

# Hvorfor kan vi ikke bare overlate hydrogen til markedet?

Mads Greaker

«Hydrogensamfunnet» er et moteord som går igjen i dagens miljødebatt. I Norge bruker myndighetene store beløp på å få etablert en «hydrogenvei» fra Stavanger til Oslo. Videre gir myndighetene hydrogenbiler fritak for engangsavgift, samt at hydrogen er fritatt for CO<sub>2</sub> og drivstoffavgift. I et forskningsprosjekt har vi sett nærmere på argumentasjonen for en slik offentlig satsning. Satsningen kan forsvares bare dersom den er midlertidig, og vil gi overgang til en annen markedslikevekt med høyere bruke av hydrogenbiler generelt. Spørsmålet er imidlertid om ikke myndighetene er alt for tidlig ute.

## Hydrogensamfunnet

Det er ikke bare norske politikere som omfavner «hydrogensamfunnet». Californias guvernør Arnold Schwarzenegger bygger også sin hydrogenvei, mens EU har som mål å erstatte fem prosent av forbruket av drivstoff i transportsektoren med hydrogen innen 2020. Men hvorfor er hydrogensamfunnet så forlokkende? Jo, fordi når hydrogengass brenner, så er eksosen i all hovedsak vann. Med hydrogengass på bilen kan vi altså kjøre så mye vi vil uten å bekymre oss for global oppvarming.

Hydrogensamfunnet krever imidlertid en ny infrastruktur. Først og fremst må hydrogengass produseres i store kvanta siden hydrogen ikke finnes i ren form i naturen. Selv om dette kan skje uten utslipp av CO<sub>2</sub>, krever det store mengder energi i en eller annen form. Og i den grad produksjonen ikke skjer lokalt, må hydrogengassen dernest distribueres ut til brukerne, enten via egne rør, eller i spesialbygde tankbiler. På plass i bilen kan hydrogengassen så ledes inn i en brenselcelle som konverterer energien i hydrogenet direkte til strøm på en meget effektiv måte. Strømmen kan så drive hjulene på bilen, mens utslippet fra brenselcellen begrenser seg til vanddamp.

Så hvordan får vi til en overgang til hydrogen i transportsektoren? Samfunnsøkonomenes svar er at utslippene fra bensin og dieslbiler må beskattes slik at CO<sub>2</sub>-frie transportformer som hydrogenbiler blir relativt mer konkurransedyktig. Imidlertid har Norge hatt slik beskatning lenge, faktisk tilsvarende mer enn 300 kroner pr. tonn CO<sub>2</sub> utslipp, uten at hydrogenbiler har blitt mer

populære av den grunn. Årsaken er, i følge tilhengerne av hydrogenbilen, at samfunnet er «innelåst» i teknologien som baserer seg på fossilt brennstoff. Dermed vil hydrogen ikke bli introdusert i transportmarkedet uten støtte fra myndighetene, uansett hvor konkurransedyktig hydrogenbilen er.

I et forskningsprosjekt har vi sett nærmere på denne påstanden (Greaker og Heggedal, 2007). Arbeidet baserer seg på teorien om såkalte *nettverkseksternaliteter*. Med dette menes det at en konsument har nytte av at andre konsumenter bruker samme type teknologi, og at en konsument ikke tar inn over seg at nytten til andre konsumenter påvirkes av ens eget valg av teknologi.

For en konsument vil det i dagens situasjon åpenbart være lite fristende å skifte til en hydrogendrevet bil, fordi det vil være vanskelig å få tak i hydrogen. Konsumenten er avhengig av at flere gjør det samme valget slik at nettverket av fyllestasjoner for hydrogen kan bli utbygd. Tilsvarende er det like lite fristende å opprette en fyllestasjon for hydrogen siden det er så få hydrogenbiler. Dermed er det rent hypotetisk mulig å tenke seg en situasjon hvor hydrogenbilen aldri får innpass i markedet til tross for at mange hydrogenbiler og mange fyllestasjoner for hydrogen hadde vært ønskelig.

Det er dette som på engelsk kalles «technological lock-in» eller «path dependent development». På norsk har vi valgt å kalle det teknologisk innelåsning. Eksistensen av teknologisk innelåsning gjør at vi ikke kan «stole» på markedet. Teknologisk innelåsning er derfor et argument for offentlig engasjement på en eller annen måte.

## Historiske eksempler på teknologisk innelåsning

Det kanskje mest kjente eksempelet på teknologisk innelåsning går under navnet QWERTY. QWERTY refererer seg til de seks første bokstavene øverst til venstre på ethvert PC tastatur. Dagens tastatur er imidlertid ikke det mest effektive. Ifølge David (1985) finnes det

Mads Greaker er forskningsleder ved Gruppe for petroleum og miljøøkonomi (mgr@ssb.no)

<sup>1</sup> Se f.eks. Strateginotat OED (2005) og [www.scandinavianhighway.org](http://www.scandinavianhighway.org).

alternative arrangementer av bokstavene som kan øke hastigheten til enhver med mellom 20 og 40 prosent. Så hvorfor brukes fortsatt dagens tastatur?

Da skrivemaskinen ble oppfunnet på slutten av atten-hundretallet, måtte de mest populære bokstavene plasseres langt unna hverandre for unngå at bokstavarmene hang seg opp i hverandre. QWERTY tastaturet var da det beste tastaturet gitt denne begrensningen. Senere ble kulehodemaskinen oppfunnet, og en et alternativt tastaturoppsett ble patentert av A. Dvorak og W. L. Dealey så tidlig som i 1932. Dette har imidlertid ikke slått an tilross for iherdig markedsføring fra bla. Apple computers.

Anta at jeg hadde lært meg å skrive på Dvorak tastaturet. I flg. Dvorak selv tar det ca. 10 dager å bli like rask som jeg var på QWERTY tastaturet. Allerede etter 10 dager kan jeg altså begynne å høste gevinsten. Men hva om jeg måtte låne datamaskinen til en annen. Da ville jeg formodentlig være mye senere enn jeg var opprinnelig siden jeg antakelig hadde avvent meg QWERTY tastaturet. Ergo så lenge flesteparten av tastaturene jeg kan vente å komme ut for er QWERTY, er det best for meg å holde meg til QWERTY. Dette er et eksempel på en nettverkseksternalitet. Jo flere som bruker QWERTY, jo bedre er det for meg å bruke QWERTY.

Nettverkseksternaliteter er ikke den eneste mekanismen som kan skape teknologisk innelåsning. Et annen tenkbart eksempel er såkalte dynamiske skalafordeler eller læringskurver. Anta at det finnes flere alternative teknologier, videre at kostnadene ved å benytte teknologiene faller jo mer de brukes, og til slutt, at firmene som leverer teknologiene ikke kan patentbeskytte fremskrittene som gjøres innenfor teknologiene. Da vil det kunne være slik at den teknologien som tilfeldigvis velges først, også blir den foretrukne teknologien, selv om noen av de ikke-foretrukne teknologiene på lang sikt kan ha et større potensial (se f.eks. Mohr, 2002).

Et eksempel på dette kan ha vært atomkraft. Etter andre verdenskrig ble det i USA prioritert å lage reaktorer som passet i ubåter, noe som muliggjorde både høy fart og lang tid i neddykket tilstand. De plass- og vektbegrensninger dette medførte gjorde at en spesiell reaktortype ble valgt og fikk sjansen til å utvikle seg. Senere da bruk av reaktorer til el produksjon på land ble aktuelt, var det fristende å simpelthen «forstørre» reaktorene som allerede var utprøvd i ubåter. Men i flg. Arthur (1989) er det mye som taler for at andre reaktortyper på litt lenger sikt hadde egnet seg langt bedre til el produksjon. Læringen som var oppnådd med ubåtreaktorer medførte imidlertid at denne ble valgt av private kraftprodusenter som forholdt seg til den tids kostnader, og ikke tok innover seg fremtidige samfunnsøkonomiske gevinster av at en alternativ type reaktor ble utviklet.

## Er samfunnet innelåst i forbrenningsmotoren?

Teknologisk innelåsning er etter vår mening et moteord det er blitt for lett å bruke for å oppnå en eller annen form for offentlig støtte. Det er derfor behov for eksplisitte modeller som kan analysere teknologisk innelåsning på en logisk stringent måte. Vårt utgangspunkt er en liten, åpen økonomi som både er for liten til å skape læringseffekter, og som ikke kan påvirke verdensmarkedsprisen på klimagassutslipp. Den første forutsetningen betyr at kostnadene ved hydrogenteknologien er uavhengig av bruken av hydrogenteknologien i markedet vi ser på. Den andre forutsetningen innebærer at prisen på utslipp fra konvensjonelle biler basert på fossilt brennstoff er gitt som den internasjonale kvoteprisen på CO<sub>2</sub>. Miljøkostnaden kan derfor lett internaliseres som en avgift på det fossile drivstoffet. Dette er for øvrig to forutsetninger vi mener holder for Norge.

Vår økonomisk modell har videre to hovedkomponenter. Den ene komponenten beskriver etableringen av fyllestasjoner for hydrogen og fossilt brennstoff. Enhver fyllestasjon må først ut med en etableringskostnad som betraktes som «sunk» dvs. at stasjonseieren så fort hun har investert, ikke kan få igjen etableringskostnaden. Etableringene skjer videre langs en sirkel f.eks. langs en ringvei rundt en by/tettsted. Til enhver tid befinner det seg en viss mengde kjøretøyer langs sirkelen, og de vil velge å fylle drivstoff ut fra hvilken stasjon som er nærmest. Det er altså en ulempe å kjøre til en stasjon lengre unna. Av det følger det at jo lenger det er mellom f.eks. hydrogenstasjonene, jo større er den generelle ulempen av å være avhengig av hydrogen.

Siden fossilt brennstoff kom lenge før hydrogen ble aktuelt, vil de tradisjonelle fyllestasjonene ha etablert seg før hydrogenstasjonene. Antallet vanlige fyllestasjoner er derfor gitt på mellomlang sikt. Derimot vil antallet hydrogenstasjoner være avhengig av antallet hydrogenbiler. Som ventet får vi flere hydrogenstasjoner, jo flere solgte hydrogenbiler. Videre vil dette ha betydning for konkurransen mellom hydrogenstasjonene. Dersom det er få, vil prisen på hydrogen bli høyere siden konkurransen mellom stasjonene vil bli mindre intens.

Vi modellerer også konsumentens valg mellom tradisjonell bil og hydrogenbil. Vi antar at konsumentene vurderer de to biltyper ulikt; f.eks. noen er mer opptatt av miljø enn andre, slik at selv om en hydrogenbil koster mer enn en vanlig bil, så vil fortsatt mange kjøpe en hydrogenbil. Utover kvaliteten på bilen, vil konsumentene vurdere pris på bilen, pris på drivstoffet og ulempen knyttet til en lav tetthet av fyllestasjoner. Fraværet av læringseffekter gjør at vi kan betrakte prisen på en hydrogenbil og kostnaden ved å produsere hydrogen som gitt. Dermed vil markedsandelen til hydrogenbiler bare avhenge av tettheten av fyllestasjonene.

**Tabell 1. Nash-likevekter i markedet for personbiler ved høye hydrogenkostnader**

	Velge hydrogenbil	Velge tradisjonell bil
Velge hydrogenbil	-1, -1	-2, 0
Velge tradisjonell bil	0, -2	a, a

Setter vi sammen de to modellkomponentene får vi to mulige utfall: i) Det er bare en mulig Nash-likevekt, og den er med kun tradisjonelle biler eller ii) Det er flere mulige likevekter med ulikt innslag av hydrogenbiler. Ovenfor illustrerer vi dette med to enkle spill mellom bare to konsumenter. Tallene i rutene indikerer henholdsvis nytten til den første konsumenten og nytten til den andre konsumenten gitt rutens kombinasjon av valg. F.eks. hvis begge velger tradisjonell bil, så får begge konsumentene «a» i nytte hvor «a» er et positivt tall.

Vi har en Nash-likevekt når konsument nummer én har gjort sitt beste valg, gitt den andre konsumentenes valg og *vice-versa*. I tabell 1 er det derfor bare én Nash-likevekt, og det er at begge velger tradisjonell bil. Legg merke til at i spillet over er det bedre for én konsument å ha hydrogenbil dersom også den andre konsumenten velger en hydrogenbil dvs.  $-1 > -2$ . Likevel er det bedre å velge en tradisjonell bil selv om den andre konsumenten har valgt hydrogenbil dvs.  $0 > -1$ .

Scenarioet med kun en Nash-likevekt oppstår i vår modell hvis en eller flere av flg. faktorer er til stede:

- Det er dyrt å etablere hydrogenstasjoner
- Det er dyrt å produsere hydrogen
- Det er dyrt å produsere hydrogenbiler
- Hydrogenbilen har dårlig kvalitet mao. den er lite driftssikker, har lav akselerasjon, liten bagasjeplass etc.

I dette scenarioet er det altså ingen muligheter for teknologisk innelåsning. Offentlig støtte for å hjelpe markedsintroduksjonen av hydrogenbilen er derfor ikke samfunnsøkonomisk forsvarlig. Så lenge miljøkostnaden er internalisert i prisen på vanlig drivstoff, gir miljøforbedringen heller ingen separat grunn til å støtte hydrogenbilen. Med andre ord vi kan stole på at markedet har valgt riktig når vi bare ser vanlige biler. Riktignok innebærer disse utslipp, men det er optimalt å rense utslippene på andre måter enn å gå over til hydrogenbiler.

Legg spesielt merke til at høye etableringskostnaden for hydrogenstasjoner ikke er noe argument for at det er teknologisk innelåsning! Høye etableringskostnader betyr at det dyrt å bygge ut et nettverk for hydrogen, og at hver stasjon må ha et stort kundegrunnlag. Med andre ord selv om alle av en eller annen grunn hadde kjøpt hydrogenbil, ville det etableres for få stasjoner til at ulempen ved et dårlig utbygd hydrogenstasjon nettverk ble tilstrekkelig lav. Alle konsumentene ville derfor ønske at de heller hadde kjøpt en vanlig bil.

**Tabell 2. Nash-likevekter i markedet for personbiler ved lave hydrogenkostnader**

	Velge hydrogenbil	Velge tradisjonell bil
Velge hydrogenbil	b, b	-1, 0
Velge tradisjonell bil	0, -1	a, a

I tabell 2 er situasjonen endret. Her er både a og b positive tall. I tabell 2 er det derfor to Nash-likevekter, og det er enten at begge velger tradisjonell bil eller at begge velger hydrogenbil. Dette scenarioet oppstår i vår modell når kostnadene ved hydrogenteknologien er lavere, og da spesielt, etableringskostnaden for hydrogenstasjoner.

Modellen kan ikke si noe om hvilken markedslivevekt vi ender i, og det er heller ingenting som tilsier at markedet vil velge likevekten med høyest samfunnsøkonomisk overskudd. Videre kan begge markedslivevektene være teknologisk innelåsning. Mao. vi kan være i markedslivevekten med få/ingen hydrogenbiler, mens markedslivevekten med mange hydrogenbiler ville vært bedre dvs.  $b > a$ . Eller vi kan være i markedslivevekten med mange hydrogenbiler, mens markedslivevekten med få/ingen hydrogenbiler ville vært bedre dvs.  $a > b$ . Det siste tilfellet virker kanskje rart siden vanlige biler innebærer utslipp. Men da glemmer vi på nytt at dette utslippet ikke er relevant så lenge kostnaden ved utslippet er internalisert i form av CO<sub>2</sub> avgift på tradisjonelt brennstoff.

Hvorvidt b er større enn a eller omvendt, avhenger av hvordan man veier sammen konsument- og produsentoverskuddene. Konsumentene har alltid en fordel av at det er mange hydrogenbiler og dermed mange hydrogen fyllestasjoner. Siden antallet tradisjonelle fyllestasjoner er gitt på mellomlang sikt, er økning i antall hydrogenstasjoner en ren gevinst for konsumentene. Gevinstens størrelse avhenger av hvor god hydrogenbilteknologien er i forhold til den tradisjonelle teknologien.

På den annen side betyr likevekten med mange hydrogenbiler at flere eiere av vanlige fyllestasjoner vil gå med tap. Jo flere hydrogenbiler, jo mindre blir altså produsentoverskuddet til eierne av tradisjonelle bensinstasjoner.

Det er kanskje mest trolig at vi vil observere likevekten med få hydrogenbiler siden denne teknologien vil måtte komme sist. Så gitt at vi er i likevekten med lav eller ingen bruk av hydrogenbiler, er dette teknologisk innelåsning bare dersom:

- Gevinsten for konsumentene ved et større hydrogenstasjon nettverk er større enn tapet til eierne av tradisjonelle fyllestasjoner

I et slikt tilfelle bør myndighetene søke å koordinere markedet til likevekten med høy bruk av hydrogenbiler

f.eks. ved midlertidig bruk av subsidier i en eller annen form. Legg merke til at det skal holde med *midlertidige subsidier* siden når vi først har kommet i den nye likevekten, vil vi bli der uten ytterligere subsidier.

Analysen viser oss først og fremst at dette er et meget vanskelig beslutningsproblem for myndighetene. Selv om vi observerer en likevekt med kun bensin- og dieslbiler, og det finnes en potensiell likevekt med høy bruk av hydrogenbiler, betyr ikke det automatisk at hydrogenlikevekten er den beste. Nettverkseksternaliteten gjelder jo begge veier, og subsidier kan gjøre at vi etter hvert havner i hydrogenlikevekten selv om denne ikke er den beste. Kvaliteten på hydrogenbilen kan være for lav, slik at gevinsten for konsumentene ved et større hydrogenstasjon nettverk ikke kan forsvare tapet ved for tidlig nedleggelse av allerede etablerte bensinstasjoner.

### Fra modellen til virkeligheten

Er så det vi i dag observerer en situasjon med teknologisk innelåsing? Det er dessverre modellen i Greaker og Heggedal (2007) for stilisert til å svare direkte på, men vi tillater oss å resonnerer litt utenfor modellen. Det som lett glemmes er at hydrogen er en energibærer, ikke en energikilde. Hydrogen må produseres vha. energi i en eller annen form. «Hydrogensamfunnet» er derfor ikke en løsning på energiproblemet i seg selv, og det er bare en løsning på klimaproblemet så fremt hydrogen produseres på en måte som ikke gir CO<sub>2</sub> utslipp. Slike metoder er pr. i dag ikke i bruk i stor skala, og de gir i tillegg et svært dyrt drivstoff.

De fleste teknologiekspertene er videre enige om at dagens hydrogenbil hverken kan konkurrere med bensin/diesel bilen i anvendelighet eller pris (se f.eks. Vedlegg 2 til NOU 2004:11). For eksempel er brenselcellene, som trengs for å konvertere hydrogen til energi, fremdeles svært dyre og lite driftssikre. Videre er det vanskelig å lagre nok hydrogen i bilen slik at rekkevidden til en hydrogenbil er meget lav sammenlignet med tradisjonelle biler. Vi er derfor tilbøyelig til å mene at myndighetene bør vente med tiltak for å få til mer bruk av hydrogenbiler til teknologien er bedre utviklet. Dette gjelder også demonstrasjonsprosjekter som ikke har som formål å utvikle hydrogenbilteknologien.

Noen vil sikkert spørre; hvordan skal teknologien bli bedre utviklet så lenge man ikke får testet den ute i markedet? Til det er svaret at det antakelig finnes andre arenaer hvor teknologien kan prøves ut uten at det offentlig trenger å involvere seg. F.eks. har det lenge vært hevdet at rimelig og driftssikre brenselceller ville ta hele markedet for batterier til bærbare PCer og mobiltelefoner! Det er altså selv i dag store gevinster å hente for den som kommer opp med en bedre brenselcelle og en bedre måte å lagre hydrogen på.

Videre viser vår analyse at det er all grunn til å være forsiktig med subsidier selv om bedre hydrogenbiler skulle dukke opp. Selv om det er mulig å tenke seg et

samfunn der alle kjørte rundt i hydrogenbiler, er det ikke nødvendigvis det beste. Det finnes mange andre måter å redusere CO<sub>2</sub> utslipp fra transportsektoren på; f.eks. kjøre mindre, og/eller velge kollektiv transport. I mange tilfeller bør myndighetene ikke gjøre mer enn å passe på at alle alternativene har like konkurransevilkår. Det er lett å glemme at subsidiering av hydrogenbiler gjør de andre alternativene, som «kjøre mindre», relativt sett dyrere.

### Referanser

Arthur B. W. (1989), Competing Technologies, Increasing Returns, and Lock-In by Historical Events, *The Economic Journal* 99/394, s. 116-131

David P. A. (1985), Clio and the economics of QWERTY, *American Economic Review* 75/2, s. 332-337

Greaker M og T. R. Heggedal (2007), Technological Lock-In and the Hydrogen Economy: When should governments intervene?, *Discussion Paper 516/07*, Statistics Norway

Mohr R. D. (2002), Technical Change, External Economies, and the Porter Hypothesis, *Journal of Environmental Economics and Management* 43, s. 158-168.

OED (2004), Hydrogen i transportsektoren - hvorfor og hvordan, Vedlegg 2, NOU 2004:11: Hydrogen som fremtidens energibærer.

OED (2005), Satsing på hydrogen som energibærer innenfor transport og stasjonær energiforsyning, Strateginotat, OED 2005.