elektrolyse – H₂ lager/distribusjon – PEMFC (E1/E3-D1- C1-B1-A4)
- B13: Vannkraft – Transport, El – Elektrolyse – H₂ lager/distribusjon – ICE H₂ (E1/E3-D1- C1 – B1 – A4)
- B15: Lokal kraft – Elektrolyse – H₂ lager/distribusjon – PEMFC (E2,E4 – C1 – B1 – A4)
- B16: Lokal kraft – Elektrolyse – H₂ lager/distribusjon – ICE H₂ (E2, E4 – C1 – B1 – A4)

Som for personbil, er PEMFC og ICE-H₂ vurdert til å være de teknologiene som er mest aktuelle med hydrogen som drivstoff. Ren batterielektrisk drift er antatt å ha relativt beskjedent potensial for drift

av buss (bare interessant i nisjeapplikasjoner), og er derfor ikke inkludert, mens hybrid/hydrogenbusser er utelatt fordi dette er svært umoden teknologi (jf. kommentarer over). Kjeder for produksjon av hydrogen er valgt som for personbil. I tillegg er dielsel-hybrid drift inkludert, ettersom diesel er det dominerende drivstoff pr. i dag for busser, og hybridisering er spesielt gunstig for bykjøring som igjen utgjør bussenes primære anvendelsesområde.

Som referanse kjeder er de konvensjonelle kjedene med dieselmotor (B1) og gassmotor valgt (B4).

1.6 Effekt av elektrisitetssammensetning og CO₂-håndtering

For å sammenligne typisk norsk elektrisitetsproduksjon (dvs. vannkraft, som er utslippsfri) med europeiske forhold, er en del kjedeberegninger gjentatt for europeiske betingelser, dvs. det er antatt gjennomsnittlige utslipp for såkalt europeisk elektrisitetssammensetning (EU-mix) [BUWAL 1998]. Dette gjelder kjedene P12-P17 for personbil, og B12, B13, B15 og B16 for buss. Vi har i beregningene med EU-mix ikke skilt mellom lokal og sentral el-produksjon.

I utgangspunktet er det antatt at alle kjeder som er basert på sentral reformering av naturgass til hydrogen, samt el-produksjon i gasskraftverk, inkluderer fjerning av CO₂. For å illustrere den effekten CO₂-håndtering har på totalutslippet fra en kjede, er beregningene gjentatt for disse kjedene uten CO₂ fjerning. Dette gjelder kjedene P5, P6, P9-P11 for personbil, og B6, B7, B9 og B10 for buss.

2 Overordnede forutsetninger for kjedeberegninger

For bakgrunnsdata for kjedeberegninger vises det til data-ark.

- Alle virkningsgrader der gass eller fossile brensel inngår enten som kilde eller produkt, er basert på nedre brennverdi (Lower Heating Value, LHV). Virkningsgrad for kjøretøy er definert som energiinnhold i brensel (LHV) i forhold til nødvendig mekanisk energi for framdrift.
- All landtransport av fossile brensel foregår med standard vogntog med totalvekt på 50 tonn og lastekapasitet på henholdsvis 34 tonn og 40 m³, over en distanse på 50 km til bensinstasjon. Naturgass (NG) transporteres i form av LNG.

- Virkningsgrader well-to-tank er antatt å være: 83 prosent for raffinering av olje til bensin, 88 prosent for raffinering av olje til diesel, 95 prosent for flytendegjøring av NG, samt 98 prosent for sjøtransport av NG, for eksempel fra Hamnerfest. Dette gir en total virkningsgrad for NG «well-to-tank» på 93 prosent. Alle disse tallene er hentet fra [JORDANGER, 2002].
- For naturgass er det antatt et tap på 6 prosent, for å ta hensyn til energiforbruk ved utvinning, prosessering og rørtransport til sluttbruk (gasskraftverk etc.). Dette er basert på tall fra en større, europeisk «Well-to-wheel» studie [ROUDHURY et al, 2002], hvor det for norsk gass er antatt typiske «virkningsgrader» for oppgradering av naturgass på 94–96 prosent.
- For sentral produksjon av hydrogen er det antatt at hydrogenet lagres/transporteres i komprimert form, ved et trykk på 700 bar (jf. data-ark for lagring). Gjennomsnittlig kjørelengde for lastebiltransport er 150 km (en vei).
- Elektrolysøren er antatt å kunne levere hydrogen ved 30 bar. Det betyr at ved lagring og transport av hydrogen i komprimert form inkluderes energiforbruk forbundet med komprimering fra 30 til 700 bar.
- For å ta hensyn til CO₂-fjerning fra reformert naturgass der denne skal gå til en PEMFC, antas en reduksjon i virkningsgrad på ca. 3 prosent sammenliknet med konvensjonell reformering som produserer H₂ med noe lavere renhet.
- Det er ikke tatt hensyn til virkningsgrader ved lokal produksjon av elektrisitet fra fornybare kilder (som for eksempel solcellas virkningsgrad på 10–15 prosent). Det er heller ikke tatt hensyn til evt. reduksjon av virkningsgrad for en elektrolysør som en følge av fluktuerende effekt fra vindkraft.
- For overføring av elektrisitet fra sentrale kraftverk er det antatt en overførings-virkningsgrad på 93 prosent.
- Gjennomsnittlig Europeisk elektrisitetssammensetning (EU-mix) består av 17.4 prosent elektrisitet fra kull, 7.4 prosent fra naturgass, 16.4 prosent vannkraft, 7.8 prosent fra brunkull, 40.3 prosent kjernekraft og 10.7 prosent fra olje [BUWAL 1998], hvilket gir et CO₂-utslipp på 0.428 kg CO₂/kWh og et NO_x utslipp på 0,922 g/kWh [BUWAL 1998].
- Gjennomsnittlig virkningsgrad for Europeisk elektrisitetsproduksjon er 35 prosent [CHOUDHURY et al. 2002].
- Data for NO_x utslipp fra småskala reformere er ikke tilgjengelige. Det er derfor antatt samme verdi som for en storskala reformer.
- Det bemerkes at det i data-arkene er antatt katalytisk fjerning av NO_x for hydrogenforbrenningsmotor, men ikke for konvensjonelle forbrenningsmotorer.
- Virkningsgrad for bensinbiler med hybrid elektrisk drift er antatt å kunne komme opp mot 37 prosent (jmf. data-ark).
- Data for virkningsgrader for buss har ikke vært tilgjengelig for definerte kjøresykluser på samme måte som for bil. For buss er det derfor antatt en typisk virkningsgrad på 25 prosent for bykjøring (basert på et dieselforbruk på 4.2 l/mil, se data ark, og en oppgitt sammenheng mellom brenselforbruk pr. km og virkningsgrad [HART et al., 1998]. som tilsvarer 13 MJ diesel/km for 30 prosent virkningsgrad for buss). Effekt av hybridisering er svært avhengig av kjøresyklus. For bykjøring er hybridisering oppgitt til å gi fra 30–60 prosent virkningsgrad [WINTER et al. 2003, BABA et al. 2003, CHOUDHURY et al. 2003]. Basert på dette har vi antatt en «tank to wheel»-virkningsgrad for buss med hybrid drift på 37 prosent for bykjøring.
- For CNG drevet buss er det antatt en virkningsgrad på 20 prosent ved bykjøring.

3 Resultater og diskusjon

Resultater fra kjedeberegningene er gjengitt i dette kapitlet.

Kort oppsummering av resultater

Hydrogen forbrenningsmotor har lav virkningsgrad, og det har ingen miljømessig gevinst å gå via hydrogen hvis hydrogen produseres ved reformering av naturgass uten CO₂-håndtering. Dette gjelder for både buss og bil. Langt høyere virkningsgrader og lavere utslipp forventes for brenselcelledrevne biler og busser, men det er interessant å merke seg at heller ikke disse oppnår vesentlig bedre virkningsgrad/utslipp enn bensin-hybridbiler hvis hydrogenet produseres ved lokal reformering. Den høye gevinsten av hybridisering forutsetter imidlertid en kjøresyklus som er typisk for bykjøring. Ved kjøring i konstant høy hastighet på motorvei er effekten av hybridisert drift minimal. Brenselcelledrevne biler/busser representerer relativt umoden teknologi, og er neppe kommersielt tilgjengelige før etter 2010. Med unntak av elbiler, som har en noe begrenset anvendelse, oppnår imidlertid brenselcelledrevne biler høyest vir-

Boks 3.1 Definisjon av virkningsgrad

Virkningsgrad defineres som nyttig energi ut av en prosess dividert på energien man må putte inn i prosessen.

Eksempel: Råolje er energikilden som danner grunnlag for produksjon av diesel. Etter at råoljen er hentet opp fra oljefeltet og diesel er fremstilt er det i dieselen kun 88 prosent igjen av den opprinnelige energien som engang var bundet som kjemisk energi i råoljen. Dette fordi prosessene for framstilling av diesel (destillasjon og rensing) er energikrevende. Dieselen distribueres så til bensinstasjonen og fylles på bilen. I bilen er det igjen kun en del av energien som kan omformes til bevegelse. Dette fordi forbrenningsmotoren taper mye av energien i form av varme. Motoren må derfor ha et stort kjølesystem (radiator med vifte). Mye av varmen slippes også ut med eksosen. Det er kun omkring 20 prosent av energien som blir til bevegelse og vi sier da at den totale virkningsgraden for Diesebil er $0,88 \times 0,2 = 17,6$ prosent fra kilde til sluttbruk

kningsgrad uten utslipp, forutsatt at hydrogen produseres fra fornybare energikilder ved elektrolyse.

De gunstige resultatene for elektriske biler, samt for brenselcelledrevne biler med hydrogen produsert ved elektrolyse, er typiske for det norske energisystemet, med elektrisitetsproduksjon primært fra vannkraft. Ved bruk av gjennomsnittlig elektrisitet i det Europeiske markedet (EU-mix) gir el-bilen noe lavere CO₂-utslipp, men høyere NO_x-utslipp enn bensin-hybridbiler. Hvis det forutsettes CO₂-fangst er kjedene basert på naturgass bedre enn bensin-hybrid, men uten CO₂-håndtering gir naturgass-kjedene høyere CO₂-utslipp enn bensin-hybrid, med unntak av kjeder der brenselceller (PEMFC) brukes i kjøretøyet.

3.1 Personbiler (70kW)

Som eksempel på lett kjøretøy er det valgt å se på personbil i mellomklassen. Et eksempel på en slik bil kan være OPEL Zafira eller Toyota Prius. Dette er kjøretøy med en motoreffekt på omkring 70kW og en vekt på 1250 kg.

3.1.1 Virkningsgrad

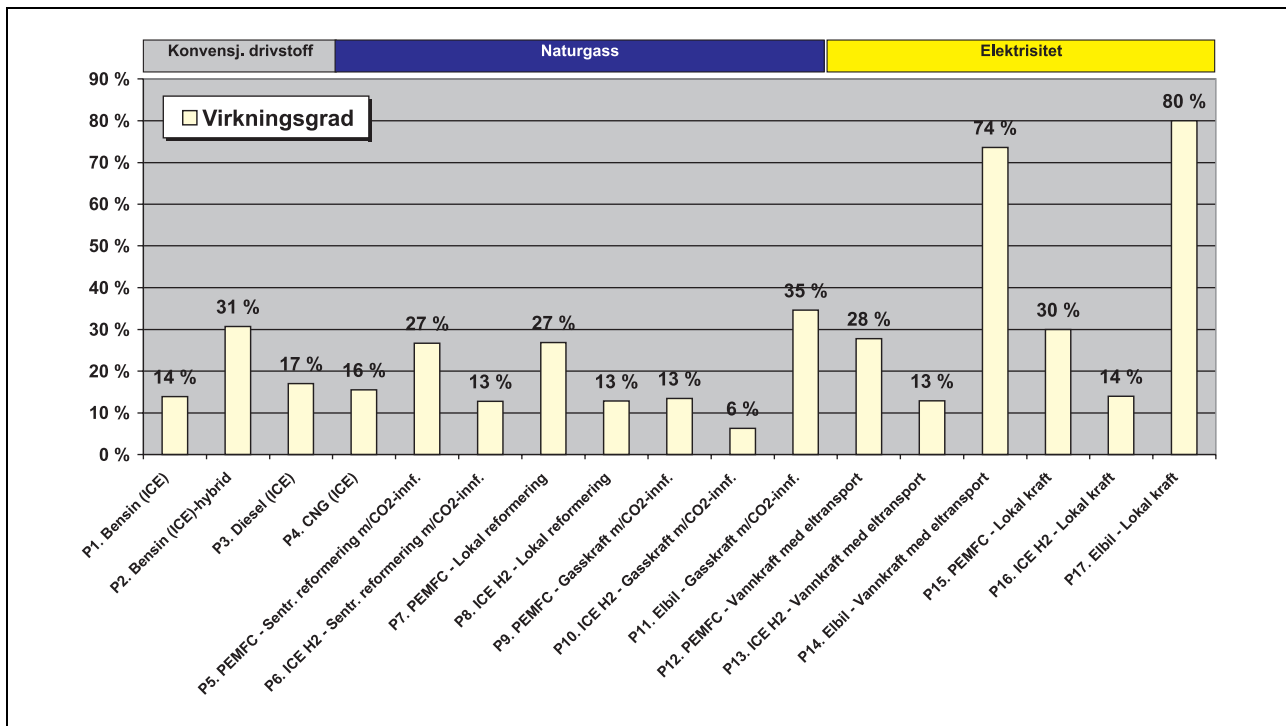
En definisjon av virkningsgrad er gitt over, og det er viktig å være klar over at alle virkningsgrader rapportert her er totalvirkningsgrader fra energikilde til sluttbruk. Resultater for virkningsgrad for ulike kjeder for personbil er vist i figur 3.2. Det er antatt standard Europeisk kjøresyklus for alle kjøretøytyper.

Elbilene basert på fornybar elektrisitet som primær energikilde (kjeder til høyre i Figur 2) kommer ut med klart den høyeste virkningsgraden (P14 og P17). Elbil basert på gasskraft (P11) kommer også godt ut med virkningsgrad på 35prosent. Det er interessant å registrere at personbiler med brenselceller (PEMFC) (kjede P5, P7, P9 og P12 samt P15) alle kommer dårligere ut enn bensin-hybrid (P2) som ligger på 31 prosent. Dette gjelder for kjøresykluser som etterligner typisk bykjøring. Tallene stemmer svært godt overens med tallene Toyota oppgir for sin hydrogendrevne brenselcellebil (HFCV) sammenliknet med Prius Hybrid. Toyotas tall er henholdsvis 28 prosent og 32 prosent mot 27 prosent og 31 prosent i figur 3.2 (P2 og P5). Bruk av forbrenningsmotor på hydrogen (ICE H2) gir virkningsgrader som er lavere enn Bensin og Diesel (ICE). Det er viktig å bemerke at dette er resultater for Europeisk kjøresyklus som er dominert av bykjøring. Andre kjøremønstre gir andre verdier (se delkapittel 3.1.5).

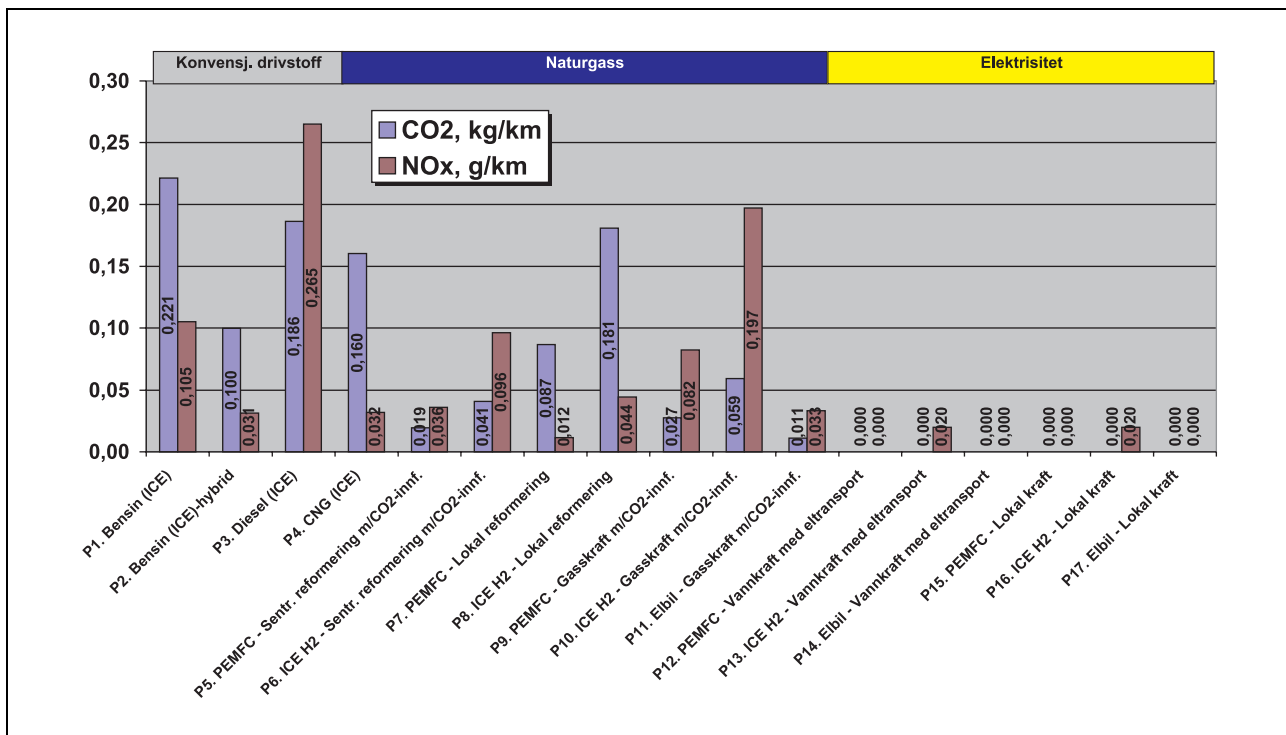
3.1.2 Utslipp av CO₂ og NO_x

Resultater for utslipp av CO₂ og NO_x er vist i figur 3.3. En konvensjonell mellomklassebil (kjede P1) slipper ut 221 gram CO₂ og 0,105 g NO_x per kilometer med bensin som drivstoff. Utslipet halveres ved bruk av hybrid-teknologi (P2). Det er for disse kjedene forutsatt fornybar elektrisitet. Da norsk elektrisitet er tilnærmet ren fornybar gir disse resultatene et godt bilde for norske forhold. Det er imidlertid viktig å vurdere utslippene også under forutsetninger som gjelder i Europa. Det er derfor gjort beregninger også for Europeisk elektrisitets sammensetning (se delkapittel 3.1.3). De gunstige resultatene for elbil og brenselcelledrevne biler med hydrogen fra elektrolyse er typiske for norske forhold.

Når det gjelder utslipp er alle kjeder basert på fornybar elektrisitet (P12-P17) naturlig nok helt eller tilnærmet utslippsfrie (figur 3.3). Det er her forutsatt katalytisk fjerning av NO_x fra forbrenningsmotor (ICE) for hydrogen.



Figur 3.2 Virkningsgrad for ulike energikjeder for personbil.



Figur 3.3 Utslipp av CO₂ og NO_x for personbiler under forutsetning av at elektrisiteten er generert fra fornybare energikilder.

Hydrogen forbrenningsmotor (ICE H2) kommer dårlig ut i kjedeberegningene. Dette skyldes i all hovedsak den dårlige tank-to-wheel virknings-

graden (ca. 20 prosent), som igjen fører til høye utslipp pr. km. når den primære energikilden ikke er fornybar. Til tross for at det er antatt et svært lavt

utslipp av NO_x fra selve forbrenningsmotoren (katalytisk fjerning av NO_x er antatt). Overordnede forutsetninger», gir for eksempel kjede P10: NG-Gasskraftverk m/ CO_2 fangst- H_2 produksjon v/elektrolyse – ICE H_2 , relativt høye NO_x utslipp, som i all hovedsak stammer fra gasskraftverket, og det faktum at den lave virkningsgraden for hydrogenforbrenningsmotoren krever et større volum av naturgass enn for eksempel tilsvarende kjede P9, med PEMFC.

Framdriftsteknologiene som er sammenstilt i figurene 3.2 og 3.3 har imidlertid svært ulikt potensial for forbedring, og ulik tidshorisont. For eksempel er forbedringspotensialet for konvensjonelle forbrenningsmotorer relativt beskjedent (se data-ark), med hensyn til virkningsgrader og dermed også CO_2 utslipp. Det er imidlertid rimelig å anta at disse har et relativt stort potensial for reduksjon av NO_x utslipp, for eksempel ved å ta i bruk katalytisk fjerning av NO_x . Potensialet for økning av virkningsgrad for PEMFC og ICE hydrogen er relativt stort, da dette er umodne teknologier. ICE hydrogen representerer den mest modne teknologien av disse to, og markedsintroduksjon/videre teknologiutvikling avhenger av etablering av hydrogen infrastruktur samt andre politiske incen-

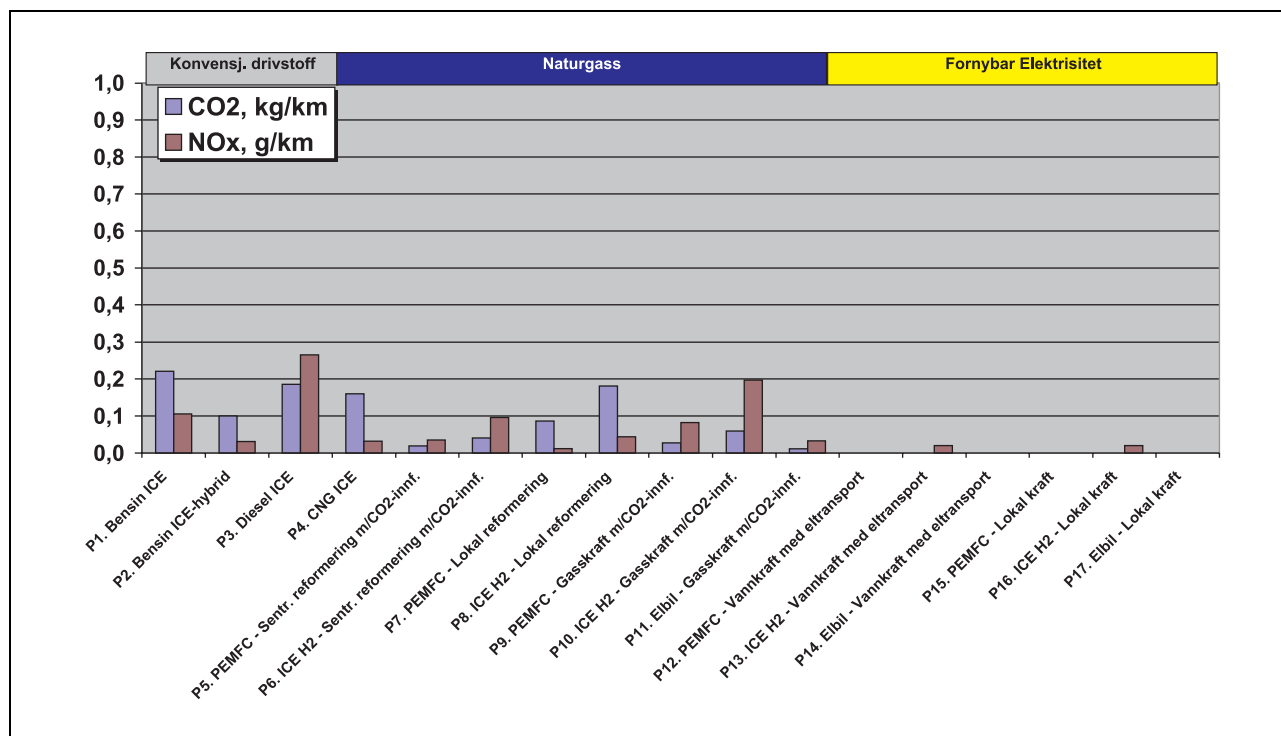
tiver. Brenselcelledrevne biler forventes å være kommersielt tilgjengelige innen 2010–2015, og antas å ha det største potensialet på lang sikt (høy virkningsgrad, særlig ved bykjøring).

3.1.3 Fornybar elektrisitet vs. Europeisk elektrisitets-sammensetning

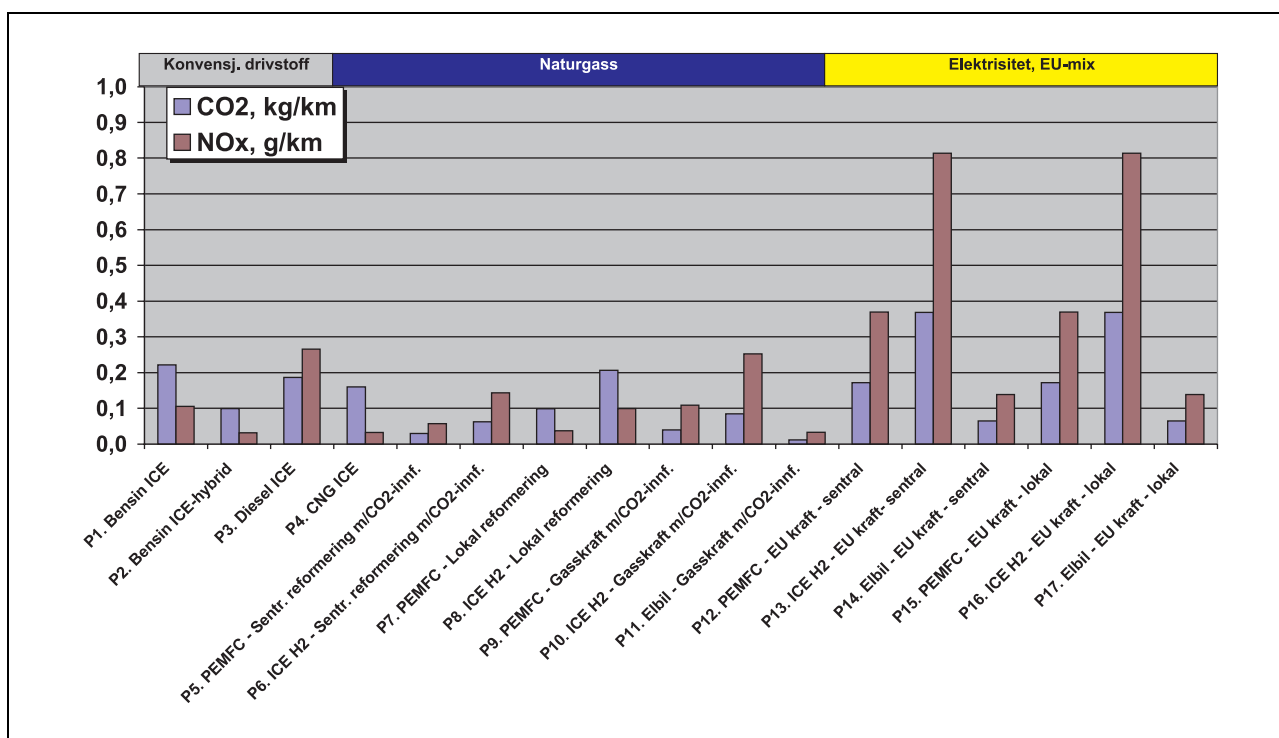
Med underskudd på kraftbalansen med utlandet er det aktuelt å vurdere energikjeder også med elektrisitet basert på annet enn fornybare energikilder. For å illustrere betydningen av de primære energikildene for elektrisitetsproduksjon er to ulike sammensetninger av elektrisitet vurdert:

1. Elektrisitet fra fornybare kilder med neglisjerbare utslipp (representativt for Norge)
2. Gjennomsnittlig Europeisk elektrisitets-sammensetning (EU-mix)

Elektrisitetsproduksjon i Europa er for en vesentlig del basert på fossile energikilder og kjernekraft. For sammensetningen av kilder for gjennomsnittlig Europeisk elektrisitet vises til forutsetninger (kapittel 2). I figur 3.4 og 3.5 er utslipp for de to ulike el-sammensetningene gitt. Det må bemerkes



Figur 3.4 Utslipp fra kjeder for personbil i 2010 forutsatt at elektrisiteten stammer fra fornybare energikilder (et bilde som godt illustrerer norsk elektrisitets-sammensetning (99,6 % vannkraft)).



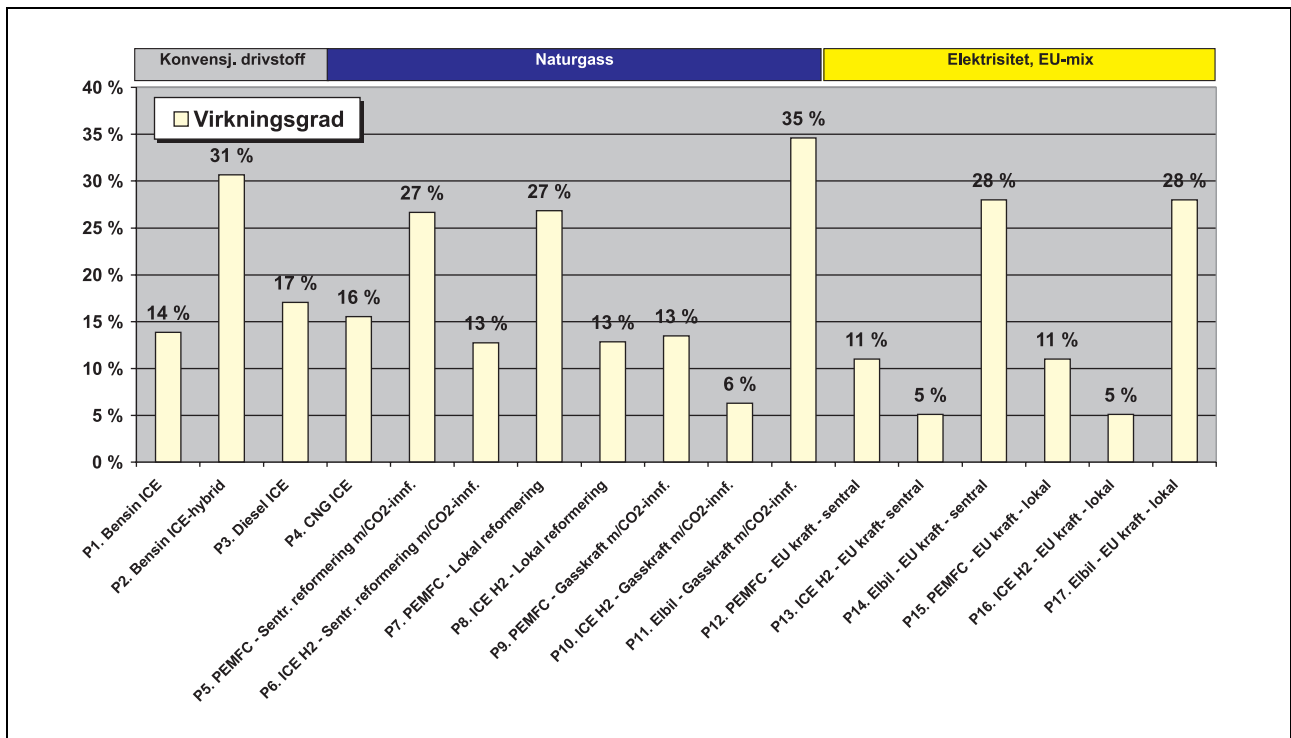
Figur 3.5 Utslipp fra kjeder for personbil forutsatt at elektrisitet kommer fra gjennomsnittlig Europeisk generering som i stor grad er basert på fossile energikilder.

at kjedene P12-P14 blir identiske med P15-P17 i figur 3.5 (EU-mix). Det er i mange sammenhenger ikke hensiktsmessig å snakke om EU-mix for lokal elproduksjon, men kjedene P15–17 er beholdt i figurene for å forenkle rapporteringen. Det finnes imidlertid lokal elektrisitetsproduksjon fra naturgass i en del områder, og for disse er tallene i P15 til P17 (figur 3.4) representative.

Som vist i figur 3.4 og 3.5 er det svært stor forskjell på utslippene for noen kjeder avhengig av hvor elektrisiteten kommer fra. For kjedene P1-P4 er resultatene de samme, da kilden til disse er fossile energikilder (rå-olje og naturgass). For kjedene P12-P17 er det svært store forskjeller (kjeder basert på elektrisitet) og vi ser at utslippene er langt høyere for disse kjedene der man anvender Europeisk gjennomsnittlig elektrisitet for å generere hydrogen ved elektrolyse (figur 3.5). Selv elbiler (P14 og P17) vil med Europeisk gjennomsnittlig elektrisitet slippe ut mer NO_x enn bensin- og gassdrevne bilder (P1, P2 og P4). Dette skyldes delvis at NO_x utslippet ved gjennomsnittlig europeisk elproduksjon er svært høyt, omtrent en faktor 10 høyere enn for moderne gasskraftverk. CO₂-utslippet fra elbiler basert på EU-mix ligger noe lavere

enn selv Bensin-hybrid-bilene (P2). Dette henger sammen med elbilens høye virkningsgrad samt en vesentlig andel kjernekraft (mer enn 40 prosent) i EU-mixen som ikke bidrar til CO₂-utslipp. Kort oppsummert kan en derfor si at hydrogenproduksjon basert på gjennomsnittlig EU-mix ikke gir betydelige miljøgevinster. Kjeder med hydrogen produsert ved strøm fra et moderne gasskraftverk (P9 og P10) samt sentral reformering av naturgass til hydrogen (P5 og P6) kommer imidlertid bedre ut enn de konvensjonelle forbrenningsmotorene, forutsatt at CO₂ fjernes. Bildet er ikke det samme dersom CO₂ ikke håndteres (se delkapittel 3.1.4).

Da gjennomsnittlig virkningsgrad for elgenerering i Europeisk sammenheng er 35 prosent [CHOUDHURY et al, 2002] er bildet virkningsgradsmessig (som vist i Figur 2 for fornybare kilder) også betydelig endret. Kjeder med elbiler gir totalt sett lavere virkningsgrad enn Bensin ICE-hybrid (P2) for gjennomsnittlig Europeisk elektrisitet. Dette er illustrert i figur 3.6. Virkningsgrad for elbiler som i figur 3.2 er henholdsvis 74 og 80 prosent (P14 og P17) er for EU-mix nede i 28 prosent. Under disse forutsetningene kommer elbil basert på gasskraft best ut med 35 prosent (P11).

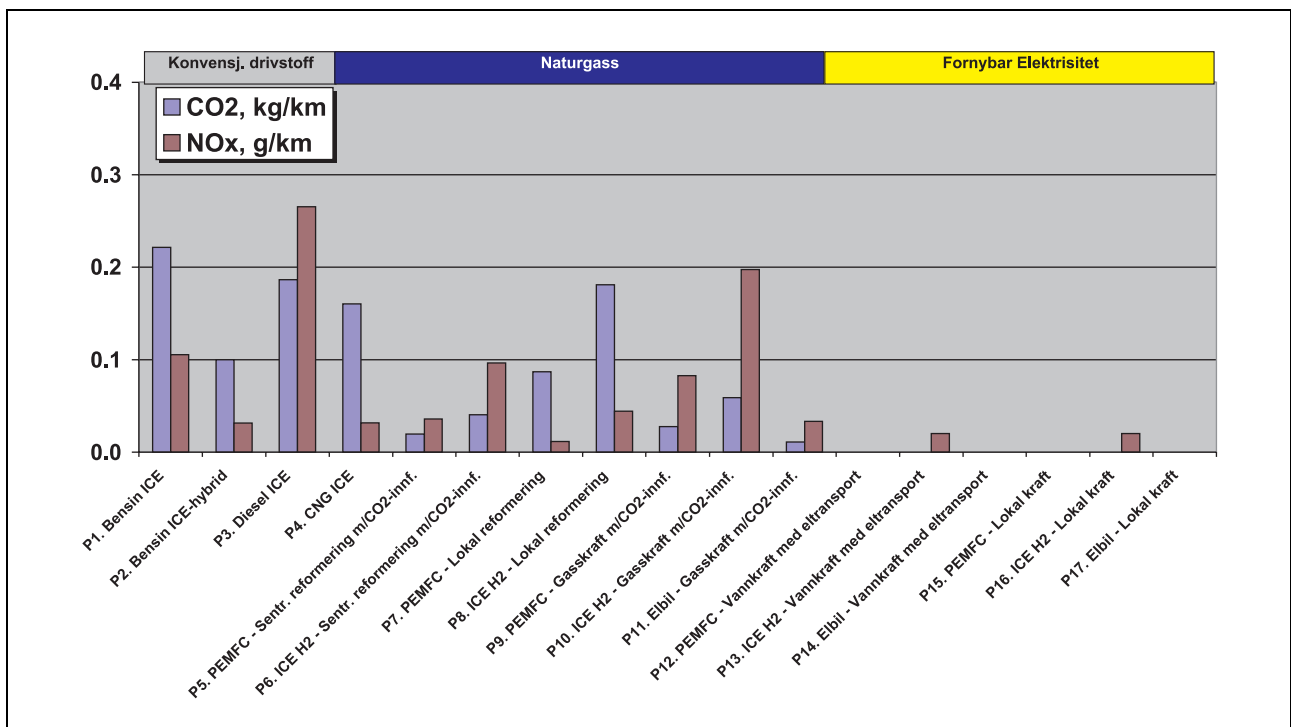


Figur 3.6 Virkningsgrad for kjeder der gjennomsnittlig EU-elektrisitet er kilde.

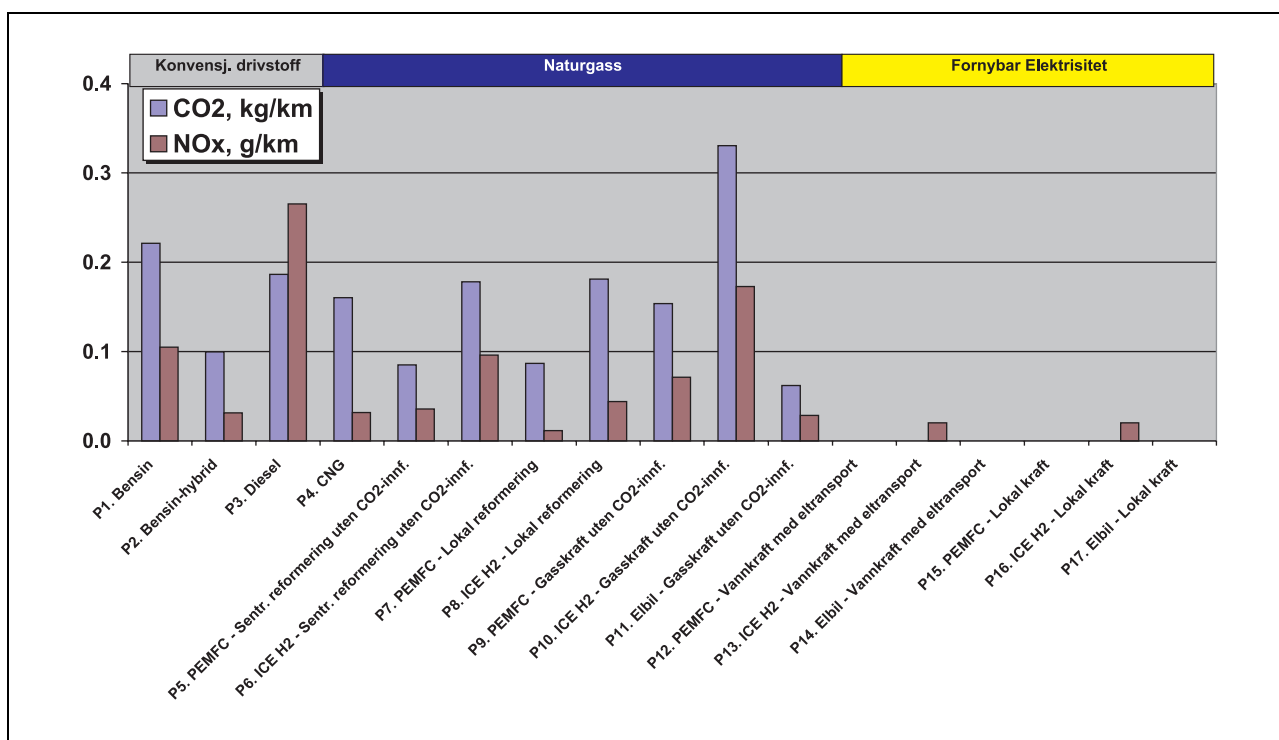
3.1.4 Betydningen av CO₂-håndtering for utslipp

Det er likeledes av stor betydning for resultatene hvorvidt man håndterer CO₂ eller ikke. Sammen-

likning av figurene 3.7 og 3.8 viser klart effekten av CO₂-håndtering på kjedene P5, P6, P9, P10 og P11. Fra resultatene ser vi at bruk av hydrogen som drivstoff, der hydrogenet kommer fra naturgass,



Figur 3.7 Utslipp fra kjeder for personbil i 2010 forutsatt at elektrisiteten stammer fra fornybare energikilder (et bilde som godt illustrerer norsk elektrisitets-sammensetning (99,6 % vannkraft). Det er her tatt hensyn til CO₂-håndtering.



Figur 3.8 Utslipp fra kjeder for personbil i 2010 forutsatt at elektrisiteten stammer fra fornybare energikilder. Det er ikke tatt hensyn til CO₂-fangst ved el-produksjon ved gasskraft, eller ved hydrogenproduksjon ved sentral reformering.

enten dette skjer ved sentral reformering, eller ved elektrolyse med strøm fra et gasskraftverk, gir utslipp av CO₂ på nivå med fossile drivstoff bruk i konvensjonell forbrenningsteknologi (ICE). Virkningsgraden for de aktuelle kjedene uten CO₂-håndtering vil imidlertid være noe høyere enn de vi finner i figur 3.6, ettersom CO₂-fangst reduserer virkningsgraden for de respektive teknologiene (ikke illustrert).

3.1.5 Innflytelsen av kjøresyklus på virkningsgraden

Resultatene i de foregående delkapitler viser en tydelig positiv effekt av hybrid-elektrisk drift sammen med konvensjonelle forbrenningsmotorer for personbiler. Som tidligere bemerket gjelder dette bare ved kjøresykluser som har stor andel bykjøring. En sammenligning mellom konvensjonell dieselmotor og hybridisert drift (diesel) viser for eksempel at forskjellen i «tank-to-wheel»-virkningsgrad er forholdsvis stor ved bykjøring (ECE15) (hhv. 30 prosent for ICE-hybrid mot ca. 17 prosent for ren ICE), mens for kjøring på motorvei (Ushiway), er virkningsgraden den samme (ca. 32 prosent i begge tilfeller). Effekten

av hybridisering er noe mindre for brenselcelledrevne biler enn for forbrenningsmotorer. Her er det rapportert Tank-to-wheel virkningsgrader på 45 prosent og 37 prosent for henholdsvis hybrid-brenselcelle og ren brenselcelle drevet på komprimert hydrogen for bykjøring, og tilsvarende 47 prosent og 45 prosent for kjøring på motorvei.

Flere personbilprodusenter har satset på å kombinere polymerbrenselceller med en batteripakke i sine brenselcellekjøretøy. Dette gjelder Toyota og Daihatsu Motor m.fl. General Motors har derimot ikke noen batteripakke i sitt mest profilerte brenselcelle-kjøretøy OPEL Zafira HydroGen3. Batterier gir økt vekt for kjøretøyet og er i prinsippet ikke nødvendige da polymer-brenselcellen ikke har problemer med å reagere raskt nok til å gi ønsket respons eller akselerasjon. Men batteriet muliggjør regenerativ bremsing, med andre ord at den elektriske motoren fungerer som en generator og lader opp batteriet ved oppbremsing. I tillegg kan man ved bruk av batterier øke virkningsgraden for brenselcellen noe, men gevinsten er mindre enn den man oppnår for bensin- og dieseldrevne hybridkjøretøy med forbrenningsmotorer. Sist, men ikke minst vil inkorporering av batterier gjøre at man kan dimensjonere brenselcellen

Drive Cycle	Strategy A		Strategy B				Strategy C			
	☐ Regen. braking ☐ Stack shut off		☒ Regenerative braking ☐ Stack shut off				☒ Regenerative braking ☒ Stack shut off			
	Efficiency Tank-to-Wheel	Range	Efficiency Tank-to-Wheel	Efficiency Benefit	Range	Range Benefit	Efficiency Tank-to-Wheel	Efficiency Benefit	Range	Range Benefit
	%	km/kg	%	%	km/kg	%	%	%	km/kg	%
EDC	36.7	79.9	37.5	0.8	81.7	2.2	39.0	2.3	84.9	5.9
Japan 1015	36.8	84.6	38.5	1.8	88.6	4.6	41.8	5.0	96.2	12.1
USA FTP 75	37.7	80.8	38.9	1.2	83.3	3.1	40.0	2.3	85.8	5.9
Highway	39.9	90.6	40.1	0.2	91.1	0.5	40.2	0.2	91.1	0.6

Figur 3.9 Virkningsgrad og rekkevidde for ulike driftsmønstre for brenselcelledrift; Europeisk (EDC), Japansk og amerikansk kjøresyklus, samt motorveikjøring [GM/OPEL Berlin 2003].

med tanke på gjennomsnittlig effektuttak. Med fortsatt høye kostnader for polymerbrenselceller er inkorporering av et batteri i kjøretøyet trolig å foretrekke. Ut fra tysk kjøremønster (Autobahn) argumenterer likevel General Motors (GM) med at ulempene knyttet til vektøkningen er større enn fordelene ved å inkorporere batterier (se tabell 3.1). Det må bemerkes at GM trolig viser til en mild hybridisering som består i å inkorporere en mindre batteripakke. Dette er svært ulikt Toyotas strategi der batteripakken er stor og kan yte en vesentlig andel av totaleffekten ved akselerasjon.

3.2 Busser (200 kW)

For å illustrere potensialet for forbedret virkningsgrad og reduserte utslipp for ny teknologi og nye drivstoff for tynge kjøretøy er det valgt å se på buss. En buss har typisk installert en motor med effekt på 200kW og vekten er typisk 13 tonn.

3.2.1 Virkningsgrad

Forutsatt at en «tank-to-wheel»-virkningsgrad på 37 prosent er mulig for dieselbusser med (strong) hybrid elektrisk drift er mulig i 2010 (bykjøring), vil denne løsningen gi den beste totalvirkningsgraden for en buss (33 prosent som vist i figur 3.10). Brenselcelledrevne busser og busser med hydrogen-forbrenningsmotor forventes å gi lavere virkningsgrad enn konvensjonelle dieseldrevne for-

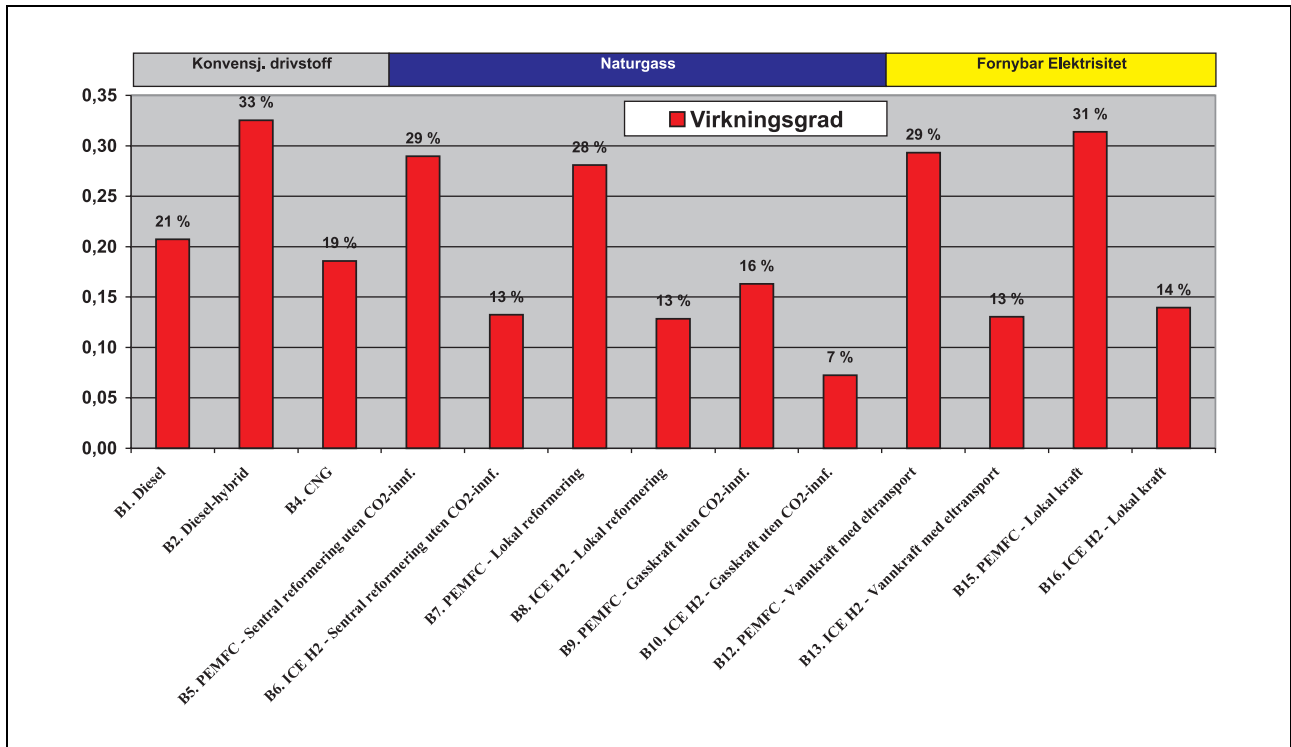
brenningsmotorer, men har et potensial for store utslippsreduksjoner, hvis hydrogenet produseres fra fornybare kilder (som vist i figur 3.11).

3.2.2 Utslipp av CO₂ og NO_x for buss

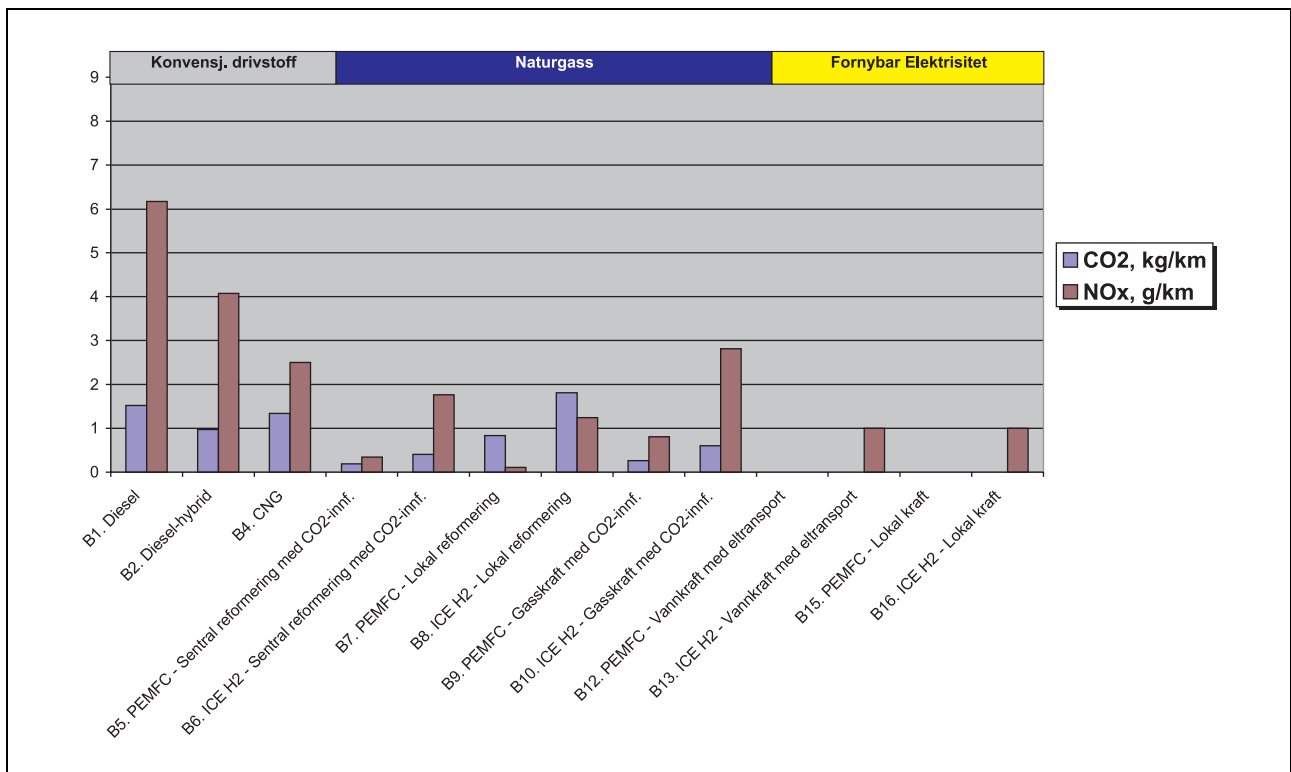
De laveste utslippene oppnås for brenselcelledrevne busser (ren batteridrift er ikke vurdert for busser, se kapittel 1), og potensiell utslippsfri drift er mulig hvis hydrogen produseres ved elektrolyse fra fornybar kraft (B12 og B15). Hydrogenforbrenningsmotor har et visst NO_x utslipp (selv om det er forutsatt katalytisk fjerning av NO_x – se data-ark, og bemerkninger i kapittel 2), og kommer dårligst ut av alle kjedene mht. CO₂-utslipp for hydrogen produsert ved lokal reformering (B8, figur 3.11). Konvensjonelle dieselbusser gir de høyeste NO_x utslippene forutsatt norske forhold. Men hvis elektrisiteten er basert på gjennomsnittlig Europeisk kraft, er bildet et annet (diskutert i delkapittel 3.2.3).

3.2.3 Fornybar elektrisitet vs. Europeisk elektrisitets-sammensetning

På samme måte som for personbil er kjedebergningene for buss gjentatt med elektrisitets-produksjon tilsvarende gjennomsnittlig Europeisk elektrisitetssammensetning (EU-mix). Resultatene er vist i figur 3.12, der EU-mix er inkludert i kjedene B12 og B13 (B15 og B16 vil være identiske med B12 og B13, og er derfor ikke inkludert). Under disse for-



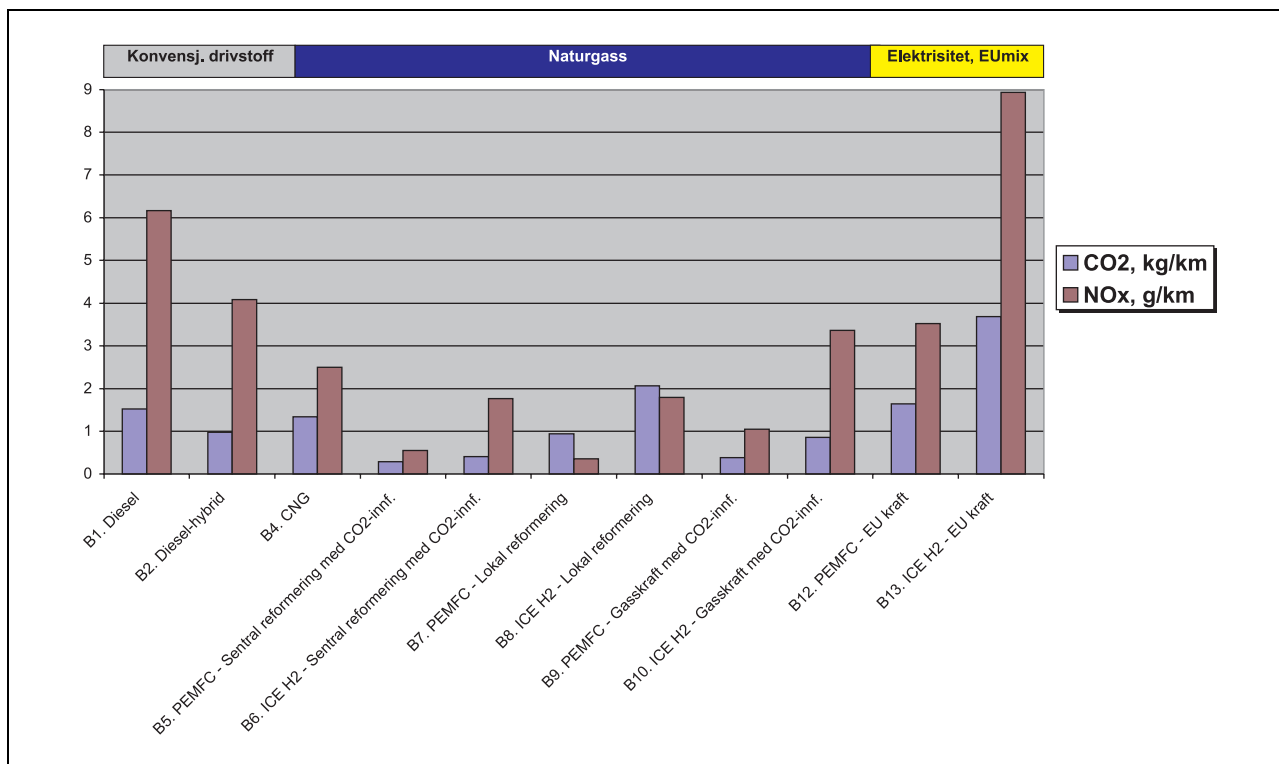
Figur 3.10 Virkningsgrad for ulike energikjeder for buss, forutsatt at elektrisiteten er fornybar.



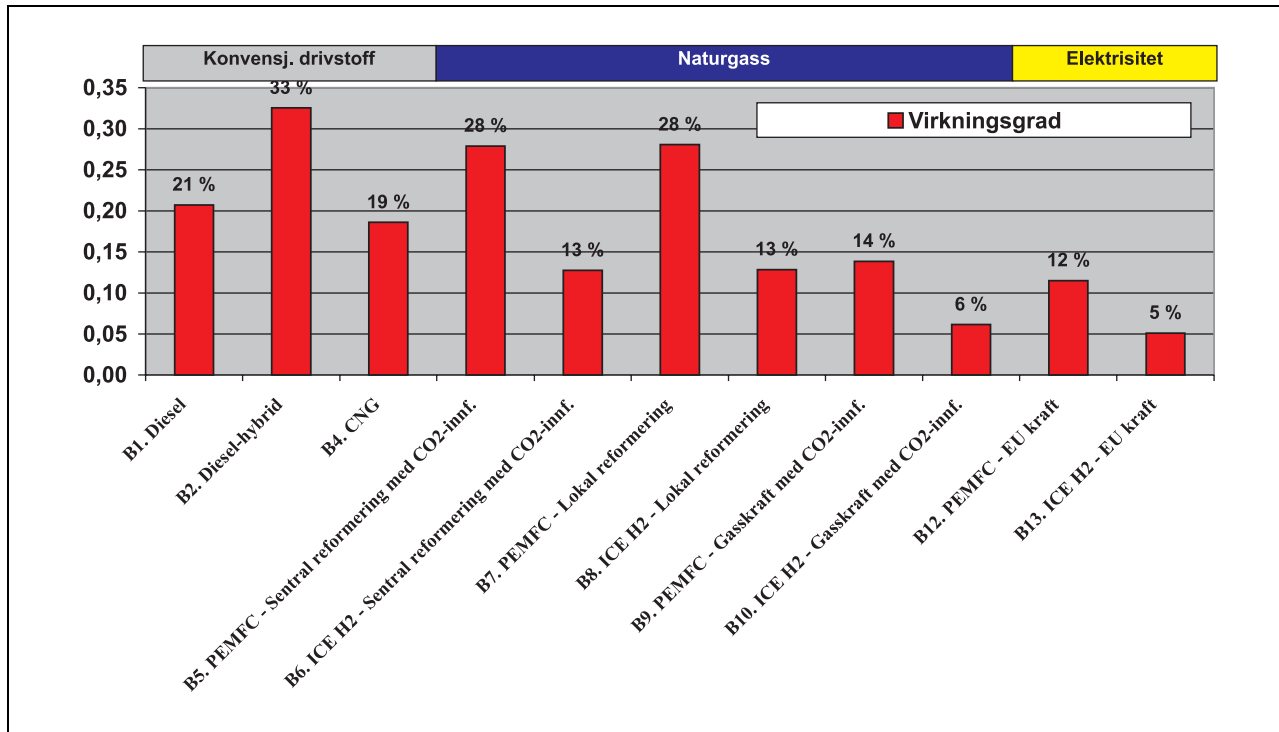
Figur 3.11 Utslipp fra kjeder for buss i 2010 forutsatt at elektrisiteten stammer fra fornybare energikilder (et bilde som godt illustrerer norsk elektrisittets-sammensetning).

utsetningene vil potensiell utslippfri drift ved kombinasjonen brenselceller med hydrogen fra elektrolyse ikke være mulig. Tvert i mot fremstår for-

brenningsmotorer med hydrogen som drivstoff generert ved vannelektrolyse som den minst miljøvennlige løsningen (B13 i Figur 3.12).



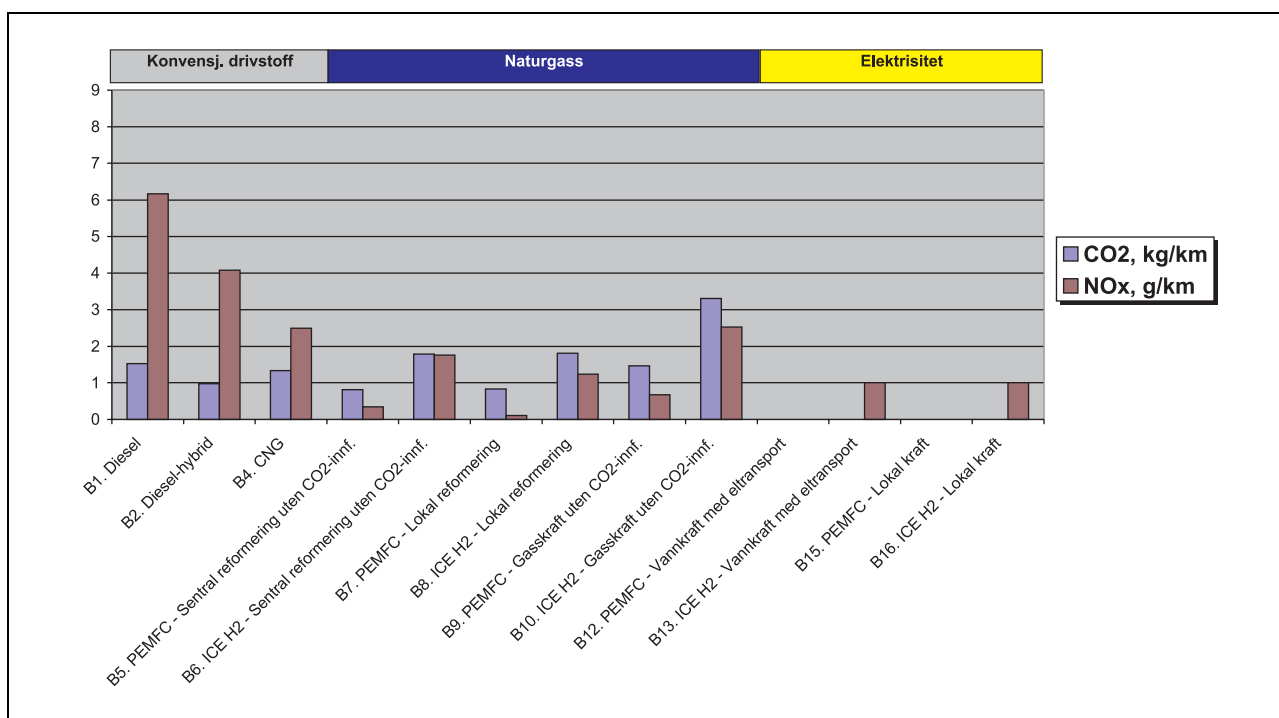
Figur 3.12 Utslipp fra kjeder for buss i 2010 forutsatt at elektrisiteten kommer fra gjennomsnittlig Europeisk generering som i stor grad er basert på fossile energikilder.



Figur 3.13 Virkningsgrad for busskjeder der gjennomsnittlig EU-elektrisitet er kilde.

På grunn av den lave virkningsgraden for gjennomsnittlig Europeisk elektrisitets-produksjon (35 prosent kommer disse kjede B13 sammen med B10

(gasskraft for produksjon av H2 + ICE H2) dårligst ut med hensyn til virkningsgrad. Dette er illustrert i figur 3.13.



Figur 3.14 Utslipp fra kjeder for buss i 2010 forutsatt at elektrisiteten stammer fra fornybare energikilder. Det er antatt at CO₂ verken håndteres ved el-produksjon ved gasskraft, eller ved hydrogenproduksjon ved sentral reformering. Sammenlikne med figur 3.11 for å se effekten av CO₂-håndtering.

3.2.4 Betydning av CO₂-håndtering for utslipp

Gasskraft kombinert med vannelektrolyse og hydrogen forbrenningsmotor (P10) gir klart den dårligste ytelsen i form av høye CO₂-utslipp. For å se effekten av CO₂-håndtering, må kjedene for naturgass i figur 3.14 sammenliknes med figur 3.11.

Referanser

Y. Baba and H. Ishitani, «Well to Wheel Efficiency of Advanced Technology Vehicles in Japanese Conditions», presentation

Buwal. Evaluation of life cycle inventories for packaging, part I and II, 2nd improved edition. SAEL, Switzerland, (1998).

R. Choudhury et al. «ANNEX: Full Background Report – Methodology, Assumptions, Descriptions, Calculations, Results to the GM Well-to-

Wheel Analysis of Energy Use and Greenhouse Gas Emissions of Advanced Fuel/Vehicle Systems – A European Study», 2002, <http://www.lbst.de/gm-wtw>

GM/OPEL Berlin 2003: Automobile Zukunft/ Automotive Future, Workshops, Berlin 2003.

D. Hart, G. Hörmandinger, «Environmental benefits of transport and stationary fuel cells», Journal of Power Sources, 71 (1998) 348–353.

E. Jordanger, S. Møller-Holst, O. Maurstad, D.A. Brevik, «Hydrogen som energibærer, energi- og utslippsregnskap for utvalgte kjeder», SINTEF report no. TR A5713, Oktober 2002

U. Winter and H. Weidner, «Hydrogen for the Mobility of the Future Results of GM/Opel's Well-to-Wheel Studies in North America and Europe», FUEL CELLS 2003, No3, Wiley-VCH Verlag GmbH & Co.