

Brændselsceller og brint i transportsektoren

Teknologisk innovation og bæredygtig transport

Af seniorforsker Kaj Jørgensen, Forskningscenter Risø, Afd. for Systemanalyse

Indledning

For øjeblikket er bilindustrien i en afgørende fase med hensyn til en mulig gennemførelse af dens formentlig største teknologispring i årtier, nemlig et skift til drivsystemer baseret på brændselscelle-teknologi (forkortes FC for "fuel cell") i stedet for dagens forbrændingsmotorer. Der er sig dog stor usikkerhed om udviklingen, både om bilindustrien faktisk vælger at satse (og i hvilket omfang), om det bliver en vellykket satsning og hvilken form den i øvrigt får, herunder hvilket drivmiddel der vil blive brugt i FC-bilerne: brint, metanol, benzin mv.

Hvis det bliver brint, kan de blive en ny fase i introduktionen af brint i transportsektoren. Ikke mindst siden 1970'erne har der været en del aktiviteter i denne forbindelse, om end mest på forsknings- og udviklingsfronten og i form af demonstrationsprojekter, og niveauet har generelt været lavere end for de fleste andre alternative drivmidler. Det har i 70'erne og 80'erne mest drejet sig om biler med forbrændingsmotor, men i 90'erne er FC-drivsystemer i stigende grad blevet seriøse muligheder. Brint har i øvrigt, både herhjemme og i udlandet, været genstand for en række analyser med henblik på en mulig fremtidig rolle som energibærer både i energisektoren som helhed¹ og mere specifikt for transportsektoren². Et igangværende projekt, der gennemføres af RUC, Risø, Elkraft og DONG med finansiering fra Energistyrelsens Brintprogram, omfatter systemanalyser af brintens muligheder i energi- og transportsystemet i Danmark³. Perspektivet for disse analyser er brugen af brint som middel til udbredelse af nye, energi-effektive teknologier på forbrugssiden samt at forøge bidraget fra vedvarende energi til energiforsyningen. I forlængelse heraf rejses spørgsmålet om den store interesse for FC-biler også sætter brint på dagsordenen - eller i det mindste giver mulighed for at gøre det?

Brændselscellernes udvikling

FC-teknologiens potentiale i transportmidler er i første række at den giver mulighed for høj energieffektivitet samt at emissionerne af skadelige stoffer fra køretøjet kan bringes på, eller tæt på, nul. Ikke mindst sidstnævnte er vigtigt på baggrund af de skærpede emissionsnormer der er gennemført, og som bliver gennemført i de kommende år. Desuden giver de simple drivsystemer bedre muligheder for at indpasse disse i transportmidlerne, fordi de kan overflø-

¹ Jf. fx Morthorst et al (1993)

² Jf. fx Jørgensen (1996)

³ Sørensen et al (2001)

diggøre mekanisk kraftoverføring. FC-biler kan opfattes som eldrevne køretøjer hvor elektriciteten genereres ombord ved hjælp af brændselscellen, der (normalt) bruger brint og ilt som input. Konceptet kan også opfattes som en videreudvikling af visse typer hybriddrift (seriehybrid), hvor strømmen blot produceres ved hjælp af et motor/generator-anlæg.

Selvom dens princip har været kendt siden forrige århundrede, har FC-teknologien først i efterkrigstiden fået en seriøs udvikling, især inden for rumforskningen. Her har den dog haft betingelser - ikke mindst økonomiske - der ikke har været relevante for typiske transportanvendelser. Derimod blev den allerede i 70'erne og 80'erne set som en langsigtet mulighed for stationære kraftvarmeanlæg. Anvendelser til køretøjer var også inde i billedet, men normalt betragtet som en meget langsigtet, og meget usikker, mulighed. For 10 år siden havde den tilgængelige FC-teknologi generelt meget lave effekttætheder i forhold til såvel vægt som volumen (dvs. kW/kg og kW/liter), hvorfor anlæg fyldte og vejede alt for meget til mobile anvendelser. Desuden var prisniveauet så højt at det gjorde selv forsøg med teknologien urealistiske for de fleste - for slet ikke at tale om praktisk anvendelse. Men i 90'erne er FC-teknologiens udvikling nærmest eksploderet. Effekttætheden er blevet forøget kraftigt (en faktor 10 eller mere) og udviklingen fortsætter. Desuden er omkostningsniveauet blevet reduceret flere 1000 gange. Det er et enkelt - relativt lille - firma, Ballard fra Canada, der har en stor del af æren for at have drevet udviklingen, især i starten⁴. Det er også en enkelt FC-type der er vundet frem på bekostning af de 4 andre hovedtyper, nemlig PEMFC (Proton Exchange Membrane FC, også kaldet polymer-FC). I dag er der udbredt konsensus om at den er den mest oplagte kandidat til transportformål, selvom der også er enkelte forsøg med den alkaliske FC (AFC), der i 80'erne blev betragtet som favorittypen til formålet. Også fosforsyre-FC (PAFC) har været inde i billedet, specielt i den amerikanske regerings FC-program, men primært fordi den var langt fremme i udviklingen.

Der er stadig store økonomiske og tekniske problemer der skal overvindes, før FC-teknologien for alvor kan gå sin sejrsgang⁵. Især skal omkostningerne reduceres yderligere - ca. med en faktor 15-20 - for at gøre den konkurrencedygtig med dagens drivsystemer⁶. Dette vurderes generelt at være muligt, men en stor del af reduktionen skal komme fra volumenproduktion, og den usikkerhed der er knyttet til en sådan satsning kan undergrave hele projektet. Desuden er der stor usikkerhed om FC'ernes funktion i praktisk drift, der altid giver helt andre betingelser end man kan tænke sig til i laboratorierne.

I lang tid skete det meste af FC-udviklingen uden for bilindustrien og med mange bidrag fra små firmaer. I dag derimod er de fleste af de større bilfabrikker med i udviklingen i ét eller andet omfang. Der er udbredt enighed om at ingen bilfabrik alene kan løfte opgaven med at

⁴ Koppel (1999)

⁵ Kalhammer et al (1998)

⁶ Dagens bilmotorer har lave omkostningsniveauer også sammenlignet med tilsvarende stationære motorer.

skifte til FC-systemer, hvorfor alliancer som den nævnte er en nøgelfaktor. DaimlerChrysler⁷ gik forrest i udviklingen, bl.a. ved i slutningen af 90'erne at købe førnævnte Ballard og benytte dette som udgangspunkt for en alliance der i dag også omfatter bl.a. Ford og Shell. DaimlerChrysler er også i front med hensyn demonstrationskøretøjer, ikke mindst i form den såkaldte NECAR (New Electric Car), der indtil nu er kommet i 4 udgaver med flere på vej - mens nr. 5 er blevet lovet gennem et års tid (efterår 2000). DaimlerChrysler-alliancen er desuden ledende med udviklingen af FC-busser.

Den anden hovedalliance på feltet, der er bygget op omkring General Motors og Toyota, satser på at udvikle sine egne FC'er uden om Ballard og har efter alt at dømme succes hermed. Andre firmaer manøvrerer mellem disse alliancer⁸: De kan udvikle deres egne FC-drivsystemer (FC + elmotor) baseret på FC-teknologi fra én af de to alliancer, eller de kan samarbejde med andre FC-producenter helt uden om alliancerne. Endelig kan de holde sig helt uden for FC-udviklingen, hvilket kun få store bilfabrikanter dog gør. Flere bilfabrikanter har afgivet mere eller mindre forpligtende løfter om at markedsføre FC-biler inden for de kommende år, typisk med en årlig produktion af 200-300.000 FC-drivsystemer inden år 2003/2004. Intet er dog sikkert hvad angår disse planer, idet der er usikre faktorer der kan bremse eller forsinke udviklingen, ikke mindst de første 5-10 år hvor FC-biler ventes at være markant dyrere at anskaffe end tilsvarende konventionelle biler. FC-bilerne får under alle omstændigheder en begrænset rolle fra starten, idet der i de første selv hvis alt lykkes bliver tale om mindre end 5% af den samlede bilproduktion. En eventuel 100% gennemtrængning af salget ligger i bedste fald 15-20 år ude i fremtiden, mens en fuldstændighed erstatning af bilparken vil tage mindst 30-40 år.

Drivmiddel: brint, metanol, benzin eller hvad?

Umiddelbart er det mest oplagte drivmiddel til FC-køretøjer brint, der kan anvendes direkte i FC'en, og som giver den bedste energieffektivitet og de mindste emissioner fra køretøjet (kun vanddamp). Dette koncept kan betegnes "direkte brintdrift". Den samlede miljøbelastning afhænger naturligvis af hvorledes brinten produceres, men med en miljøvenligt produktion, fx ud fra vedvarende energi, er brint absolut at foretrække fra en energi- og miljøsynsvinkel.

Forskellige problemer/begrænsninger ved brint gør at der også arbejdes med andre koncepter end direkte brintdrift. Især to mangler trænger sig på for brint, nemlig vedrørende infrastruktur til optankning samt brintlagre der kan konkurrere med benzin og diesel hvad angår rækkevidde pr. optankning. Disse mangler umuliggør ikke direkte brintdrift som sådan, men de gør - med dagens opfattelse af bilen - brints indtrængen af i det generelle bilmarked, der altovervejende udgøres af "universalbiler", der skal være anvendelige til en bred vifte af formål - og

⁷ Før DaimlerBenz' køb af Chryslers var førnævnte allerede i front på området, mens Chryslers indsats var mere beskeden.

⁸ Maruo (1998)

mulige formål. For at omgå disse problemer arbejdes der med forskellige koncepter for ”indirekte brintdrift”, hvor et andet drivmiddel - benzin, diesel, metanol eller lignende - omdannes til brint ombord i køretøjet⁹. Set fra en bilproducent-synsvinkel vil det ideelle drivmiddel til FC-biler være benzin eller diesel, hvor den eksisterende infrastruktur (næsten) kan anvendes. Der er dog udviklingsmæssige problemer med den teknologier, baseret på den såkaldte POX-proces (partiel oxidation), der kan konvertere disse. Derfor arbejdes der også med teknologier der kun kan konvertere metanol (baseret på steam reforming), der er lettere at omdanne - om end disse også har udviklingsproblemer. På længere sigt kan direkte-metanol brændselsceller (DMFC) - en speciel variant af PEMFC der omdanner metanolen direkte internt i selve cellen - blive en mulighed¹⁰. Set fra dagens udviklingsstade tegner den sig imidlertid særdeles usikkert, og vurderes i bedste fald at kunne blive praktisk anvendelig om 10-15 år¹¹.

Der er dog også problemer ved indirekte brintdrift, hvad enten man bruger benzin eller metanol som drivmiddel. Energieffektiviteten forringes typisk med ca. 30-40% ved konverteringen af drivmidlet, og desuden fylder og vejer konverteringsanlæggene en del, ligesom der er driftsmæssige problemer med dem (især i form af langsom opstart og problemer med at følge lastvariationer). Endelig vil det efter al sandsynlighed være en vej der bygger på fossile brændsler, evt. med mindre bidrag af biomassebaseret metanol. De store usikkerheder om udviklingen gør at de fleste bilfabrikanter holder døren åben for både direkte og indirekte brintdrift og forfølger flere tekniske løsninger for sidstnævnte.

Infrastruktur og ombordlagring

Den manglende infrastruktur til distribution og tanknings angår et generelt problem for alternative drivmidler: markedsopbygningen for de nye drivmidler hæmmes af manglende infrastruktur, og samtidig udbygges denne infrastruktur først når der er en markedsopbygning. Derfor er der brug for strategier til at overvinde dette skisma.

Ikke mindst på grund af infrastruktur-spørgsmålet er både bil- og olieindustrien skeptiske over for brint som drivmiddel og satser i stedet i høj grad på indirekte brintdrift som beskrevet ovenfor, men med forskellig vægtning. Bilindustrien opererer, på grund af de tekniske problemer med POX-teknologien, generelt med metanol som den mest realistiske, om end ikke uproblematisk, løsning. Men olieindustrien er imod dette på grund af tvivl om dens eksisterende infrastruktur kan anvendes. Metanol er korroderende og desuden meget giftigt. I øvrigt er det værd at bemærke at bilindustriens interesse er snævert knyttet til metanol baseret på fossile kilder (typisk naturgas), og ikke biomassebaseret metanol, der er dyrere og kun har et begrænset ressourceunderlag - og derved kolliderer med kravene til universalbilen. Derfor trækker bil- og oliebranchens scenarier begge i retning af fortsat afhængighed af fossil energi.

⁹ Kalhammer et al (1998); Ogden et al (1999); Jørgensen & Schleisner (2000)

¹⁰ Shukla et al 1998); Ren et al 2000)

¹¹ Kalhammer et al (1998)

Til gengæld for de sparede investeringer til stationær infrastruktur kræver direkte brintdrift etablering af konverteringsteknologi ombord i køretøjerne, hvilket dels kræver ekstra investeringer i køretøjerne, dels giver anledning til de ovenfor beskrevne problemer. Derfor kan der være god grund til at analysere andre strategier for udbygning af infrastruktur. Dette er især blevet gjort i amerikanske forskning, ikke mindst gennem et mangeårigt arbejde af Joan M. Ogden mfl. ved Center for Energy and Environmental Studies, Princeton University¹². Her er en lang række mulige distributionssystemer for brint samt overgangsløsninger blevet undersøgt. Den generelle konklusion fra gruppens arbejde er at de samlede investeringer i infrastruktur og udstyr i køretøjer for et scenario med direkte brintdrift vil på niveau med indirekte brintdrift eller lavere, samt at infrastruktur-problemet med direkte brintdrift ikke er så alvorligt som det ofte fremføres. En af overgangsmulighederne, også i en dansk sammenhæng, er at starte brintudbygningen baseret på lokale produktion af brint ud fra naturgas for så senere at udbygge med et samlet distributionssystem for brint. Naturgasnettet er udbygget til det meste af Danmark og naturgasbaseret brint er generelt billigt.

Metanollagring ombord i køretøjer er relativt uproblematisk, bortset fra at tanken skal kunne modstå korrosion. Energitætheden er kun lidt mindre end for benzin/diesel og tabene fra tanken er normalt forsvindende. Derimod er brintlagringen forbundet med flere problemer. Der findes en række forskellige muligheder hvoraf der ikke er nogen der tegner sig som den entydigt bedste¹³. Generelt er energitætheden lav, hvilket giver relativt korte rækkevidder - men dog markant længere end for elbiler. Den længste rækkevidde blandt dagens lagertyper fås med lagring som flydende brint, der til gengæld har en dårlig energiøkonomi ikke mindst på grund af tab ved at bringe brinten på flydende form. Derfor er muligheden næppe interessant på længere sigt. Lagring på gasform i tryktanke og lagring i metalhydrider har væsentlig bedre energiøkonomi, men disse - især sidstnævnte - har lav energitæthed. Der er dog potentiale for forbedring af disse, og især lagring i tryktanke har allerede vist store fremskridt.

En metode der i dag har ringe betydning, men som kan være en perspektivrig mulighed på længere sigt er lagring i forskellige kulstof-strukturer. Der har ikke mindst været offentliggjort opsigtsvækkende resultater vedrørende lagring i såkaldte ”nanotubes” eller ”nanofibre”. Selvom en del af disse resultater formentlig har været stærkt overdrevne, indeholder selve lagringsmetoden meget interessante perspektiver - og der er også mere pålidelige forskningsresultater, som nok er mindre opsigtsvækkende, men dog giver løfter om markante forbedring i forhold til dagens lagerteknologi¹⁴.

¹² Ogden (1999); Ogden et al (1999)

¹³ Jørgensen (1996); Lipman & Deluchi (1996); Jørgensen & Nielsen (1998); Jørgensen & Schleisner (2000)

¹⁴ Dillon et al (1999)

Energivurdering af FC-køretøjer

Et FC-køretøjs drivsystem - FC, elmotor, transmission, energilager - kan komme op en samlet effektivitet ombord i køretøjet på 50-55%¹⁵ til sammenligning med 15-20% for forbrændingsmotorbiler. Selv efter indregning af tab i den stationære del af energikæden (energisy-stemet) vil man kunne opnå samlede energikæde-effektiviteter på 20-40%, mens benzin- og dieselmotorer ligger på ca. 10-15%, eventuelt op mod 20%. I uheldige tilfælde kan FC-køretøjer komme ned på samme samlede effektivitet som dagens køretøjer, typisk for indirekte brintdrift eller direkte brintdrift med flydende brint der erstatter dieselmotorer i tunge køretøjer.

FC-biler har størst gevinst i forhold til benzinmotorer og ved kørselsmønstre med mange stop og megen tomgang. For FC-teknologien aftager effektiviteten - modsat for forbrændingsmo-toren - med voksende belastning, hvorfor den ikke mindst har sin styrke ved bykørsel og lig-nende. Batteridrevne elbiler, der normalt har en endnu mere effektiv udnyttelse af energien end FC-biler¹⁶, har til gengæld begrænset anvendelighed på grund af lille rækkevidde. For indirekte brintdrift forringes effektiviteten, idet omdannelsen af drivmidlet til brint kan sættes til en effektivitet mellem 62% og 70%¹⁷. For direkte brintdrift baseret på lagring i flydende brint forringes effektiviteten med noget tilsvarende på grund af tab på ca. 30-35% for at bringe brinten på flydende form (desuden har den ofte store distributionstab). Komprimering af gasformig brint kræver derimod typisk 5-10% af energiindholdet og gasformig brint har gene-relt lavere tab end flydende brint.

Hvad angår muligheden for at udnytte vedvarende energi eller andre energiformer med lav miljøbelastning, står brint stærkest, idet den kan produceres fra de fleste relevante vedvarende energikilder (fx vind, sol, biomasse bølge og vand). Metanol kan baseres på biomasse, men med begrænset ressource-tilgang og problematiske miljøforhold. Metanolproduktion fra andre former for vedvarende energi (via brint) er mulig, men næppe realistisk.

Scenarier for brint i energi- og transportsystemet

I projektet, ”Scenarier for samlet udnyttelse af brint som energibærer i fremtidens energisystem i Danmark”, analyseres scenarier for indpasning af brint i energi- og transportsystem frem til år 2050¹⁸, i form af dels to scenarier frem til år 2030 baseret på den officielle danske energiplan, Energi 21¹⁹, og dels om to scenarier frem til år 2050, der viser mulighederne med et mere frit udgangspunkt. Af de to 2030-scenarier er det såkaldte ”Fortrængningsscenario”,

¹⁵ U.S. Department of Energy (1997); Jørgensen (1998); Kalhammer et al (1998)

¹⁶ Jørgensen (1998)

¹⁷ Ogden et al (1999) - forudsat at udviklingsmæssige problemer løses.

¹⁸ Sørensen et al (2001)

¹⁹ Miljø- og Energiministeriet (1996)

der sigter mod at fortrænge fossil energi i transportsektoren, mest relevant i denne sammenhæng. Det sigter mod at størst mulig andel af transportenergiforbruget i år 2030 ifølge Energi 21 forsynes med brint eller metanol baseret på vedvarende energi. Knap 80% af transportsektorens energiforbrug (inkl. udenrigs flytrafik, der indgår i Energi 21) antages at være omstillet inden år 2030, idet den resterende del dels er eldrevne transportmidler (bl.a. tog), dels omfatter energiforbrug der ikke vurderes at kunne nå at være omstillet til dette år. Scenariet forudsætter at der tages passende virkemidler i anvendelse samt at denne indsats begynder nu.

I scenariet antages knap 15% af den omstillede del - nemlig energiforbruget i lastbiler og 10% af varebilerne - at være baseret på metanol der omdannes til brint ombord i køretøjerne, mens de resterende ca. 85% er baseret på direkte brintdrift. Metanolen produceres ud fra biomasse, mens brinten fremstilles ved henholdsvis elektrolyse (88% af brinten), forgasning af biomasse (9% af brinten) samt fotoelektrokemiske celler²⁰ (3%). Elektrolyseanlæggenes elbehov dækkes fra solceller og vindkraft og der udbygges med tilstrækkelige ekstra anlæg - ud over den kapacitet der indgår i Energi 21 - til at dække forsyningen på årsbasis. Der er således ikke tale om at brinten fortrænger vedvarende energi anvendt i andre sektorer. Solceller dækker ca. 5% og vind 95%, fordelt på henholdsvis hav- og landbaserede møller.

Der tages udgangspunkt i det princip at der i scenariet udnyttes ressourcer, for biomasse og vindmølleplaceringer, som er opgjort af Energistyrelsen²¹, men ikke udnyttet i 2030 i følge Energi 21. For havmøller etableres kapacitet svarende til de ikke-udnyttede potentialer i de 4 primære vindlokaliteter på havet, og resten dækkes med møller på land, fx ved at udskifte en del af de nuværende møller med større. Eksempelvis kan behovet dækkes ved 4000 (ud af i alt ca. 5000 møller) får hævet deres gennemsnitlige kapacitet fra 0,3 MW til 1,5 MW.

Scenariet beregnes at reducere transportsektorens CO₂-udslip med 80-85% i forhold til niveauet i 1998, idet den højeste reduktion optræder hvis biomassen antages at være CO₂-neutral. I praksis vil der være et CO₂-udslip i forbindelse med biomassens livscyklus, og derfor er det mest rimeligt at regne med en lidt lavere reduktionsværdi. Der er beregnet et arealforbrug til biomasse, vindmøller, solcelleanlæg mv. på ca. 4100 km², hvoraf ca. 15% på havet. Mulighederne for samtidig at anvende arealerne til andre formål er ikke vurderet. Det er værd at bemærke at biomassen, der dækker mindre end 1/4 af de samlede brint- og metanolforbrug, tegner sig for næsten halvdelen af arealforbruget, mens omvendt solcellebaseret brint har en energitæthed pr. arealenhed der er ca. 20-25 gang så stor som for de øvrige typer af anlæg til vedvarende energi.

²⁰ Dvs. celler der omsætter sollys direkte til brint, der er på et tidligt udviklingsstade. Hvis den ikke udvikles nok til at indgå med denne vægt i 2030, har det ikke større betydning for scenariet at erstatte den med elektrolyse.

²¹ Energistyrelsen (1996)

Energi-effektivisering af transportmidler

Det beskrevne scenarios udbygning med vedvarende energi holder sig inden for de allerede opgjorte ressourcepotentialer og har en udbygning med vindmøller på land der ikke adskiller sig afgørende fra dagens vindmøllebestand, bortset fra at der er tale om større møller. Men omvendt er det ikke baseret på valg - fx om disponeringen over biomasseressourcerne²² og placeringen af vindkraftanlæg - der er hævet over diskussion. Derfor har det stadig betydning at forsøge at minimere konfliktpotentialer ved at økonomisere med energiforbruget i transportsektoren, både ved hjælp af tekniske effektiviseringer og på anden vis.

Potentialerne for teknisk energieffektivisering af transportmidler er systematiseret i et Teknologikatalog udarbejdet for Energistyrelsen²³. Systematiseringen, som bygger på litteraturstudier, sker ud fra følgende sæt teknologiniveauer, der placerer potentialerne i forhold til teknologiernes udviklingstrin:

- BST, Bedst solgte teknologi: Energieffektivitet svarende til bedste teknologi på markedet
- MOD, Moderate forbedringer: Energibesparelser, hvor der kun er markedsføringsmæssige - ikke tekniske - hindringer for markedsintroduktionen (tidshorisont typisk 3-5 år)
- EFF, Effektiv teknologi: Teknologier der er langt fremme i teknisk udvikling, men som skal overvinde tekniske hindringer før de kan markedsføres (typisk inden for 10-15 år)
- STU, Størst mulig teknisk udvikling: det niveau hvor også brud med dagens teknologiudvikling er medtaget i potentialerne (typisk tidshorisont 10-25 år)

Fælles for niveauerne er at transportmidlerne funktions- og omkostningsmæssigt skal være på dagens niveau (dvs. at fx downsizing af biler eller hastighedsreduktion ikke er medregnet). Og potentialerne indgår først fra det øjeblik omkostningerne er reduceret til et konkurrencedygtigt niveau. FC-teknologien hører til EFF-niveaue.

Baseret på dagens fordeling af transportarbejdet er det beregnet at teknologiniveauerne alt andet lige vil kunne reducere energiforbruget med 6% for BST, 20% for MOD, 53% for EFF og 61% for STU. Det er værd at bemærke at der er et særlig stort spring mellem niveauerne MOD og EFF, som indebærer at de teknologier der er under udvikling, men endnu mangler teknisk udvikling, inddrages. Der er ikke så stor forskel mellem EFF- og STU-niveauerne, hvilket dog kan afspejle begrænsninger i evnen til at forestille sig teknologiudvikling ud over den der foregår i industrien. Tidshorisonten for fuldt gennemslag af teknologiniveauerne er (i bedste fald) mellem 15-20 år for BST og 30-50 år for EFF- og STU-niveauerne.

²² Det er omdiskuteret om biomasse bør anvendes til energiformål, og i givet fald i hvilken form.

²³ Jørgensen (2000)

Virkemidler

Myndighedernes brug af virkemidler for at regulere udviklingen er afgørende både for om FC-bilerne kommer og hvilken form det i givet fald bliver i, herunder hvor energieffektivt det bliver. Emissionsnormer er centrale i den forbindelse fordi bilindustriens interesse for FC-teknologien i høj grad bygger på det faktum er at den forøger dens manøvrerum mellem stadig skrapere emissionsnormer samtidig med den tilbyder en (næsten) udstødningsfri løsning den dag dette eventuelt bliver krævet i byområder. Det såkaldte "ZEV-mandat" (Zero Emission Vehicles), der blev vedtaget i 1990 af de californiske luftmyndigheder (California Air Resources Board, CARB), spiller i den sammenhæng en nøglerolle. Mandatet, der i sin nuværende form pålægger bilfabrikanterne at mindst 10% af de solgte personbiler fra og med år 2003 skal være emissionsfrie (fra selve køretøjet), sigtede i første omgang mod fremme af batteri-elbiler²⁴. Der har dog være problemer med at opnå en passende udvikling af batteriteknologien, og samtidig har udviklingen for FC-teknologien (og i et vist omfang hybriddrift) betydet at der har været realistiske "næsten emissionsfrie" drivsystemer²⁵. Derfor er mandatet blevet justeret så også biler der er næsten emissionsfrie bliver talt med i et vist omfang, idet en del af forpligtelsen kan dækkes med disse køretøjer der tæller som "delvis ZEV" med en vægt mellem 0,2 og 1 (en brintdrevet FC-bil tæller som en hel ZEV, mens en metanoldrevet FC-bil tæller 0,7 ZEV. Dermed bidrager det også til at skubbe til FC-bilernes udvikling.

Mandatet i september 2000 blevet revideret, og CARB har besluttet at opretholde det trods pres fra både bil- og olieindustri for at afvikle det.

Konklusion - får vi brændselsceller i bilerne og med hvilket drivmiddel?

Brændselsceller og brint i transportsektoren kan medvirke til en markant reduktion af transportsektorens miljøbelastning, specielt hvis de bruges som middel til at skifte til vedvarende energi. Den nødvendige udbygning med vedvarende energi hertil vil ikke være af uoverkommeligt omfang, men dog af en karakter så den ikke er hævet over diskussion. Derfor er der behov for at økonomisere med energiresourcerne, fx via fremme af mere energi-effektive transportmidler. Baseret på tekniske fremskridt der er under udvikling i transportsektoren, er det beregnet at potentialet for forbedring af transportmidlernes gennemsnitlige energieffektivitet er ca. en faktor 2, dvs. at behovet for vedvarende energianlæg alt andet lige kan halveres.

Et 100% skifte til FC-biler har dog et langt tidsperspektiv (30-40 år eller mere), og der knytter sig stor usikkerhed til udviklingen - både med hensyn til om det bliver realiseret og hvilken form det i givet fald får. Især er spørgsmålet om hvilket drivmiddel der benyttes - brint, metanol, benzin mv. - af store betydning. Der vil dog under alle omstændigheder være tale om

²⁴ Kalhammer et al (1995); Fogelberg (1996); Anderman et al (2000); CARB (2000)

²⁵ Bilindustrien på det amerikanske marked har tilkendegivet at man helst vil undgå at udvikle batteridrevne biler til personbilmarkedet. Derimod ses der at være gode muligheder for batteridrift af små nichekøretøjer, fx såkaldte "neighbourhood vehicles" (CARB 2000).

miljømæssige fremskridt i forhold til forbrændingsmotorbiler, men med metanol eller (især) benzin som drivmiddel kan de blive af begrænset omfang. Fra en energi- og miljøsynsvinkel er direkte brintdrift at foretrække. Myndighedsindsatsen har afgørende betydning for hvilken udvikling der bliver tale om, og der vil i vid udstrækning være behov for at overvinde mange af de samme barrierer som for transportpolitikken i øvrigt, herunder ikke mindst angående de forestillinger der knytter sig til personbilen. I forlængelse heraf kan et skift til brint/FC ikke ses som et alternativ til transportplanlægningen i øvrigt. Personbilen er i det hele taget et transportmiddel der er forbundet med særlig mange barrierer, og der kan være god grund til at sætse på andre (fx busser).

Referencer

Anderman, Menahem et al (2000): "Advanced Batteries for Electric Vehicles: An Assessment of Performance, Cost, and Availability. Draft". CARB, Sacramento, Californien.

CARB (2000): "Staff Report: 2000 Zero Emission Vehicle Program. Biennial Review". Sacramento, Californien, 7. august.

Dillon, A.C. et al (1999): "Carbon Nanotube Materials for Hydrogen Storage." Proceedings of the 1999 U.S. DOE Hydrogen Program Review, Golden, Colorado, USA.

Energistyrelsen (1996): "Danmarks vedvarende energiresourcer". København.

Fogelberg, Hans (1996): "Aktörer, argument och aktiviteter i den kaliforniske elbilsdebatten". KFB-Meddelande 1996:11, Stockholm.

Jørgensen, Kaj (1996): "Analyse af brintdrift i det danske trafiksystem". DTU, IBE, Lyngby.

Jørgensen, Kaj (1998): "Transport and Sustainability - with Special Emphasis on Grocery Distribution" (Rapport R-028). DTU, Institut for Bygninger og Energy, Lyngby.

Jørgensen, Kaj (2000): "Teknologikatalog over tekniske muligheder for energibesparelser i transportsektoren". Energistyrelsen, København.

Jørgensen, Kaj & Lars Henrik Nielsen (1998): "Alternative drivmidler og bæredygtig udvikling - el-, hybrid- og brintdrift i Danmark" (sagsrapport SR-9822). DTU, IBE, Lyngby.

Jørgensen, Kaj & Lotte Schleisner (2000): "Brint i fremtidens energisystem i Danmark. Teknologikatalog (udkast)". Forskningscenter Risø, Systemanalyse, Roskilde (ikke publiceret)

Kalhammer, Fritz et al (1995): "Performance and Availability of Batteries for Electric Vehicles: A Report of the Battery Technical Advisory Panel". CARB, El Monte, California.

Kalhammer, Fritz R. et al (1998): "Status and Prospects of Fuel Cells as Automobile Engines. A Report of the Fuel Cell Technical Advisory Panel". CARB, Sacramento, Californien.

Koppel, Tom (1999): "Powering the Future. The Ballard Fuel Cell and the Race to Change the World", John Wiley & Sons Canada, Toronto.

Lipman, T.E. & Mark DeLucchi (1996): "Hydrogen-fuelled Vehicles". International Journal of Vehicle Design, Vol. 17, No. 5-6, pp. 562-589.

Maruo, K (1998): "Strategic Alliances for the Development of Fuel Cell Vehicles". KFB-Rapport 1998:37, Stockholm.

Miljø- og Energiministeriet (1996): "Energi 21. Regeringens energihandlingsplan 1996". København, april.

Morthorst, Poul Erik et al (1993): "Brint som energibærer" (Risø-R-675(DA)). Forskningscenter Risø, Roskilde.

Ogden, Joan M. (1999): "Developing an Infrastructure for Hydrogen Vehicles: a Southern California Case Study". Intern. Journal of Hydrogen Energy, Vol. 24, No. 8, pp. 709-730.

Ogden, Joan M. et al (1999): "A Comparison of Hydrogen, Methanol and Gasoline as Fuels for Fuel Cell Vehicles: Implications for Vehicle Design and Infrastructure Development". Journal of Power Sources, Vol. 79, pp. 143-168.

Ren, Xiaoming et al (2000): "Recent Advances in Direct Methanol Fuel Cells at the Los Alamos National Laboratory". Journal of Power Sources, Vol. 86, No. 1-2, pp. 111-116.

Shukla, A. K. et al (1998): "Direct Methanol Fuel Cells for Vehicular Applications". Journal of Solid State Electrochemistry, Vol. 2, No. 2, pp. 117-122.

Sørensen, Bent et al (2001): "Scenarier for samlet udnyttelse af brint som energibærer i Danmarks fremtidige energisystem". RUC, Roskilde (forventes publiceret primo 2001). Halvvejsrapport fra projektet kan ses på: <http://mmf.ruc.dk/energy>

U.S. Department of Energy (1997): "Fuel Cells for Transportation. Program Implementation Strategy". Washington, DC.