

Hydrogen i tungtransporten



Om Greensight

Greensight er et rådgivende analyseselskap som jobber med å få fart på det grønne skiftet ved hjelp av balansert og teknologinøytral informasjon som kan omsettes i gjennomførbare og lønnsomme prosjekter.

Greensight samler den mest oppdaterte og pålitelige informasjonen om energi- og klimateknologi, og presenterer denne informasjonen på en enkel og forståelig måte. Våre eksperter hjelper kunder med å identifisere og synliggjøre potensiale i grønne næringer og satsingsområder med utgangspunkt i nåværende og framtidig energibehov, -tilgang og -kapasitet basert på analyser av hele energisystemet. Formålet er fremskaffe beslutningsunderlag som kan bidra til å øke avkastning ved grønne investeringer og grønn forretningsdrift samt å redusere risiko for feilinvesteringer.

Greensight baserer seg på kvalitetssikrede data og har tilgang til en ekspertpool bestående av noen av Norges fremste eksperter og virksomheter.

Greensight er et datterselskap av Greenstat AS.

Juni. 2017

www.greensight.no

[Forsidebilder: Coop, Nikola One og Toyota](#)

Innholdsfortegnelse

| | | |
|------------|---|-----------|
| 1.0 | Sammendrag | 4 |
| 2.0 | Innledning | 5 |
| 3.0 | Prosjektets målsetting og innhold | 5 |
| 4.0 | Organisering av studien | 5 |
| 5.0 | Utslipp fra transportsektor og relevante studier | 6 |
| 5.1 | <i>Klimagassutslipp</i> | 6 |
| 4.2 | <i>Potensiale i norsk transportsektor</i> | 7 |
| 6.0 | Teknologi- og markedsstatus for tyngre hydrogenkjøretøy | 9 |
| 6.1 | <i>Personbiler</i> | 9 |
| 6.2 | <i>Lastebiler og trekkvogner</i> | 10 |
| 6.2.1 | <i>Asko og Scania</i> | 10 |
| 6.2.2 | <i>Esoro og Coop</i> | 10 |
| 6.2.3 | <i>Nikola One</i> | 10 |
| 6.2.4 | <i>E-Trucks Europe</i> | 10 |
| 6.2.5 | <i>Renault i samarbeid med Symbio</i> | 10 |
| 6.2.7 | <i>Kenworth</i> | 10 |
| 6.2.8 | <i>Toyota</i> | 11 |
| 6.3 | <i>Busser</i> | 11 |
| 7.0 | Kostnadsutvikling | 11 |
| 7.1 | <i>Elektrolyser</i> | 11 |
| 6.2 | <i>Brenselsceller</i> | 13 |
| 7.3 | <i>Kjøretøy</i> | 16 |
| 7.3.1 | <i>Busser</i> | 16 |
| 7.3.2 | <i>Lastebil</i> | 17 |
| 7.4 | <i>Støttemuligheter fra Enova</i> | 19 |
| 8.0 | Drivstoffkostnader | 20 |
| 8.1 | <i>Introduksjon</i> | 20 |
| 8.1.1 | <i>Ordforklaring</i> | 20 |
| 8.2 | Beregning av produksjonskostnader og geografiske forskjeller | 21 |
| 8.2.1 | <i>Kalkyle for produksjonskostnader</i> | 21 |
| 8.2.2 | <i>Produksjonskostnad i ulike fylker</i> | 23 |
| 8.3 | Case | 24 |
| 8.3.1 | <i>Utgangspunkt for case</i> | 24 |
| 8.3.2 | <i>Case 1: Ett fyllpunkt - Akershus</i> | 24 |
| 8.3.3 | <i>Case 2: Transport mellom Bergen-Stavanger</i> | 26 |
| 8.3.4 | <i>Case 3: Transport mellom Oslo-Trondheim</i> | 26 |
| 7.3.5 | <i>Case 4: Nasjonalt perspektiv</i> | 27 |
| 8.4 | <i>Sammenligning med diesel som drivstoff</i> | 29 |
| 8.5 | <i>Konklusjon drivstoff</i> | 30 |
| 9.0 | Kjøretøyskostnader per kilometer | 31 |
| 9.1 | <i>Forutsetninger for utregning</i> | 31 |
| 9.2 | <i>Volum – globalt og nasjonalt</i> | 32 |
| | Litteraturliste | 37 |

1.0 Sammendrag

Målet med rapporten har vært å anslå om og når hydrogendrevne kjøretøy i tungtransporten kan være konkurransedyktig med dagens dieselalternativ. For å komme fram til svaret har vi analysert både mulig prisutvikling på hydrogen som drivstoff, og på hydrogendrevne lastebiler.

Basert på tilgjengelig data og kontakt med ulike leverandører har vi kommet frem til en forventet kostnadsutvikling for et "hydrogenchassis" til et kjøretøy som typisk brukes som distribusjonsbil, med motoreffekt på 250 kW (340 hestekrefter) og maksvekt på 34 tonn. Kjøretøyet inneholder blant annet brenselcelle- og batterisystem, tanksystem og hjelpekraft.

I dag bygges hydrogenlastebiler på bestilling, noe som gir store merkostnader. Våre framskrivninger viser at med en årlig produksjon fra én leverandør på 1 000 enheter kan det oppnås en produksjonspris på knappe 1 670 000 kr eks mva. for et hydrogenchassis. Dette er ikke priser for komplette kjøretøy, men et hydrogenrammeverk før kunden gjør tilpasninger de også gjør i dag for å tilpasse kjøretøyene til deres behov. Økes produksjonen til 10 000 enheter i året, reduseres prisen til 1 300 000 kr. Til sammenlikning har vi brukt en pris på 1 050 000 kr eks mva for et tilsvarende dieselchassis.

Drivstoffprisen ved bruk av hydrogen er regnet ut i forskjellige caser og skalafordeler er illustrert. I en nasjonal framskrivning avhengig av antall kjøretøy i Norge viser vi at produksjonsprisen på hydrogen kan falle fra 53,57 kr/kg for den minste produksjonsenheten i dag, til 34,55 kr/kg ved forbruk tilsvarende 6400 kjøretøy. Det tilsvarer antall kjøretøy i Transportøkonomisk Institutt sin "ultralavutslippsbane" i 2030. En slik prisutvikling er avhengig av en godt planlagt utbygging av infrastruktur som sikrer tilnærmet 100 prosent utnyttelse. Det er ikke regnet med investeringsstøtte fra Enova til infrastruktur. Dersom det innvilges, blir produksjonsprisen naturlig nok lavere.

Med standard avansenivå for drivstoff og forbruk på 0,9 kilo per mil tilsvarer denne prisutviklingen endringskostnad fra 53,01 kr/mil og ned til 34,20 kr/mil. For et sammenlignbart dieselkjøretøy med forbruk på 4 liter/mil er dieselkostnaden per mil i dag 44,52 kr. Med dagens dieselpriis på 11,13 kr/l (innregnet storkunderabatt) er hydrogenpriser under 49,44 kroner per kilo dermed rimeligere enn diesel. Dette er mulig å oppnå allerede i dag, under visse forutsetninger og god utnyttelse av produksjonsanlegget.

Med grunnlag i dette har vi regnet en kilometerkostnad som omfatter bompenger, avgifter, drivstoffkostnader og drift og vedlikehold for sammenlignbare hydrogen- og dieselkjøretøy.

Konkurransedyktighet avgjøres i hovedsak av to variabler:

- Årlig produksjon fra leverandør for å redusere kjøretøyskostnad
- Tilstrekkelig marked i Norge for å få lavest mulig hydrogenpris

Vi finner at man ved 800 tyngre kjøretøy i Norge vil kunne senke drivstoffkostnaden på hydrogen slik at en løsning med hydrogen (kjøretøy og drivstoff) blir økonomisk konkurransedyktig. Dette forutsetter at en leverandør av kjøretøy har en årlig produksjon på 1000 hydrogenkjøretøy. Med støtte fra Enova til innkjøp av kjøretøy vil det være mulig å oppnå konkurransedyktighet ved 300 kjøretøy i drift i Norge under samme forutsetninger. Det fordrer en koordinert utrulling av kjøretøysflåte og hydrogeninfrastruktur og oppnådde skalafordeler. Under optimale omstendigheter kan dette skje i perioden mellom 2025 og 2028. De fleste skalafordeler for hydrogenalternativet er ventet å være hentet ut mot år 2035.

2.0 Innledning

Den første hydrogenlastebilen til norske veier er for tiden under bygging hos Scania for Asko og flere norske transportaktører har tegnet reservasjoner på å få levert den amerikanske trekkvognen Nikola One når den lanseres i 2020.

For å nærme seg et nullutslippssamfunn er det nødvendig å redusere utslippene fra transportsektoren, som står for rundt 31 prosent av Norges samlede klimagassutslipp.

Mens det innenfor persontransport er mange nullutslippsalternativ, har utviklingen ikke kommet like langt innenfor tungtransporten. Foreløpig representerer både batteri- og hydrogenkjøretøy en betydelig merkostnad og for sistnevnte er det også usikkerhet knyttet til nødvendig infrastruktur og fremtidig drivstoffpris.

Greensight er utfordret av Miljøstiftelsen Zero til å presentere scenarier for når hydrogenkjøretøy kan være konkurransedyktige med dagens dieseldrevne kjøretøy innenfor tungtransporten. En hydrogenlastebil er et elektrisk kjøretøy med batteri, men som også benytter en brenselcelle som lager elektrisk energi fra hydrogen som energibærer.

Vi har ikke sammenlignet hydrogenkjøretøy mot rene el-kjøretøy og dermed heller ikke vurdert hvilke typer kjøretøy som egner seg for hvilket utslippsfritt drivstoff.

I denne rapporten har vi tatt utgangspunkt i en distribusjonsbil som beskrives nærmere i kapittel 7.3.2. Når ordet kjøretøy brukes i rapporten er det med utgangspunkt i vårt eksempelkjøretøy dersom ikke annet er oppgitt.

3.0 Prosjektets målsetting og innhold

- Teknologistatus for tyngre hydrogendrevne kjøretøy
- Prisutvikling for brenselceller og elektrolyser
- Prisutvikling for hydrogen som drivstoff og sammenligning med diesel
- Anslag på kostnadsutvikling for et hydrogendrevet kjøretøy

4.0 Organisering av studien

Martin Larsen Hirth fra Greensight har vært prosjektleder og ansvarlig for arbeidet.

Kristian Ringen Fauske (Greenstat og NHH) og Jelena Schrader (NHH) har gjort de økonomiske beregningene for hydrogenproduksjon

Først gir vi en status for hydrogendrevne tyngre kjøretøy i dag og presenterer kostnadsutvikling for kjøretøy. Deretter presenteres ulike scenarier for hydrogenproduksjon i landets fylker, med utvalgte case som vi anser som realistiske startpunkt for en mulig hydrogenbasert transportsektor.

Hovedfokuset har vært på tyngre lastebiler- og trekkvogner, men det er mer overfladisk vist til utviklingen for hydrogenbusser, som er et noe mer modent marked. Det vurderes kun produksjon av grønn hydrogen ved elektrolyse basert på strøm fra kraftnettet.

Det har vært gjennomført møter med Kari Asheim og Liv-Elisif Kalland i Miljøorganisasjonen Zero underveis i arbeidet.

Greensight har også gjennomført samtaler med flere bransjekilder i inn- og utland for å få innspill og kvalitetssikre funn. Spesielt gjelder dette for prisutviklingen for selve kjøretøyet.

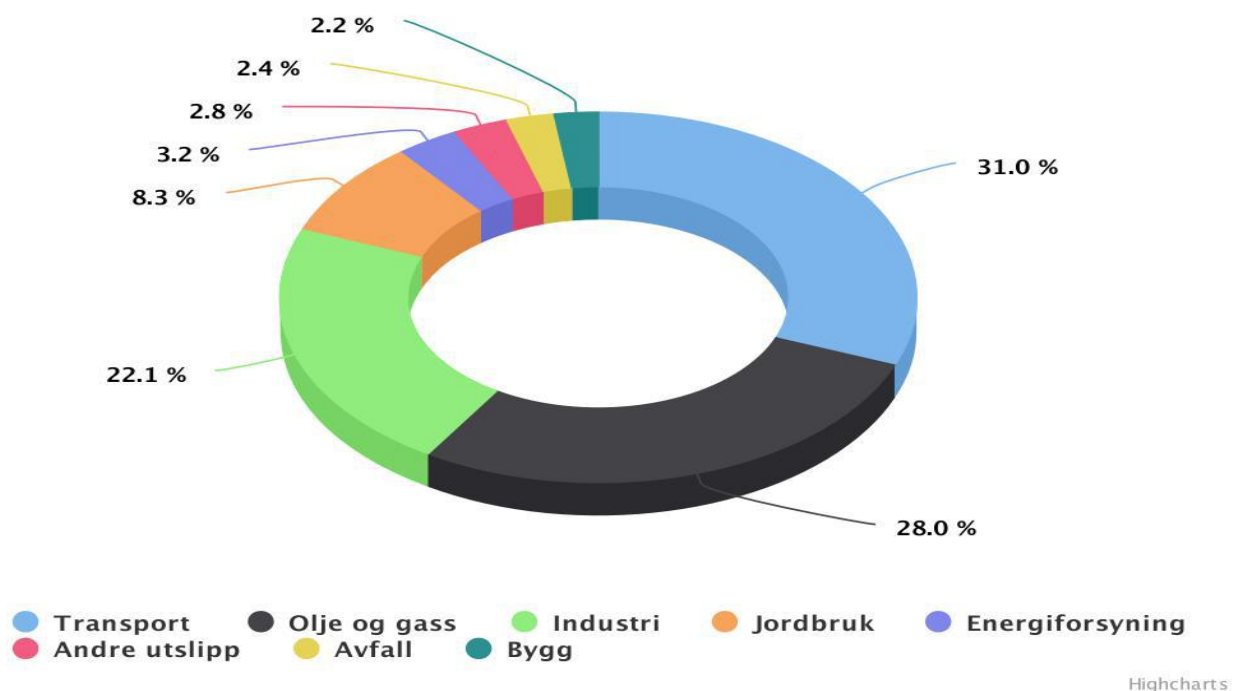
5.0 Utslipp fra transportsektor og relevante studier

5.1 Klimagassutslipp

Transport er den største kilden til klimagassutslipp i Norge¹. Fra 1990 til 2015 har utslippene økt med 25 prosent og står for 31 prosent av de samlede utslippene, ifølge tall fra Miljøstatus.no/Statistisk Sentralbyrå.

Det tilsvarer et utslipp av 16,7 millioner tonn CO₂-ekvivalenter til luft. Av dette står varebiler og tunge kjøretøy for om lag en fjerdedel.

Figur 1: Fordeling av klimagassutslipp i Norge

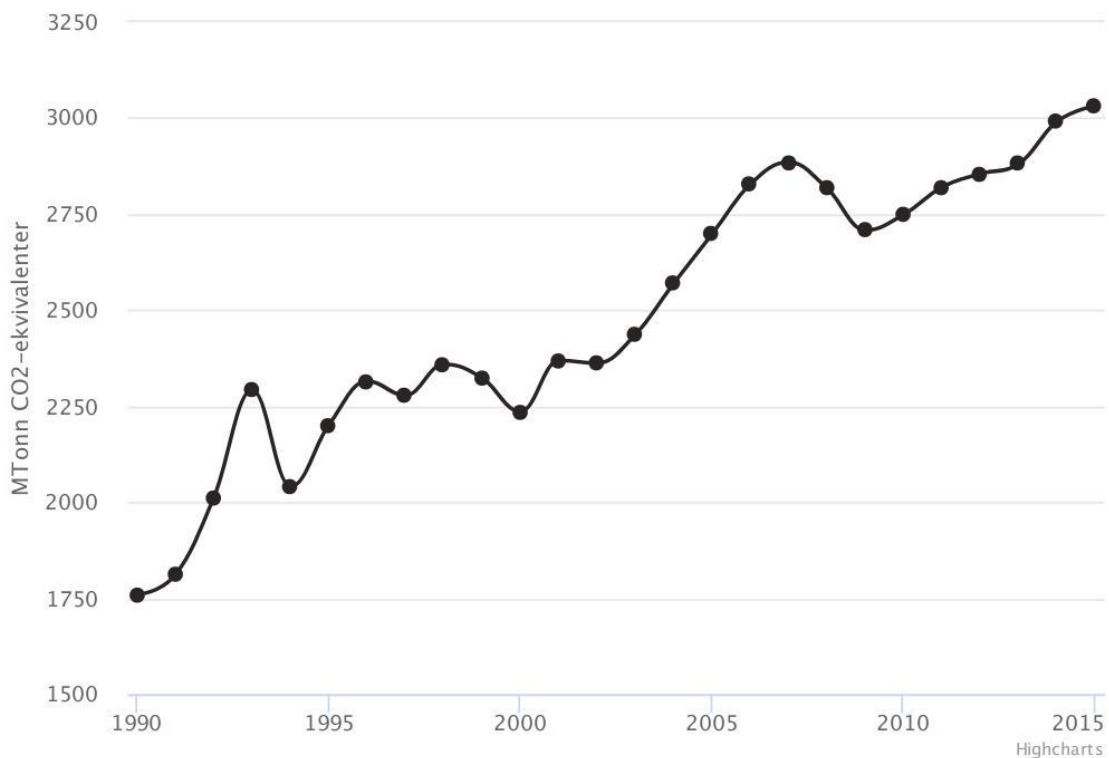


Kilde: Statistisk Sentralbyrå

Klimagassutslippene fra tyngre kjøretøy har økt mer eller mindre jevnt i perioden 1990-2015 og har etter en nedgang i perioden 2008-2010 steget hvert år, med en foreløpig utslippstopp i 2015 – som er siste år med tilgjengelig statistikk. Framskrivninger fra regjeringens perspektivmelding anslår at de samlede utslippene fra hele transportsektoren vil reduseres med om lag 2 millioner tonn frem mot 2030.

¹ Inkluderer alle utslipp og opptak fra nasjonalt territorium, blant annet industri, transport, energibruk, jordbruk og skog og andre landarealer

Figur 2: Klimagassutslipp til luft fra tunge kjøretøy på diesel



Kilde: Statistisk Sentralbyrå

I Nasjonal Transportplan 2018-2020 legger regjeringen til grunn at i 2030 skal nye tyngre varebiler, 75 prosent av nye langdistansebusser og 50 prosent av nye lastebiler være nullutslippskjøretøy. De ikke-kvotepflichtige transportutslippene anslås i framskrivningene til å reduseres fra 15,6 til 13,5 millioner tonn i 2030.

I transportplanen har Samferdselsdepartementet også regnet på det de omtaler som et "disruptivt scenario". I et slikt scenario forsterkes kravene til nye kjøretøy og det forutsettes at alle nye lette varebiler er nullutslipp i 2025, tunge varebiler i 2030 og tyngre kjøretøy reduserer sin utslippsfaktor med 50 prosent i 2030 sammenlignet med 2020. I et slikt scenario vil utslippene være under 4 millioner tonn CO₂-ekvivalenter i 2030.

4.2 Potensiale i norsk transportsektor

I rapporten *Kjøretøysparkens utvikling og klimagassutslipp* har Transportøkonomisk institutt utarbeidet to langsiktige scenarier for kjøretøysparken i Norge – en *trendbane* og en *ultralavutslippsbane*. Sistnevnte er basert på transportetatens grunnlagsdokument til NTP 2018-2029 og har de samme forutsetningene for kjøretøysparken som beskrevet i kapittel 4.1:

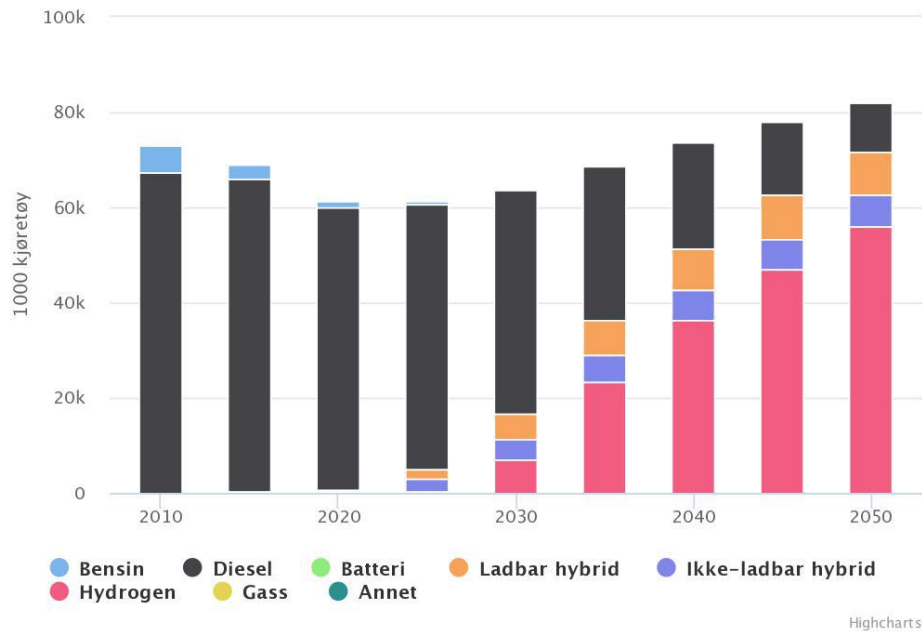
- Fra og med 2025 er alle nye personbiler nullutslipp
- Samtlige nye varebiler skal fra 2030 være nullutslipp
- Samtlige nye bybusser skal være batteri- eller hydrogen fra 2025, for langdistansebusser er andelen 75 prosent fra 2030
- Halvparten av de nye lastebilene skal være batteri- eller hydrogendrevet fra 2030

For bestanden av lastebiler- og trekkvogner i *ultralavutslippsbanen* vil hydrogen- og hybridkjøretøy få sitt innpass fra 2020 og det anslås ca 7 000 lastebiler og trekkvogner på hydrogen i 2030. De utgjør

da litt over 10 prosent av den samlede kjøretøysparken. For busser er trenden lik i *ultralavutslippsbanen*, men man oppnår en raskere overgang til hydrogen. I 2030 er det estimert 3 390 hydrogenbusser, mot dagens fem busser. Det tilsvarer en andel i 2030 på litt over 32 prosent.

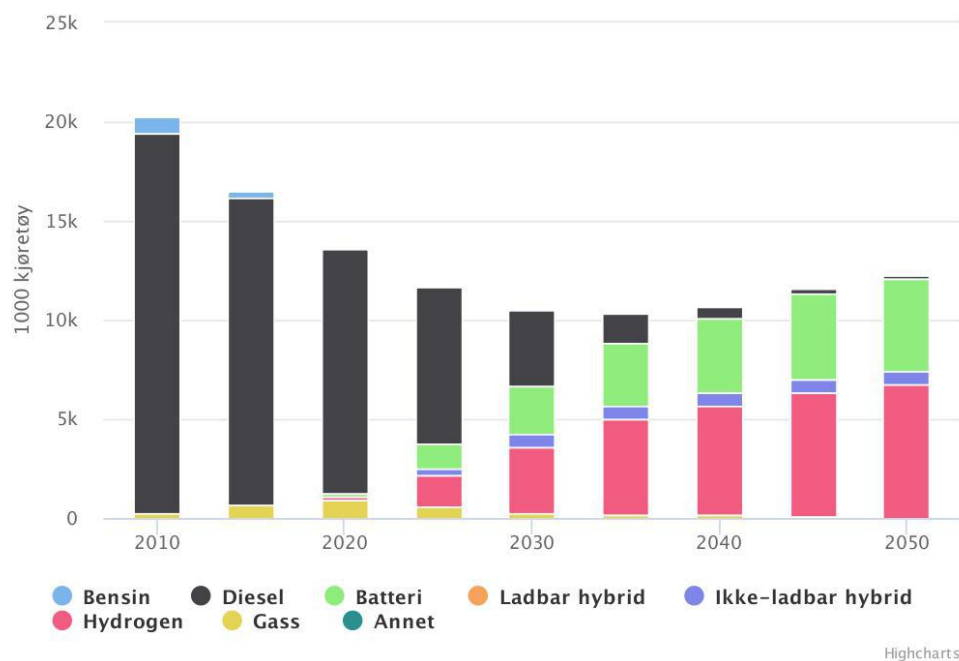
I *ultralavutslippsbanen* beregnes det samlede CO₂-utslippet fra kjøretøysparken til å bli 4,9 millioner tonn lavere i 2030 enn i 2015, en nedgang på 45 prosent.

Figur 3: Bestand av lastebiler og trekkvogner ved utgangen av året – ultralavutslippsbanen



Kilde: Transportøkonomisk Institutt

Figur 4: Bestand av busser ved utgangen av året – ultralavutslippsbanen



Kilde: Transportøkonomisk Institutt

I rapporten *Nasjonale rammebetingelser og potensial for hydrogensatsing i Norge* har Sintef på oppdrag fra storbyene etablert et felles innspill på hvordan en hydrogensatsing best kan lykkes i Norge². De skisserer tre scenarier: lav, middels og høyt scenario for innfasing av hydrogen som drivstoff.

I det høye scenariet anslås det at 55 prosent av nysalget for store lastebiler kan være hydrogen i 2030. For å oppnå det må tilgjengelighet av kjøretøy overskride dagens signaler fra leverandørene, investerings- og driftskostnader være konkurransedyktige, ha meget god tilgjengelighet på infrastruktur og ha en stor nasjonal vilje til innfasing av nullutslippskjøretøy.

6.0 Teknologi- og markedsstatus for tyngre hydrogenkjøretøy

Det er i dag få leverandører som leverer kommersielt tilgjengelige tyngre kjøretøy (med unntak for busser) med hydrogenløsninger. Det er imidlertid flere aktører som er i gang med sine første kjøretøy og bygger disse på "bestilling".

6.1 Personbiler

Personbiler regnes ikke som tyngre hydrogenkjøretøy, men vi ønsker likevel å gi en kort beskrivelse av status og antall kjøretøy for utvalgte markeder.

I Norge er det i dag fem fyllestasjoner for hydrogen, fire i regi av Hyop og en i regi av Uno-X Hydrogen. Alle fem befinner seg på Østlandet. Uno-X sin stasjon i Bærum er den første i en planlagt utbygging av 20 stasjoner innen 2020. Også Hyop bygger for tiden en ny stasjon.

Ifølge Hydrogen.no er det ved utgangen av 2016 solgt ca 45 eksemplarer av Hyundai ix35 FCEV. Også Toyota Mirai er tilgjengelig på det norske markedet. Det forventes en rekke nye hydrogenmodeller fra flere leverandører i kommersiell produksjon frem mot 2020.

Tabell 1: Faktisk antall kjøretøy og mål i 2015/2020

| | På veien i 2015 | Planlagt på veien i 2015 | Planlagt på veien i 2020 |
|-----------|-----------------|--------------------------|--------------------------|
| Europa | 192 | 5 000 | 350 000 |
| Japan | 102 | 1 000 | 100 000 |
| Sør-Korea | 100 | 5 000 | 50 000 |
| USA | 146 | 300 | 20 000 |

Kilde: IEA, *Technology Roadmap 2015*

Tall fra interesseorganisasjonen Hydrogen Europe indikerer at det i dag er litt over 500 personbiler i Europa. Det finnes flere europeiske initiativ som jobber for å øke antallet, som HyFive med et mål om 185 kjøretøy og Hydrogen Mobility Europe med 100 kjøretøy. California har også et større støtteprogram for infrastruktur under utrulling.

² Oslo, Bergen, Stavanger og Trondheim

6.2 Lastebiler og trekkvogner

6.2.1 Asko og Scania

I Norge har Asko bestilt 3 treakslede chassiser (27 tonns distribusjonsbiler) med en opsjon på ytterligere et kjøretøy. Lastebilene leveres av Scania og skal etter planen tas i bruk i 2018. I prosjektet søker Asko en rekkevidde opp mot 500 kilometer. Prosjektet (kjøretøy+fyllestasjon+ 10 trucker) er støttet av Enova med 19,6 millioner kroner. Asko oppgir prisen per kjøretøy til å være 7,5 millioner kroner

6.2.2 Esoro og Coop

Et konsortium ledet av sveitsiske Esoro har gjennomført et utviklingsprosjekt med sveitsiske Coop på en 34-tonns distribusjonsbil. Utgangspunktet er MAN TGS 18.320 4x2 som er utstyrt med batteri (120 kWh) og brenselcelle (100 kW) som rekkeviddeforlenger. Kjøretøyet ble levert i januar 2017 og er satt i drift. Det oppgis å ha en rekkevidde på 375 til 400 kilometer og et forbruk på åtte kilo per 100 km.

6.2.3 Nikola One

Det amerikanske selskapet Nikola Motor lanserte i 2016 trekkvognen Nikola One – med batteri (320 kWh) og brenselcelle (300 kW) som rekkeviddeforlenger. Selskapet oppgir at trekkvognen får en rekkevidde på 1900 kilometer. Den skal etter planen være i produksjon fra 2020 med mulighet for å tegne reservasjoner allerede i dag. Flere norske transportører, blant dem Tine, Thor Tenden Transport og VT Gruppen, har benyttet seg av den muligheten. I august 2016 hadde selskapet fått 8000 reservasjoner. I nyere intervju har selskapet ikke ønsket å gi ut oppdaterte tall.

6.2.4 E-Trucks Europe

Det nederlandske selskapet har levert et renovasjonskjøretøy med brenselcelle. Prosjektet er bygget på en elektrisk DAF CA FA freight truck med brenselcelle på 30 kW som rekkeviddeforlenger. Hydrogenforbruket oppgis av produsenten til å være 6-9 kilo per 100 km, med en total rekkevidde (batteri+hydrogen) på 360 kilometer. Prototypen er i dag i bruk i Eindhoven.

6.2.5 Renault i samarbeid med Symbio

I 2015 gjennomførte det franske postvesenet et prøveprosjekt der Renault Maxity (4,5 tonn) fikk elektrisk motor og brenselcelle som rekkeviddeforlenger. En 20 kW brenselcelle doblet rekkevidden fra 100 til 200 kilometer. Ombyggingen til bruk av hydrogen ble gjort av selskapet Symbio. Kjøretøyet ble testet under reelle forhold i ett år.

Symbio har også installert rekkeviddeforlengere (5 kW) på Renault Kangoo og selger i dag disse kommersielt.

6.2.7 Kenworth

Med en brenselcelle fra Ballard Power Systems skal Kenworth utvikle en hydrogendrevet trekkvogn. Første prototype er forventet klar til testing i fjerde kvartal 2017. Kjøretøyet er planlagt brukt til transport fra havn til bykjernen i Los Angeles.

6.2.8 Toyota

Toyota presenterte i april 2017 et testprosjekt på en tyngre trekkvogn på 37 tonn med to av Toyota Mirais brenselceller. Det gir en samlet effekt på 228 kW, kombinert med et lite batteri på 12 kWh.

Selskapet oppgir samlet motoreffekt til 500 kW, tilsvarende 670 hestekrefter. Rekkevidden oppgis til 200 miles, om lag 320 kilometer. Det er ikke offentliggjort noe tidspunkt for eventuell serieproduksjon.

6.3 Busser

Utvikling og bruk av hydrogenbusser har kommet lenger enn lastebiler og trekkvogner. Ruter har siden 2012 hatt fem hydrogenbusser i drift som en del av EU-prosjektet Clean Hydrogen in European Cities (CHIC). Totalt 54 busser, fordelt på fem ulike produsenter og åtte europeiske byer, samt amerikanske Whistler, har inngått i prosjektet.

Noen av læringspunktene fra prosjektet:

- Høy drivstoffeffektivitet, ned mot 9 kilo per 100 km. Her er det imidlertid verdt å merke seg at Ruter rapporterer høyere forbruk, rundt 13 kg/100 km.
- Under 10 minutters fylletid
- Rekkevidde tilsvarende dieselalternativet på rundt 350 km
- Det trengs bestillinger på 50-100 kjøretøy, fremfor dagens 5-10 for å skape storskalafordele som tvinger prisen ned.

På verdensbasis finnes det ifølge CHIC-prosjektet 109 busser på veiene, og et konservativt estimat på rundt 700 busser i planleggingsfasen. Det foreligger også et felles europeisk initiativ, i regi av The Fuel Cells and Hydrogen Joint Undertaking (FCH JU), for samlet innkjøp av rundt 300-400 busser. En intensjonsavtale er signert av 45 operatører og fem tilbydere av hydrogenbusser om videre utvikling av prosjektet. En annen studie i regi av FCH JU anslår det samlede potensielle innkjøpet til 645 busser fordelt på fem geografiske klynger.

7.0 Kostnadsutvikling

I sin Technology Road Map for hydrogen slår det internasjonale energibyrådet fast at utrulling av hydrogen som energibærer er tett sammenbundet med kostnadsutviklingen for elektrolysører og brenselceller. Den er avgjørende for prisutvikling, både for produksjon av hydrogen til drivstoff og selve kjøretøyene. I de påfølgende delkapitlene presenterer vi status for elektrolysører, brenselceller til transport og til sist kjøretøykostnad gitt ulike volumanslag.

7.1 Elektrolysør

En elektrolysør er et apparat for å gjennomføre hydrogenproduksjon ved elektrolyse. I prosessen spaltes vann til hydrogen og oksygen. I hovedsak trengs det vann og strøm. Dersom strømkilden er fornybar, vil hydrogen ved elektrolyse være en utslippsfri energibærer.

Det finnes flere ulike teknologier, men de to som er kommet lengst i utviklingen er:

Alkalisk – flytende elektrolytt, bestående av vann og kaliumhydroksid som gjør den elektrisk ledende. Dette er den mest kommersielt modne teknologien.

Polymerelektrolytt (PEM) – bruker et fast stoff, en ioneledende polymer, som elektrolytt. Det er forventet at PEM-teknologi får en høyere energieffektivitet enn alkalisk når teknologien er mer moden.

I tabellen under vises forventet kostnadsutvikling for elektrolysører fra et systemperspektiv. Det inkluderer kapitalkostnader for selve celledesignene, håndtering av vann, systemkontroll og sikkerhet, krafttilførsel, lut (for alkaliske) og gass/vann-separator.

For begge teknologiene utgjør modulene over halvparten av kapitalkostnaden³.

Estimatene er hentet fra en omfattende litteraturstudie og bransjekartlegging utført på oppdrag for The Fuel Cells and Hydrogen Joint Undertaking⁴. Det er viktig å understreke at dette er anslag med betydelig usikkerhet, derfor er det også tatt med et øvre og nedre-estimat for kostnadsutviklingen.

Det vektlegges tre nødvendige faktorer for å oppnå mulig prisreduksjon til 2030:

- Masseproduksjon av enheter
- Utvikling av verdikjeden
- Teknologisk innovasjon

Tabell 2: Systempris per kW for elektrolysører

| EUR/kW | | 2012 | 2015 | 2020 | 2025 | 2030 |
|-----------------|---------|-----------|-----------|----------|----------|----------|
| Alkalisk | Estimat | 1100 | 930 | 630 | 610 | 580 |
| | Min-Max | 1000-1200 | 760-1100 | 370-900 | 370-850 | 370-800 |
| PEM | Estimat | 2090 | 1570 | 1000 | 870 | 760 |
| | Min-Max | 1860-2320 | 1200-1940 | 700-1300 | 480-1270 | 250-1270 |

Kilde: *Development of Water Electrolysis in the European Union*

Vi ser at mens systemprisen i 2012 for PEM var dobbelt så høy som for alkalisk, har differansen minsket betydelig til i 2030.

Tabell 3: Driftskostnader for elektrolysører per kW

| EUR/kW/år | | 2012 | 2030 |
|-----------------|---------|-------|-------|
| Alkaline | Estimat | 17-51 | 9-44 |
| | Min-Max | 15-53 | 6-47 |
| PEM | Estimat | 32-66 | 12-46 |
| | Min-Max | 28-70 | 4-54 |

³ E4Tech (2014), *Development of Water Electrolysis in the European Union*

⁴ Et offentlig-privat samarbeid for forskning, utvikling og demonstrasjon av brenselceller og hydrogen i Europa. Det er en svakhet at rapporten er fra 2014, men den er etter vår kjennskap siste overordnede kartlegging som finnes, og innenfor omfanget av denne analysen har det ikke vært rom for egne studier.

Kilde: *Development of Water Electrolysis in the European Union*

Driftskostnader anslås å være fem prosent av CAPEX for et anlegg på 1 MW, med fallende prosentnivå jo større elektrolyseren er.

Dersom man tar utgangspunkt i en elektrolyser på 1MW og antar at OPEX = de øvre estimatverdiene, vil man få en reduksjon på 7000 Euro⁵ for en alkalisk elektrolyser og 20 000 Euro⁶ for en PEM-elektrolyser i driftskostnader.

Tabell 4: Elektrisitetsforbruk per kg/H₂

| kWh/kgH ₂ | | 2012 | 2015 | 2020 | 2025 | 2030 |
|----------------------|---------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Alkaline | Estimat | 54 | 53 | 52 | 51 | 50 |
| | Min-Max | 50-78 | 50-73 | 49-67 | 48-65 | 48-63 |
| PEM | Estimat | 57 | 52 | 48 | 48 | 47 |
| | Min-Max | 50-83 | 47-73 | 44-61 | 44-57 | 44-53 |

Kilde: *Development of Water Electrolysis in the European Union*

6.2 Brenselsceller

Det amerikanske energidepartementet har gjennom sitt Hydrogen and Fuel Cell Program har utført årlige studier på kostnadsutvikling for brenselscellesystem til bruk i personbiler siden 2006. Utviklingen regnes ut fra en PEM-brenselscelle på 80 kW_{netto} og en brutto kraft på 90 kW. De har hittil ikke sett spesifikt på lastebiler, men planlegger å gjennomføre sin første studie på denne type kjøretøy i 2018⁷. Ideelt sett skulle vi hatt denne type framskrivninger for system spesielt designet til lastebil, men det gir langt på vei en god indikator, eksemplifisert ved at Toyota skal bruke to av brenselscellesystemene fra sin Toyota Mirai i sitt hydrogenprosjekt for lastebiler.

Det er viktig å understreke at utregningen skjer basert på state of the art-teknologi og i laboratorieomgivelser. Ved volumøkning tar man høyde for skalafordeler og kostnadsbesparende tiltak ved økt produksjon. I analysene konkluderes det ikke hvorvidt antallet enheter er produsert av en eller flere leverandører. Men siden det tas utgangspunkt i at alle brenselscellesystemene for et gitt volum er produsert på nøyaktig samme måte, vil det implisitt at det er et prisanslag dersom en leverandør lager alt eller systemene produseres på tilnærmet samme måte⁸.

Det er derfor nødvendig å påregne en viss økning i kostnad for bruk i det virkelige liv, men det gir likevel en pekepinn på forventet kostnadsutvikling, gitt ulike produksjonsvolum.

Hydrogen and Fuel Cell Program gir også, basert på markedsdialog med relevante aktører, frem til en kostnad for kommersielt tilgjengelige brenselscellesystem levert av en vertikalt integrert leverandør. I rapporten for 2016 oppgis denne til å være **230 dollar per kW**, gitt et produksjonsvolum på 1000 enheter og med utgangspunkt i et system på 90 kW_{netto}.

⁵ (51 Euro/kW * 1000 kW) – 44 Euro/kW * 1000 kW) = 7 000 Euro

⁶ (66 Euro/kW * 1000 kW) – (46 Euro/kW * 1000 kW) = 20 000 Euro

⁷ E-postdialog med Adria Wilson, Department of Energy, Hydrogen and Fuel Cell Dept.

⁸ E-postdialog med Adria Wilson, Department of Energy, Hydrogen and Fuel Cell Dept.

Det er dermed en seks prosents økning i pris per kW mellom et system testet under optimale forhold og med det siste av tilgjengelig teknologi og et system som er på markedet i dag. Denne differansen er det tatt høyde for i de økonomiske kalkylene.

Figur 5 illustrerer den forventende skalaeffekten for brenselceller, gitt ulike produksjonsvolum⁹.

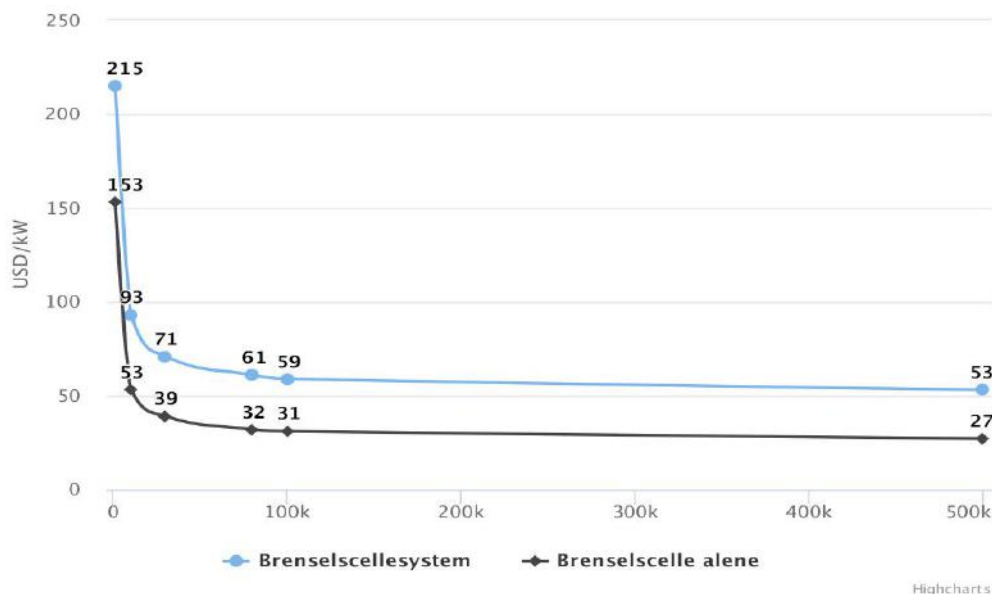
Det største effekten oppnås fra 1000 til 10 000 enheter, hvor prisen per kW faller med 56 prosent fra 215 dollar til 93 dollar. Kurven flater ut når man kommer opp mot 100 000 produserte enheter. Fra 100 000 til 500 000 oppnås en ytterligere kostnadsreduksjon på seks dollar per kW.

Brenselcellemodulens andel av de systemkostnaden endres også ved større volum. Ved 1000 enheter utgjør den rundt 71 prosent av kostnadene, mens ved 100 000 enheter er den 53 prosent.

Ifølge en analyse fra IHS Automation fra 2015 forventes salget av hydrogenbiler å runde 10 000 en gang mellom 2019 og 2021, med nærmere 70 000 kjøretøy årlig i 2027. I 2019 forventer de at Toyota produserer knappe 3000 og 5000 i 2025. Ser vi på målsettinger hos dagens produsenter av tilgjengelige hydrogenbiler, oppgir Toyota selv å produsere 3 000 utgaver av Toyota Mirai i 2017 og sikter mot salgstall på 30 000 enheter i 2020.

Slår disse spådommene til, som det er viktig å understreke er avhengig av svært mange variabler, ikke minst politiske avgjørelser, kan et antall på 10 000 være et realistisk mål å nå i løpet av et par år. De største volumene og skalaeffekt ser imidlertid ut til å være et stykke unna med nåværende veksttakt.

Figur 5: Skalaeffekt for brenselceller, gitt ulike produksjonsvolum



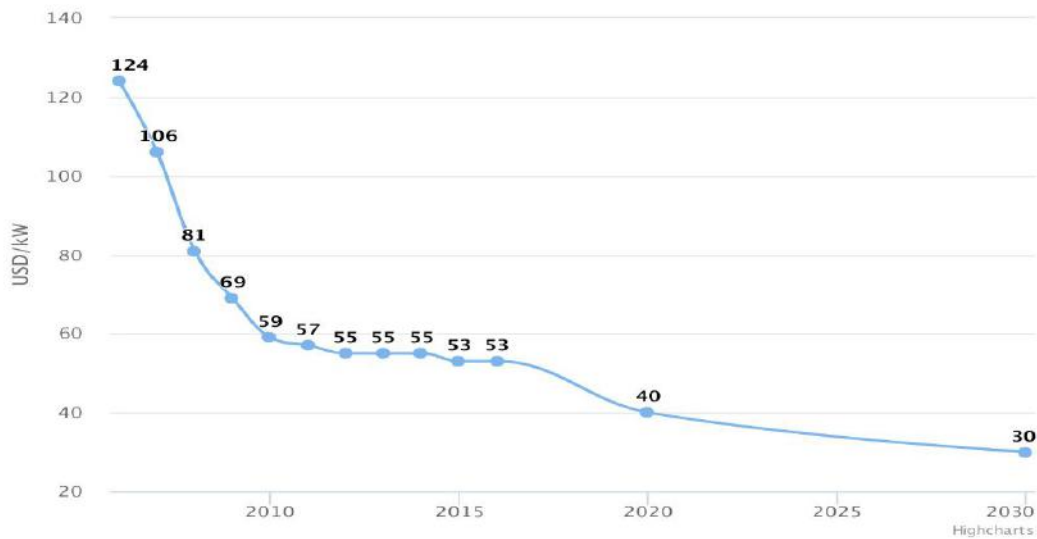
Kilde: Department of Energy Hydrogen and Fuel Cell Program Record: Fuel Cell System Cost 2016

Modellen som er brukt i studiene ble noe endret i 2013, blant annet for å ta høyde for økte priser på platinum. Det gjør det lite egnet å sammenligne utvikling for alle volum fra perioden 2006-2012 med

⁹ Årsaken til at prisen for 1000 enheter er ulik den kommersielt tilgjengelige prisen er at tallene i grafen er basert på optimale testforhold og siste tilgjengelige teknologi.

nyere data, men for 500 000 enheter ble alle rapportene revidert etter den nye utregningsmodellen. Målet er å nå 40 dollar per kW i 2020 og et "sluttmål" på 30 dollar per kW på et fremtidig tidspunkt.

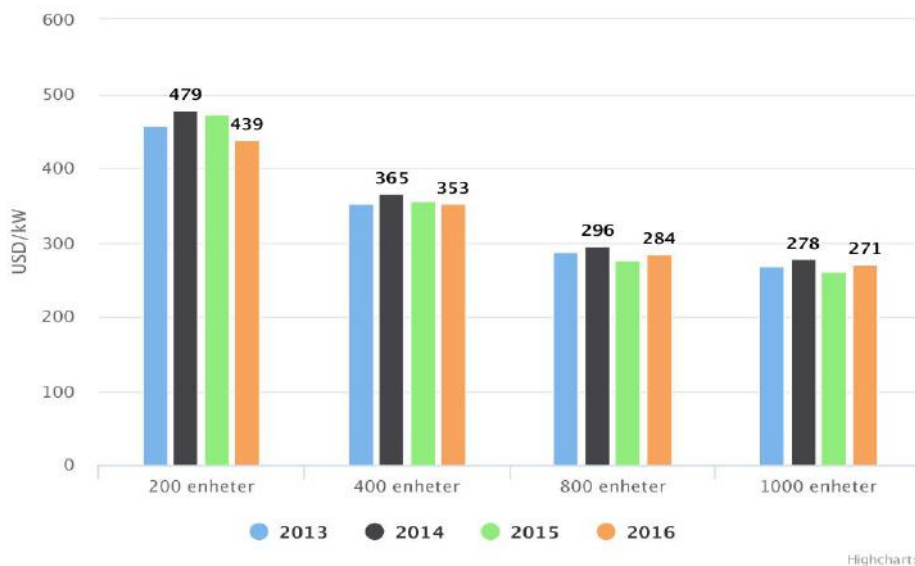
Figur 6: Prisutvikling for brenselcellesystem, gitt 500 000 produserte enheter



Kilde: Department of Energy Hydrogen and Fuel Cell Program Record: Fuel Cell System Cost 2006-2016

Kanskje mer relevant er framskrivningene Department of Energy har fått utført for brenselcellesystem til busser¹⁰. Her brukes en skala som ligner mer på en mulig utrulling for tungtransport. Systemet brukes i analysen er tilnærmet likt system som brukes til personkjøretøy, men er sammensatt av to moduler på 90 kW_{brutto} fremfor en modul på 80 kW_{brutto} for personbil.

Figur 7: Estimert prisutvikling for brenselcellesystem til busser for gitte volum – 2013-2016

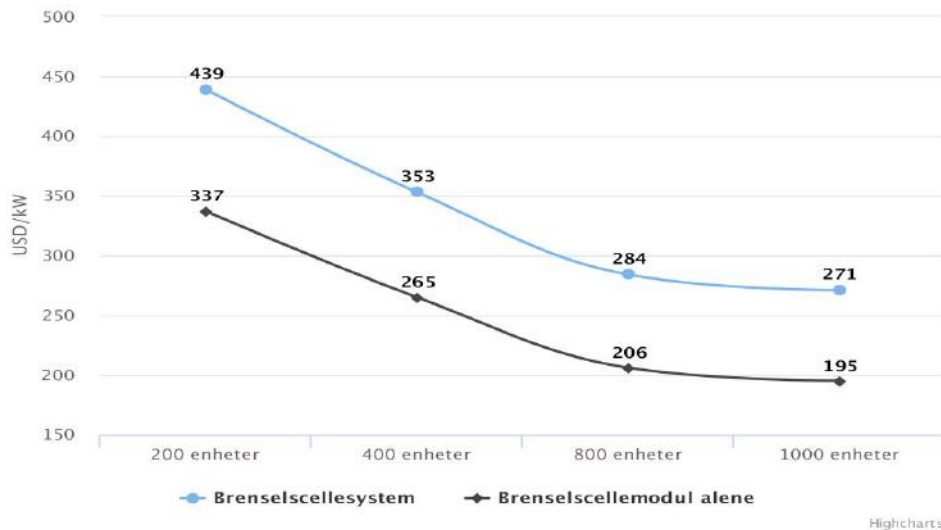


Kilde: Mass Production Cost Estimation of Direct H2 PEM Fuel Cell Systems for Transportation Applications, utgaver 2013-2016

¹⁰ For en detaljert liste over forskjeller, se James, B m.fl (2016) Mass Production Cost Estimation of Direct H2 PEM Fuel Cell Systems for Transportation Applications: 2016 Update

Systemprisen per kW ligger relativt jevnt i løpet av fireårsperioden analysen er gjennomført, men med en betydelig skalafordel. Som vist i figur 8 vil en doubling av antall enheter gi en forventet kostnadsreduksjon på knappe 20 prosent.

Figur 8: Estimert prisutvikling for brenselcellesystem og brenselceller for gitte volum, 2016-tall



Kilde: *Mass Production Cost Estimation of Direct H2 PEM Fuel Cell Systems for Transportation Applications: 2016 Update*

7.3 Kjøretøy

7.3.1 Busser

Ettersom hydrogenbusser er et mer modent marked enn lastebiler, er det interessant å se på prisutviklingen de har hatt siden de første prototypene på 90-tallet. Ikke minst fordi det hittil ikke har vært noen særlige skalafordeler å snakke om i produksjonsfasen.

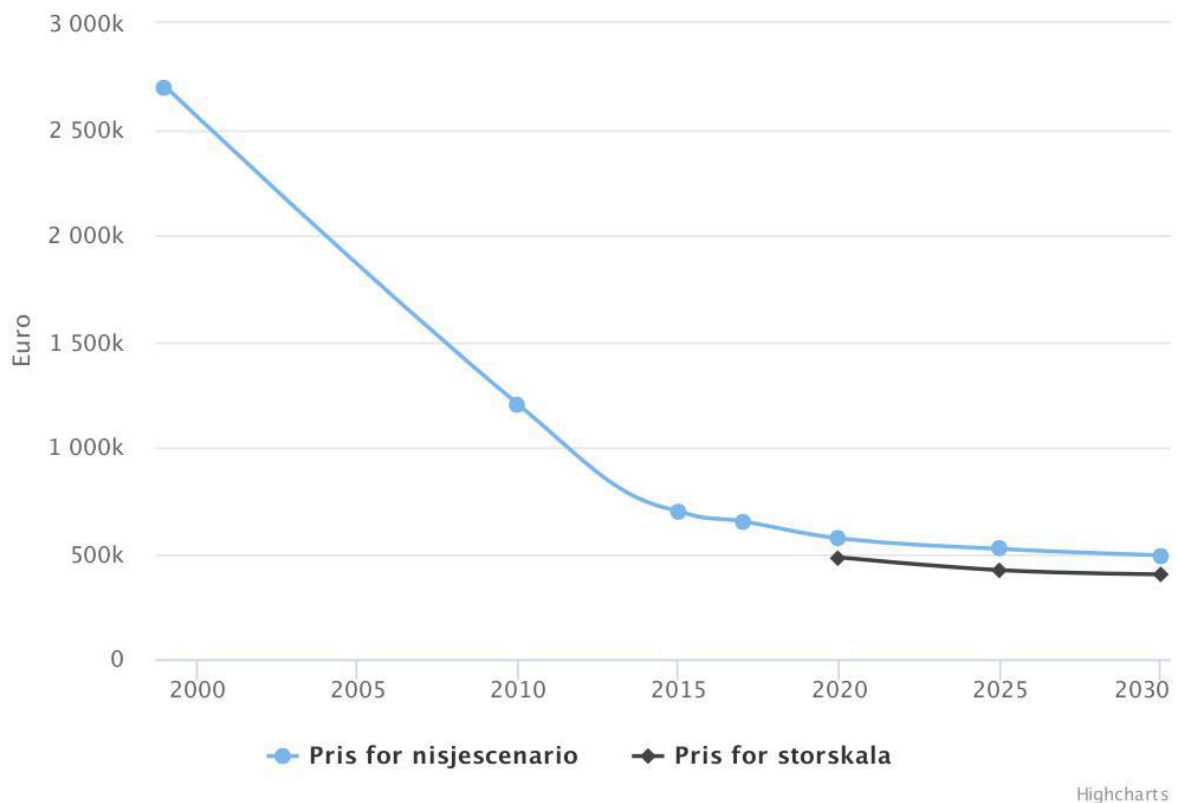
Ifølge rapporten *Fuel Cell Buses – Potential for Sustainable Public Transport in Europe* fra 2016 har prisreduksjonen vært på 76 prosent fra slutten av 90-tallet og frem til 2015. Prisutviklingen gjelder for en 12 meter lang hydrogenbuss og for framskrivinger etter inneværende år baserer man prisen på to ulike scenarier. Et nisjescenario hvor mellom 1200 og 1800 hydrogenbusser kommer på veien frem til 2025 og et storskalascenario hvor man trenger 8 000 til 10 000 busser i samme periode.

I sluttrapporten for CHIC-prosjektet som har gått fra 2010 til 2016 peker man på en kostnadsreduksjon fra godt over en million Euro i 2010 til en pris rundt 650 000 Euro for bestillinger gjort i 2017.

Vi gjør oppmerksom på at priskurven er for rimeligste alternativ for en 12 meters buss. Det finnes større varianter, som dermed også koster mer. Ruter betalte rundt 12 millioner kroner i 2010, om lag 1,5 millioner kroner etter datidens kurs, for en buss som er over 13 meter¹¹.

¹¹ Telefonsamtale med Pernille Aga i Ruter, mars 2017

Figur 9: Kostnadsutvikling for hydrogenbusser, historiske tall og framskrivninger.



Kilde: Roland Berger/FCH, CHIC

7.3.2 Lastebil

Det følgende delkapittelet er et forsøk på å anslå en produksjonspris for en hydrogenbasert lastebil i dag, samt å framskrive en mulig kostnadsreduksjon ved ulike produksjonsvolum.

Vi har i utgangspunktet basert oss på følgende komponenter når vi har jobbet frem estimatet for dagens produksjonspris. Tilnærmingen er diskutert med aktører både nasjonalt og internasjonalt. De ulike prisestimatene er også innhentet fra relevante bransjeaktører.

- Brenselscellesystem + hjelpekraft
- Lagring, tank og distribusjon av hydrogen
- Drivlinje med elmotor
- Batterisystem m/batteripakke
- Kjøling
- Øvrig chassis/rammeverk
- Sammensetting/skreddersøm

Ved kjøp av kjøretøy er det et betydelig innslag av kundetilpasninger, som vil komme i tillegg til estimatene vi har gjort her for det vi vil kalle et "hydrogenchassis". Vi antar imidlertid at disse valgene, f.eks valg av skap, langt på vei foregår på samme måte og med samme kostnadsnivå som dagens løsninger.

For utregningene har vi tatt utgangspunkt i Esoro-konsortiumet sin distribusjonsbil for sveitsiske Coop.

Her har vi hatt tilgang på detaljert kjøretøysinformasjon:

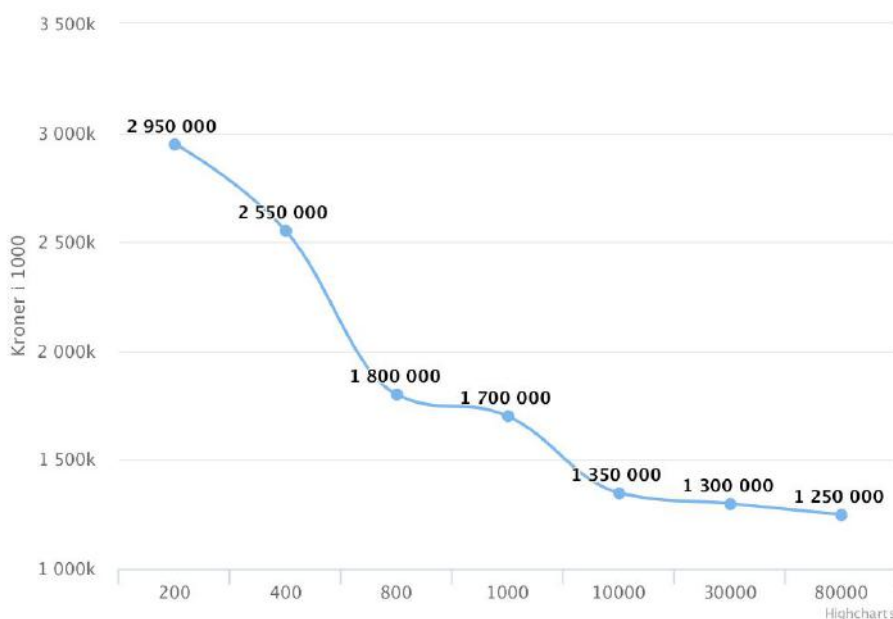
- Brenselscelle: 100 kW
- Batteri: 120 kWh
- Samlet motoreffekt: 250 kW – tilsvarende 340 hestekrefter med en dieselmotor
- Hydrogentanker: 35 liter brutto
- Maksvekt: 34 tonn

I samtaler med bransjeaktører har det blitt klart at den avgjørende faktoren for å oppnå kostnadsreduksjoner primært er knyttet til markedsutvikling og produksjonsvolum. Det er en betydelig gevinst å hente når kjøretøyene kan serieproduseres med et betydelig innslag av leverandørens egne komponenter og løsninger fremfor dagens prototypebygging, som av en aktør ble omtalt som "building piece by piece". Men trolig er det også kostnadsreduksjon å hente selv i svært liten skala. Ser vi på prosjektperioden for CHIC-prosjektet på hydrogenbusser, som ikke har hatt et omfang som kan kalles masseproduksjon, har enhetsprisen sunket fra "godt over en million Euro" til 650 000 Euro i 2017. Det er nesten en halvering av prisen, selv om det fremdeles utgjør en merkostnad sammenlignet med konvensjonelle busser.

Vi kommer her med anslag for produksjonspris for et produksjonsvolum på 200 – 400 – 800 – 1000 - 10 000 - 30 000 – 80 000 kjøretøy. Som indikert i delkapittel 6.2 oppnås den største skalafordelen for brenselscellesystemet frem til 10 000 produserte enheter.

I figur 10 er det lagt inn forventet prisutvikling for de ulike komponentene, basert på tilgjengelige analyser og kontakt med leverandører. Informasjon om prisutvikling er vekselvis gitt i pris ved gitt årstall for noen komponenter og volum for andre komponenter. I sistnevnte tilfeller har vi foretatt en kvalitativ vurdering for når det er realistisk å forvente gitte volum.

Figur 10 – Anslag for produksjonspris eks mva for "hydrogenchassis", årlig kjøretøysproduksjon



Anslaget har to betydelige kostnadsfall, foruten en generell kostnadsreduksjon for komponentene. I samtaler med aktører har vi fått oppgitt 500 årlige kjøretøy som et nivå for når det er realistisk å ha egne produksjonslinjer for hydrogenbaserte distribusjonsbiler. Det reduserer ekstraavgifter både til ingeniør- og skreddersøm og behovet for å ta utgangspunkt i et dieselchassis for så å bygge hydrogenvarianten. Ettersom det ikke finnes chassis tilpasset hydrogen må man i praksis kjøpe et standard chassis og strippe dette for dieselkomponenter før man bygger hydrogenversjonen. Det er imidlertid flere leverandører som etterhvert utviklet elektriske drivlinjer, blant dem nederlandske EMOSS, og med det som utgangspunkt faller ombyggingsprisen til hydrogen.

Det neste fallet er fra 1000 til 10 000 kjøretøy i året. Som vist i framskrivningen av brenselcellepris er det den største kostnadsnedgangen frem til 10 000 enheter. Deretter flater kurven ut, gitt dagens kunnskap og teknologi. For brenselcellesystemet har vi brukt systempris per kW basert på Department of Energy sine analyser for busser på volumene 200 til 1000 og deretter deres prisestimat for brenselceller til bruk i personbiler. Her går prisen per kW fra 439 dollar ved 200 enheter og til 61 dollar ved 80 000 enheter.

En tilsvarende prisreduksjon er ventet for hjelpekraft som også er basert på et mindre brenselcellesystem. Det antas en kostnadsreduksjon på fra 5411 dollar/kW ved 100 produserte enheter til 3157 dollar/kW ved 10 000 produserte enheter.

Ifølge McKinsey-rapporten *Electrifying Insight* vil prisen på batterisystem falle under 200 dollar per kWh ved utgangen av inneværende tiår og godt under 100 dollar per kWh i 2030. I kalkylene har vi tatt utgangspunkt i at batterisystemprisen beveger seg fra 200 dollar per kWh ved 200 enheter mot 75 dollar per kWh på det tidspunktet det produseres 80 000 kjøretøy.

Tanksystem og distribusjon (eks. tanker) har en kostnad for lave volum på rundt 35-40 000 dollar med en forventet skalaeffekt på 25 prosent ved 1000 enheter og 35 prosent ved 10 000 enheter. For selve hydrogentankene har vi etter samtaler med leverandører benyttet en pris på 800 dollar per kilo drivstoff i dagens marked og 600 dollar per kilo lagringskapasitet i det som betegnes som et modent marked. Vi setter det skillet når man går fra 400 til 800 enheter i året, i tråd med antatt nivå for egne produksjonslinjer.

7.4 Støttemuligheter fra Enova

Enova lanserte januar 2017 sitt nye støtteprogram for energi- og klimatiltak i landtransporten.

Her kan alle virksomheter som er registrert i norsk foretaksregister søke om støtte til ombygging av kjøretøy, få støtte til nullutslippskjøretøy og tiltak knyttet til infrastruktur.

Prosjektet må benytte den kommersielt beste tilgjengelige teknologien. Og investeringen skal gi redusert eller konvertert energibruk på minimum 10 prosent av energibruken og minimum 100 000 kWh/år (tilsvarer ca. 10 000 liter diesel) sammenlignet med alternativ løsning.

For støtte til nullutslippskjøretøy er det en øvre grense på 40 prosent av merkostnadene for store virksomheter, mens det er 50 prosent for små- og mellomstore bedrifter. Enova definerer bedrifter som små- og mellomstore dersom de har under 250 ansatte, 50 millioner Euro i omsetning og samlet balanse under 43 millioner Euro¹².

¹² E-postutveksling med Enova v/Arnt-Gunnar Lium, 23.april 2017

I juni 2017 ble det lansert et eget støtteprogram til etablering av offentlig tilgjengelige hydrogenstasjoner. Det er mulig å få inntil 40 prosent av prosjektkostnadene dekket gjennom støtteordningen. Den gis kun støtte til etablering og ikke drift av stasjonene.

I våre analyser er det ikke regnet med Enova-støtte til utbygging av infrastruktur.

8.0 Drivstoffkostnader

8.1 Introduksjon

Vi vil i denne delen belyse kostnadene for hydrogen som drivstoff i Norge. Analysen kan grovt sett deles i to. I den første delen forklarer vi grunnlaget for beregning av produksjonskostnader og ser nærmere på geografiske forskjeller. Den andre delen er casebasert. De tre første casene omhandler tre individuelle regionale prosjekter som forsøker å vise hvordan enkeltaktører kan realisere kjøp og bruk av hydrogenlastebiler på enkelte av sine ruter i dag. Disse casene er ment for aktører som vil ha mer kunnskap om hvordan de kan implementere hydrogenkjøretøy i sine aktiviteter. Det fjerde og siste caset tar et nasjonalt perspektiv, og viser hvordan produksjonskostnadene endrer seg i takt med det akkumulerte antallet hydrogenlastebiler og tilhørende fyllestasjoner. Denne casen retter seg mot politikere og andre nasjonale beslutningstakere, men er også ment å gi potensielle kjøpere av hydrogenlastebiler et estimat på hvordan det aggregerte markedet for hydrogen i transportsektoren vil kunne redusere deres driftskostnader.

Når det gjelder kostnaden for produksjon av hydrogen tar denne med alle kostnader fra kjøp av strøm og investering i produksjonsanlegg og frem til hydrogenet er klart til bruk på pumpestasjonen. Dette skal fungere som grunnlag for en pumpepris for hydrogen. Beregningene bygger på kalkyleverktøy utarbeidet av Greenstat AS¹³. En rekke av grunnlagsdataene brukt i kalkylen er hentet inn i forbindelse med tidligere prosjekter som ikke er offentlig tilgjengelig. Det er *ikke* tatt høyde for Enova-støtte til fyllestasjonene i denne analysen. Innvilges det, vil det påvirke redusere prisen.

Produksjonskostnaden kan grovt sett deles i to; investeringskostnader og driftskostnader. I kalkylen fordeler vi investeringskostnadene over anleggets levetid og produksjonsmengde. Enkelte driftskostnader forløper per år (faste driftskostnader), mens andre er direkte koblet til produksjonen av hydrogen (variable driftskostnader).

8.1.1 Ordforklaring

Produksjonskostnad: den totale kostnaden for produksjon og salg av hydrogen, inkludert investeringskostnader for elektrolyser, fyllestasjon og drift av fyllestasjon.

Produksjonsanlegg/Fyllestasjon: Ordene brukes om hverandre, og begge omhandler hele infrastrukturen for produksjon og fylling av hydrogen.

¹³ En rekke av grunnlagsdataene brukt i kalkylen er hentet inn i forbindelse med tidligere utførte prosjekter for oppdragsgivere og er ikke er offentlig tilgjengelig. De er dermed ikke direkte kildehenvist i denne rapporten.

Lite anlegg: Elektrolyseren C-150 med en døgnproduksjon på 330 kilo hydrogen i døgnet

Stort anlegg: Elektrolyseren C-300 med en døgnproduksjon på 660 kilo hydrogen i døgnet

Base case: Produksjonspris fra c-150 (brukes i analyser i senere kapittel)

8.2 Beregning av produksjonskostnader og geografiske forskjeller

8.2.1 Kalkyle for produksjonskostnader

I tabell 5 ser vi en forenklet oversikt over produksjonskostnadene for et spesifikt prosjekt. Vi har delt driftskostnadene i el-relaterte kostnader og andre driftskostnader. *El-kostnader* omfatter strømpris, nettleie og elavgift. *Andre driftskostnader* dekker tomteleie, kjølevann, lønn, vedlikehold av elektrolyser og driftskostnader for hydrogenstasjonen.

Investeringskostnadene blir i kalkylen omtalt som *finansielle kostnader*. Dette dekker de rene investeringskostnadene samt kostnaden for kapital, også omtalt som avkastningskravet.

I vårt eksempel ender den totale produksjonskostnaden på 53,57 kr/kg H₂. Vi ser at de rene produksjonskostnadene forløper seg til 34,78 kr/kg, mens de finansielle kostnadene ligger på 17,96 kr/kg.

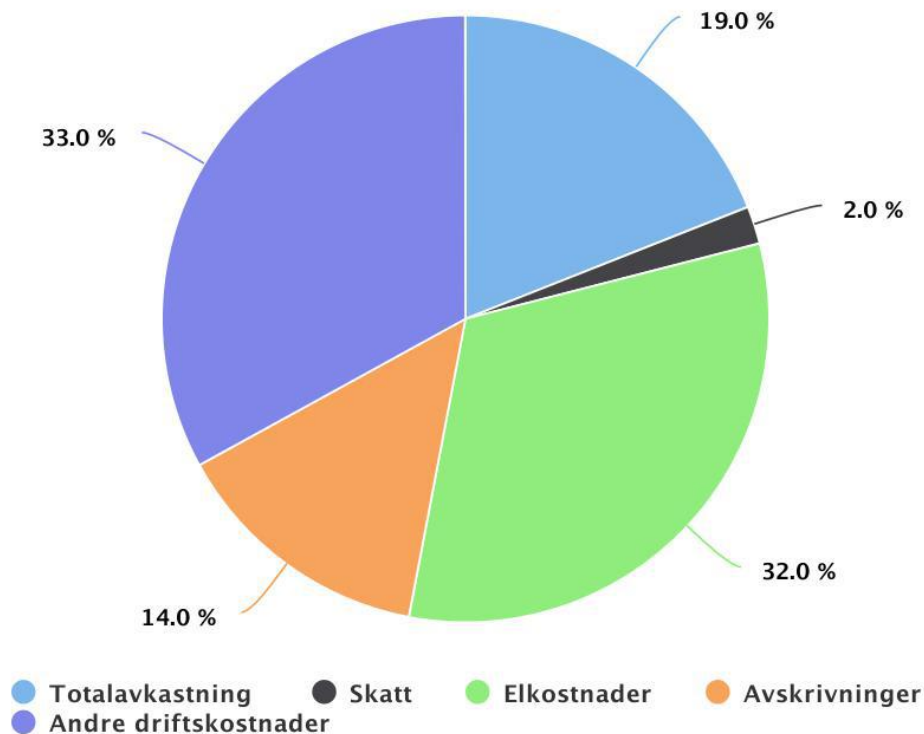
Tabell 5 – Produksjonskostnader for hydrogen – forenklet fremstilling

| Produksjonskostnader base case (lite anlegg) | NOK/år | NOK/kg H ₂ |
|--|------------------|-----------------------|
| Sum el-kostnader | 2 029 622 | 16,94 |
| Sum andre driftskostnader | 2 138 318 | 17,84 |
| Sum driftskostnader | 4 167 939 | 34,78 |
| Sum finansielle kostnader | 2 152 809 | 17,96 |
| Totale produksjonskostnader | 6 420 748 | 53,57 |

I figur 11 ser vi at driftskostnadene (el-kostnader + andre driftskostnader) utgjør 65 prosent av de totale kostnadene. De finansielle kostnadene utgjør de resterende 35 prosent. Et interessant moment fra finansielle kostnader er at avskrivninger, altså selve investeringskostnaden utgjør under halvparten av de finansielle kostnadene, mens den resterende halvparten er prisen vi betaler for kapitalen som er investert i anlegget.

Dette forteller oss først og fremst at prisen på kapital utgjør en vesentlig andel av kostnadene for et kapitalintensivt prosjekt som produksjon av hydrogen er. Men det forteller oss også at det finnes et potensial for å redusere produksjonskostnadene hvis man kan skaffe kapital på en billigere måte enn via det åpne markedet. Dette kan for eksempel være offentlige konkursgarantier eller billig kapital fra offentlig sektor.

Figur 11 – Fordeling av produksjonskostnader



Highcharts

Vi har videre utarbeidet estimater for produksjonskostnad i hvert fylke i Norge. De fleste kostnadselementene vil ikke variere i noen betydelig grad fra fylke. Dette gjelder blant annet investeringskostnader for produksjonsanlegg, lønnskostnader, vannkostnader o.l. Tre kostnadselementer ser imidlertid ut til å variere mellom fylkene: strømkostnad, nettleie og tomteleie. Vi ser nærmere på hvordan disse kostnadene varierer mellom fylker.

Vi har beregnet avvik fra systemprisen (spotpris) i hvert prisområde. Dette er et blikk på hvordan prisområder har vært billigere eller dyrere enn gjennomsnittsprisen i Norge de siste årene. Det er ikke gitt at denne differansen vil holde seg stabil i fremtiden, men vi mener den gir et godt utgangspunkt for å vurdere om et område er relativt billig eller relativt dyrt. Når vi så kjenner hvert områdes avvik fra snittprisen beregner vi avviket fra vårt estimat på langsiktig strømpris på 26 øre/kWh (SNF, 2016). Strømprisområdene i Norge går på tvers av fylkesgrensene, og vi har derfor plassert hvert fylke i det prisområdet mesteparten av fylket ligger innenfor.

Basert på informasjon innhentet fra minst tre nettselskap per fylke har vi beregnet nettleie for hvert fylke basert på en C-150 elektrolyser (lite anlegg) med 700 kW effekt og en kapasitetsutnyttelse på 99,5 prosent. Tilsvarende beregninger er gjort for C-300 elektrolyser (stort anlegg) med 1,4 MW effekt.

Nettleien varierer fra 52 kr/MWh i Nordland, til 97,4 kr/MWh i Hedmark for et lite anlegg. Nettleien for et stort anlegg er noe lavere grunnet lavere fastleddskostnad per MWh. Nettleien kan videre deles inn i fire; en fastpris per år, energiledd (kr per MWh forbrukt), effektledd (kr per MW kapasitet i anlegget per år) samt en redusert el-avgift på 0,48 øre/kWh. I beregning av tomteleie har vi tatt utgangspunkt i en årlig leiekostnad på 1000 kr/kvm. Vi har videre brukt gjennomsnittlig tomteleie for næringsstomter i hvert fylke, og brukt den prosentvise forskjellen mellom hvert fylke til å beregne fylkesmessig avvik fra base case.

8.2.2 Produksjonskostnad i ulike fylker

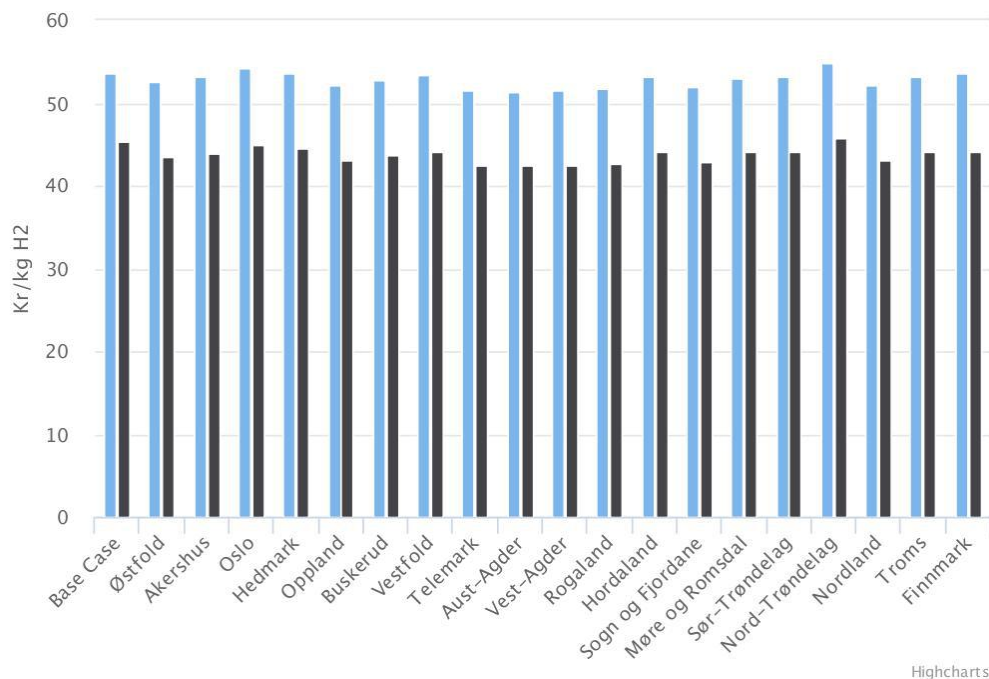
Under ser vi de ulike produksjonskostnadene per fylke. Her har vi i også tatt med produksjonsprisen for et stort anlegg som produserer 660 kilo hydrogen i døgnet. Dermed ser vi tydelig at prisen synker når produksjonen øker. For et nasjonalt snitt oppnår vi en produksjonspris på **45,39** kroner per kilo dersom produksjonen kommer fra en C-300 hvor produksjonen er doblet fra 330 kg til 660 kg i døgnet.

Videre ser vi at de estimerte kostnadene ikke varierer bemerkelsesverdig mye mellom fylkene. Hovedårsaken til dette er de største kostnadskomponentene i produksjonskostnadene enten er uforandret - som investeringskostnader i produksjonsanlegg og fyllestasjoner – eller at de varierer lite, som strømprisen.

Den største forskjellen i kostnader finner vi mellom Aust-Agder (lavest) og Nord-Trøndelag (høyest) (tabell 10), med Oslo som nest dyreste fylke å produsere i. Hovedårsaken til differansen ligger i høyere tomteleie i Oslo og høyere el-kostnader i Nord-Trøndelag. En forskjell på 3,36 kr/kg mellom billigste og dyreste fylke for et lite anlegg er verdt å merke. Gitt proporsjonalitet i differanse ved endret størrelse på anlegget vil kroneforskjellen bli større hvis man øker fra lite til stort anlegg, mens den prosentvise differansen vil forbli uendret. Vi forutsetter en slik proporsjonalitet i vår analyse.

Vi skal dog huske på at dette er estimater, og de regionale forskjellene vil kunne variere mer eller mindre enn våre resultater. Konklusjonen blir dermed at det foreløpig ikke er spesielt store forskjeller i produksjonskostnader mellom fylkene, men at mer detaljerte undersøkelser burde gjøres i en vurdering av hvor produksjonsanleggene skal lokaliseres.

Figur 12 – Produksjonskostnader per fylke, lite og stort anlegg



De blå stolpene er produksjonspris fra et lite anlegg (C-150), mens de svarte stolpene er prisen fra et stort anlegg (C-300).

8.3 Case

8.3.1 Utgangspunkt for case

Det finnes per i dag ikke en moden infrastruktur for fylling av hydrogen til kjøretøy i Norge. Selv om det planlegges utbygging av 20 fyllestasjoner mellom Kristiansand og Trondheim i regi av Uno-X Hydrogen innen 2020, vil disse stasjonene i første omgang ikke være tilrettelagt for tyngre kjøretøy som lastebiler og busser. Med dette som utgangspunkt har vi valgt et perspektiv hvor vi ser på hvert enkelt prosjekt for seg selv, med krav om at prosjektet skal kunne være lønnsomt uavhengig av hva som skjer med utviklingen av hydrogen i transportsektoren for øvrig. Det er klart at en rask utvikling innen sektoren vil gagne hvert enkeltprosjekt, men vi ser det som svært viktig å vise at ett prosjekt kan stå på egne bein når det er snakk om tungtransport mellom få lokasjoner. En implikasjon av dette er at vi vil forsøke å matche tilbudet av hydrogen med etterspørselen i området rundt fyllestasjonen. Vi har brukt et estimert gjennomsnittlig daglig forbruk på 25 kg hydrogen kjøretøy av lastebil¹⁴. Vi trenger da omtrent 13 hydrogenlastebiler¹⁵ av per produksjonsanlegg (330 kg/25 kg) for at etterspørsel skal dekke tilbudet og kunne tilby en pumpepris nær produksjonskostnaden uten å ødelegge prosjektets lønnsomhet. Med andre ord, med et lavere antall hydrogenlastebiler vil vi (a) trenge en høyere pumpepris eller (b) tape penger på prosjektet. Det vil være sannsynlig at én transportaktør vil trenge mindre enn 13 hydrogenlastebiler. En løsning på dette problemet er at flere aktører går sammen om å kjøpe det nødvendige antallet. Videre vil produksjonsanlegget kunne eies og drives av et eksternt selskap.

Med koordinert innkjøp av hydrogenkjøretøy kan man sikre at det skapes et marked stort nok til å ta unna produksjonen til én eller flere produksjonsanlegg. Slik kan hydrogenprodusenten med større sikkerhet investere og bygge et produksjonsanlegg og fyllestasjon enn hvis man skulle ventet på et nasjonalt marked for hydrogenkjøretøy. På den andre siden kan transportselskapene kjøpe hydrogen av en ekstern operatør i stedet for å måtte investere i anlegget selv.

Som nevnt tidligere har vi valgt å ta utgangspunkt i to typer elektrolysører (produksjonsanlegg), produsert av det norske selskapet NEL Hydrogen. Den minste elektrolysøren kalles C-150, og produserer maksimalt 330 kg hydrogen per døgn. Den største elektrolysøren kalles C-300 og produserer maksimalt 660 kilo per døgn. I de to første casene har vi kun vurdert produksjon fra C-150. Årsaken til dette er at vi ønsker å fremstille case som kan være realistiske også i dag, noe som fordrer et lavt antall kjøretøy, gitt markedets og teknologiens relative umodenhet. I Case 3 har vi foretatt en vurdering av om en nødvendig tredje fyllestasjon skal ha on-site produksjon eller distribuert tilførsel av hydrogen. I dette caset vil bruk av C-300 være aktuelt. I case 4, som har et nasjonalt perspektiv, ser vi lengre frem i tid, og vil bruke C-300 i tillegg til C-150.

8.3.2 Case 1: Ett fyllpunkt - Akershus

I case 1 tar utgangspunkt i én fyllestasjon med tilhørende produksjonsanlegg i Akershus.

¹⁴ Basert på telefonsamtale med Roger Sæter i Asko Midt Norge og forventet forbruk for Coop sin distribusjonsbil i Sveits

¹⁵ Med tilsvarende spesifikasjoner og forbruk som presentert i kap. 7.3.2

Et viktig element i denne casen er at kjøretøyene må kunne kjøre fra lokasjon A til B og tilbake til A på én tank. Hvis vi tar utgangspunkt i en relativt konservativ rekkevidde på 350 km per tank, kan strekningen Oslo-Hamar fungere som et godt eksempel. Strekningen er på 126 km, og en tur/retur på til sammen 252 km ligger tilstrekkelig under maksimal kjøredistanse på én tank. En slik case vil passe best i en situasjon med et begrenset marked for hydrogenlastebiler i regionen.

Vi ser først på hvordan kostnadene i denne casen fordeler seg, i tabell 11 under. I denne fremstillingen deler vi kostnadene opp i faste og variable kostnader. De faste kostnadene utgjør her 64 prosent av de totale kostnadene, mens de resterende 36 prosent er variable. Dette betyr at man ved lavere utnyttelsesgrad vil få en viss reduksjon i årlige kostnader. Siden mesteparten av kostnadene i et slikt anlegg vil være faste vil lavere utnyttelsesgrad ha relativt stor innvirkning på produksjonskostnaden.

Tabell 6 – Produksjonskostnader for ett fyllpunkt i Akershus

| | Kr/kg H2 | Kr/år |
|---------------------------|--------------|------------------|
| Faste kostnader | 34,06 | 4 082 303 |
| Variable kostnader | 19,14 | 2 293 910 |
| Produksjonskostnad | 53,20 | 6 376 213 |

Optimalt sett vil hele kapasiteten til produksjonsanlegget anvendes, men det kan likevel tenkes at man i en startfase kun vil utnytte deler av kapasiteten. Vi viser konsekvensene av dette i tabell 12 under, hvor vi ser total produksjonskostnad for ulike utnyttelsesgrader av produksjonsanlegget, gitt at produsenten skal ha en business case som går i balanse.

Tabell 7 – Produksjonskostnader for ett fyllpunkt i Akershus, gitt ulik utnyttelsesgrad

| Prod.kostn lite anlegg Akershus | Utnyttelsesgrad | |
|---------------------------------|-----------------|-------|
| kr | 53,20 | 100 % |
| kr | 56,99 | 90 % |
| kr | 61,72 | 80 % |
| kr | 67,80 | 70 % |
| kr | 75,91 | 60 % |
| kr | 87,27 | 50 % |
| kr | 104,30 | 40 % |
| kr | 132,68 | 30 % |
| kr | 189,45 | 20 % |
| kr | 359,76 | 10 % |

Vi ser at vi ved full utnyttelse av hydrogenet vil få en produksjonskostnad på 53,20 kr/kg. Kostnaden per kilo gitt at produsenten ikke skal tape penger på prosjektet øker som forventet ved lavere utnyttelsesgrad. Dette kan fungere som incentiv til potensielle kjøpere av hydrogenlastebiler, da de ser at kiloprisen de må betale synker jo nærmere den totale mengden hydrogenlastebiler nærmer seg det kritiske tallet 13. Et annet scenario er at salgsprisen holder seg i nærheten av 53,20 kr/kg, og at produsenten taper penger så lenge den ikke får solgt hele sin kapasitet.

8.3.3 Case 2: Transport mellom Bergen-Stavanger

I case 2 tar vi utgangspunkt i strekningen Bergen-Stavanger. Distansen mellom de to byene er 210 km, og vi vil med 350 km rekkevidde trenger én fyllestasjon i hver by. For at etterspørselen etter hydrogen fra de to stasjonene skal møte tilbudet må vi doble kjøretøysmengden fra 13 til 26. Dette vil kreve et større marked og koordinert innkjøp, men det åpner også opp for lengre og mer trafikkerte kjøreruter.

Per stasjon forholder vi oss til de samme kostnadene som i case 1, ref. tabell 11. Forskjellen på case 1 og case 2 vil her være at konsekvensen av lavere utnyttelsesgrad blir høyere med to stasjoner enn med én. Produsentens årlige resultat reduseres med noe mer enn 400 000 kr per ti prosentpoeng reduksjon i utnyttelsesgrad, gitt at salgsprisen holdes fast (produksjonskostnad ved 100% utnyttelse).

De økonomiske konsekvensene av lavere utnyttelsesgrad vil dermed være større i en slik case, da vi opererer med to fyllestasjoner i stedet for én. Ser vi på endring i produksjonskostnad ved lavere utnyttelsesgrad vil denne være identisk med tabell 13 i case 1, gitt at vi forutsetter ingen skalafordeler på investeringskostnadene ved å gå fra ett til to produksjonsanlegg.

8.3.4 Case 3: Transport mellom Oslo-Trondheim

I case 3 ser vi nærmere på distanser hvor en hydrogenlastebil ikke kan kjøre fra lokasjon A til lokasjon B på én tank. Et eksempel på en slik distanse er Oslo-Trondheim. Avstanden mellom Oslo og Trondheim er 494 km, noe vår hydrogenlastebils antatte rekkevidde på 350-400 km ikke dekker. Sammenliknet med case 2, hvor vi kjører hele distansen (én vei) på samme tank, trenger vi nå ytterligere en fyllestasjon mellom endepunktene. Hvis vi antar at det går 13 hydrogenlastebiler på hvert produksjonsanlegg vil vi trenge 39 hydrogenlastebiler totalt for at etterspørsel skal dekke tilbud.

En slik case vil sette enda større krav til koordinert innkjøp mellom flere aktører for å oppnå tilstrekkelig etterspørsel. Produksjonskostnaden per kilo hydrogen er uforandret fra case 1 og case 2, men konsekvensene av lavere utnyttelsesgrad blir høyere enn tidligere, grunnet prosjektets større omfang. Utover dette blir det nå også interessant å se nærmere på om det kan være lønnsomt å kun bygge fyllestasjon mellom lokasjonene og få distribuert hydrogen fra ett av de to produksjonsanleggene.

Vi ser først på om det kan være lønnsomt å bygge en tredje fyllestasjon med tilsendt hydrogen, eller om vi burde ha on-site produksjon også på denne stasjonen, før vi ser nærmere på konsekvensene av lavere utnyttelsesgrad enn 100 prosent.

En forenklet sammenlikning av on-site produksjon på anlegg nummer 3 og distribuert hydrogen fra ett av endelokasjonsanleggene viser at det i *dette* caset gir tilnærmet like produksjonskostnader per kilo hydrogen om man velger on-site produksjon eller distribuert hydrogen på stasjon nummer 3. Helt konkret har vi kommet frem til at det vil være 2,65 kr/kg dyrere med distribuert hydrogen enn on-site produksjon. Beregningen gir forskjell i produksjonskostnader per kilo for *hele* prosjektet, det vil si tre stasjoner og 39 hydrogenlastebiler.

Kalkylen for denne beregningen vises i tabell 8 under:

Tabell 8 – Onsite vs distribuert

| Differanse on-site produksjon ved stasjon 3 vs. distribuert | | |
|--|-----------|-------------|
| Rene transportkostnader per kg hydrogen | kr | 9,70 |
| Gevinst lavere investeringskostnader per kg* | kr | 3,30 |
| Redusert gj.snittlig produksjonskostnad ved én C-150 og én C-300 | kr | 3,75 |
| Total differanse on-site vs. distribuert (+ gir at distr. er dyrere) | kr | 2,65 |
| *Høyere investeringskostnader for C-300 enn for C-150, men dette fordeles på flere kilo | | |

Kalkylen består av tre elementer; (1) rene driftskostnader ved transport av hydrogen, beregnet som kroner per kilometer tur-retur, (2) redusert gjennomsnittlig produksjonskostnad per kilo hydrogen ved å ha én C-150 og én C-300 elektrolyser ved endelokasjonene i stedet for to C-150 elektrolysører og (3) gevinst fra lavere netto investeringskostnad ved å ikke investere i elektrolyser ved anlegg nummer 3.

Vi ønsker å minimere distansen hydrogenet må distribueres, samtidig som den lengste distansen mellom to fyllestasjoner ikke kan være mer enn rekkevidden til hydrogenlastebilen inkludert en fornuftig buffer. Basert på dette har vi satt distansen fra den tredje fyllestasjonen til nærmeste produksjonsanlegg til 200 km. Da blir den lengste distansen mellom to fyllestasjoner omtrent 300 kilometer, godt innenfor vår estimerte rekkevidde på 350 kilometer.

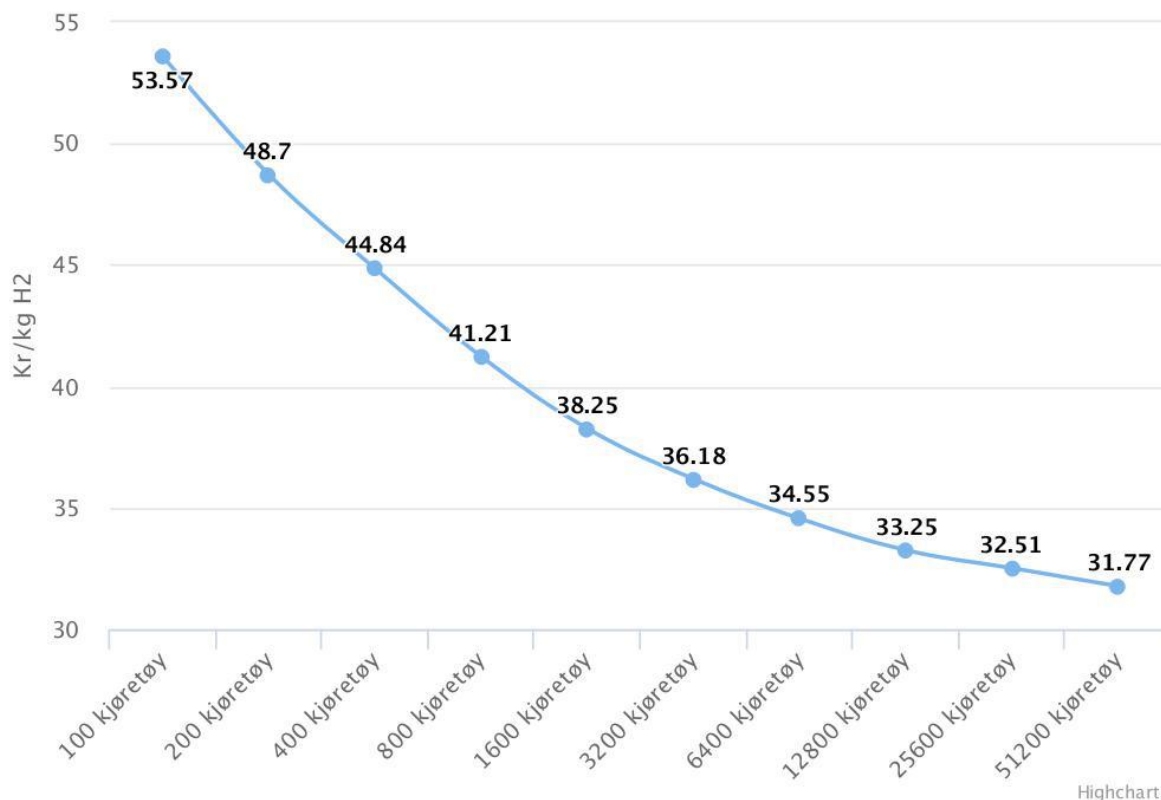
Vi ser først at de rene driftskostnadene for transport av hydrogen i dette caset er beregnet til 9,7 kr per kilo. Videre resulterer den reduserte investeringskostnaden i en gevinst per kilo hydrogen på 3,3 kr. Til sist har vi en estimert kostnadsreduksjon per kilo på 3,71 kr ved at vi bygger én C-300 elektrolyser i stedet for kun C-150 elektrolysører. Til sammen gir dette som sagt enestimert merkostnad med distribusjonsløsning på 2,65 kr per kilo hydrogen.

I tillegg til det økonomiske aspektet burde valg av løsning også bero på en kvalitativ vurdering. Distribuert produksjon gir et mer komplekst prosjekt, ikke minst med tanke på forsyningssikkerhet til den tredje fyllestasjonen hvis leveransen av hydrogen på noe tidspunkt skulle stoppe. Dette kvalitative argumentet er også til fordel for on-site produksjon. Vi anser dermed on-site produksjon som den foretrukne løsningen i *dette* caset.

7.3.5 Case 4: Nasjonalt perspektiv

Når vi tar et nasjonalt perspektiv på hydrogentransport for tyngre kjøretøy ser vi også på effekten av skala. Vi har fremstilt sammenhengen mellom antall kjøretøy og gjennomsnittlig kilopris for hydrogen i figur 13 på neste side.

Figur 13 – Produksjonspris på hydrogen ved markedsøkning



Fremstillingen viser forventet kostnadsutvikling per kilo hydrogen når antall hydrogenlastebiler øker¹⁶. Merk at vi ser på prisutviklingen hver gang antallet trekkvogner doubles. Dette grunner i en forventning om skalafordeler og læringseffekter ved økt produksjon, som vist i tabell 17 nedenfor.

Vi har hatt et relativt konservativt perspektiv på skalafordelene, og antar en 20 prosent reduksjon i kostnader ved dobling av antall stasjoner mellom 0 og 20 stasjoner nasjonalt. Videre antar vi at reduksjonen for hver dobling faller med 25 prosent for hvert ledd (fra-til i tabellen). Dette gjenspeiler en forventning om at skalafordelene vil avta etter hvert som antallet anlegg øker. Vi bruker antall kjøretøy som måleenhet for skalaeffektene da antallet kjøretøy antas å være proporsjonalt med antall produksjonsanlegg.

Tabell 9 – Skalafordeler ved flere stasjoner

| Skalafordel og læringseffekt ved flere stasjoner (kostn.red per dobling av antall kjøretøy) | | |
|---|-----|----------------------|
| Fra | Til | Prosentvis reduksjon |
| | 0 | 20 |
| | 21 | 60 |
| | 61 | 150 |
| | 151 | 300 |
| | 301 | 600 |
| | 601 | 2500 |
| | | 0,200 |
| | | 0,150 |
| | | 0,113 |
| | | 0,084 |
| | | 0,063 |
| | | 0,047 |

¹⁶ Det viktige er at produksjonen/markedsbehovet for hydrogen øker, om det går til lastebiler eller helt andre bruksområder er mindre viktig.

Videre har vi forutsatt en fordeling av store og små anlegg (C-150 og C-300) hvor vi ved et lavt antall anlegg har relativt flere C-150, mens vi har relativt flere C-300 ved et stort antall fyllestasjoner. Dette reflekterer at større anlegg gir lavere produksjonskostnad per kilo, samtidig som man er avhengig av et større marked for å få brukt kapasiteten store anlegg gir. I vår case har vi forutsatt at man har god kjennskap til hvor mange tyngre hydrogenkjøretøy det vil være flere år frem i tid, slik at man har mulighet til å planlegge fordelingen av store og små anlegg på en effektiv måte. I praksis vil det være større usikkerhet med tanke på vekst i markedet, noe som vil kunne føre til en større andel små anlegg hvis man ikke klarer å forutse den eventuelle store veksten i antall kjøretøy.

Vi forutsetter i det nasjonale perspektivet at alle potensielle lokasjonsproblemer for plassering av fyllestasjoner/produksjon er løst. Dette betyr at den geografiske allokeringen av produksjonsanlegg er slik at alle den geografiske fordelingen av kjøretøy tilsvarer den geografiske allokeringen av produksjonsanlegg.

8.4 Sammenligning med diesel som drivstoff

Like interessant som selve produksjonsprisen er hvordan hydrogen konkurrerer med diesel i rene drivstoffutgifter.

For sveitsiske COOPs trekkvogn er forbruket anslått til å være 7,5 til 8 kilo per 100 kilometer. Vi har brukt et mer konservativt estimat på 0,9 kilo per mil.

Fra 1.1.2017 ble det innført høyere avgifter på diesel i Norge. Veiavgiften steg fra 3,44 til 3,80 kroner per liter og CO₂-avgiften økte fra 1,12 til 1,20 kroner per liter. Merverdiavgiften utgjør fast 20 prosent av salgsprisen.

Vi har brukt en snittpris fra Statistisk Sentralbyrå på diesel fra de tre første månedene i 2017. Det gir en drivstoffpris på 13,72 kroner per liter.

Det er imidlertid vanlig for transportører å inngå drivstoffkontrakter direkte med kjedene hvor det oppnås kvantumsrabatt. Basert på samtaler med Norsk Lastebileier-forbund¹⁷ har vi anslått en kvantumsrabatt på 1,50 kroner før moms per liter.

Dermed brukes prisen 11,13 kroner per liter diesel i tabellen på neste side.¹⁸

Under testkjøring utført av den uavhengige kontrollinstansen DEKRA har man fått et dieselforbruk på 3,18 liter per mil for et nytt kjøretøy med Euro 6-motor. Etersom dette var under testkjøring og vårt sammenlignbare kjøretøy er noe tyngre enn modellen som ble brukt i testen (Mercedez Actros 1845), har vi satt dieselforbruket til 4 liter per mil.

Dieselutgiften blir dermed 4 liter x 11,13 kr = 44,5 kroner i drivstoffutgifter per mil.

Det vi ønsker å finne ut er hvilken hydrogenpris som tilsvarer 44,5 kroner i drivstoffutgifter per mil med diesel, gitt et gjennomsnittlig forbruk på 0,9 kilo per mil.

Den finner vi ved å dele 44,5 kroner på hydrogenforbruk per mil og finner dermed at salgsprisen for hydrogen må være 49,44 kroner per kilo for å matche dagens dieselpris.

¹⁷ Telefonsamtale med Kjell Olafsrud i NLF, 21.april 2017

¹⁸ $13,72 / 1,2 = \text{pris uten moms på } 11,43 \text{ kr. } (11,43 - 1,5) * 1,2 = 11,13 \text{ kroner.}$

Det betyr i all enkelthet at for vårt kjøretøy med det snittforbruket vi har lagt til grunn er hydrogen rimeligere som drivstoff om prisen er **under** 49,44 kroner per kilo, mens diesel er rimeligere som drivstoff om hydrogenprisen er over 49,44 kroner per kilo.

Ettersom hydrogenforbruket per mil foreløpig er basert på antagelser og ikke erfaringsbaserte tall har vi gjort tilsvarende regnestykke også for forbruk på 0,7 – 1,2 kg per mil.

Tabell 10 – Hydrogenpris som tilsvarer dieselpris, gitt ulike forbruk

| Hydrogenforbruk/mil | Prisnivå for H2 = diesel |
|---------------------|--------------------------|
| 0,7 kg/mil | 63,57 kr |
| 0,8 kg/mil | 55,63 kr |
| 0,9 kg/mil | 49,44 kr |
| 1 kg/mil | 44,50 kr |
| 1,1 kg/mil | 40,45 kr |

Med utgangspunkt i vår base case, som vist i kapittel 8.2.1, og en avanse på 10 prosent har vi i dag en mulig salgspris på 58,93 kroner fra et lite produksjonsanlegg (C-150). Fra et stort produksjonsanlegg (C-300) er en mulig salgspris 49,9 kroner. Det viser at hydrogen som drivstoff allerede i dag kan være konkurransedyktig om man **benytter et stort produksjonsanlegg (C-300) og all produksjonen blir solgt.**

Men hva hvis dieselprisen øker? CO₂-avgiften og veiavgiften har i perioden 2007 til 2017 økt med til sammen 1,44 kroner per liter, ifølge tall fra Norsk Petroleumsinstitutt.

Om vi legger til grunn at avgiftsøkningen for diesel vil fortsette i samme tempo som den har gjort de siste ti årene får vi en dieselpris på 13,65 kroner basert på samme metodikk som beskrevet tidligere i delkapittelet.

Dieselutgiften blir dermed 4 liter x 13,65 kr = 54,6 kroner i drivstoffutgifter per mil.

Den matchende hydrogenprisen er dermed 54,6 kr/0,9 kg per mil = 60,66 kroner. Dersom vi setter forbruket til 1,1 kg hydrogen per mil er krysningsprisen 49,6 kroner. Mer eller mindre identisk med dagens salgspris fra et stort anlegg. Og som vist i figur 13 er det grunn til å tro at hydrogenprisen faller etterhvert som markedet øker.

8.5 Konklusjon drivstoff

Vi har i denne delen av rapporten sett nærmere på drivstoffkostnadene knyttet til hydrogenkjøretøy. Vi så først nærmere på hvordan den totale produksjonskostnaden for hydrogen beregnes generelt, og kom frem til et estimat på 53,57 kr per kg hydrogen hvis man bygger én stasjon i dag. Videre så vi at det forekommer geografiske forskjeller i produksjonskostnader, primært basert på ulike strømpriser, nettleie og tomtekostnader. De regionale forskjellene er ikke svært store, med en kroneforskjell fra billigst til dyrest på 3,36 kr per kg. Aust-Agder kommer best ut med 51,43 kr/kg mens Nord-Trøndelag er dyreste fylke med 54,79 kr per kg.

For å gi et bilde av både kostnadene for enkeltstasjoner og et aggregert kostnadsbilde har vi laget tre caser for enkeltprosjekter, samt en case med et nasjonalt perspektiv. I det første caset så vi at én

enkeltstasjon i Akershus vil kreve omtrent 13 kjøretøy for at tilbud skal møte etterspørsel. Denne casen viste hvordan hydrogen kan implementeres i en situasjon for man kjører relativt korte distanser hvor man kan kjøre tur-retur uten å måtte fylle drivstoff. I det andre caset tok vi for oss ruten Bergen-Stavanger for å belyse en situasjon hvor man kommer seg fra A til B på én tank, men for så å måtte fylle drivstoff.

Med én fyllstasjon i hver endelokasjon vil man trenge omtrent 26 kjøretøy for at tilbud skal møte etterspørsel. I den siste prosjektcasen ser vi på en noe lengre distanse, Oslo-Trondheim. Her vil man i tillegg til én fyllstasjon i hver by trenge en fyllstasjon mellom byene. Dette gjør at man vil trenge omtrent 39 kjøretøy for at tilbud skal møte etterspørsel. Vi gjorde en sammenlikning av on-site produksjon av hydrogen på den midtre stasjonen og distribuert hydrogen fra et oppgradert produksjonsanlegg fra en av endepunktstasjonene. Vi kom frem til at on-site produksjon vil være den beste løsningen i dette tilfellet.

Fra de tre første casene så vi at produksjonskostnaden vil være omtrent lik ved 100 prosent utnyttelsesgrad, men at de negative konsekvensene ved lavere utnyttelsesgrad naturlig nok øker jo flere stasjoner man har. De forskjellene vi ser kommer fra regionale forskjeller.

I det siste caset så vi at antall fyllstasjoner har stor innvirkning på produksjonskostnaden når vi tar et nasjonalt perspektiv. Årsaken til dette er at vi vil se skala- og læringseffekter når produsentene av elektrolyser og fyllstasjoner får større produksjonsvolum. Her er naturlig nok antall fyllstasjoner driveren for kostnadsutviklingen, men vi har brukt antall hydrogentrekkvogner som parameter. Så lenge forholdet mellom antall kjøretøy og antall stasjoner er lineært er ikke dette et problem.

Når vi sammenligner rene drivstoffkostnader med diesel kan hydrogen allerede i dag være konkurransedyktig, gitt produksjon fra et C-300-anlegg og full utnyttelse. En salgspris på 49,44 kroner per kilo tilsvarer samme drivstoffutgifter per mil som ved dagens dieselpriis, gitt et snittforbruk per mil på hhv 4 liter diesel og 0,9 kilo hydrogen.

9.0 Kjøretøyskostnader per kilometer

Vi har frem til nå presentert produksjonskostnader for hydrogen, både i dag og frem i tid, samt anslått fremtidig produksjonskostnad for et "hydrogenchassis".

I dette kapittelet gjør vi det vi vil kalle en regneøvelse for når en sammenlignbar kilometerkostnad for et hydrogenkjøretøy kan konkurrere med dagens dieselvariant. En viktig presisering er at det her ikke er snakk om ferdige kjøretøy, men et chassis som er det beste mulige sammenligningsgrunnlaget. Ei heller inkluderes personalutgifter eller forsikring av kjøretøy. Vi har heller ikke sett på brukverdi ved endt levetid hos kjøper.

9.1 Forutsetninger for utregning

I tillegg til drivstoffkostnader og investeringskostnad for kjøretøyet inkluderer vi her vektårsavgift, anslag på bompenger og service- og vedlikeholdsutgifter.

Sammenligningsgrunnlaget er gjort for en:

- distribusjonsbil med tre aksler og en vekt over 23 tonn

- som kjører 75 000 kilometer årlig
- har et snittforbruk av drivstoff på henholdsvis 4 liter diesel og 0,9 kilo hydrogen per mil
- forventet besittelse i flåten på 7 år

Vektårsavgift er beregnet ut fra Skattetatens satser, hvor begge kjøretøy betaler vektavgift, mens hydrogenvarianten ikke betaler for utslipp¹⁹. Vedlikeholdskostnader er et snitt for det de fleste forhandlerne omtaler som en sølvavtale. De aktørene vi har snakket med forventer lavere vedlikeholdskostnader for hydrogenkjøretøy ved et modent marked. Som et konservativt anslag, gitt at dette er en ny type kjøretøy, har vi satt disse lik uavhengig av drivstoff. Det er verdt å bemerke at vi ikke har tatt høyde for økonomisk tap som følge av nedetid. Det er mulig å tenke seg scenarier der selve reparasjonen ikke er økonomisk kostbar, men der svak verdikjede gjør at det tar lang tid å få den utført, med tilhørende nedetid for kjøretøyet.

Bompingene er satt til 0 kroner for hydrogenkjøretøy, gitt dagens regelverk, mens det for diesel er brukt utregninger fra NHO Logistikk til å anslå en gjennomsnittlig årlig bompengeutgift årlig på 38 461 kroner.

Drivstoffprisen som er brukt for hydrogen er hentet fra figur 13 og dieselpriene tar utgangspunkt i dagens pris omtalt i avsnitt 7.4 og en stigende pris frem mot 14 kroner literen i 2040, gitt forventet avgifts- og prisøkning.

Basert på opplysninger fra det amerikanske finansdepartementet om gjennomsnittlig påslag i pris fra produksjon til salgspris for tyngre kjøretøy, har vi ganget opp produksjonsprisen for "hydrogenchassiset" med fire prosent.

9.2 Volum – globalt og nasjonalt

En slik sammenligning av kilometerkostnader er avhengig av volum for to variabler:

- Antall kjøretøy produsert globalt per år – for å angi kostnad på kjøretøy
- Antall kjøretøy i Norge – for å angi produksjonskostnad på hydrogen til drivstoff

Dersom det produseres få kjøretøy globalt vil kostnaden forbli høy, selv om store deler av den globale kjøretøysproduksjonen havner i Norge. Til liks vil gevinsten fra lavere drivstoffkostnad fra hydrogen ikke gjøre seg gjeldende om det er få kjøretøy i Norge og lite markedsgrunnlag.

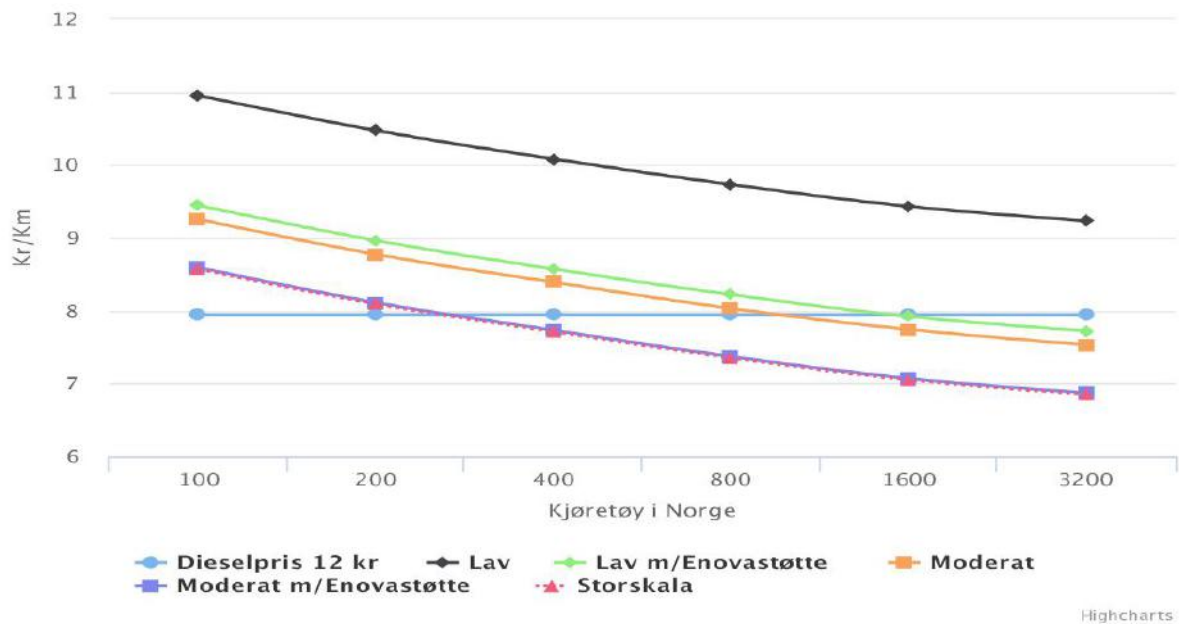
Dette forholdet er illustrert i figur 14. Her er kilometerkostnad for kjøretøy med et dieselskjøretøy som bruker 4 liter per mil og kjører 75 000 kilometer i året lagt inn som en horisontal linje med en pris på 12 kr per liter.

De øvrige graflinjene representerer ulike antall produserte kjøretøy fra en leverandør.

- **Storskala** = 10 000 kjøretøy årlig fra en leverandør.
- **Moderat** = 1000 kjøretøy årlig fra en leverandør m/uten Enova-støtte til kjøretøy
- **Lav** = 400 kjøretøy årlig fra en leverandør m/uten Enova-støtte til kjøretøy

¹⁹ Utregningen er kontrollsjekket med Skatteetaten.

Figur 14 – Effekten av produksjonsvolum globalt og flåtestørrelse i Norge



Som den svarte linjen viser vil man ikke være konkurransedyktig uten subsidier dersom man ikke når en skalaproduksjon av kjøretøy fra leverandøren. Gitt en videreføring av Enovas støtteprogram i innværende form, hvor små- og mellomstore bedrifter får 50 prosent støtte til merkostnaden på kjøretøy²⁰, vil man med 400 kjøretøy i årlig produksjonsvolum fra leverandør **trengte rundt 1600 kjøretøy** i en koordinert utrulling i Norge for at man i løpet en syv årsperiode har konkurransedyktige kilometerkostnader med diesel som drivstoff.

Dersom man har en årlig produksjonslinje fra leverandør med en moderat produksjon på 1000 kjøretøy og vil trenger **800 kjøretøy** i en koordinert utrulling i Norge for å være konkurransedyktig over en syv-årsperiode. Inkluderes Enova-støtte til kjøretøyene er det ved en moderat produksjon nødvendig med rundt **300 kjøretøy**. Årsaken til at innfasingen av kjøretøy trenger å være godt planlagt er at produksjonsprisen for hydrogen avhenger av full utnyttelse. Dersom drivstoffprisen er høyere i enn ved optimale forutsetninger vil det spise opp deler av de økonomiske fordelene fra drivstoffsidene og svekke konkurranseevnen.

I et storskalascenario, når en **leverandør produserer 10 000 kjøretøy årlig**, er prisdifferansen på kjøretøyene, uten Enova-støtte, såpass liten at det ikke trengs **mer enn 300 kjøretøy i Norge**, noe som egentlig tilsvarer en hydrogenpris som er teoretisk mulig å oppnå allerede i dag. Kilometerkostnadene i dette scenariet er mer eller mindre identisk med en moderat produksjon og tildelt Enova-støtte.

I figur 15 har vi brukt følgende forutsetninger for å omsette dette i et tidsperspektiv.

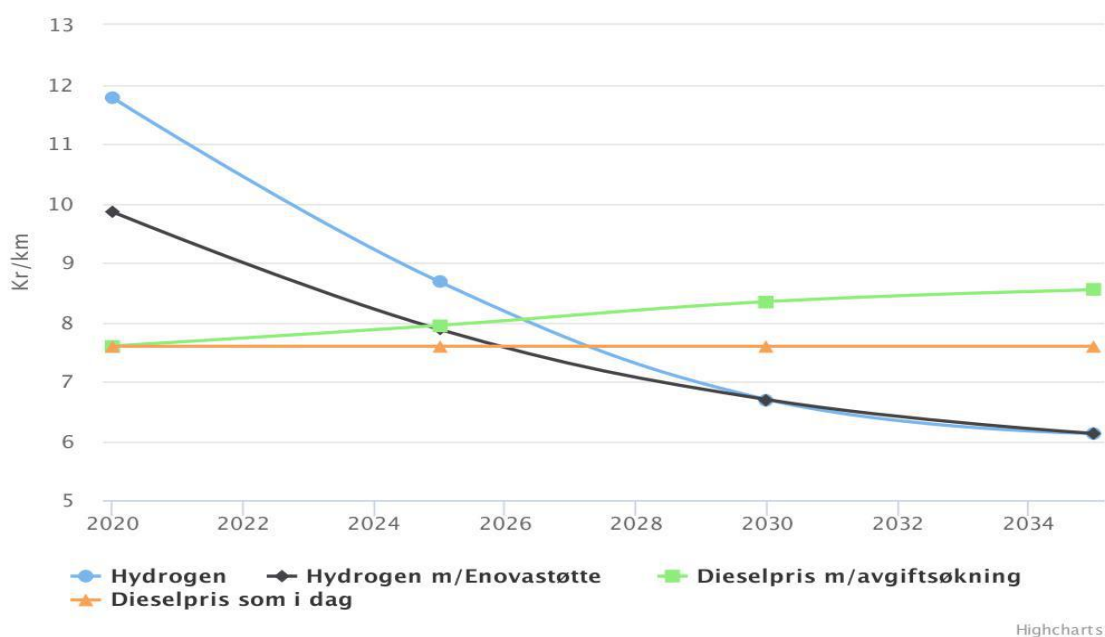
Prisene forutsetter en årlig produksjon av kjøretøy fra leverandør på 200 kjøretøy i 2020, 800 i 2025, 10 000 i 2030 og 30 000 i 2035

²⁰ Her regnet ut fra prisen på hydrogenchassis ettersom vi forutsetter at øvrig tilpasning til kundens behov er tilnærmet lik uavhengig av drivstoff

Siden drivstoffkostnaden er avhengig av antall kjøretøy i Norge, jfr. figur 13, trenger vi også et estimat for disse. Det beste anslaget vi har funnet er å basere oss på TØIs ultralavutslippsbane. Stigningen i denne banen passer relativt bra overens med intervallene vi har brukt i figur 9 for å illustrere skalafordeler på hydrogenprisen ved gitte volum av kjøretøy. For 2020 bruker vi dagens basecase-pris, deretter bruker vi produksjonspris som oppnås ved 6400 kjøretøy i Norge 2030 og ved 25 600 kjøretøy i 2035. Vi påpeker at disse tallene er den samlede kjøretøysbestanden i Norge for det gitte året.

Dieselchassiset det sammenlignes med er listepriis på 1 050 000 kr eks mva, oppgitt fra forhandler. Vi tar høyde for to alternative dieselpriiser. En med dagens prisnivå og ett scenario med stigende dieselpriis opp mot 14 kroner i 2035.

Figur 15 – Tidsperspektiv på kilometerkostnad



Som figuren viser er hydrogenvarianten mye dyrere i starten med en kilometerkostnad på over 11 kroner og under 8 kroner for diesel. Men med forventet kostnadsfall og en moderat stigning i dieselpriisen kryper kurvene mot hverandre og krysses rundt **2025 med Enova-støtte** og et par år senere uten støtte til investeringskostnaden. Kurvene samler seg igjen da vi antar støtten forsvinner når kjøretøyskostnaden begynner å nærme seg dieselalternativet. Legger vi til grunn at dagens dieselpriis blir gjeldende også fremover, forskyves tidspunkt for konkurransedyktighet med 1,5 til 2 år frem i tid.

De fleste skalafordelene for hydrogenalternativet er ventet å være hentet ut når man nærmer seg 2035.

Det er viktig å presisere at dette er et scenario gitt en rekke forutsetninger for en spesifikk type distribusjonskjøretøy med de forutsetninger og forbruk som beskrevet tidligere. Det er også et anslag med gitte forutsetninger for hydrogenforbruk og optimal planlegging og utbygging av infrastruktur for hydrogenfyllestasjoner som sikrer lavest mulig produksjonspris.

Vi har også forutsatt at godene for nullutslippskjøretøy vil fortsette. Det er et politisk spørsmål og kan raskt endres. Per i dag har hydrogenkjøretøy sine avgiftsfritak fredet frem til 2025.

Det er stor usikkerhet knyttet til hvordan, når og om kjøretøysleverandører vil bygge sine produksjonslinjer for tyngre hydrogenkjøretøy. Det er også vanskelig å si i dag hvor store stordriftsfordeler det vil være om en leverandør har flere modeller av ulike størrelse. I så måte er våre anslag på kjøretøysiden best egnet til å illustrere en effekt av volum og hvilken retning prisen vil ta dersom de gitte forutsetningene oppfylles, heller enn et absolutt fasitsvar.

Den andre hovedkomponenten – drivstoffprisen for hydrogen – er også vanskelig å forutsi. Vi har vist hva den lavest mulige produksjonsprisen kan være for ulike produksjonsvolum. I dag koster hydrogen 90 kr per kilo. Det er en fastsatt pris og ikke bestemt av vanlige markedsmekanismer. Det er et betydelig potensiale for prisreduksjon, men det er fullt mulig at et fremtidig marked ønsker høyere fortjeneste enn det vi har brukt i våre utregninger, eller at man ikke klarer å selge all produksjon til markedet og dermed må ta høyere pris for å gå i balanse.

Vi viste over at ved **1000 produserte kjøretøy årlig fra en leverandør** er den antatte kjøretøyskostnaden på et nivå at man ved **300 kjøretøy i Norge og Enova-støtte til kjøretøyet**, kan få en kilometerkostnad som er konkurransedyktig med diesel. Det forutsetter at man oppnår en salgspris i tråd med produksjonsprisen i figur 13 pluss avanse på 10 prosent – i dette tilfellet en kilopris på **knappe 50 kroner per kilo**.

I tabellen under har vi tatt anslag på pris gitt ulike årlige produksjonsvolum fra leverandør og sammenlignet med hvilken drivstoffpris som trengs for å matche en kilometerkostnad for et dieselalternativ når dieselpriisen er 12 kroner literen. Vi har også tatt høyde for Enova-støtte til kjøretøyene, men det er lite sannsynlig at en slik støtteordning finnes når årlige produksjon stiger mot de høyeste volumene.

Tabell 11 – Nødvendig salgspris på hydrogen gitt ulike kjøretøysvolum

| Antall kjøretøy fra leverandør | Hydrogenpris u/ Enova-støtte | Hydrogenpris m/Enovastøtte |
|--------------------------------|------------------------------|----------------------------|
| 200 | 16,4 kr /kg | 37,7 kr/kg |
| 400 | 25,5 kr /kg | 42,3 kr/kg |
| 800 | 41,3 kr /kg | 50,2 kr/kg |
| 1000 | 44,4 kr /kg | 51,7 kr/kg |
| 10 000 | 51,9 kr/kg | 55,5 kr/kg |
| 30 000 | 52,8 kr/kg | 55,9 kr/kg |
| 80 000 | 53,5 kr/kg | 56,3 kr/kg |

Et eksempel til etterfølgelse for å etablere kjøretøysvolum er å se hvordan CHIC-prosjektet for hydrogenbusser har vært organisert med aktører i flere land og fra flere ulike produsenter. Ikke minst videreføringen hvor man nå forsøker å få til samlebestillinger på inntil 400 busser fordelt på 45 ulike operatører.

Også for tungtransport står man ovenfor ”høna og egget”-problematikk for biler og infrastruktur. Erfaringer fra andre land som har begynt å jobbe med hydrogen er at infrastruktur kommer på plass

før kjøretøyene²¹. Tyskland har rundt 50 fyllestasjoner og kun 300 biler i drift. Danmark har 10 fyllestasjoner og rundt 70 biler. I California er det 50 fyllestasjoner enten i drift, bygging eller planlegging. Dersom man ikke er garantert drivstoff er det neppe noen som investerer i kjøretøyene.

Våre kalkyler viser at det er mulig å produsere hydrogen som drivstoff til konkurransedyktige priser i dag, gitt at all produksjon blir solgt. For et lite anlegg med en døgnproduksjon på 330 kg hydrogen tilsvarer det forbruket til 13 lastebiler. Men det viktige er at produksjonen finner veien til markedet, om det er utelukkende til lastebiler eller en miks av lastebiler og busser, som begge bruker hydrogen med trykk på 350 bar, eller andre formål er mindre viktig. For å realisere prosjekt bør derfor lokale flåteeiere gå i dialog og identifisere et brukermarked sammen med en aktør som vil bygge ut infrastruktur. For videre utrulling av fyllestasjoner er det også essensielt at de tilrettelegges både for 350 og 700 bar (personbiler) og på lokasjoner som er egnet både for tungtransport, kollektivkjøretøy og personbiler.

²¹ Informasjon innhentet fra aktører under Hannover Messe 2017.

Litteraturliste

- Arstechnica (2017), *Toyota is testing heavy-duty hydrogen trucks at the Port of Long Beach*, <https://arstechnica.com/cars/2017/04/toyota-starts-project-portal-the-first-hydrogen-fuel-cell-tractor-trailer/>, sist besøkt 02.05.2017
- Battelle (2014), *Manufacturing cost analysis of 1kW and 5kW Solid Oxide Fuel Cell (SOFC) for auxiliary power applications*, https://energy.gov/sites/prod/files/2014/06/f16/fcto_battelle_cost_analysis_apu_feb2014.pdf, sist besøkt 10.mai.2017
- Blue Move (2017), *The Blue Move for a Green Economy – mulighetsstudie for hydrogenproduksjon, industri, lagring og distribusjon*, http://skemman.is/stream/get/1946/23812/53898/1/Jeffrey_Jacobs.pdf, sist besøkt 10.april 2017
- Business Insider Nordic (2016), *A startup has a grand vision to make hydrogen trucks a reality by 2020 — here's its plan*, <http://nordic.businessinsider.com/nikola-one-hydrogen-truck-photos-features-2017-2?r=US&IR=T>, sist besøkt 11.april 2017
- CHIC (2017), *Fuel cell electric buses: a proven zero-emission technology. Key facts, results and recommendations*, http://chic-project.eu/wp-content/uploads/2016/11/PR-CHIC_30112016_EN-final.pdf, sist besøkt 11.april 2017
- CMR Prototech (2015), *Hydrogen og brenselcelle på ferjer, teknisk notat*, upublisert materiale
- Dagens Næringsliv (2017), *Asko-bilene skal over på solenergi*, <https://www.dn.no/nyheter/2017/05/23/0925/Energi/asko-bilene-skal-over-pa-solenergi>, sist besøkt 24.mai 2017
- Department of Energy (2016), *Fuel Cell Technologies Market Report 2015*, https://energy.gov/sites/prod/files/2016/10/f33/fcto_2015_market_report.pdf, sist besøkt 12.april 2017
- Department of Energy (2017), *Department of Energy Hydrogen and Fuel Cell Program Record: Fuel Cell System Cost 2006-2016 (årlige rapporter, alle er tilgjengelig på lenken)*, https://www.hydrogen.energy.gov/program_records.html, sist besøkt 12.april 2017
- Department of Treasury – Internal Revenue Service (2016) *Retail tax on heavy trucks, trailers and tractors*, <https://www.irs.gov/pub/irs-pdf/p510.pdf>, sist besøkt 28.april 2017
- E4Tech (2014), *Development of Water Electrolysis in the European Union*, http://www.fch.europa.eu/sites/default/files/study%20electrolyser_0-Logos_0.pdf, sist besøkt 11.april 2017
- ElementEnergy (2016), *Strategies for joint procurement of fuel cell buses*, http://www.fch.europa.eu/sites/default/files/Strategies%20for%20joint%20procurement%20of%20FC%20buses_0.pdf, sist besøkt 11.april 2017.
- Enova (2017), *Energi- og klimatiltak i transportsektoren*,

<https://www.enova.no/bedrift/transport/energi--og-klimatiltak-i-landtransport/>, sist besøkt 10.april 2017

Esoro (2016), *Factsheet lastwagen*,

http://esoro.ch/deutsch/content/aktuelles/images/Factsheet_Lastwagen_E.pdf, sist besøkt 10.april 2017

H2ME (2017), *Hydrogen Mobility Europe deploys its first 100 zero-emission vehicles across Europe*,

<http://h2me.eu/2017/02/16/hydrogen-mobility-europe-h2me-deploys-its-first-100-zero-emission-vehicles-across-europe/>, sist besøkt 11.april 2017

Hydrogen.no (2017), *Ofte stilte spørsmål*, <http://www.hydrogen.no/om-hydrogen/ofte-stilte-sporsmal/>, sist besøkt 11.april 2017

HyFive (2017), *What is HyFIVE?*, <http://www.hyfive.eu/hyfive-questions-and-answers/>, sist besøkt 11.april 2017.

IEA (2015), *Technology Roadmap: Hydrogen and Fuel Cells*,

<http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/TechnologyRoadmapHydrogenandFuelCells.pdf>, sist besøkt 11.april 2017

IHS Markit (2016), *IHS forecasts FCEV production to reach 69,000 upa by 2027*,

<http://blog.ihs.com/ihs-forecasts-fcev-production-to-reach-69,000-upa-by-2027>, sist besøkt 12.april 2017

James, B, Moton, J og Colella, W (2014a), *Mass Production Cost Estimation of Direct H₂ PEM Fuel Cell Systems for Transportation Applications: 2013 update*,

https://energy.gov/sites/prod/files/2016/11/f34/fcto_sa_2013_pemfc_transportation_cost_analysis.pdf, sist besøkt 11.april 2017

James, B, Moton, J og Colella, W (2014), *Mass Production Cost Estimation of Direct H₂ PEM Fuel Cell Systems for Transportation Applications: 2014 update*,

https://energy.gov/sites/prod/files/2016/11/f34/fcto_sa_2014_pemfc_transportation_cost_analysis.pdf, sist besøkt 11.april 2017

James, B, Moton, J og Colella, W (2015), *Mass Production Cost Estimation of Direct H₂ PEM Fuel Cell Systems for Transportation Applications: 2015 update*,

https://energy.gov/sites/prod/files/2016/11/f34/fcto_sa_2015_pemfc_transportation_cost_analysis.pdf, sist besøkt 11.april 2017

James, B, Huya-Kuoadio, J, Houchins, C, DeSantis D (2016), *Mass Production Cost Estimation of Direct H₂ PEM Fuel Cell Systems for Transportation Applications: 2016 Update*,

https://www.sainc.com/assets/site_18/files/publications/sa%202016%20transportation%20fuel%20cell%20cost%20analysis%20rev1.pdf, sist besøkt 11.april 2017

Kenworth (2017), *Kenworth advances low-zero emission prototype projects*,

<http://www.kenworth.com/news/news-releases/2017/may/advanced-prototype-projects/>, sist besøkt 08.mai.2017

Lastebil.no (2016), Så mye har lastebilen utviklet seg på 20 år, <https://lastebil.no/Aktuelt/Nyhetsarkiv/2016/Saa-mye-har-lastebilen-utviklet-seg-paa-20-aar>, sist besøkt 24.mai 2017

McKinsey (2017), *Electrifying insights: How Automakers can drive electrified vehicle sales and profitability*, <https://tinyurl.com/kf6exk4> , sist besøkt 13.april 2017

Miljøstatus (2017), *Klimagassutslipp fra transport*, <http://www.miljostatus.no/tema/klima/norske-klimagassutslipp/utslipp-av-klimagasser-fra-transport/> , sist besøkt 10.april 2017

Nikola Motors (2017), *Nikola One Specs*, <https://nikolamotor.com/one#specs>, sist besøkt 11.april 2017

NHO Transport og logistikk (2016), *Avgiftssjokk i Oslopakke 3*, <http://transportlogistikk.no/vei/avgiftssjokk-oslopakke-3/> , sist besøkt 28.apri 2017

Renault (2015), *The French Post Office and Renault trucks jointly test a hydrogen-powered truck running on a fuel cell*, <http://corporate.renault-trucks.com/en/press-releases/2015-02-23-the-french-poste-office-and-renault-trucks-jointly-test-a-hydrogen-powered-truck-running-on-a-fuel-cell.html> , sist besøkt 11.april 2017

Roland Berger (2015), *Fuel Cell Electric Buses – Potential for sustainable public transport in Europe*, http://www.fch.europa.eu/sites/default/files/150909_FINAL_Bus_Study_Report_OUT_0.PDF , sist besøkt 11.april 2017

Skattetetaten (2017), *Vektårsavgift*, <http://www.skatteetaten.no/no/Tabeller-og-satser/vektarsavgift/> , sist besøkt 28.april 2017

Sintef (2016), *Nasjonale rammebetingelser og potensial for hydrogensatsingen i Norge*, <https://www.sintef.no/publikasjoner/publikasjon/download/?pubId=SINTEF+A27350> , sist besøkt 10.april 2017

Samfunns- og Næringslivsforskning (2016), *Investeringsanalyse Storskala Mongstad*, upublisert arbeidsnotat

Statista (2015), *Estimated truck sales in 2014, by region*, <https://www.statista.com/statistics/325580/estimated-global-truck-sales/> , sist besøkt 28.april 2017

Stortingsmelding 29 (2016-2017), *Perspektivmeldingen 2017*, <https://www.regjeringen.no/no/dokumenter/meld.-st.-29-20162017/id2546674/> , sist besøkt 10.april 2017

Stortingsmelding 33 (2016-2017), *Nasjonal transportplan 2018-2029*, <https://www.regjeringen.no/no/dokumenter/meld.-st.-33-20162017/id2546287/>, sist besøkt 10.april 2017

Teknisk Ukeblad (2016), *Askos nye lastebil har to tonn batterier mellom akslingene*, <https://www.tu.no/artikler/askos-nye-lastebil-har-to-tonn-batterier-mellom-akslingene/351502>, sist besøkt 10.april 2017

Teknisk Ukeblad (2017), *Nå skal elektriske lastebiler få like mye hjelp fra staten som elektriske personbiler har fått*, <https://www.tu.no/artikler/na-skal-elektriske-lastebiler-fa-like-mye-hjelp-fra-staten-som-elektriske-personbiler-har-fatt/377383> , sist besøkt 10.april 2017

Toyota (2015), *Environmental Challenge 2050: New Vehicle Zero CO₂ Emissions Challenge*, http://www.toyota-global.com/sustainability/environment/challenge2050/6challenges/pdf/presentation_1e.pdf , sist besøkt 12.april 2017

Transportøkonomisk Institutt (2016), *Kjøretøysparkens utvikling og klimagassutslipp. Framskrivinger med modellen BIG*, <https://www.toi.no/publikasjoner/kjoretoysparkens-utvikling-og-klimagassutslipp-framskrivinger-med-modellen-big-article34059-8.html> , sist besøkt 28.april 2017

Waterstof.net (2017), *Waste collection vehicle using a fuel cell*, <http://www.waterstofnet.eu/en/hydrogen-waste-collection-vehicle>, sist besøkt 23.april 2017