

Bacheloroppgave ved Handelshøyskolen
Høgskolen i Oslo og Akershus

Mai 2017

“Hva skal til for å gjøre elektrolyseprodusert hydrogen
konkurransedyktig i Norges transportbransje?”

Simon Goodwin (643)

Per Erlend Mathisen (691)

Markus Snøve Høiberg (671)

Veileder: Einar Belsom

Sammendrag

I denne undersøkelsen ønsker vi å svare på hva som skal til for at elektrolyseprodusert hydrogen blir konkurransedyktig i Norges transportbransje. Som representant for denne typen drivstoff har vi tatt utgangspunkt i det norske selskapet Nel Hydrogen som opererer multinasjonalt. Målet med oppgaven er å øke forståelsen for størrelsesforhold og sammenhenger i kostnadsbildet.

For å kunne svare på problemstillingen har vi utarbeidet kostnadskalkyler for fem forskjellige drivstofftyper med et samfunnsøkonomisk perspektiv. Det vil si at vi ser på den totale kostnaden for å produsere drivstoffene, både for forbrukere, produsenter og samfunnet for øvrig. Beregningene tar utgangspunkt i informasjon fra flere kilder, hovedsakelig nettsider og personlig kontakt. Videre har vi gjort en sensitivitetsanalyse for å forsøke å belyse hvordan kalkylene kan komme til å endre seg i fremtiden. For å supplere har vi utført en industrianalyse etter et PEST-rammeverk for å komme med kvalitative argumenter for hva som skal til for at hydrogenet skal bli konkurransedyktig.

Ut i fra disse analysene avdekker vi et relativt komplekst kostnadsbilde med en del usikre momenter for fremtiden. Vi ser at i dag er hydrogen, spesielt elektrolyseprodusert, en god del dyrere per kjørte kilometer enn både elbilen og fossile drivstoff. Likevel finner vi også at dersom den teknologiske utviklingen går samme vei som den har gjort de siste årene, og vi tar med samfunnsmessige kostnader knyttet til CO₂-utslipp, kan hydrogenet være konkurransedyktig i fremtiden, kanskje også allerede i dag.

Forord

Denne oppgaven markerer slutten på vår treårige bachelorgrad i økonomi og administrasjon ved Høgskolen i Oslo og Akershus. Helt fra starten har vi vært opptatt av miljøvern, og hatt mange opphetede diskusjoner om hva som kan bidra til å redde verden fra de klimaendringene vi i dag ser starten av. Ved å se på kostnadsbildet forbundet med drivstoffproduksjon har vi fått utforske denne interessen videre samtidig som vi har utnyttet de økonomikunnskaper vi har opparbeidet under studieløpet. Vi så at hydrogen kunne ha en rolle i et fornybart samfunn, og ville undersøke konkurransedyktigheten i dag og muligheter for fremtiden. Oppgaven utviklet seg underveis i prosessen, og overrasket oss stadig med nye argumenter både for og imot hydrogen som drivstoff.

Vi vil rette en stor takk til hovedrolleinnehaveren i oppgaven representert av Nel Hydrogen, og spesielt Bjørn Simonsen for god informasjon. Vi vil også takke Hexagon, Hafslund og Christoffer Borgersen Strand i Proxll for mye god hjelp.

Til slutt, og viktigst av alt, vil vi takke vår eminente veileder Einar Belsom for at han alltid var på pletten med gode tilbakemeldinger, og at han lot oppgaven utvikle seg i den retningen den gjorde.

Per Erlend Mathisen

Simon Magnus Goodwin

Markus Snøve Høiberg

Innholdsfortegnelse

1.0 Innledning	6
2.0 Hydrogen som energibærer.....	8
2.1 Hydrogenøkonomi.....	8
2.2 Hydrogenproduksjon gjennom elektrolyse	9
3.0 Innledende om kostnadskalkyler.....	11
4.0 Elektrolyseprodusert hydrogen	13
4.1 Variable kostnader.....	13
4.2 Faste kostnader	14
4.3 Totale kostnader	17
5.0 Hydrogen fra naturgass	17
5.1 Variable kostnader.....	18
5.2 Faste kostnader	19
5.3 Totale kostnader	20
6.0 Elbil.....	20
6.1 Variable kostnader.....	20
6.2 Faste kostnader	21
6.3 Totale kostnader	23
7.0 Fossile drivstoff	23
7.1 Variable kostnader.....	23
7.2 Faste kostnader	24
7.3 Totale kostnader	26
8.0 Oppsummering og funn	27
9.0 Usikkerhet i analysen.....	29
10.0 Sensitiviteter	30
10.1 Levetid.....	30
10.2 Produksjonskostnader.....	31
10.3 Strømpriser	33
11.0 Industrianalyse	35
11.1 Politiske faktorer	36
11.2 Miljømessige faktorer	41
11.2.1 Energiforbruk i produksjon	41

11.2.2 Samfunnskostnader av drivhusgassutslipp	45
11.2.3 Naturgassprodusert hydrogens potensiale	48
11.3 Sosiokulturelle faktorer	49
11.4 Teknologiske faktorer	52
11.4.1 Hydrogen i tungtransport.....	54
11.4.2 Teknologisk fremgang.....	55
12.0 SWOT	57
13.0 Konklusjon.....	58
14.0 Bibliografi.....	60

1.0 Innledning

Fornybar energi er et prekært samtidstema og behovet for reduksjon i utslippsmengde av CO₂ er pressende og økende. Bakgrunnen for fokuset på CO₂ er at gassen utgjør majoriteten av utslippene som påvirker drivhuseffekten, hvor andelen i eksempelvis USA og Norge ligger på respektive 81% og 80% (US Environmental Protection Agency A, 2017). En viktig og vedvarende debatt i verdensmedier og politikk er behovet for transformasjon fra fossilt brensel til fornybare energikilder for transport og framkomstmidler. Av det totale CO₂-utslippet i Norge står transportvirksomheten for 31% av utslippene og viser at det er et stort forbedringspotensial i bransjen (Miljødirektoratet, 2017). Bensin- og diesebilmarkedet har allerede fått konkurranse fra en signifikant vekst i elbilbransjen, samtidig som hydrogen (H₂) kommer opp som en utfordrer.

Formålet med denne utredningen er å bygge forståelse om hva som kan gjøre hydrogentransport konkurransedyktig gjennom analyser og empiriske datasammenhenger. Videre skal oppgaven gi innblikk i hvorfor hydrogenindustri kan være en viktig bidragsyter for en miljøvennlig transporthverdag. Hovedfokuset vil være rettet mot elektrolyseprodusert hydrogen, på bakgrunn av dets potensial for å være en nullutslipps energibærer. Det vil være en rekke faktorer som påvirker dets konkurransedyktighet både nå og i fremtiden, og det er disse vi ønsker å avdekke.

” Hva skal til for at elektrolyseprodusert hydrogen blir konkurransedyktig i Norges transportbransje? ”

For å ha et best mulig sammenligningsgrunnlag vil vi utføre en komparativ kostnadsanalyse av elektrolyseprodusert hydrogen belyst av andre drivstofftyper. Vi ønsker derfor å estimere et kostnadsbilde av produksjonen til de ulike energibærerne bensin, diesel, batteri, og hydrogen. Vi vil bruke bedriftsøkonomisk kostnadsteori for å kartlegge de ulike kalkylene knyttet til produksjonen, og presentere resultatene grafisk og i tabeller. På den måten kan vi avklare hvilken energikilde som er mest konkurransedyktig rent kostnadsmessig. Til slutt vil resultatene presenteres og settes i ulike scenario- og sensitivitetsanalyser. Disse skal brukes til å gjennomføre en

kvalitativ industrianalyse som går mer i dybden på elektrolyseprodusert hydrogens forutsetninger for konkurransedyktighet og framtidsutsikter.

Tidligere er det blitt utført en rekke internasjonale studier som har brukt komparative analyser av konkurransedyktigheten til ulike drivstofftyper (Brown, 2001), (Mekhilef, 2012), (Offer, 2010). Vårt bidrag vil være å belyse dette i en norsk kontekst i 2017 ved å se på norske interessenter og forhold, og supplere med et strategisk perspektiv som skal avdekke elektrolyseprodusert hydrogens evne til konkurransedyktighet nå og i fremtiden.

Videre i oppgaven vil konseptet hydrogen bli presentert som energibærer etterfulgt av en kort og konsis gjennomgang av Nel Hydrogens produksjonsfaser. Ettersom hovedfokuset er elektrolyseprodusert hydrogen, har vi tatt utgangspunkt i et veletablert norsk hydrogenselskap med spesialitet på elektrolyse, Nel Hydrogen ASA. Dette vil gi oss dypere innsikt i prosesser og relevante kostnader på et bedriftsøkonomisk nivå, som vil brukes til å avklare hvilke forutsetninger vi har tatt i kostnadskalkylene. Hvert drivstoffprodukt vil bli presentert i separate kapitler og resultatene sammenfattes i en oppsummering i kapittel 8. For å belyse hvordan kalkylene kan komme til å endre seg i fremtiden vil vi gjøre en sensitivitetsanalyse og supplere med en industrianalyse etter et PEST-rammeverk for å komme med kvalitative argumenter for hva som skal til for at hydrogenet skal bli konkurransedyktig.

2.0 Hydrogen som energibærer

Hydrogen er det letteste og enkleste grunnstoffet i grunnstoffenes periodesystem, og stoffet består av ett elektron og ett proton (Kofstad, 2017). Det er en fargeløs gass uten lukt og smak med kjemisk formel H_2 . Vi undersøker hvilken funksjon hydrogen har som energibærer. En energibærer er et stoff som ved en kjemisk reaksjon frigjør energi. Hydrogen kan dermed løse bestemte oppgaver, som for eksempel være drivstoff til bil, båt, tog og buss når energien frigjøres. Stoffet kan sammenlignes med diesel og bensin som også er energibærere, men forskjellen er at sistnevnte blir fremstilt av fossile energikilder. Fokuset under vil legge vekt på at strømmen til elektrolyse kan komme fra fornybare energikilder, som sol-, vind- og vannkraft. Dermed det sistnevnte legges til grunn kan vi påstå at hydrogen er et fornybart drivstoff med potensielt nullutslipp.

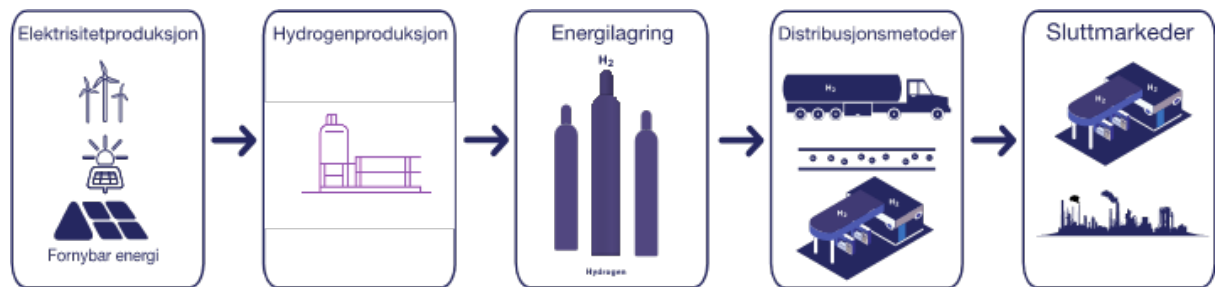
2.1 Hydrogenøkonomi

Konseptet hydrogenøkonomi oppsto fordi det skulle være en bærekraftig løsning i en verden hvor menneskelig behov og miljø er ivaretatt (Marbán, 2008). Konseptet blir brukt for en økonomi hvor hydrogen er den primære energibæreren. Hydrogen kan produseres av fornybare energikilder og kan transporteres og lagres slik at det kan brukes på et senere tidspunkt som energikilde.

Fordelen med et hydrogen-basert energisystem, er at det tilbyr en levedyktig løsning for å levere et høykvalitets energitilbud på en bred skala, samtidig som det foregår på en ren og trygg måte som møter bærekraftige formål (Barreto, 2003). Ulempen ved en hydrogenøkonomi er at det krever store investeringer i infrastruktur, og at teknologien er ineffektiv i forhold til at den lider store energitap.

2.2 Hydrogenproduksjon gjennom elektrolyse

For å gi et klarere bilde på hva elektrolyseprodusert hydrogen innebærer har vi valgt å presentere de ulike leddene i korte trekk. Informasjonen er innhentet fra Nel ASA, og reflekterer dermed et realistisk bilde på hvordan verdi tilføres hydrogen i de ulike fasene. Figur 1 presenterer de ulike fasene ved hydrogenproduksjon:



Figur 1: Hydrogens produksjonsprosess

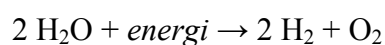
Fase 1

Fase én omhandler fornybar elektrisitetsproduksjon som kan komme fra ulike energikilder (Kothari, 2008). I Norge kommer majoriteten av elektrisitet fra vannkraft (Olje- og energidepartementet, 2014), og vi er 110% selvforsynt på fornybar strøm (NTB, 2016). Vi produserer altså mer fornybar energi enn det vi selv konsumerer. Dette gir gode forutsetninger for elektrolyseprodusert hydrogens potensiale for nullutslipp i Norges transportbransje, ettersom vi kan utnytte overskuddsenergien og lagre den som hydrogen.

Fase 2

I fase to produseres hydrogen gjennom vannelektrolyse (Zeng, 2011). I denne prosessen brukes elektrisitet og vann til å spalte vannmolekylet (H_2O). Dette skjer ved å senke en anode og en katode i vann og deretter tilsette spenning slik at de negative hydrogenatomene trekkes mot katoden, og de positive oksygenatomene mot anoden. Vi får derfor hydrogengass (H_2) og oksyngengass (O_2) av elektrolysen.

Forenklet kan vi forklare reaksjonen slik:



Fase 3

I fase tre komprimeres hydrogenet ved bruk av en kompressor før hydrogenet lagres på gasstanker (Mori, 2009). Kompressoren komprimerer hydrogengassen til 200-700

bar, slik at tettheten på gassen øker mengden hydrogen som kan lagres i tankene (US Department of Energy A, u.å).

Fase 4

Videre i fase fire må hydrogengassen fraktes fra produksjonsanlegget til sluttbrukermarkedet, eksempelvis til en hydrogenstasjon. Gassen distribueres gjennom transport med lastebiler eller fraktes gjennom rørledninger. Unntaksvis kan hydrogenet produseres på selve hydrogenstasjonen gjennom å installere en elektrolysør og et solcelleanlegg (eller annen energikilde). Det eksisterer i dag en hydrogenstasjon på Sandvika utenfor Oslo, hvor ladestasjonen utnytter overskuddsenergi fra solceller (TDN Finans, 2016).

Fase 5

Ved den femte delen av verdikjeden har vi sluttbrukermarkedet. Dette innebærer kommersielle hydrogenstasjoner og andre industrielle sluttmarkeder. På hydrogenstasjonene lagres hydrogenet i gasstanker, før de dispenseres til hydrogendrevne brenselceller i kjøretøyer.

3.0 Innledende om kostnadskalkyler

I det følgende kapitlet produseres en kostnadskalkyle for fem forskjellige drivstofftyper; elektrolyseprodusert hydrogen, naturgassprodusert hydrogen, strøm (batteri), bensin og diesel. Drivstoffet hydrogen blir i denne analysen delt opp i naturgassprodusert hydrogen og elektrolyseprodusert hydrogen som to selvstendige og adskilte produkter. Bakgrunnen for dette er at framstillingen vil bli tydeligere når oppgavens fokus er det elektrolyseproduserte hydrogenet. I tillegg blir det enklere å presentere konkurransedyktigheten kostnadmessig, samt delen med miljøvern. Strøm representeres av elbiler drevet av litium-ion batterier, mens vi har utviklet to kalkyler på fossile drivstoff; bensin og diesel.

Hvert delkapittel vil begynne med en kort presentasjon av teknikkene brukt for å produsere drivstoffene, samt en liten beskrivelse av miljøpåvirkningene de forskjellige har. Videre presenterer vi hvordan vi har kommet frem til de kostnadmessige resultatene. Det første vi regner ut er variable kostnader (VK) ved å produsere selve drivstoffet. Så finner vi de faste kostnadene (FK) tilknyttet bilene og produksjonen. Målet er å få totale kostnader (TK) som er sammenlignbare mellom de respektive drivstoffene. Denne problemstillingen har vi valgt å løse ved å regne oss frem til TK/km hos biler i de respektive drivstoffklassene.

For å få et mer reelt bilde på hva som ligger bak hver enhet med drivstoff, må vi også se på FK forbundet med investeringer i teknologien bak produktet. Her vil vi først se på kostnaden ved å installere en stasjon som betjener de forskjellige drivstoffene. For å lettere kunne sammenligne har vi i likhet med VK valgt å fordele disse ned til kr/km. TK/km i kalkylene faller på forskjellige ledd i verdikjeden og aktører i bransjen, eksempelvis forbrukere, bilprodusenter, drivstoffprodusenter og ulike leverandører. TK/km vil derfor være en samfunnsøkonomisk kostnad som representerer hva det vil koste samfunnet å produsere én km av de respektive drivstoffene.

Bilene som drives av de forskjellige drivstofftypene har nødvendigvis ganske forskjellig teknologi og kostnadsbilder. Vi har brukt ulike bilmodeller som representanter for flere av de ulike tallene knyttet til kalkylene for å oppnå et mer

reelt kostnadsbilde. Som representant for hydrogenbilen har vi valgt Toyota Mirai. Dette er en av de første serieproduserte hydrogenbilene i verden og finnes i dag også på norske veier. For å undersøke elbiler har vi brukt to av markedets mest omsatte biler, nemlig Tesla Model S 60 og Nissan Leaf. Spesielt på batteriet er de av ulik størrelse, men går begge på litium-ion-batterier og gir oss et representativt kostnadsbilde på dagens elbiler. For å representere bensin- og dieselmotorer har vi tatt utgangspunkt i Toyota Avensis Life 4-dørs da den er i samme størrelsesklasse som Nissan Leaf og Tesla Model S 60. I bensinkalkylen brukes en 1,6l bensinmotor, mens en dieselmotor av samme kapasitet blir anvendt i dieselkalkylen.

I kalkylene har vi valgt å regne ut FK tilknyttet delene som skiller seg ut fra hverandre, hovedsakelig drivverk, stasjon og lagring. For hydrogenbilen har vi valgt å se på brenselcellene som produserer energi av hydrogenet og tankene hydrogenet lagres på. Hydrogentankene skiller seg ut fra bensintankene ved at de holder høyt trykk for å komprimere hydrogenet. I elbilkalkylene har vi sett på kostnadene forbundet med produksjon av batteriet, da det utgjør 35-50% av den totale kostnaden av bilen (Kochhan, 2014). Vi anser denne batterikostnaden som FK for en elbil. For biler drevet av fossilt brennstoff ser vi på kostnaden tilknyttet motoren.

Det har vært utfordrende å finne pålitelige kilder som konkret kan vise til levetid på batterier til elbiler, bensinmotorer og dieselmotorer. Informasjon og garantier fra produsentene vil ofte være subjektive og underdrevne ettersom de ikke vil utsette seg for usikkerheten rundt obligasjonen om garantidekning i for lang tid. Det vil også være rimelig å anta at det vil forekomme avvik fra et produksjonseksemplars realiserede levetid til et annet innenfor hver produsent og type kjøretøy. Ettersom det alltid vil være feilkilder på de ulike tallene som oppgis fra produsenter, har vi valgt vrakpantordningen som et godt mål. SSB har gjennom en undersøkelse produsert en gjennomsnittsalder av personbiler ved vraking i Oslo på 18,3 år. Dette anser vi som et fornuftig og rettferdig anslag å anvende som levetid ved fordeling av FK i kalkylene under (Statistisk sentralbyrå A, 2017).

Alle tall oppgitt i kalkylene er i norske kroner. For å komme frem til disse har vi hentet data fra kilder der flere ikke er norske. Det vil si at vi har måttet konvertere de tallene vi har funnet i de valutaene de er oppgitt i til norske kroner. Alle kilder vi har hentet data fra har alle blitt regnet over til NOK etter kurser den 20.01.2017 (X-rates,

2017). Dollarkursen vi har brukt er USD/NOK = 8,33, mens eurokursen EUR/NOK = 9,11.

4.0 Elektrolyseprodusert hydrogen

Elektrolyseprodusert hydrogen kan være en av nøklene til en verden uten luftforurensning, og at miljøet blir beskyttet på en bærekraftig måte (Melis, 2001). Dette er oppnåelig ved å benytte fornybar energi og vann slik at vi kan produsere hydrogen med nullutslipp som vi kan lagre og benytte på en brukervennlig måte.

I dette kapittelet skal vi se nærmere på nødvendige ressurser tilknyttet hydrogenproduksjon ved elektrolyse, og kostnader tilknyttet disse.

Vi tar utgangspunkt i Toyota Mirai som representant for hydrogenbilene. Mirai har en offisiell rekkevidde på 500 km (312 miles,) (US Department of Energy B, u.å), og har to tanker som til sammen rommer 5 kg hydrogen (Toyota A, u.å). Dermed går hydrogenbilen 100 km pr kilo hydrogen.

4.1 Variable kostnader

VK ved hydrogenproduksjon er avhengig av to innsatsfaktorer; elektrisitet og vann (Kapdan, 2006). Variabel strømpris påvirker i stor grad hydrogenpris, og er en kritisk nøkkelfaktor i prosessen.

Strøm

For å produsere én kg hydrogengass anvendes gjennomsnittlig 50 kWh. Etter at gassen er produsert må den lagres effektivt. Dette skjer gjennom å komprimere gassen og kjøle den ned. Denne prosessen krever ytterligere 10 kWh. Totalt sett kan vi si at det går med 60 kWh til produksjon av én kilo hydrogen (Nel Hydrogen, 2017).

Ved hydrogenproduksjon er aktørene fritatt for el-avgift, og kan i noen tilfeller unngå nettleie hvis strømmen produseres ved eget produksjonsanlegg for eget bruk, eksempelvis solcelleanlegg (Sviland, 2017). Vi forutsetter likevel at alle aktørene må betale nettleie. I 2016 hadde man en gjennomsnittlig kraftpris på 30,4 øre/kWh for kraftintensiv næring og en nettleie på 27,2 øre/kWh (Statistisk sentralbyrå B, 2017). Multipliserer vi forbruket (60kWh) med strømprisen får vi en total kostnad på

34,56 kr/kg hydrogen produsert. Dette tilsvarer 0,3456 kr/km med forbruket til Mirai som utgangspunkt.

VK strøm kr/km H ₂	
Elektrolyser	50 kWh
Komprimering og kjøling	10 kWh
Totalt	60 kWh
Kraftpris	0,304 Kr/kWh
Nettleie	0,272 Kr/kWh
Totalt	0,576 Kr/kWh
Strømkostnad	34,560 kr/kgH ₂
Strømkostnad	0,346 kr/km

Tabell 1: VK Strøm i H₂-produksjon

Vann

Prisen på vann i Oslo kommune 2017 er på 12,21 kr/m³ (Oslo Kommune, 2017), dog varierer denne ut ifra geografisk beliggenhet. I tillegg er det et årlig abonnementsgebyr på kr 308, som vi ser bort ifra ettersom vi anser det som uvesentlig. For å produsere én kilo hydrogen kreves det 10,08 liter vann. Dette tilsvarer en kostnad på 0,123 kr/kg, som blir nærmest ubetydelige 0,00123 kr/km.

VK vann kr/kg H ₂	
Elektrolyse	10,08 Liter
Vannpris (12,21 kr/1000)	0,012 kr/liter
Vannkostnad	0,123 kr/kgH ₂
Vannkostnad	0,001 kr/km

Tabell 2: VK Vann i H₂-produksjon

Legger vi vann- og strømkostnadene sammen får vi en total kostnad på 34,68 kr/kg hydrogen, og dermed får vi VK elektrolyseprodusert hydrogen på 0,3468 kr/km.

4.2 Faste kostnader

FK tilknyttet hydrogenproduksjon består av kostnadene til brenselcelle og tank, elektrolyseren og stasjonen hydrogenet distribueres fra.

Brenselcelle og tank

Hydrogenbilen har en brenselcelle og en hydrogentank, som vi anser som spesielle for hydrogenbilen i en sammenligning med andre bilmotorer. Brenselcellen på Mirai

har en effekt på 114 kW (Toyota, 2016) og en produksjonskostnad på 61 \$/kW (IOP Institute of Physics, u.å). Dette gir oss en total kostnad på kr 57 238 for brenselcellen.

Siden hydrogen stiller store krav til trykk skiller også tanken seg ut fra andre typer biler. En hydrogentank koster i dag 1000 EUR/kg H₂ å produsere (Kochhan, 2014). Med en 5 kg hydrogentank antar vi en kostnad på EUR 5000, omregnet til kr 45 550. Årlig gjennomsnittlig kjørelengde for personbiler er 12 289 km (Statistisk sentralbyrå C, 2016), og gjennomsnittlig levetid for personbiler er 18,3 år (Statistisk sentralbyrå D, 2017). Over 18,3 år vil gjennomsnittlig kjørelengde bli 224 888 km. Med denne kjørelengden finner vi FK tilknyttet brenselcellen på 0,2545 kr/km og hydrogentank på 0,2025 kr/km. Summert blir total FK 0,460 kr/km.

FK brenselceller og hydrogentank	
Brenselcelle	61 \$/kW
Toyota Mirai motor	114 kW
Brenselcelle	57 927 kr
Hydrogentank	1 000 EUR/kg
Toyota Mirai tank	5 kg
Hydrogentank	45 550 kr
Total FK	103 477 kr
Årlig gj.snitt kjørelengde	12 289 km
Levetid	18,3 år
Total kjørelengde	224 889 km
Brenselcelle og tank kostnad	0,460 kr/km

Tabell 3: FK brenselceller og hydrogentank

Stasjon

Investeringsutgiften for en hydrogenstasjon fra NEL Hydrogen som kan distribuere 200 kg/dag er 10 MNOK (Simonsen, 2017). Inkludert installering og hydrogentanker fra Hexagon kommer totalprisen på 15 MNOK (Fredheim, 2017). Ettersom teknologien er relativt ny og de stasjonene som finnes i dag ikke har eksistert veldig lenge vet vi ikke hvor lang levetid en slik stasjon har. SINTEF Byggforsk har utviklet en levetidstabell for forskjellige deler av bygninger, med forventede intervall på levetid og kommentarer rundt vedlikehold (Byggforsk, 2017). Etter å ha studert tabellen anser vi det som realistisk å operere med en levetid på 20 år. Over 20 år hvor stasjonen produserer 200 kg H₂/dag, vil vi få totalt produsert mengde på 1 440 000 kg. Tidligere har vi avklart at en Toyota Mirai kan kjøre 100 km på én kilo hydrogen.

Det vil si at stasjonen i løpet av sin levetid distribuerer 144 000 000 km for hydrogenbiler. Dividerer vi investeringsutgiften med antall kilometer produsert får vi FK stasjon 0,104 kr/km.

FK Stasjon	
Kapitalkostnad	15 000 000 kr
Total rekkevidde	144 000 000 km
Stasjonskostnad	0,104 kr/km

Tabell 4: VK stasjon

Elektrolysør

Som forklart i kapittel 2.2 kan hydrogen produseres direkte på stasjonen gjennom elektrolysører (Nel Hydrogen, 2017). Disse kan leveres i forskjellige størrelser, men man kan si at 1 MW elektrolyse har en investeringsutgift på 8 MNOK (Simonsen, 2017). Denne kan produsere 220 Nm³/t, hvilket tilsvarer 19,7 kg/t og 473 kg/dag. Ettersom stasjonen vi bruker i eksempelet over kun kan distribuere 200 kg/dag antar vi at dette også tilsvarer det en elektrolysør ved stasjonen vil produsere. Det vil si at vi har en kapasitetsutnyttelse på 42,3% og produserer det samme som stasjonen distribuerer, nemlig 144 000 000 km. Divideres investeringsutgiften med dette får vi FK elektrolysør 0,056 kr/km.

FK elektrolysør	
Kapitalkostnad	8 000 000 kr
Antall km (20 år)	144 000 000 km
Elektrolysør	0,056 kr/km

Tabell 5: FK elektrolysør

4.3 Totale kostnader

I beregningen av TK/km har vi som nevnt lagt til grunn rekkevidden til en Toyota Mirai. Derfor skal det presiseres at denne tabellen ikke kan legges til grunn som et nøyaktig kostnadsbilde, men som et kurant eksempel. Summeres kostnadene for strøm, vann, brenselcelle, tank og elektrolyser får vi en total kostnad på 0,9667 kr/km.

TK Elektrolyse H2	
VK strøm og nettleie i produksjonen	0,346 kr/km
VK vann i produksjon	0,001 kr/km
FK brenselcelle og tank	0,460 kr/km
FK stasjon	0,104 kr/km
FK elektrolyser	0,056 kr/km
Totale produksjonskostnader	0,967 kr/km

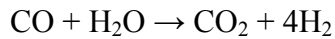
Tabell 6: TK Elektrolyse

5.0 Hydrogen fra naturgass

Vi har ansett naturgassproduert H₂ som et substitutt og enkeltstående drivstoffprodukt i produksjonskalkylen vår. Naturgassen metan (CH₄) kan gjennom termiske prosesser reformeres til hydrogen som kan omsettes kommersielt ut mot hydrogenbilmarkedet. Det er ifølge energidepartementet i USA (DOE) hovedsakelig to metoder for å gjennomføre dette, nemlig en reformasjon av naturgassen CH₄ gjennom høytemperert damp eller partielloksidering (US Department of Energy C, u.å). Den førstnevnte metoden er ifølge energidepartementet den mest anvendte og vil være den vi beskriver.

Produksjonsprosess

Den førstnevnte prosessen kalles “steam methane reforming” og innebærer å utsette metan for høytemperert damp på 700°C - 1000°C under et trykk på 3 – 25 bar kombinert med en katalysator som spalter ut H₂, karbonmonoksid (CO), og en liten andel karbondioksid (CO₂) (US Department of Energy C, u.å). Dette kombinert med en vann/gass skiftreaksjon (Universitetet i Oslo, 2015) gir denne netto reaksjonen:



En studie ved University of California har estimert et 30% nettoenergitap i reaksjonen fra metan til karbondioksid og hydrogen (Williams, u.å).

5.1 Variable kostnader

Vi fortsetter undersøkelsen med tall fra en analyse gjennomført av DOE. Analysen tar for seg kostnader med utgangspunkt i sentrale produksjonsfasiliteter med et produksjonsvolum på 1500 kgH₂/dag (US Department Of Energy D, 2015). Hydrogenet som blir beskrevet i analysen er både komprimert og nedkjølt. VK inkluderer også fanging og lagring av karbon. Analysen spesifiserer FK og VK i produksjonen, samt finansielle parametere knyttet til type finansiering, fabrikkens levetid, type hydrokarbon anvendt, og ønsket internrente. Internrenten som er anvendt ble bestemt ved bruk av en diskontert kontantstrømanalyse på de totale kapitalinvesteringene og de periodiske utgiftene knyttet til reparasjon, vedlikehold og utskiftninger av utstyr.

DOEs analyse resulterte i en TK for produksjon av hydrogen på 2,28 \$/kg, der de opprinnelige avskrivbare FK ble estimert til 1,17 \$/kg. I vår kostnadskalkyle har vi trukket fra skattekostnaden på 0,25 \$/kg fra den totale produksjonskostnaden på 2,28 \$/kg ettersom vi ønsker å gjennomføre kostnadsanalysen ekskludert politiske virkemidler. For å finne VK trekker vi fra kapitalinvesteringene og skattene og får 0,86 \$/kg, som konvertert blir 7,1683 kr/kgH₂. Med Mirai sitt forbruk resulteres VK på 0,07168 kr/km.

VK naturgassprodusert H ₂	
Produksjon	7,164 kr/kg
Produksjon	0,072 kr/km

Tabell 7: VK naturgassprodusert H₂

5.2 Faste kostnader

Som utregnet og beskrevet i kapittelet over har vi kalkulert FK på brenselcelle til 0,46 kr/km og FK tilknyttet stasjon på 0,104 kr/km. DOE opplyser som nevnt en FK på 1,17 \$/kgH₂, som konvertert blir 9,7461 kr/kgH₂. FK knyttet til produksjonen blir derfor 0,09746 kr/km.

FK naturgassprodusert H ₂	
Kapitalkostnad	9,7461 kr/kg
Kapitalkostnad	0,0975 kr/km
Brenselcelle og tank	0,46 kr/km
Stasjonskostnad	0,104 kr/km
Totalt	0,661 kr/km

Tabell 8: FK naturgassprodusert H₂

Transport

Når det gjelder transportkostnader klassifiserer vi de som FK på bakgrunn av alle gjennomsnittstallene vi var nødt til å kalkulere i beregningen. Vi tar en forutsetning om at alle hydrogenfasiliteter ligger gjennomsnittlig like langt unna stasjonen de skal levere til som fabrikkene på Nesodden ligger i forhold til stasjonen på Sandvika, nemlig 102 km. Vi har også fått oppgitt at driftsutgiftene knyttet til transport er 15 kr/km (Simonsen, 2017). Transportkostnaden for én tur er dermed kr 1530. Lastebilene vi har brukt som eksempel kan frakte alt fra 300 kg til 1500 kg (Simonsen, 2017), og vi har derfor brukt gjennomsnittet på 900 kg i våre beregninger. Ettersom man kommer 100 km på én kgH₂, blir avstanden som den fraktede hydrogenet kan drive en bil på 90 000 km. Fordeler vi transportkostnaden på kr 1530 på denne distansen får vi 0,017 kr/km.

FK transport	
Driftskostnad	15 kr/km
Distanse	102 km
Transportkost	1 530 kr
H ₂ fraktet	900 kg
Transportkostnad	1,70 kr/kg
Transportkostnad	0,017 kr/km

Tabell 9: FK transport

TK blir summen av FK tilknyttet Brenselcelle, stasjon, transportkostnader og VK i produksjonen som summert blir 0,6785 kr/km.

5.3 Totale kostnader

De totale produksjonskostnadene for naturgassprodusert hydrogen er på 0,750 kr/km.

TK Naturgass H2	
TK i produksjon	2,030 \$/kg
FK i produksjon	1,170 \$/kg
NOK/USD	8,330 kr
TK i produksjon	16,910 kr/kg
FK i produksjon	9,746 kr/kg
VK i produksjonen	0,072 kr/km
FK i produksjonen	0,097 kr/km
FK Brenselcelle og tank	0,460 kr/km
FK stasjon	0,104 kr/km
FK transport	0,017 kr/km
Totale produksjonskostnader	0,750 kr/km

Tabell 10: TK Naturgass

6.0 Elbil

Elbiler drives av elektrisitet ved at strøm lagres på batterier. Den teknologiske utviklingen har tatt store sprang de siste årene. Tidligere slet elbilene med lav rekkevidde og dårlig ytelse, mens man i dag har utviklet batteriteknologien så langt at elbilen har blitt et seriøst alternativ til bensinbiler for mange. I dag kjører over 100 000 elektriske biler rundt på norske veier (Statistisk sentralbyrå A, 2017). I dette kapittelet skal vi se nærmere på kostnadene tilknyttet produksjonen av strøm og de mest sentrale komponentene i elektriske biler.

6.1 Variable kostnader

For å regne ut transportkostnadene på elbiler har vi tatt utgangspunkt i en Tesla Model S 60 med 60kWh batteri (heretter omtalt som Tesla), og en Nissan Leaf med 30 kWh batteri (heretter Leaf). Dette er to av de vanligste elbilene på norske veier (Frydenlund, 2016) og bør sammen gi et godt bilde på drivskostnadene for en elbil i 2017.

Vi finner drivstoffkostnadene ved å se på forbruket til elbilene. Her tar vi utgangspunkt i USAs Environmental Protection Agency (EPA), som har tall for begge bilene. En Tesla er oppgitt å ha et forbruk på 32kWh/100 miles, mens Leaf har et forbruk på 30kWh/100 miles (US Department Of Energy E, u.å). Regnet om til kilometer gir dette 0,199 kWh/km for Tesla og 0,186 kWh/km for Leaf. Den totale strømprisen for husholdninger var i gjennomsnitt 0,918 kr/kWh, medregnet avgifter og nettleie i 2016 (Statistisk sentralbyrå B, 2017). Multipliseres denne strømprisen med forbruket til Tesla og Leaf er VK på 0,182 kr/km og 0,171 kr/km. For å få et fornuftig bilde av VK har vi tatt gjennomsnittet av disse to som gir oss 0,1767 kr/km.

VK Elbil	
Forbruk Tesla	0,199 kWh/km
Forbruk Leaf	0,186 kWh/km
Strømpris	0,918 kr/kWh
Strømkost Tesla	0,183 kr/km
Strømkost Leaf	0,171 kr/km
Gj.snitt strømkostnad	0,177 kr/km

Tabell 11: VK Elbil

6.2 Faste kostnader

I dette kapittelet vil vi ta for oss faste kostnader tilknyttet elbilen.

Batteri

For å kunne sammenlignes med andre drivstofftyper har vi også regnet på de faste kapitalkostnadene som er spesielle for elbilen, nemlig batteriet. Dette er den desidert dyreste komponenten på elbilen og koster i dag rundt 190 \$/kWh (Langan, 2016). For en Tesla på 60 kWh blir dette totalt \$ 7 800, mens for en Leaf på 30 kWh blir den faste kostnaden \$ 3 900. Her har vi trukket ut 35% i overhead og profitt som er en del av den kalkulerte prisen på 190 \$/kWh (Qnovo, 2016).

Vi bruker samme gjennomsnittlige levetid som tidligere brukt (18,3 år), men årlig kjørelengde blant elbiler er høyere og ligger på 12 987 (Statistisk sentralbyrå C, 2016), som gir oss en total kjørelengde på 237 662 km. Dividerer vi kjørelengden med FK for batteriet får vi 0,2733 kr/km for Tesla, og 0,1367 kr/km for Leaf.

FK Batteri	
Kapitalkostnad Tesla	64 974 kr
Kapitalkostnad Leaf	32 487 kr
Distanse	237 662 km
Kapitalkostnad Tesla	0,273 kr/km
Kapitalkostnad Leaf	0,137 kr/km

Tabell 12: FK Batteri

Stasjon

For å kunne sammenligne ytterligere med de andre drivstofftypene har vi valgt å ta med FK for en ladestasjon. Vi har tatt utgangspunkt i en typisk ladestasjon man finner i bybildet i dag og har fått informasjon fra Christoffer Borgersen Strand i Proxll, en norsk leverandør av ladestasjoner. En standard stasjon med 2 ladere med en effekt på 7,2 kW koster 24 344 kr (Proxll, 2015), inkludert installering blir prisen omtrent kr 30 000 (Strand, 2017).

I følge leverandøren bruker en Nissan Leaf 3,3 timer på å fullade ved en slik stasjon, noe som vil si at man kan fullade 14,5 Leaf i løpet av en dag ved maksimal utnyttelse (Strand, 2017). Ifølge Proxll tar det omtrent like lang tid å lade fra 80-100% som fra 0-100%. Det er som regel ikke slik at bilene gir plass til en ny bil så fort de er fulladet, bilene står så lenge sjåføren står parkert. Vi forutsetter en utnyttelsesgrad på 50%, som vil si at stasjonen kan fullade 7,3 Leaf i døgnet. En Leaf har som nevnt tidligere en oppgitt rekkevidde på 220 km, som betyr at stasjonen “produserer” 1600 km/dag. Proxll har en 5 års-garanti på stasjonen, og vi forutsetter at levetiden er det dobbelte av dette, 10 år. Det vil si at ved 50% utnyttelsesgrad kan den produsere 5 840 000 km i levetiden. Divideres investeringskostnaden på kr 30 000 med dette får vi 0,0051 kr/km.

FK Stasjon	
Kapitalkostnad	30 000 kr
Produsert rekkevidde	5 840 000 km/10 år
Kapitalkostnad	0,005 kr/km

Tabell 13: FK Stasjon

6.3 Totale kostnader

FK for stasjonen og batteriet legges sammen med gjennomsnittlig VK, som gir oss en TK for elbil på 0,3865 kr/km.

TK Elbil	Tesla	Leaf	
Strømforbruk	0,199	0,186	kWh/km
Total strømpris husholdninger	0,918	0,918	kr/kWh
VK strømforbruk	0,183	0,171	kr/km
FK batteri	0,273	0,137	kr/km
FK ladestasjon	0,005	0,005	kr/km
Totale produksjonskostnader	0,461	0,313	kr/km
Totale gj.snitt produksjonskostnader	0,387	kr/km	

Tabell 14: TK Elbil

7.0 Fossile drivstoff

I Fastlands-Norge står transportsektoren for høyest energikonsum. Det ble brukt 65 TWh bensin, diesel, marine gassoljer og jetparafin til transport i 2014 (Norges vassdrags- og energidirektorat (NVE), 2015). Totalt ble det konsumert 68 TWh i transportsektoren (NVE, 2016), som forteller at en betydelig energiandel på 95,6% kom fra fossile energikilder. Dette kan bli sett på som bekymringsverdig for miljøvern og bærekraftig utvikling. I dette kapittelet ser vi nærmere på kostnadsdyktigheten til fossile energikilder for transportformål.

7.1 Variable kostnader

I utregningen av kostnadene tilknyttet fossile drivstoff har vi tatt utgangspunkt i både bensin og diesel med hver sine kalkyler. Ved produksjon av fossile drivstoff er det veldig mange variabler som påvirker kostnadene. Disse variablene endrer seg fra dag til dag og er vanskelig å fastsette. Circle K oppgir at en god tommelfingerregel er at av sluttprisen utgjør 60% avgifter, 10% profitt og 30% utgjør VK (Circle K, u.å). I 2016 var gjennomsnittsprisen på bensin 15,37 kr/l (Global Petrol Prices A, 2017), noe som etter Circle K's forhold gir en VK på 4,61 kr/l. For Diesel, som hadde en gjennomsnittlig pris på 14,27 kr/l i 2016 (Global Petrol Prices B, 2017) utgjør det en VK på 4,28 kr/l.

For å regne om til en VK/km som kan sammenlignes med de andre typene har vi tatt utgangspunkt i en Toyota Avensis Life 4-dørs da den er i samme størrelsesklasse som Nissan Leaf og Tesla Model S 60. Denne kan komme med en 1,6l bensinmotor med et forbruk på 6,1l/100km eller en 1,6l dieselmotor med et forbruk på 4,2l/100km (Toyota B, u.å). Multipliserer vi VK/l med forbruket får vi VK på 0,281 kr/km for bensin, og 0,180 kr/km for diesel.

VK Fossilt	
Forbruk diesel	23,81 km/liter
Forbruk bensin	16,39 km/liter
Kostnad diesel	4,28 kr/liter
Kostnad bensin	4,61 kr/liter
VK diesel	0,180 kr/km
VK bensin	0,281 kr/km

Tabell 15: VK Fossilt

7.2 Faste kostnader

I dette kapittelet tar vi for oss faste kostnader tilknyttet fossile drivstoff.

Motor

En konvensjonell bilmotor er antatt å ha en kapitalkostnad på \$3000 eller 24 990 kr (Mekhilef, 2012). Vi velger å unnlate vedlikeholdskostnader ettersom det kan variere etter kjøremønster og bruk. Dividerer vi motorkostnaden på levetiden (224 888 km) får vi en FK på 0,1111 kr/km.

FK Motor	
Kapitalkostnad motor	24990 kr
Levetid 18,3 år	224888 km
Kapitalkostnad	0,111 kr/km

Tabell 16: FK Motor

Bensinstasjon

I en komparativ studie mellom forskjellige brenselcelle teknologier er kapitalkostnadene tilknyttet en medium størrelse bensinstasjon på \$70 000, og tilsvarende \$470 000 for hydrogenstasjon (Mekhilef, 2012). Dette tilsvarer forholdsvis kr 583 100 (Bensinstasjon) og kr 3 915 100 (Hydrogenstasjon) gjennom

vår USD/NOK kurs på 8,33. kapitalkostnaden for en bensinstasjon blir derfor 14,89% av kostnaden for en hydrogenstasjon. I kapittel 4.2 har vi realistisk tall på en hydrogenstasjon fra vår kilde i NEL hydrogen, på 15 MNOK. Vi velger derfor å bruke studiets forholdstall for å beregne kostnaden for en bensinstasjon. 14,89% av 15 MNOK utgjør en kostnad på bensinstasjon på kr 2 234 042.

I Norge hadde vi et årlig forbruk på 1 1177 111 000 liter bensin og 2 993 494 000 liter diesel i 2015 (Statistisk sentralbyrå E, 2016). Vi tildeler stasjonskostnadene basert på forbruket av de respektive energibærerne (28% bensin, 72% diesel). Vi antar at bensinstasjonen har like lang levetid som en hydrogenstasjon på 20 år, og at den har både diesel- og bensintanker. Antall bensinstasjoner i Norge er på 1580 (Norsk Petroleumsinstitutt, 2016). Som beskrevet har Toyota Avensis life 1,6l bensinmotor et forbruk på 16 km/l, mens en Toyota Avensis Life 1,6l dieselmotor har 24 km/l (Toyota B, u.å). Videre finner vi ut forbruket i km over 20 år av de to drivstofftypene, og dividerer dette på FK. Dette gir oss en FK for bensin på 0,0026 kr/km og diesel 0,0018 kr/km.

FK bensinstasjon	
Antall stasjoner	1 580
Levetid	20 År
Kostnad	2 234 042 kr
Tildelt bensin (28%)	630 536 kr
Tildelt diesel (72%)	1 603 506 kr
Toyota Bensin forbruk	16 km/liter
Toyota Diesel forbruk	24 km/liter
Forbruk pr. stasjon bensin	238 402 228 km/20 år
Forbruk pr. stasjon diesel	909 415 899 km/20 år
Stasjonskostnad	0,003 kr/km
Stasjonskostnad	0,002 kr/km

Tabell 17: FK Bensinstasjon

Transport

Også bensin og diesel må fraktes ut til stasjonene. Her forutsetter vi at kostnaden for å frakte fossilt drivstoff tilsvarer tallene vi fant for transport av hydrogen. Dette vil ikke stemme helt, siden tankene som frakter bensin og diesel er billigere å produsere, og man kan frakte større volum, men kostnaden er likevel såpass liten i det store

bildet at vi ser bort fra disse forskjellene. Kostnaden for transport blir dermed 0,017 kr/km for både bensin og diesel.

7.3 Totale kostnader

Vi legger sammen VK og FK og finner TK/km for fossildrevne biler. En vesentlig forskjell er at TK/km for bensinbiler viser seg å være 33% dyrere enn dieseldrevne biler.

Fossilt	Bensin	Diesel	
Andel produksjonskostnader	30 %	30 %	
Sluttpris Bensin/Diesel	15,370	14,270	kr/l
VK i produksjonen	4,611	4,281	kr/l
Forbruk	0,061	0,042	l/km
Variable produksjonskostnader	0,281	0,180	kr/km
FK bilmotor	0,111	0,111	kr/km
FK stasjon	0,003	0,002	kr/km
FK transport	0,017	0,017	kr/km
Totale produksjonskostnader	0,412	0,310	kr/km

Tabell 18: TK Fossilt

8.0 Oppsummering og funn

I tabell 19 har vi oppsummert resultatene vi har funnet. Under FK spesiell for elektrolyse ligger FK tilknyttet produksjon av elektrolyseøren, mens for naturgass ligger FK i produksjonen samt transport. Transporten finnes også under fossilt, mens elbil har ingen spesielle FK. FK kjøretøy for elektrolyse og naturgass inneholder FK tilknyttet produksjon av brenselcelle og tank. For elbilen er det FK tilknyttet batteriet, mens for bensin og diesel er det kostnadene tilknyttet produksjon av motoren.

Konklusjonstabell					
	Elektrolyse	Naturgass	Elbil	Bensin	Diesel
VK produksjon	0,347	0,072	0,177	0,281	0,180 kr/km
FK stasjon	0,104	0,104	0,005	0,003	0,002 kr/km
FK kjøretøy	0,460	0,460	0,205	0,111	0,111 kr/km
FK spesiell	0,056	0,114	-	0,017	0,017 kr/km
Totale kostnader	0,967	0,750	0,387	0,412	0,310 kr/km

Tabell 19: Konklusjonstabell

Starter vi med å se på VK fremstår elektrolyseprodusert hydrogen som det dyreste alternativet. Dette skyldes ineffektiviteten til drivstoffet tilknyttet energitap ved elektrolyseproduksjon som krever 60 kWh/kgH₂. Her er elbilen det klart billigste alternativet, takket være sin energieffektivitet med et ladetap på 15%. Her er det også verdt å merke seg at H₂ fra naturgass er betydelig mer kostnadseffektivt enn elektrolyseprodusert hydrogen.

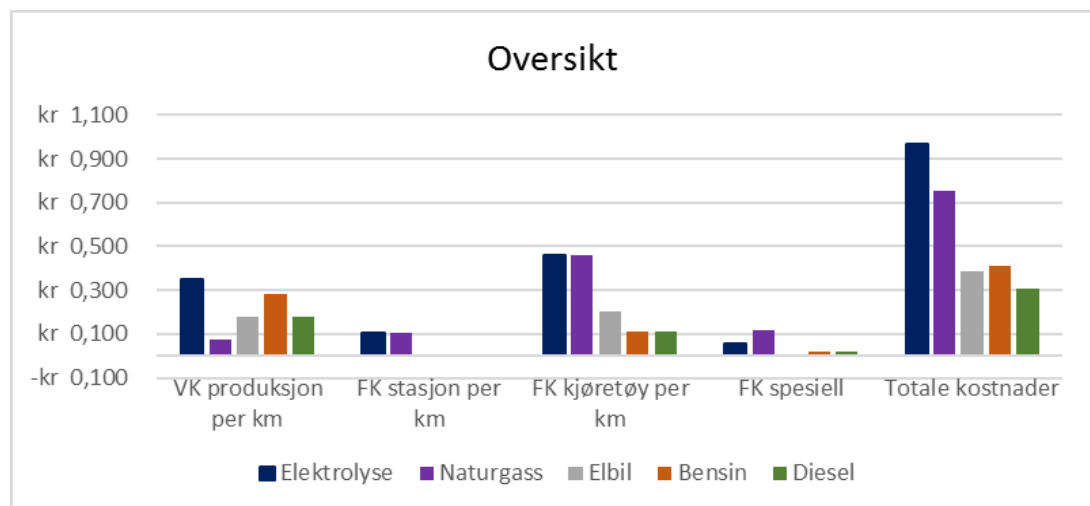
Når faste kostnader kommer inn i bildet vil de to hydrogenalternativene jevne seg ut. Faste kostnader er den største posten, og er hovedgrunnen til at hydrogendrevne biler fremstår så mye dyrere enn alternativene i kalkylene. Her har ikke teknologien kommet like langt som de mer etablerte alternativene. Elbilen er på dette punktet betraktelig billigere enn hydrogen, men fortsatt dyrere enn diesel som har eksistert lenger, blir produsert i større kvantum og dermed reduserer enhetskostnadene.

Også på FK tilknyttet stasjoner er hydrogen dyrest. Dette er grunnet dyrere teknologi, da hydrogenet stiller krav til høyt trykk ved lagring. Her har elbilene en fordel ved at ladere er billigere å produsere, samt at man kan lade hjemme. Dagens

bensinstasjoner er også betydelig billigere, mye siden teknologien er enklere og har eksistert i lengre tid.

Til slutt kommer spesielle FK som også bidrar til at hydrogen blir dyrere enn alternativene. For elektrolyse vil dette være selve elektrolyseren. Dette slipper naturgassprodusert hydrogen, men her må hydrogenet transporteres i tillegg til at vi regner med kapitalkostnadene tilknyttet produksjonsanlegget.

Totalt ser vi at elektrolyseprodusert hydrogen er dyrest, før hydrogen fra naturgass følger like ved. Kalkylene viser videre at det er et stort gap ned til fossile drivstoff hvor bensin har totalt 42% av kostnadene tilknyttet elektrolyse, og diesel kommer enda lavere ut. Elbilen kommer best ut på samtlige områder, bortsett fra FK tilknyttet bilen hvor produksjonskostnadene tilknyttet batteriet fortsatt er høye.



Figur 2: Kostnadsoversikt

9.0 Usikkerhet i analysen

Det er flere mekanismer og faktorer som fremstår som usikkerhetsmomenter i kostnadskalkylene. Levetid på hydrogenteknologien er vanskelig å fastsette siden det er en relativt ny teknologi, og vil ha en påvirkning på resultatene. Elbilen er skilt ut som kostnadsvinner, men vi har ikke lagt til grunn utslippene ved batteriproduksjon og kostnadene det medfører samfunnet (Notter, 2010). I tillegg er det vesentlig å undersøke strømmnettets belastnings- og utnyttelsesgrad med batteri til sammenligning med hydrogen.

En annen essensiell faktor vi ikke har inkludert er vedlikeholdskostnader. Det er utvilsomt at hydrogenstasjoner og bensinstasjoner medfører vedlikeholdskostnader. Dette kan være reparasjon av tanker, elektrolysører, motorer og annet utstyr.

Utrekninger av produksjonskostnader innen fossile drivstoff tar utgangspunkt i grove overslag fra leverandør og fremstår dermed noe overflatiske. Videre vil vi poengtere at kostnadsmodellen vår har feilmarginer på distanser, levetid og kostnader tilknyttet produksjon av motorer. I tillegg har vi kun brukt eksempler på dagens eksisterende biler (Tesla, Leaf, Mirai, Avensis), og det er utvilsomt andre aktører som produserer ulike motorer som kan gi andre utslag på vår kostnadsberegning. Tallene vi har brukt er historiske, og innbefatter ikke at ny teknologi kan gi økt effektivitet.

10.0 Sensitiviteter

I dette kapittelet har vi gjort noen sensitivitetsanalyser for å se hvordan kostnadsbildet endrer seg ved endringer i sentrale faktorer i kalkylene. De faktorene vi har sett nærmere på er:

- Levetid
- Produksjonskostnader
- Strømpriser

10.1 Levetid

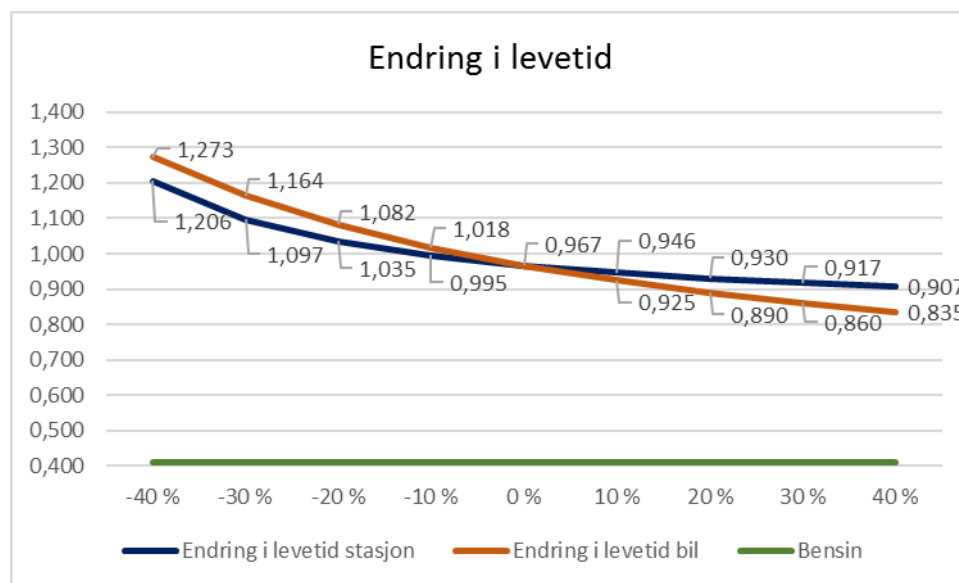
Kapitalkostnader knyttet til produksjonen av hydrogenteknologi (brenselcelleteknologi, drivstofftanker og stasjoner) utgjør en stor del av det totale kostnadsbildet for hydrogenbiler. I disse utregningene spiller levetiden på de respektive delene en stor rolle. Vi har tatt noen forbehold i valg av levetid som beskrevet tidligere. Under følger i tillegg en sensitivitetsanalyse hvor vi ser hvordan TK/km for elektrolyseprodusert hydrogen blir påvirket ved endring i både levetiden til hydrogenbilene, samt levetiden til fyllestasjoner.

Teknologien er relativt ny, og hydrogenbilene som i dag kjører på verdens veier har ikke gått lenge nok til at vi kan si noe sikkert om levetiden. Levetiden på brenselcellene avhenger også i stor grad av faktorer som kjøreforhold, kjøremønster og vedlikehold. I analysen under har vi valgt å endre levetiden på brenselcelle i trinn på +/-10% med +/-40% som ytterpunkter. Det vil si at en bil kan kjøre mellom ca. 135 000 km på det minste og ca. 315 000 km på det meste i sin levetid. I våre analyser har vi brukt ca. 225 000 km.

Stasjonene har i våre analyser en levetid på 20 år. Også disse er nye i drift og det er vanskelig å si for sikkert hvor lang levetiden er. Her har vi sett på endringer fra 12 års levetid på det minste til 28 år på det meste med 2 års intervaller.

Figur 3 viser hva TK for elektrolyseprodusert hydrogen blir ved endring i kun én av faktorene av gangen. Den blå linjen viser kr/ km ved endring i levetiden på stasjonen,

mens den oransje viser kr/km ved endring i levetid på brenselcelle og hydrogentanker. Her kan vi se at dersom vi endrer levetiden både i stasjonene og i brenselceller og tanker, får vi en total kostnad på 0,790 kr/km hvor levetiden for begge økes med 40%, og 1,380 kr/km hvor levetiden reduseres med 40% i begge. Den grønne linjen rett over 0,4 kr/km representerer TK/km for bensin for å illustrere at selv ved relativt store endringer i levetiden er elektrolyseprodusert hydrogen fortsatt et godt stykke unna kostnaden for bensin slik det er i dag.



Figur 3: Endring i levetid

10.2 Produksjonskostnader

I følgende analyser ser vi på hva som skjer med kostnaden /km for elektrolyseprodusert hydrogen ved endringer i produksjonskostnadene til sentrale elementer ved hydrogenbilen. Først ser vi på endringer i kostnader tilknyttet brenselcellene (alt annet uendret), deretter tankene før vi til slutt ser på hva som skjer hvis begge endres.

Brenselcelle

Toyota har redusert kostnadene på brenselcellene med 95% de siste 12 årene (Dalløkken P. E., 2014). Produksjonskostnadene for brenselcelle ligger i dag på 61 \$/kW (IOP Institute of Physics, u.å), og kan ifølge den samme kilden ved videreutvikling av teknologien og produksjon i større skala få denne kostnaden ned til rundt 30 \$/kW, altså rundt en halvering. Det er tydelig hvilken vei kostnadsbildet

beveger seg, og derfor vil vi undersøke hvordan TK for elektrolyseprodusert hydrogen endrer seg ved endringer i produksjonskostnad av brenselcellene. Av tabell 20 ser vi at dersom kostnaden halveres vil den totale kostnaden /km reduseres med over 10 øre/km eller ca. 16%.

USD / kw	Kr/km
\$24,40	0,812
\$33,55	0,851
\$42,70	0,889
\$51,85	0,928
\$61,00	0,967

Tabell 20: Endring i produksjonskostnad brenselcelle

Hydrogentanker

I våre kalkyler har vi tatt utgangspunkt i at hydrogentanker koster 1000 EUR/kgH₂ å produsere (Kochhan, 2014). Den samme artikkelen påstår at innen 2030 kan denne kostnaden være nede i 300 EUR/kgH₂. Under følger en tabell som viser hvordan TK/km for elektrolyseprodusert H₂ vil se ut hvis denne utviklingen realiseres. Av tabell 21 ser vi at dersom kostnaden kommer ned i 300 euro reduseres TK med ca. 15%.

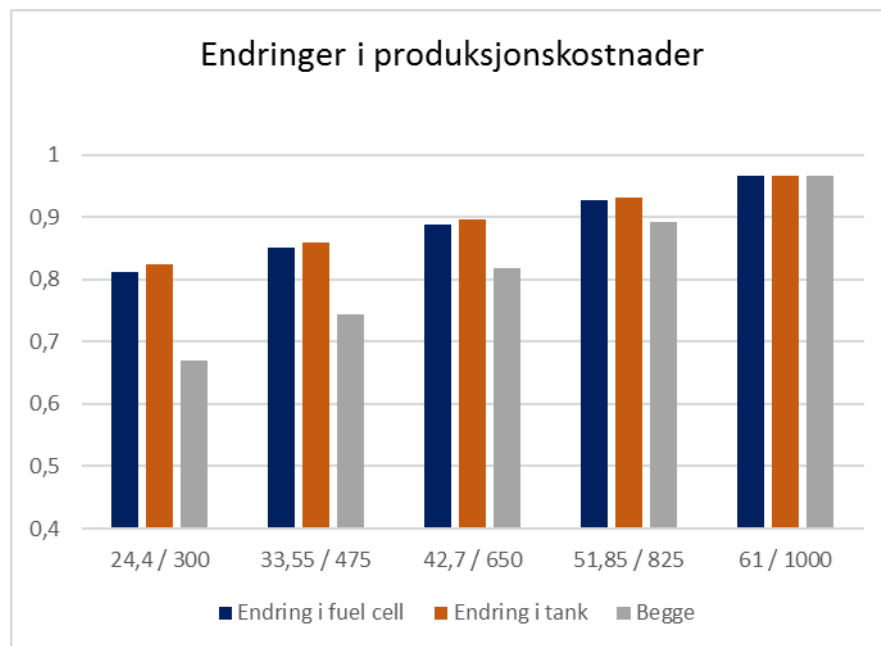
EUR / kgh	Kr/km
€ 300	0,825
€ 475	0,860
€ 650	0,896
€ 825	0,931
€ 1 000	0,967

Tabell 21: Endring i produksjonskostnad hydrogentanker

Endringer i begge

Tabell 20 og 21 viser utviklingen ved endringer i én av faktorene. Det er naturlig å tro at dersom det blir billigere å produsere én vil det også bli billigere å produsere den andre. Figur 4 illustrerer hvordan TK/km vil utvikle seg dersom begge faktorer blir billigere å produsere. De blå søylene viser TK ved endringer kun i produksjonen

av brenselcelle, de oransje viser endringer i produksjon av hydrogentanker, mens de grå søylene viser TK dersom begge endres.

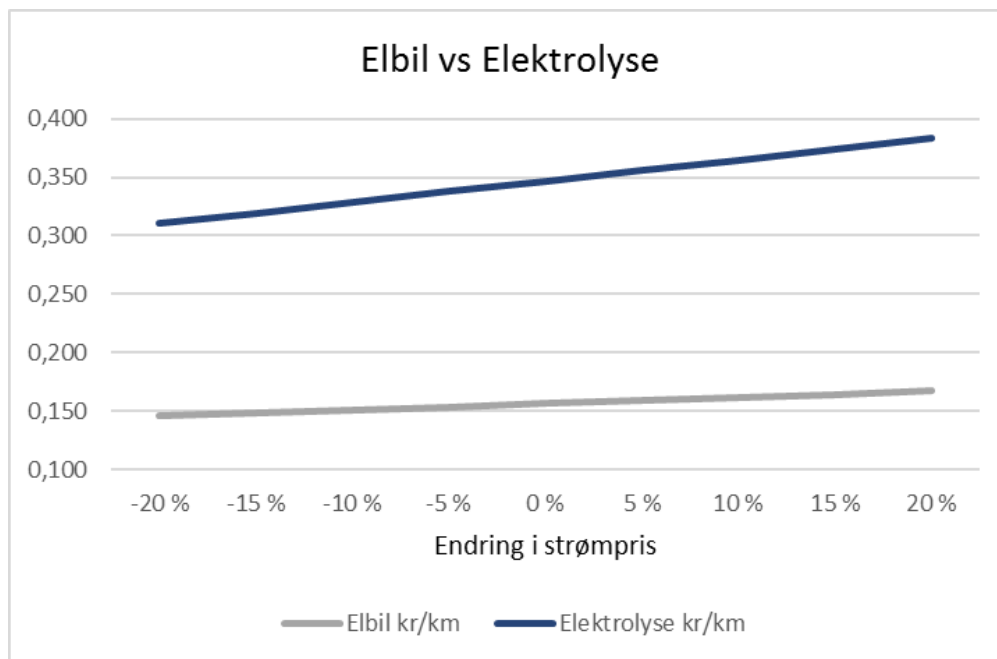


Figur 4: Endring i produksjonskostnader

10.3 Strømpriser

Strøm utgjør den største kostnaden ved produksjonen av H₂ fra elektrolyse og selvfølgelig ladning av batterier på elbilene. Derfor ønsker vi å se på hvordan en endring i strømprisen påvirker TK/km, både for hydrogen og elbiler. Ifølge fremtidskontrakter handlet på Nasdaq OMX Commodities forventes strømprisene å gå litt opp og ned kvartalsvis, hvor de kan synke eller stige med mellom 3 og 20%. På årsbasis er endringene mer jevne, og forventes å synke med omtrentlige 9% mellom 2018 og 2020, før de forventes å stige etter det (Nasdaq, 2017).

Disse tallene gir oss noe å gå ut fra når vi skal velge hvilke endringer vi vil se på effekten av. I figur 5 har vi derfor sett på intervall med +/-5%, med +/-20% som ytterpunkter. Den blå linjen viser hva VK/km vil være på elektrolyseprodusert hydrogen ved prosentvise endringer i strømpris, mens den grå linjen viser hvordan samme endringer påvirker VK/km for en elbil.



Figur 5: Sensitivitet av endring i strømpris

Det fremgår av figur 5 at Elektrolyse har en brattere helning enn elbil. Dette vil si at denne drivstofftypen er mer sensitiv over endringer i strømpris. Altså, hvis strømmen blir billigere eller dyrere, vil dette ha en større påvirkning på elektrolyse enn elbilen.

11.0 Industrianalyse

En PEST-analyse er en situasjonsanalyse av de eksterne makroøkonomiske faktorene for en bransje, med utgangspunkt i en spesifikk bedrift i den aktuelle industrien.

Modellen skal beskrive situasjonen innen de ulike faktorene modellen tar for seg - nemlig politiske faktorer, miljømessige faktorer, sosiale faktorer og teknologiske faktorer.

Vi velger å ta i bruk denne analysemodellen for å kartlegge og beskrive viktige makroforhold tilknyttet H₂ som drivstoff, slik at vi kan tilegne oss en dypere innsikt i elementene som påvirker industrien, virksomheten og dens konkurransedyktighet.

Dette skal resultere i et oversiktsbilde over forholdene i markedssystemet som forventes å ha fremtidig innvirkning på H₂ sitt potensial og posisjon som drivstoff.

Oversiktsbildet av muligheter og trusler som PEST-rammeverket vil gi oss skal oppsummeres i en enklere og mer oversiktlig presentasjon i form av en SWOT-matrise.

Politiske Faktorer	Miljømessige Faktorer
Skattepolitikk Handelsreguleringer Politiske reguleringer Subsidier	Forurensing Utslippskvoter Påvirkning på naturen Ressursknapphet Konsumenters atferd mot miljøvern
Sosiokulturelle Faktorer	Teknologiske Faktorer
Demografi Inntektsfordeling Sosial mobilitet Holdninger til miljø Konsum Utdanningsnivå	Forskning Nye oppdagelser Fokus på teknologi Teknologioverføringstempo

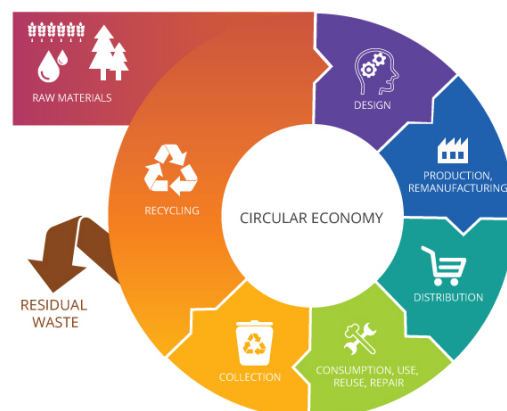
Tabell 22: PEST-analyse (Roos, 2013)

11.1 Politiske faktorer

Transportbransjen er sterkt preget av politikk der politiske virkemidler vil være avgjørende for samtlige aktører i bransjen. Det forekommer stadig statlige inngrep for å regulere industrien, spesielt tiltak knyttet til miljøutfordringer. Ved klimatoppmøtet i Paris i 2015 ble både rike og fattige land enige om å forplikte seg til å kutte utslipp av skadelige klimagasser for å holde temperaturen på kloden nede (FN, 2017).

For å oppnå målene må verden gjennomgå et grønt skifte med fokus på nye fornybare energikilder for å kunne opprettholde et bærekraftig samfunn. Økonomisk vekst har siden den industrielle revolusjon vært basert på en tradisjonell lineær økonomisk modell kjennetegnet av “bruk og kast-prinsipper”, med forutsetninger om uendelige mengder ressurser (Hanno, 2016). I dag vet vi at dette ikke er tilfellet, og at vi må revurdere dagens forbrukersamfunn.

Den Europeiske Union kom i samme år ut med en plan som søker å endre den økonomiske modellen vi hittil har fulgt, gjennom implementeringen av en sirkulær økonomi. Dette skal bidra til økt konkurransekraft, fremme bærekraftig økonomisk vekst og skape nye arbeidsplasser. Teorien går ut på at ressurser forblir i økonomien lenger, hvilket vil gi en mer effektiv utnyttelse av ressursene gjennom å redusere uttak av nye råmaterialer, redusere mengden avfall og utnytte fornybare energikilder (European Commission, 2017).



Figur 6: Sirkulær økonomi (GFOSS, 2015)

En betydelig del av EUs plan omhandler lavere energiforbruk og lavere CO₂-utslipp. Europakommisjonen vil at EU skal være ledende innen overgangen til ren energi, og vil kutte CO₂-utslipp med minst 40% innen 2030. (Europa kommisjonen, 2016).

Vi ser altså at viljen til å gjennomgå store forandringer innen energisektoren finnes til en viss grad i det internasjonale politiske miljøet, men også norske myndigheter har i nyere tid innført en rekke former for subsidier og avgiftssystemer for å styre bransjen. Elbilen har for alvor blitt ønsket velkommen inn i varmen og stadig flere nullutslippsbiler når norske veier, mye takket være stortingets klimastrategi som gir betydelige avgiftsfordeler til både el- og hydrogenbileiere (Regjeringen, 2014). Disse er garantert å vare frem til 2017, men antas å vare enda lenger.

Transportetatene har videre i Nasjonal Transportplan lagt frem drastiske mål for å kutte CO₂-utslippene; i 2025 skal alle nye kommersielle personbiler og bybusser være utslippsfrie (Transportøkonomisk institutt, 2016). I 2030 skal dette også gjelde nye varebiler, tre fjerdedeler av de nye langdistansebussene og halvparten av de nye tunge lastebilene. Dersom dette gjennomføres vil CO₂-utslippene reduseres med nesten 5 millioner tonn, eller 45% (Transportøkonomisk institutt, 2016).

Norges klima- og miljøminister Vidar Helgesen uttalte under et foredrag gitt ved HiOA den 04.05.2017 at ***“Olje og gass er ikke lenger drivkraften i norsk økonomi. Vi er nødt til å gripe tak i og utnytte de andre endringene som foregår. Vi skal skape grønn konkurransekraft for Norge der forskning, utvikling og innovasjon er viktigere enn noensinne”***.

På spørsmål om hvilken rolle en satsing på hydrogen som drivstoff vil være i den grønne omstillingen landet står ovenfor var svaret at hydrogen blir veldig viktig. Helgesen ser for seg at elbiler vil dominere persontransporten, men at hydrogen vil ha en spesielt viktig betydning ved fremtidens tungtransport og viste blant annet til Asko hvor dette allerede i dag er en realitet ved et samarbeid med Scania om utvikling av hydrogenlastebiler. Han er opptatt av å sette de nye teknologiene i fokus for å skape varige arbeidsplasser i Norge. Videre trekker han frem Norges første klimalov som annonserer at Norge er et lavutslippssamfunn med tallfestede 80%-95% lavere klimagassutslipp innen 2050. Ministeren takket den offensive elbilpolitikken i landet for å ha nådd sine ambisiøse klimamål tidligere enn de trodde,

men ville ikke komme med noen spesifikke føringer for hva som kan forventes av hydrogenpolitikk fremover (Helgesen, 2017).

Med sin utslippsvennlige profil er en satsing på hydrogen et meget aktuelt alternativ for dagens politikere. Vi ser allerede i dag at flere nasjoner ser mot denne typen drivstoff i sine miljøanstrengelser. Japan har uttalt at de ønsker å bruke hydrogen som hovedkilde til energi, og var først i verden med å produsere teknologien som kreves (Japan gov, 2016). I tillegg går også California i front, og har allerede finansiert over 100 hydrogenstasjoner (California Hydrogen Business Council, 2017). Dette har også elektrolyseprodusenten NEL Hydrogen fått merke på etterspørselen og ser gode muligheter for fremtiden. De er allerede inne på markedet og kunne i februar 2017 feire inngåelsen av avtale om å levere, installere og vedlikeholde 7 hydrogenstasjoner i samarbeid med Shell og Toyota. (Nel ASA, 2017). Med dette står de frem som foregangsfigurer for hvordan aktiv miljøpolitikk kan påvirke bransjen, og prøvekaniner som andre land kan se mot under evalueringen om å selv gjøre lignende grep.

Hydrogenbilene har på sin side en utfordring sammenlignet med elbilene. Under kostnadskapittelet for hydrogenstasjoner fant vi at kapitalkostnadene for stasjonen og elektrolysøren utgjør en betydelig del av den totale kostnaden /km (17%). Det vil si at dersom myndighetene skulle subsidiere denne byggingen vil det ha stor påvirkning på kostnadene for tilbydere og forbrukere. Utfordringen er at det krever store investeringer i infrastruktur for å få på plass nok fyllestasjoner til at bilsalget skal kunne komme opp på et betydelig nivå. Per dags dato har vi en klassisk “catch-22” hvor etterspørselen etter hydrogenbiler er relativt lav ettersom det ikke er nok hydrogenstasjoner langs veiene. Samtidig er det ingen som vil bygge en hydrogenstasjon til rundt 15MNOK før det er nok hydrogenbiler til å skape den nødvendige etterspørselen. Her ser vi at norske myndigheter må gå inn for å styre utviklingen og gjøre en betydelig satsing innen infrastruktur for at markedet skal komme i gang.

I denne prosessen er det også store krefter som virker mot utviklingen av hydrogensamfunnet. Eksisterende fossile aktører har enorme ressurser og driver aktivt omfattende lobbyvirksomhet for å fremme egne interesser. Olje og

gassbransjen brukte i 2016 rundt 117 millioner dollar på lobbyvirksomhet bare i USA (Opensecrets, 2017). Denne innsatsen legger klare bremses på utviklingen bort fra fossile brennstoff, selv om folk flest i større grad er opptatt av fornybar energi enn tidligere (Kjensli, 2010). Også i Norge står klare interessekonflikter i veien for satsing mot hydrogen. Velferdssamfunnet har i stor grad blitt bygget ut fra oljevirkosomhet og staten er fortsatt største aksjonær i Statoil. Selskapets virksomhet har vært en enormt viktig inntektskilde for staten gjennom sin oljevirkosomhet og har, på tross av lavere oljepriser, gode muligheter for å øke størrelsen på oljefondet ytterligere. Likevel ser vi at også Statoil satser mot nye energiløsninger fordi de ser behovet, og mulighetene, for fornybare energiløsninger i fremtiden (Statoil, u.å).

Subsidier

For at hydrogenbiler skal kunne ta markedsandeler i Norge er det altså hovedsakelig to faktorer som vil være avgjørende; det må eksistere nok fyllestasjoner til at folk vil kjøpe biler, og kostnadene må komme ned på et nivå slik at det er bærekraftig sammenlignet med bensinbiler. Her må staten aktivt gå inn og manipulere markedet over en periode, frem til kostnadene har blitt lave nok til at hydrogentransport kan stå på egne bein. En måte å gjøre dette på er gjennom å subsidiere hydrogenbilene og stasjonene.

I dag bruker den norske stat omtrent 4 milliarder kroner årlig på subsidiering av elbiler (Qvale, 2015). Dette gir oss et anslag på hva som i dag brukes av myndighetene for å styre transportbransjen. Kostnadene fordeler seg slik:

Tiltak	EUR	kr
Moms	200 000 000	1 822 000 000
Engangsavgift	200 000 000	1 822 000 000
Veg- og ferjeavgifter	30 000 000	273 300 000
Årlig skatt	20 000 000	182 200 000
Fri parkering	15 000 000	136 650 000
Totalt	465 000 000	4 236 150 000

Tabell 23: Elbil-subsidier

Et sentralt spørsmål er hvor mange fyllestasjoner som trengs for at folk vil kjøpe hydrogenbiler. I dag finnes det 1580 bensinstasjoner i Norge (Norsk

Petroleumsinstitutt, 2016). Dette kan være et mål på hvor mange som trengs på lang sikt, men vil være unødvendig mange i forhold til hvor mange som skal til før mannen i gata vil velge hydrogen. Dersom man hadde brukt pengene man taper på å tilby gratis parkering for elbiler på å bygge hydrogenstasjoner vil man kunne bygge 9 stasjoner med elektrolyseproduksjon i året (gitt byggekostnad på 15MNOK). Da vil vi i snitt ha nesten én stasjon i hver av Norges 103 (Kommunal rapport, 2000) byer i løpet av 11 år. NEL Hydrogen har allerede planer om å bygge 20 stasjoner i Norge innen 2020 (Dalløkken P. E., 2016). Dette kan være nok til å gjøre en relativt stor del av Norge hydrogenklart.

Videre kan man tenke seg at dersom man i kun ett år likevel henter 25% av moms og engangsavgift for elbilsalget og bruker dette på å bygge hydrogenstasjoner vil man ha hentet inn nok til å kunne bygge 61 stasjoner. Dette er selvfølgelig vanskelig å gjennomføre i praksis siden det sannsynligvis vil redusere salget av elbiler, og ressursene kan heller hentes fra mer miljøfiendtlige alternativer enn elbilen, men det illustrerer hvor "lite" som skal til av subsidiering fra staten sin side for å få nok stasjoner til å løse høna og egget-dilemmaet.

En slik subsidiering vil gjøre at staten tar en større del av kostnaden i kalkylen og gjør at det kan lønne seg for forbrukeren å velge hydrogen. Den største kostnadsbæreren for hydrogen er som nevnt produksjonskostnadene for brenselceller og tanker. Et momsfratak på linje med det som er gitt til elbiler vil bidra til å dra ned kostnaden for å kjøpe bilen og videre bidra til en vridning bort fra fossilt drevne biler og i retning mot hydrogenbiler.

Politiske virkemidler

En annen potensiell strategi for staten vil være å gjøre bensin og diesel dyrere gjennom økte skatter og avgifter. I kalkylene over har vi sett bort fra skatter og avgifter, men man kan tenke seg at for forbrukerne vil fossile drivstoff ha en betydelig større kostnad enn det som reflekteres i kalkylene. Ved å tilpasse avgiftssystemet kan staten fortsette å gjøre miljøfiendtlige alternativer dyrere, og miljøvennlige alternativer billigere.

11.2 Miljømessige faktorer

Kyoto-avtalen er en multinasjonal avtale signert mellom de ledende økonomiene i verden med fokus på konkrete kutt i CO₂-utslipp. Avtalen ble utarbeidet over de første årene på 1990-tallet og var fullstendig nedskrevet og underskrevet i 1997 i den japanske byen Kyoto. Avtalen beskrev konkrete mål på prosentvise CO₂-utslipp med anker i utslippsnivået i det respektive landet i 1990. EU-landene og USA ble eksempelvis tildelt et kutt på respektive 8% og 7%, mens land som Norge og Portugal ble tildelt konsesjon til økning av utslipp på respektive 1% og 27%.

Avtalen har som beskrevet over et stort fokus på fleksibilitet i hvordan tildelingen av kvoter ble fastsatt mellom land, fremfor et overordnet mål om kutt hos samtlige land. Dette bunner i en avtale som tidlig viste seg å måtte være politisk akseptabel for alle land med utgangspunkt i utslippsnivået i 1990. Dette ble gjennomført ved å tildele verdens felles atmosfære en monetær verdi ved å gjøre de økonomiene med størst bidrag til global oppvarming proporsjonalt ansvarlig for skadene som utslippene deres medførte. Dette ble også et felles akseptert konsept ettersom de utviklede industrilandene sto for den definitivt største andelen av utslippene, mens konsekvensene er forventet å bli mest alvorlig i de minst utviklede landene.

Som beskrevet tidligere har Norge tilgang på fornybar energi gjennom vann, vind og solcelle og vil kunne bidra til en forbedring av konkurransedyktigheten til de potensielt fornybare drivstoffene når CO₂ inkluderes i kalkylen. Jo høyere kostnaden på CO₂-utslipp er, jo mer press legges på produsentene når det gjelder energieffektivitet og jo mer rettes fokuset og villigheten mot forskning og transformasjon til alternative energikilder som har lave eller ingen utslipp (United Nations, u.d.).

11.2.1 Energiforbruk i produksjon

Til nå har vi undersøkt hvor store kostnader som påløper ved produksjon av de ulike drivstoffene. Det vil også være nyttig å studere netto energieffekt ved produksjon av de ulike drivstofftypene. Ettersom alle andre tall i våre undersøkelser har basert seg på å sammenligne de ulike produktene per kilometer, virket det fornuftig å gjøre det

her også. Det som blir interessant å undersøke vil derfor være hvor mange kWh/km som påløper i de forskjellige drivstoffklassene.

Elektrolyseprodusert hydrogen

NEL Hydrogen opplyser at det påløper 60 kWh/kgH₂ når de produserer gjennom elektrolyse. Ettersom en Toyota Mirai kjører 100 km/kgH₂ blir energiforbruk i produksjonen 0,6 kWh/km.

Elektrolyse	
Elektrisitet i produksjon	60 kWh/kgH ₂
Rekkevidde	100 km/kgH ₂
Totalt elektrisitetsforbruk	0,6 kWh/km

Tabell 24: Energiforbruk elektrolyse

Naturgassprodusert hydrogen

Vi tar de samme forutsetningene her som i kapittelet om produksjonskostnadene knyttet til naturgass. Der jobber vi med tall fra en analyse gjennomført av DOE med utgangspunkt i sentrale produksjonsfasiliteter med et produksjonsvolum på 1500 kgH₂/dag (US Department Of Energy D, 2015). Undersøkelsen oppgir at disse produksjonsfasilitetene produserer 470 677 kgH₂ i året, og at 15 716 902 kWh påløper ved denne produksjonsmengden. Vi dividerer energimengden med produserte kgH₂ som resulterer i antall kWh/ kgH₂. Ettersom en Toyota Mirai går 100 km/kgH₂, ender vi opp med 0,33 kWh/ km.

Naturgass	
Elektrisitet i produksjon	15 716 902 kWh/år
Årlig produksjon	470 677 kgH ₂ /år
Rekkevidde	100 km/kgH ₂
Totalt elektrisitetsforbruk	0,33 kWh/km

Tabell 25: Energiforbruk naturgass

Elbil

På elbiler har vi fra kostnads kalkylene i tidligere kapitler presentert kWh/km som påløper kjørt på både Nissan Leaf og Tesla. Vi har derfor tatt gjennomsnittet av disse to tallene for å få kWh/km kjørt for elbiler.

Elbiler	
Elektrisitet forbruk Tesla	0,16 kWh/km
Elektrisitet forbruk Leaf	0,14 kWh/km
Totalt elektrisitetsforbruk	0,15 kWh/km

Tabell 26: Energiforbruk elbiler

Bensin

Det er mange kilder som presenterer ulik informasjon, hovedsakelig spenner det mellom 3 - 12 kWh/gallon. Eksempelvis opplyser Nissan at det påløper 7,5 kWh/gallon bensin produsert (Herron, u.å), mens Elon Musk i Tesla mener det er 5 kWh/gallon (Rosoff, 2011). Robert Llewellyn har gjort en annen kalkulasjon basert på rapportert elektrisitetsforbruk og bensin-output ved noen raffinerier i UK ved bruk av råolje. Dette resulterte i 4,5 kWh/gallon med bensin, noe som høres ut som et fornuftig tall ettersom det ligger mellom flere av de uttalte tallene over kombinert med at det er et gjennomsnitt fra flere raffinerier (Herron, u.å). I utregningen har vi konvertert 4,5 kWh/gallon om til kWh/liter. Dermed får vi at bensin bruker 1,188 kWh/liter. Dette multipliseres med forbruket til Toyota Avensis på 0,061 liter/km. Dette resulterer i et forbruk på 0,073 kWh/km kjørt med bensin.

Bensin	
Elektrisitet i produksjon	4,5 kWh/gallon
Konvertering til liter	3,785 liter/gallon
Elektrisitet i produksjon	1,189 kWh/liter
Forbruk	0,061 liter/km
Totalt elektrisitetsforbruk	0,073 kWh/km

Tabell 27: Energiforbruk bensin

På den annen side er det flere fagfolk som påstår at påløpte kWh/gallon bensin er langt høyere enn 4,5 kWh. DOE skriver at tallet ligger nærmere 7,5 kWh/gallon bensin (Ward, u.å). I tillegg inneholder disse tallene kun mengde elektrisitet knyttet

til raffineringen, og er ekskludert strømmen som påløper ved boring og transport av oljen. En annen kilde har forsøkt å estimere kostnaden knyttet til både boring og raffinering og har kommet opp med tallet 12,39 kWh/gallon (Evnut, 2011). Med både kombinasjonen av boring og raffinering, DOE og Nissans estimerer ser vi at den antagelig mer realistiske mengden elektrisitet påløpt ved fremstillingen av bensin er høyere.

Bensin	
Llewellyn	4,5 kWh/gallon
Department of Energy (DOE)	6 kWh/gallon
Nissan	7,5 kWh/gallon
Totalt inkl. boring og raffinering	12,39 kWh/gallon
Konvertering til liter	3,7854 liter/gallon
Forbruk	0,061 liter/km
Llewellyn	0,073 kWh/km
Department of Energy (DOE)	0,097 kWh/km
Nissan	0,121 kWh/km
Totalt inkl. boring og raffinering	0,200 kWh/km

Tabell 28: Energiforbruk bensin, flere kilder

Et argument mot hydrogen- og elbiler er at de trekker for store mengder elektrisitet i produksjon og drift, som medfører at strømmettet blir overbelastet. Ved å studere oversikten over ser vi at produksjonen av fossile drivstoff også krever store mengder elektrisitet. Dersom i mildeste utfall 0,073 kWh/km kjørt med bensinbil hadde blitt fjernet fra strømmettverket, kan man forestille seg en betydelig kapasitetsforbedring som gir rom for drivstoff til veldig mange flere el- og hydrogenbiler. Hvis man derimot studerer de antagelig mer realistiske tallene i tabell 28 ser man at både 0,097 kWh/km, 0,121 kWh/km, og så mye som 0,2 kWh/km kan være sannsynlige mengder elektrisitet brukt av bensinbiler fra strømmettverket.

Elon Musk har i tillegg gjort en kalkulasjon der han påstår at det er nok strøm til å drifte elbiler for hele USAs befolkning om man sluttet å produsere bensin (Rosoff, 2011).

"You have enough electricity to power all the cars in the country if you stop refining gasoline" - Elon Musk

11.2.2 Samfunnskostnader av drivhusgassutslipp

For å se hvordan de miljømessige faktorene kan påvirke kostnadskalkylene har vi sett på hvor mye CO₂ som slippes ut i atmosfæren både ved produksjonen av drivstoffet og forbrenningen av det. Dette har vi uttrykt i kgCO₂/km kjørt. Deretter har vi funnet en samfunnskostnad tilknyttet CO₂-utslippene for å kunne konkludere med en kilometerpris som kan brukes til å sammenligne de forskjellige drivstoffene.

En liter bensin og diesel har et livsløpsutslipp på respektive 2,8 kg og 3,1 kg CO₂-ekvivalenter (TEMPO, u.å). Dette inkluderer utslipp både fra forbrenningen av drivstoffet og produksjonen. En Toyota Avensis med 1,6 liters bensinmotor bruker 0,061 liter/km, mens samme bil med dieselmotor av lignende størrelse bruker 0,042 liter/km (Toyota B, u.å). Multipliseres utslippet med forbruket får vi 0,1708 kgCO₂/km.

Produksjon av hydrogen gjennom elektrolyse har kun CO₂-utslipp indirekte fra strømmen som brukes i prosessen. Hvor mye som slippes ut avhenger av energikilde, eksempelvis om det er vannkraft eller kullkraft. Vi har derfor tatt utgangspunkt i to tall. Norsk strøm består hovedsakelig av vannkraft og har et CO₂-utslipp på 16,7 g/kWh, mens Europeisk strøm har større deler av klimafiendtlige elektrisitetskilder og har et CO₂-utslipp på 290,3 g/kWh (SunEarthTools, u.å). Vi vet at det går 60 kWh/kgH₂. Multipliseres dette med utslippene får vi med bruk av norsk strøm på 0,0100 kgCO₂/km og europeisk strøm 0,1742 kgCO₂/km.

Produksjon av hydrogen fra naturgass har et større utslipp av klimagasser enn ved elektrolyse med norsk elektrisitet. Ved en hydrogenfabrikk viser denne undersøkelsen at ved produksjon av 2551 kgH₂/timen, får man et CO₂-utslipp på 25 808 kg CO₂, som tilsvarer 10,1 kg CO₂ for hver kgH₂ produsert. Dette gir CO₂-utslipp på 0,1012 kgCO₂/km for naturgassprodusert hydrogen (US Department Of Energy D, 2015).

I elbil-kalkylene har vi operert med et ladetap på 15% som i snitt for de to bilene som beskrevet over gir oss et forbruk på 0,15 kWh/km. Ved å multiplisere dette med de

samme utslippene ved elektrisitetsproduksjon som over får vi et CO₂-utslipp med ved bruk av norsk strøm på 0,0025 kgCO₂/km og europeisk strøm 0,0432 kgCO₂/km.

For å kunne sette en verdi på utslippene benytter vi oss av samfunnskostnader definert av EPA (US Environmental Protection Agency, 2015). Disse er ment å gi et estimat på skadene som følger av verdens CO₂-utslipp og inkluderer kostnader forbundet med helse, jordbruk, skader på eiendom ved større risiko for ekstreme flommer, forandringer i energikostnader og lignende. Alle viktige skader er ikke med da det er utfordrende å finne god informasjon på alle områder.

Denne kostnaden representerer verdien på skadene man unngår ved å redusere klimagassutslipp. Vi har kun sett på effekten av utslipp av CO₂, selv om CH₄ også kan studeres. I 2015 er denne kostnaden estimert til å være 36 \$/tonn-CO₂, mens den er estimert å stige til 42 \$/tonn-CO₂ i 2020 med en diskonteringsrente på 3% (US Environmental Protection Agency, 2015). Vi har benyttet oss av tallene fra 2015 i utregningene på 36 \$/tonn-CO₂. Ved å multiplisere disse med utslippstallene funnet over får vi et uttrykk for antall kr/km for CO₂-utslipp.

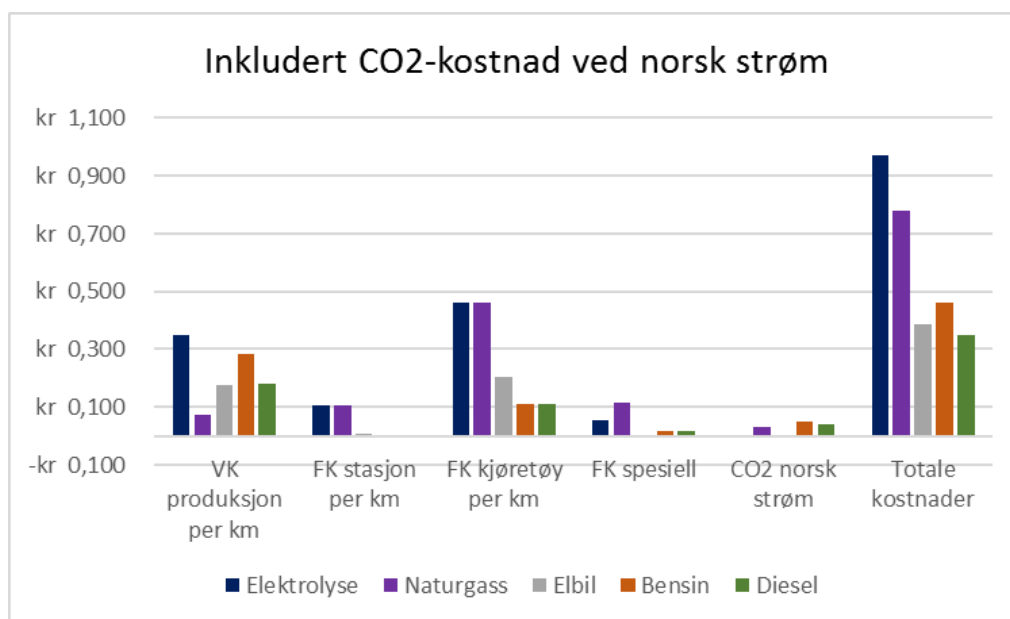
Kostnader	KgCO ₂ /km	NOK/km
Bensin	0,1708	0,0512
Diesel	0,1302	0,0390
Elektrolyse (norsk strøm)	0,0100	0,0030
Elektrolyse (europeisk strøm)	0,1742	0,0522
Naturgass	0,1012	0,0303
Elbil (norsk strøm)	0,0025	0,0007
Elbil (europeisk strøm)	0,0432	0,0129

Tabell 29: Samfunnskostnad av CO₂-utslipp

Av tabell 29 ser vi at bensin og elektrolyseprodusert hydrogen med europeisk strøm kommer dårligst ut, ved at de får det største tillegget i kostnadskalkylene hvis vi inkluderer samfunnskostnader av klimagassutslipp. Videre kommer også naturgass relativt dårlig ut. Det er interessant å merke seg at dersom man bruker norsk elektrisitet i elektrolysen vil utslippet falle drastisk og bli en meget liten del av den totale kalkylen. Totalt vil dette gjøre at elektrolyseprodusert hydrogen vil nærme seg fossile aktører, mens elbilen virker å være overlegen i et klimaperspektiv.

Kalkyler inkludert CO ₂ -kostnad					
	Elektrolyse	Naturgass	Elbil	Bensin	Diesel
VK produksjon	0,347	0,072	0,177	0,281	0,180 kr/km
FK stasjon	0,104	0,104	0,005	0,003	0,002 kr/km
FK kjøretøy	0,460	0,460	0,205	0,111	0,111 kr/km
FK spesiell	0,056	0,114	-	0,017	0,017 kr/km
CO ₂ norsk strøm	0,003	0,030	0,001	0,051	0,039 kr/km
Totale kostnader	0,970	0,781	0,388	0,463	0,349 kr/km

Tabell 30: Kalkyler inkludert CO₂-kostnad ved norsk strøm

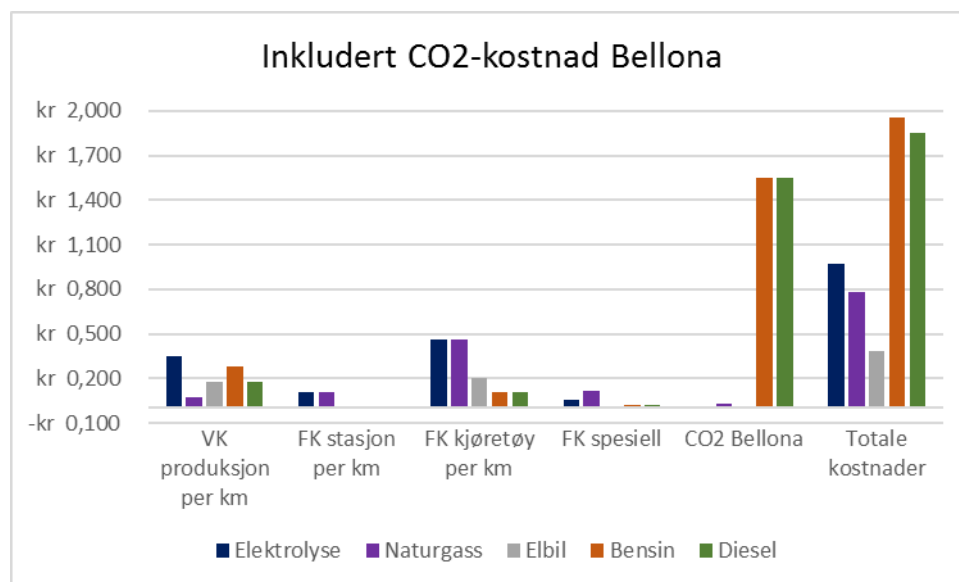


Figur 7: Kostnadsoversikt inkludert CO₂ ved norsk strøm

I tillegg til at CO₂ skader miljøet globalt tar mennesker, dyr og vegetasjon direkte skade av luftforurensning lokalt. I Norge bidrar svevestøv og eksosens NO_x-utslipp mest til lokal luftforurensning og konsentrasjonsnivået av NO₂ (Miljødirektoratet, 2016). Helseerisikoen avhenger av hvor forurenset lufta er, og hvor lenge vi blir utsatt for den. Det er utfordrende å beregne omfanget av helseeffektene men Bellona har gjort et forsøk og regnet på tall fra EU for å finne ut hvor mye lokale utslipp fra fossilbiler koster staten hvert år i helseutgifter. Resultatet viste seg å være 47 milliarder kroner (Haugan, 2017).

Dette er kostnader som inkluderer sykdom, redusert produktivitet grunnet sykefravær og for tidlig død grunnet utslipp fra fossilbiler. Dersom alle biler på norske veier gikk på strøm ville ikke denne kostnaden eksistert. Fordeles denne kostnaden ned til hver enkelt bil, koster én fossilbil det norske samfunnet 19 000 kr/år. Dividerer vi denne med gjennomsnittlig årlig kjørelengde (12 289km), får vi en kostnad på 1,546 kr/km.

Dette er et betydelig større beløp enn det vi fant ved EPAs tall over. Noe av det kan muligens forklares ved at det er Bellona som en miljøforkjemper, med sine hensikter, som har gjort beregningene, men hvis beregningene er i nærheten av sanne forandres kostnadstabellen ganske drastisk. Som sett av figur 8 er nå samtlige drivstofftyper, også elektrolyseprodusert hydrogen samfunnsmessig mer kostnadseffektivt enn fossile drivstoff.



Figur 8: Kostnadskalkyler inkludert lokal forurensning

Det er altså tydelig at dersom samfunnskostnader knyttet til miljøfaktorer skal tas med i kalkylene kommer bensin og diesel veldig mye dårligere ut, og kan fungere som et sterkt argument for staten mot å bruke flere ressurser på å legge til rette for bærekraftige drivstofftyper.

11.2.3 Naturgassprodusert hydrogens potensiale

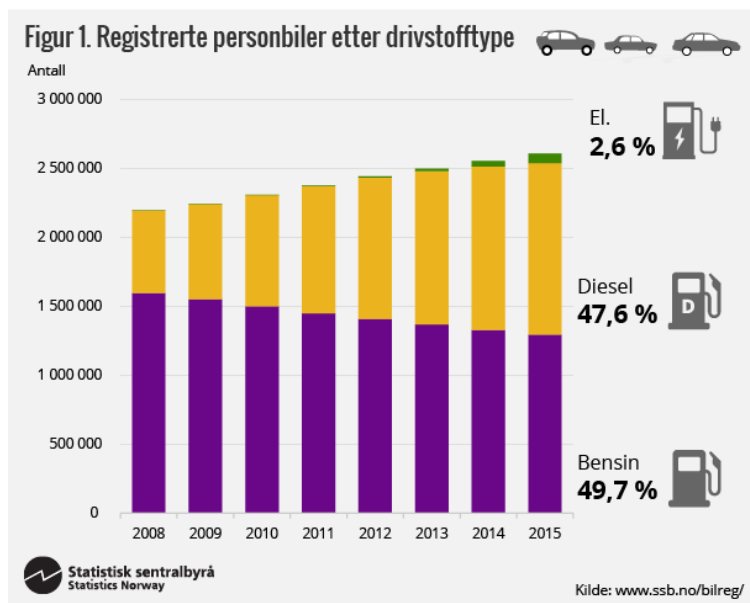
Produksjonen av hydrogen fra naturgass som beskrevet i kostnadskapitlet gir et betydelig utslipp av CO₂ som er med på å skade miljøet. DOE uttaler på den annen side at kommersielt hydrogen produsert fra naturgass slipper ut betydelig lavere mengder CO₂ enn det motorer som drives av fossilt brensel gjør (US Department of Energy C, u.å). Derfor anser vi denne formen for hydrogenproduksjon som et viktig supplement og en potensiell konkurrent til elektrolyseprodusert H₂, samtidig som det er et viktig bidrag til å redusere klimagassutslippene frem til alt hydrogen kan produseres fornybart. I tillegg uttaler EPA at CH₄ som blir brukt for å fremstille H₂

og en mindre mengde CO₂ er langt mer skadelig enn utfallet av de to nye stoffene. Den mindre mengden med CO₂ blir også fanget og lagret opplyser DOE.

EPA beskriver en skala de kaller “Global Warming Potential”, forkortet GWP, som beskriver klimagassenes innvirkning på atmosfæren. Noen gasser tiltrekker seg mer energi fra solen og varme som stiger fra jorden, og forsterker dermed drivhuseffekten og bidrar til økning av gjennomsnittstemperaturen på jorda (US Environmental Protection Agency A, 2017). Klimagasser med høyere GWP tiltrekker seg mer energi enn gasser med lav GWP, og bidrar derfor mer til global oppvarming. EPA opplyser at CO₂ har en GWP på 1, mens CH₄ til stor kontrast har en GWP på 28-36 (US Environmental Protection Agency B, 2017). Dette er med på å belyse den betydelige mengden skade CH₄ har på atmosfæren sammenlignet med CO₂. Ettersom naturgassprodusert H₂ resulterer i en mindre mengde CO₂ og 4H₂ som brukes som energibærer, kombinert med påstanden om at det er langt mindre skadelig enn forbrenning av fossile brennstoff kan dette tydelig være et semifornybart alternativ.

11.3 Sosiokulturelle faktorer

Sosiokulturelle forhold spiller en vesentlig rolle ved konsumentatferd mot miljøvennlig transportbruk. Her inngår demografiske faktorer som bosted, yrke, inntekt, utdanning, alder, kjønn og sivilstatus. Statistikk viser at det er hovedsakelig i byene privatpersoner har tatt i bruk elbiler (Statistisk sentralbyrå C, 2016), og at de fleste personbiler på landet fortsatt bruker diesel- og bensinbiler. Dette gir støtte for at bosted er en avgjørende faktor ved bilvalg. Årsaken kan forklares ved at elbiler er mindre brukervennlige i rurale forhold, da det er færre ladestasjoner og lengre kjørelengder. Elbilsalget økte med hele 41 prosent mellom 2016-2017 (Statistisk sentralbyrå D, 2017), men likevel utgjør elbiler en marginal markedsandel på 3,7% av privatbiler i Norge (Statistisk sentralbyrå D, 2017). Derfor er det fortsatt en stor markedsandel av personbiler som drives av fossilt brensel. Det er viktig å presisere at hydrogendrevne biler også er elbiler, og at den sosiokulturelle utviklingen er i stor grad positiv for hydrogenbiler.



Figur 9: Registrerte personbiler etter drivstofftype (Statistisk sentralbyrå D, 2017)

Valg av transportmiddel vil med stor sannsynlighet være avhengig av yrkesforskjeller. Ulike yrkessjåfører er avhengig av transportmidler som kan reise relativt lange distanser uten å bruke lang tid til påfylling av drivstoff. Dette gjelder spesielt yrker innenfor tungtransport, men også varebiler som i dag består av en andel dieselmotorer på 92% (Statistisk sentralbyrå F, 2016). I en rapport fra transportøkonomisk institutt avklares det en sammenheng mellom høy inntekt og utdanning som en viktig drivkraft for miljøvennlige mobilitetsmønstre (Transportøkonomisk institutt, 2012). Også i denne rapporten vises det at urbane områder står for den største økningen i en grønn transporthverdag, og har lavest utslippsvekst. Forklaringen skyldes bedre kollektivtilbud, men også at det er i de største byene som Oslo, Bergen, og Trondheim at andelen elbiler er størst (Statistisk sentralbyrå D, 2017).

Transportøkonomisk institutt viser også til at for å få betydelige utslippsreduksjoner fra persontransporten som følge av atferdsendringer kreves kraftige virkemidler (Transportøkonomisk institutt, 2015). Forskningsprosjektet TEMPO har funnet ut at det er større potensial for utslippskutt ved innføring av ny teknologi som elbiler, ladbare hybrider og hydrogenbiler enn det er ved å øke tilbøyeligheten for å reise med kollektivtransport (TEMPO, u.å).

I studien “Factors Affecting Consumer Attitude toward the Use of Eco-car Vehicles” blir det undersøkt hvilke sosiokulturelle faktorer som påvirker positiv og negativ holdning mot bruk av miljøvennlige biler (Sanitthangkul, 2012). Utredningen avdekket at kjønn ikke er en signifikant faktor. Personlige faktorer er derimot av vesentlig betydning, ettersom ulike verdier og holdninger påvirker konsumentatferd tilknyttet miljøvennlige biler. I utredningen konkluderes det med at jo lavere den månedlige bensinutgiften er, jo mer villig er konsumenten til å kjøpe eco-bil. Dette kan ha en sammenheng med at de som har lavere bensinutgifter også er mer miljøbevisste i sine kjøremønstre, og derfor mer tilbøyelig til å bytte til en eco-bil. I tillegg avslører resultatene at jo større motorkapasitet respondenten brukte, jo mer negativ var holdningen mot eco-biler.

Vi gjennomførte et intervju med Norges første private kjøper av en hydrogenbil. Han eier en Hyundai IX 35 og har gjort et grovt regnestykke på at daglige kostnader knyttet til drivstofforbruk i dag er omtrentlig det samme som da han eide en dieselbil, sett bort fra en høyere kostnad knyttet til hyppigere vedlikeholdsservice. Viktige motiver knyttet til valg av bil var at han både slipper bompenger og kan kjøre i kollektivfeltet til jobb selv om man bare er én person i bilen, i motsetning til ved elbiler hvor man må være minst to i rushtiden. De negative nettverkseffektene knyttet til økt antall biler i kollektivfeltene vil derfor være en truende faktor for folks incentiver til å velge fornybart i fremtiden.

En annen faktor som lå til grunn for vurderingen rundt kjøpet var knyttet til eksplosiviteten til hydrogen. Han uttaler at han undersøkte dette og at konseptet er velprøvd i Japan og USA der utallige sikkerhetstester på kollisjon og støt viser at dette er trygt. Undersøkelser har også påstått at det kanskje også er tryggere enn bensinbiler knyttet til at eksplosjonen ville ha skjedd over bilen istedenfor på bakken i tilfellet med bensin.

Han uttaler at han tok en kalkulert risiko på kjøpet av bilen knyttet til usikkerheten rundt om teknologien ville ta av. En av grunnene som gjorde han tryggere på valget var observasjonen av andre lands vellykkede satsning og Norges ambisjoner om å være miljøvennlige i årene fremover. Investeringene knyttet til fyllestasjonene på Gaustad og Smestad var enda et tegn på at satsningen var seriøs. Han legger til at risikoen for gjensalg er knyttet til om folk fortsatt får de samme fordelene som i dag,

men uttaler at han allikevel vil kjøpe hydrogen på nytt når tiden er inne for ny bil (Furulund, 2017).

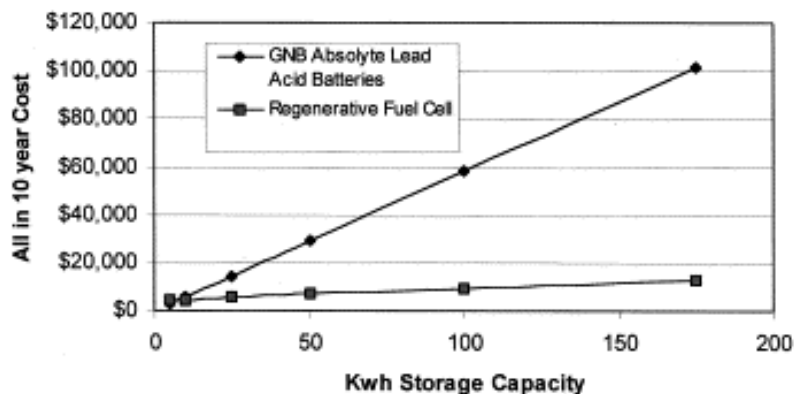
En Japansk studie har sett nærmere på hvordan folk ser på sikkerhet og risiko knyttet til hydrogenstasjoner og brenselceller (Ono, 2017). I EU og USA var konklusjonen at sikkerhetsbetyrninger er relativt lave, og ansees på lik linje som bensin og diesel. I tillegg ble det avslørt at informasjon om hydrogenstasjoner er en effektiv måte for å overbevise om at hydrogenteknologi er trygt og gjennomførbart. Derfor har vi grunn til å tro at folk ikke har sikkerhetsbetyrninger tilknyttet H₂, til tross for at mange mener det er en del sikkerhetsproblemer rundt brann- og eksplosjonsfarer.

11.4 Teknologiske faktorer

Teknologisk utvikling er en nøkkelfaktor for å avdekke potensialet til elektrolyseprodusert hydrogens konkurransedyktighet. I tidligere kapitler har vi undersøkt den teknologiske fremgangen i brenselceller samt produksjon og lagringsmetoder. Viktige teknologiske mekanismer innenfor hydrogen er innovasjon, ferdigheter og lærecurve-effekter. Brenselcelleteknologien har eksistert i flere år, men har over tid gått gjennom inkrementelle innovasjonsprosesser. I tillegg opparbeides det kontinuerlig nye ferdigheter innenfor hydrogenteknologi, som åpner for nye innovative løsninger. Med økt fokus og større produksjonsvolumer av hydrogen blir det lettere å komme raskere ned på lærekurven, og utnytte mer avansert teknologi.

Private aktører som NEL Hydrogen er allerede på ballen for å komme opp med nye og forbedrede teknologiske løsninger for å drive hydrogenmarkedet fremover og mot lavere produksjonskostnader. Utfordringen er at gevinsten av innovasjon deles av flere enn bare innovatøren. Disse positive eksternalitetene gjør at det økonomisk optimale for private interessenter blir å underprodusere ny teknologi. Derfor må myndighetene ta en betydelig rolle i den teknologiske utviklingen og dermed ta større risiko.

10 Year System Cost Comparison: Lead Acid Batteries vs. Regenerative Fuel Cells - 2kW Capacity



Figur 10: Livssyklus kostnader mot kostnad (Smith, 2000)

I en rapport fra William F. Smith blir batteri og hydrogens lagringsevne og kostnad sammenlignet (Smith, 2000). Figur 10 illustrerer forholdet mellom livssyklus kostnad over 10 år og energi lagret fra en 2 kW kraftkilde gjennom bruk av en vannelektrolyser utviklet av Proton Energy Systems (i samarbeid med NASA) sammenlignet med konvensjonelle blybatterier. Kostnadsestimatene for en elektrolyser inkluderer lagring. Modellen bygger på visse forutsetninger; livssyklus kostnader for et 200kWh-system er på \$120 000 for et batterisystem, til sammenligning med \$20 000 for hydrogensystem. Batterisystemet har en levetid på 5-8 år, mens hydrogensystemet har en levetid på 20 år. Inkrementelle ekstrakostnader ved livssyklusen er på 150-300 \$/kWh for batteri, mens for hydrogen er den på 20 \$/kWh. Ved endt livstid for batterier blir de erstattet med nytt, mens elektrolyseren behøver reovering hver 60 000 time og må dermed ikke erstattes. I denne undersøkelsen har hydrogenlagring en betydelig kostnadsfordel. Grunnen er lavere energitap over tid ved lagring av H₂, som skyldes at hydrogenlagring er ufølsom ovenfor faktorer som livssyklus, temperatur og selvutladning over tid. H₂ kan derfor være et bedre alternativ på sikt for å utnytte energiproduksjonen fullt ut. Det skal nevnes at denne undersøkelsen er fra 2000, og det har vært stor teknologifremgang siden den tid.

11.4.1 Hydrogen i tungtransport

Behovene innen tungtransport kan være utslagsgivende for at myndighetene drar i gang satsingen på utviklingen av hydrogenteknologi.

En langdistanse-lastebil vil være avhengig av å kunne kjøre lengre strekninger uten å vente lenge på å fylle drivstoff. Som nevnt tidligere bruker en Nissan Leaf 3,3 timer på å fullade batteriet ved hjelp av en lader med en effekt på 7,2kWh (Proxll, 2015). Det kan lett tenkes at en lastebil vil bruke betydelig lengre tid enn dette med de batteriene som kreves for å drive et kjøretøy i den vektclassen. Til sammenligning vil en lastebil gående på hydrogen kunne fylle opp tanken på noen få minutter (Thomas, 2009). Opplading av batterier tar altså utvilsomt mye lengre tid med dagens teknologi, selv om det avhenger av spenning, effekt og ladestrømmer.

Hydrogen vil derfor med dagens teknologi fremgå som et gunstigere alternativ for langtransport. Dette har allerede transportselskapet ASKO besluttet å satse på (ASKO, 2016), og har inngått avtale med Scania om levering av hydrogenlastebiler (Elbilplassen, 2106). Andre produsenter som Toyota (Hawkins, 2017) og Nicola Motors (Nikola, u.å) har også presentert sine hydrogendrevne lastebiler for fremtiden.

Denne klare fordelene er noe som sannsynligvis kommer til å vedvare over tid, og tungtransport slipper årlig ut 4,6 tonn CO₂-ekvivalenter i Norge i dag, mot personbilenes 5,6 tonn og vil derfor ha en viktig rolle i myndighetenes anstrenginger for å nå klimamålene sine (Miljødirektoratet, 2017). Dette kan bety at satsing på utvikling av teknologien og infrastrukturen innenfor hydrogen kan skje rettet hovedsakelig mot tungtransporten, og at personbilene på sikt kan nyte godt av dette. Klima- og miljøminister Vidar Helgesen uttalte at offentlige transportmidler som for eksempel fergetilbud skal være lavutslippsløsninger. Det kommer i nær fremtid helelektriske ferger i norske fjorder, og i fremtiden kan vi forvente mer av både el og hydrogen (Helgesen, 2017).

På lik måte som persontransport, vil tungtransport ha en rekke etableringsbarrierer. Den mest sentrale her er mangel på infrastruktur, og som vi har poengtert tidligere, er

stasjonskostnadene vesentlig høyere enn for bensin- og el-stasjoner. I tillegg er konkurransedyktigheten til hydrogendrivstoff i tungtransport avhengig av en rekke faktorer som distanse for transport, forhold under transport og distribusjonssystemer, ettersom de har stor betydning for oppladningstid og lagringstid av drivstoffet.

I en studie publisert i *International Journal of Hydrogen Energy* evalueres hydrogen som et potensielt drivstoff for fly, der forfatteren sammenligner kostnadsdyktigheten og miljøpåvirkningen av ulike drivstoff. Over en strekning på 5600 kilometer har hydrogen en estimert kostnad på \$33 971, mens dagens flybensin (Kerosene) har en kostnad på \$18 306 (Bicer, 2017). Utvilsomt er flybensin mer kostnadsdyktig, men når det gjelder miljøvern er hydrogen en soleklar vinner. Flybensin (kerosene) viser seg å ha et utslipp på 1,05 kgCO₂ eq/tonn-km, mens hydrogen til kontrast har mellom 0,015-0,2 kgCO₂eq/tonn-km, avhengig av energikilde under hydrogenproduksjon (Bicer, 2017). Et konvensjonelt Boeing 737-900 fly med 177 seter har en nettovekt på omtrent 75 tonn (Airliners, u.å). Med EPAs utslippskostnad på 36 \$/tonn-CO₂ (US Environmental Protection Agency, 2015), vil vi få en merkostnad for et fly med flybensin på 15 654\$, som gir totalt \$33 970. Det vil si at de to alternativene er samfunnsøkonomisk like gunstig. For fly med større kapasitet og vekt vil det være samfunnsøkonomisk gunstigere med hydrogen som drivstoff.

11.4.2 Teknologisk fremgang

DOE har kommet med en rapport hvor de teknologiske fremskrittene frem til 2012 blir presentert. Reduserte kostnader, økt holdbarhet og bedre ytelse i brenselceller er viktige eksempler på teknologiske milepæler. I 2002 var kostnaden for brenselcelle \$275/kW. 10 år senere, i 2012, var denne redusert til \$47/kW, som utgjør en kostnadsreduksjon på 83% (US Department Of Energy F, 2013). Holdbarheten på brenselcellene har blitt oppjustert fra 950 timer i 2006 til 2500 timer i 2012, noe som utgjør en økning på 163%. Dette utgjør en klar produktverdifordel for hydrogenbilprodusentene, der levetiden er betraktelig forbedret. Økning i brenselcellenes ytelse er også signifikant med 25% økning i energitetthet, redusert cellevolum på over 30 % og en 15% reduksjon i vekt fra 2006 til 2012 (US Department Of Energy F, 2013). Disse empiriske faktaene forteller oss at teknologisk fremgang har medført en positiv trend med kostnadsreduksjoner.

11.5 Framtidsscenario

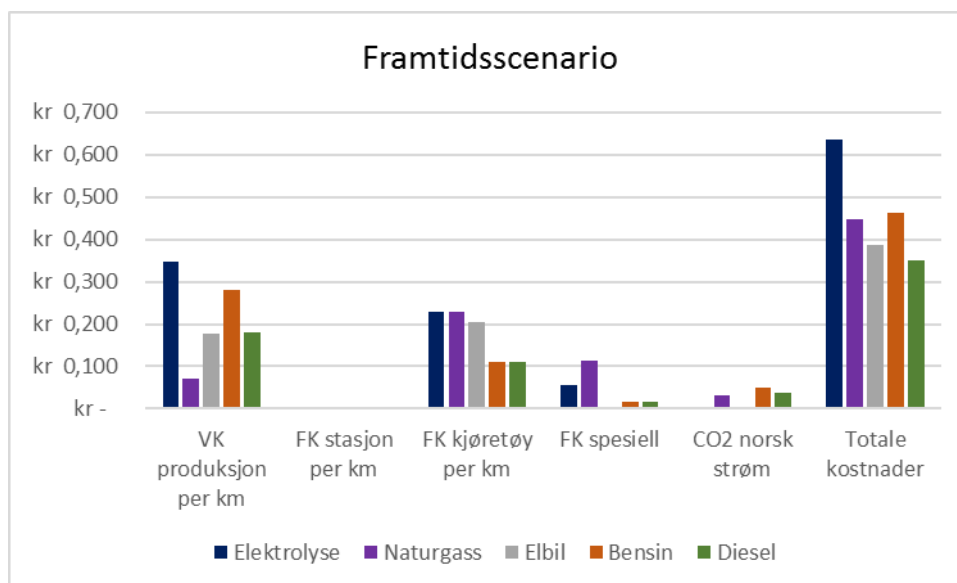
De teknologiske faktorene er altså av avgjørende betydning for hvordan bransjen vil se ut i fremtiden. Dette har vi valgt å belyse ved å se på et framtidsscenario. I sensitivitetsanalysen argumenterte vi for at kostnader knyttet til hydrogenbiler sannsynligvis vil gå ned over tid. Brenselceller koster i dag 61 \$/kW å produsere, mens det i fremtiden kan koste rundt 30 \$/kW (IOP Institute of Physics, u.å) Hydrogentankene koster i dag 1000 EUR/kgH₂ å produsere, mens det innen 2030 kan komme ned i 300 EUR/kgH₂ (Kochhan, 2014). Dersom vi forutsetter at disse kostnadene halveres får vi FK tilknyttet hydrogenbilene på 0,230 kr/km.

Videre i scenarioet tenker vi oss at staten subsidierer og bygger hydrogenstasjoner som også ble beskrevet i kapittelet om sensitiviteter. Til slutt legger vi til grunn kostnadene knyttet til klimagass funnet i miljødelen av PEST-analysen, med et påslag for at kostnaden for CO₂-utslipp i 2025 er estimert til 42 \$/tonn-CO₂, sammenlignet med 36 \$/tonn-CO₂ som ble brukt i PEST-analysen. Da får vi en kalkyle på samfunnskostnader som ser ut som følger:

Framtidsscenario					
	Elektrolyse	Naturgass	Elbil	Bensin	Diesel
VK produksjon	0,347	0,072	0,177	0,281	0,180 kr/km
FK stasjon	-	-	0,005	0,003	0,002 kr/km
FK kjøretøy	0,230	0,230	0,205	0,111	0,111 kr/km
FK spesiell	0,056	0,114	-	0,017	0,017 kr/km
CO2 norsk strøm	0,003	0,030	0,001	0,051	0,039 kr/km
Totale kostnader	0,635	0,446	0,388	0,463	0,349 kr/km

Tabell 31: Framtidsscenario

Vi ser nå at kostnaden for elektrolyseprodusert hydrogen drastisk nærmer seg kostnadene ved fossile brennstoff. Her må vi også huske på at tallene er uten skatter og avgifter. Den klart billigste drivstofftypen er den batteridrevne elbilen som også er mest energieffektiv som vist under produksjonsmessig kWh-forbruk i miljødelen av PEST-analysen. Elbilen har også lavest utslipp av klimaskadelig gasser, sett bort fra utslipp knyttet til produksjon av bilene.



Figur 11: Framtidsscenario

12.0 SWOT

For å oppsummere argumentene vi har funnet i løpet av oppgaven har vi gjort en SWOT-analyse hvor vi sammenfatter styrkene, svakhetene, mulighetene og truslene for elektrolyseprodusert hydrogen.

<p>Styrker</p> <ul style="list-style-type: none"> Miljøpotensiale Fylletid Rekkevidde Lagringsevne Egnet til tungtransport 	<p>Svakheter</p> <ul style="list-style-type: none"> Dyr teknologi Lav energieffektivitet Krav til infrastruktur Knapphet på fornybar energi
<p>Muligheter</p> <ul style="list-style-type: none"> Teknologisk fremgang Krav til bærekraft Renere energi Satsing på tungtransport Voksende marked 	<p>Trusler</p> <ul style="list-style-type: none"> Teknologisk fremgang på batteri Etableringsbarrierer Mangel på kunnskaper rundt komponentenes og systemenes livssyklus Fossile aktørers styrke

Tabell 32: SWOT-matrise

13.0 Konklusjon

Vi har sett på hva som skal til for at elektrolyseprodusert hydrogen skal være konkurransedyktig i Norges transportbransje. For å finne svaret på problemstillingen har vi satt opp kostnadskalkyler for fem forskjellige drivstofftyper. Her har vi vist at slik kostnadsbildet er i dag er elektrolyseprodusert hydrogen betydelig dyrere enn hovedkonkurrentene bensin og diesel. Hovedårsaken til dette er høye produksjonskostnader i hydrogenteknologi, lav energieffektivitet under produksjonen og krav til kostbare fyllestasjoner. Tabell 33 presenterer funnene fra kostnadskalkylene.

Konklusjonstabell						
	Elektrolyse	Naturgass	Elbil	Bensin	Diesel	
VK produksjon	0,347	0,072	0,177	0,281	0,180	kr/km
FK stasjon	0,104	0,104	0,005	0,003	0,002	kr/km
FK kjøretøy	0,460	0,460	0,205	0,111	0,111	kr/km
FK spesiell	0,056	0,114	-	0,017	0,017	kr/km
Totale kostnader	0,967	0,750	0,387	0,412	0,310	kr/km

Tabell 33: Konklusjonstabell

For å kunne si noe om hvordan disse kostnadene kan utvikle seg i fremtiden gjorde vi sensitivitetsanalyser på noen av de viktigste kostnadsdriverne. Her viste det seg tydelig at utviklingen i hydrogenteknologien har en stor påvirkning på totale kostnader, det samme har hvilken levetid man legger til grunn på teknologien og stasjonene, mens utviklingen i strømpriser har en mindre påvirkning på kostnadsforholdene.

Gjennom PEST-analysen har vi funnet at politiske faktorer vil være avgjørende for fremtiden til hydrogen som drivstoff. Forbrukere trenger en god infrastruktur før de vil kjøpe en hydrogenbil. Legges miljømessige kostnader til i kalkylene kommer elektrolyseprodusert hydrogen godt ut i forhold til fossile drivstoff, mens elbilen står frem som miljøvinneren. Her er det noen usikkerhetsmomenter rundt energiregnskapet tilknyttet produksjonen av batteriet, og spesielt utvinningen av litium som kan være noe å studere nærmere for ytterligere forståelse.

Hydrogen produsert gjennom elektrolyse med norsk strøm er et bærekraftig alternativ, mens hydrogen fra naturgass har større utslipp av CO₂. Elbilen har sine begrensninger når det kommer til ladetid, noe som gjør utslag spesielt i tungtransporten. Her kan det være muligheter for hydrogen, og kanskje er det her politikere vil satse på nødvendig infrastruktur som også personbiler kan utnytte.

For at elektrolyseprodusert hydrogen skal bli konkurransedyktig kreves kostnadsbesparelser i teknologien og politisk vilje til å satse fornybart, kanskje spesielt innen tungtransport. Framtidsscenarioet viste oss at dersom disse spådommene inntreffer vil elektrolyseprodusert hydrogen kunne konkurrere med fossile drivstoff, spesielt ved å ta med lokale klimaskader i beregningen. Elbilen står igjen som et naturlig førstevalg for personbiler i fremtiden, kanskje akkompagnert av tyngre hydrogenkjøretøy.

14.0 Bibliografi

- Airliners. (u.å). Hentet fra <http://www.airliners.net/aircraft-data/boeing-737-800900/96>
- ASKO. (2016, April 21). *ASKO*. Hentet fra <https://asko.no/nyhetsarkiv/asko-satser-pa-hydrogenteknologi/>
- Barreto, L. (2003). *The hydrogen economy in the 21st century: a sustainable development scenario*. International Journal of Hydrogen Energy. Hentet fra <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360319902000745>
- Bicer, Y. (2017). *Life cycle evaluation of hydrogen and other potential fuels for aircrafts*. International Journal of Hydrogen Energy. Hentet fra <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360319916336667>
- Brown, L. F. (2001). *A comparative study of fuels for on-board hydrogen production for fuel-cell-powered automobiles*. International Journal of Hydrogen Energy. Hentet fra <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360319900000926>
- Byggforsk. (2017, Februar). *byggforsk.no*. Hentet fra https://www.byggforsk.no/dokument/3312/intervaller_for_vedlikehold_og_utskifting_av_bygningsdeler#i2
- California Hydrogen Business Council. (2017). *Hydrogen means business in California*. Hentet fra californiahydrogen.org: <https://www.californiahydrogen.org/>
- Circle K. (u.å). *circlek.no*. Hentet fra http://www.circlek.no/no_NO/pg1334083776953/private/milesDrivstoff/hvabestemmerprisen.html
- Dalløkken, P. E. (2014). *På 12 år har Toyota senket kostnaden på brenselceller med 95 prosent*. tu.no. Hentet fra <https://www.tu.no/artikler/pa-12-ar-har-toyota-senket-kostnaden-pa-brenselceller-med-95-prosent/225027>
- Dalløkken, P. E. (2016, Januar 19). *Nå kommer den første av 20 nye hydrogenstasjoner*. Hentet fra tu.no: <https://www.tu.no/artikler/na-kommer-den-forste-av-20-nye-hydrogenstasjoner/276388>
- Elbilplassen. (2016, August 25). Hentet fra <http://elbilplassen.com/asko-velger-scania-til-hydrogenprosjekt/>
- Europa kommisjonen. (2016, November 30). Hentet fra ec.europa.eu: https://ec.europa.eu/commission/priorities/energy-union-and-climate/proposals-clean-energy-all-europeans_en
- European Commission. (2017, Mars 17). Hentet fra ec.europa.eu: http://ec.europa.eu/environment/circular-economy/index_en.htm
- Evnut. (2011). *evnut.com*. Hentet fra http://evnut.com/gasoline_oil.htm

- FN. (2017, Mars 23). *dn.no*. Hentet fra <http://www.fn.no/Tema/Klima/Klimaforhandlinger/Dette-er-Paris-avtalen>
- Fredheim, V. (2017). Hexagon. *Personlig kommunikasjon*.
- Frydenlund, S. (2016, Desember 27). *Norsk elbilforening*. Hentet fra <http://elbil.no/disse-elbilene-er-det-flest-av-i-norge/>
- Furulund, M. (2017, Mai). Første private hydrogenbileier. *Personlig kommunikasjon*.
- GFOSS. (2015). Hentet fra <https://gfoss.eu/2015/12/02/towards-a-circular-economy/>
- Global Petrol Prices A. (2017). *GlobalPetrolPrices.com*. Hentet fra http://no.globalpetrolprices.com/Norway/gasoline_prices/
- Global Petrol Prices B. (2017). *Diesel prices*. Hentet fra http://no.globalpetrolprices.com/Norway/diesel_prices/
- Hanno, K. v. (2016, Februar 1). *KSBedrift*. Hentet fra <http://www.ksbedrift.no/aktuelt/felles/et-groent-skifte-innebaerer-en-ny-oekonomisk-modell/>
- Haugan, B. (2017, April 26). *Helsefordel ved elbiler: – 47 milliarder kroner*. Hentet fra VG: <http://www.vg.no/nyheter/innenriks/elbil/helsefordel-ved-elbiler-47-milliarder-kroner/a/23980391/>
- Hawkins, A. J. (2017, April 19). *The Verge*. Hentet fra <https://www.theverge.com/2017/4/19/15346364/toyota-hydrogen-fuel-cell-truck-concept-port-of-la>
- Helgesen, V. (2017, Mai 4). Klima- og miljøminister. *Personlig kommunikasjon*.
- Herron, D. (u.å). *greentransportation*. Hentet fra <https://greentransportation.info/ev-charging/energy-transportation/gasoline-costs-6kwh.html>
- IOP Institute of Physics. (u.å). *iop.org*. Hentet fra <http://www.iop.org/resources/topic/archive/fuel/>
- Japan gov. (2016). *Tokyo Aims to Realize “Hydrogen Society” by 2020*. Hentet fra [japan.go.jp: http://www.japan.go.jp/tomodachi/2016/spring2016/tokyo_realize_hydrogen_by_2020.html](http://www.japan.go.jp/tomodachi/2016/spring2016/tokyo_realize_hydrogen_by_2020.html)
- Kapdan, I. K. (2006). *Bio-hydrogen production from waste materials*. *Enzyme and Microbial Technology*. Hentet fra <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0141022905005053>
- Kjensli, B. (2010, Juni 11). *Nordmenn om klima*. Hentet fra [forskning.no: http://forskning.no/klima/2010/06/nordmenn-om-klima](http://forskning.no/klima/2010/06/nordmenn-om-klima)
- Kochhan, R. (2014). *An Overview of Costs for Vehicle Components, Fuels and Greenhouse Gas Emissions*. *ResearchGate.net*. Hentet fra https://www.researchgate.net/publication/260339436_An_Overview_of_Costs_for_Vehicle_Components_Fuels_and_Greenhouse_Gas_Emissions

- Kofstad, P. K. (2017, Mai 9). *Store norske leksikon*. Hentet fra <https://snl.no/hydrogen>
- Kommunal rapport. (2000, Mai 24). *Byer i Norge*. Hentet fra <http://kommunal-rapport.no/byer-i-norge>
- Kothari, R. (2008). *Comparison of environmental and economic aspects of various hydrogen production methods*. Renewable and Sustainable Energy Reviews. Hentet fra <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032106001158>
- Langan, C. (2016, April 26). *Streetinsider.com*. Hentet fra <https://www.streetinsider.com/Analyst+Comments/UBS+Sees+Telsas+%28TSLA%29+Model+3+As+Unprofitable/11540932.html>
- Marbán, G. (2008). *Towards the hydrogen economy?* International Journal of Hydrogen Energy. Hentet fra <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360319906006276>.
- Mekhilef, S. (2012). *Comparative study of different fuel cell technologies*. Renewable and Sustainable Energy Reviews. Hentet fra <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032111004709>
- Melis, A. (2001, November). *Hydrogen Production. Green Algae as a Source of Energy*. American Society of Plant Physiologists. Hentet fra <http://www.plantphysiol.org/content/127/3/740.short>
- Miljødirektoratet. (2016, Mai 26). *Lokal luftforurensning*. Hentet fra <http://www.miljostatus.no/Tema/Luftforurensning/Lokal-luftforurensning/>
- Miljødirektoratet. (2017, Januar 01). *miljostatus.no*. Hentet fra <http://www.miljostatus.no/tema/klima/norske-klimagassutslipp/utslipp-av-klimagasser-fra-transport/>
- Mori, D. (2009). *Recent challenges of hydrogen storage technologies for fuel cell vehicles*. International Journal of Hydrogen Energy. Hentet fra <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360319908009439>
- Nasdaq. (2017). Hentet fra [nasdaqomx.com](http://www.nasdaqomx.com): <http://www.nasdaqomx.com/commodities/market-prices>
- Nel ASA. (2017, Februar 21). *Awarded frame contract for multiple hydrogen fueling stations in California by Royal Dutch Shell Plc*. Hentet fra nelhydrogen.com: http://nelhydrogen.com/cision_post/nel-asa-awarded-frame-contract-for-multiple-hydrogen-fueling-stations-in-california-by-royal-dutch-shell-plc/
- Nel Hydrogen. (2017). *nelhydrogen.com*. Hentet fra http://nelhydrogen.com/assets/uploads/2017/01/Nel_Electrolyser_brochure.pdf
- Nikola. (u.å). *Nikola One*. Hentet fra <https://nikolamotor.com/one>

- Norges vassdrags- og energidirektorat (NVE). (2015, Juni 11). *nve.no*. Hentet fra <https://www.nve.no/energibruk-og-effektivisering/energibruk-i-norge/>
- Norsk Petroleumsinstitutt. (2016, Juli 22). *np.no*. Hentet fra <http://www.np.no/aktuelle-saker/bensinstasjonsstatistikken-for-2015-article1021-140.html>
- Notter, D. A. (2010, August 9). *Environmental Science & Technology*. Hentet fra [acs.org: http://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/es903729a](http://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/es903729a)
- NTB. (2016, November 29). *tu.no*. Hentet fra <https://www.tu.no/artikler/norge-sakker-akterut-pa-fornybar-energi/365517>
- NVE. (2016, Juni 8). *nve.no*. Hentet fra <https://www.nve.no/energibruk-og-effektivisering/energibruk-i-norge/utvikling-i-transportsektoren/>
- Offer, G. (2010). *Comparative analysis of battery electric, hydrogen fuel cell and hybrid vehicles in a future sustainable road transport system*. *Energy Policy*. Hentet fra <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301421509006260>
- Olje- og energidepartementet. (2014, Desember 08). *regjeringen.no*. Hentet fra <https://www.regjeringen.no/no/tema/energi/fornybar-energi/fornybar-energiproduksjon-i-norge>
- Ono, K. (2017). *Identification of public acceptance factors with risk perception scales on hydrogen fueling stations in Japan*. *International Journal of Hydrogen Energy*. Hentet fra <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360319917308819#bib4>
- Opensecrets. (2017). *Energy & Natural Resources*. Hentet fra [Opensecrets.org: https://www.opensecrets.org/lobby/indus.php?id=E&year=2017](https://www.opensecrets.org/lobby/indus.php?id=E&year=2017)
- Oslo Kommune. (2017, Januar 1). *oslo.kommune.no*. Hentet fra <https://www.oslo.kommune.no/vann-og-avlop/priser-og-beregning/vann-og-avlopsgebyrer/>
- Proxll. (2015). *Ladestasjoner for elbil*. Hentet fra http://wpstatic.idium.no/proxll.no/2015/10/15_10_Ladestasjoner_brosjyre.pdf
- Qnovo. (2016, Januar 11). *qnovo.com*. Hentet fra <https://qnovo.com/82-the-cost-components-of-a-battery/>
- Qvale, P. (2015, Juni 26). *Så mye taper staten på elbil-fordelene*. Hentet fra [tu.no: https://www.tu.no/artikler/sa-mye-taper-staten-pa-elbil-fordelene/223844](https://www.tu.no/artikler/sa-mye-taper-staten-pa-elbil-fordelene/223844)
- Regjeringen. (2014, November 18). *regjeringen.no*. Hentet fra <https://www.regjeringen.no/no/tema/klima-og-miljo/klima/innsiktsartikler-klima/klimaforliket/id2076645/>
- Roos, G. (2013). *Strategi -en innføring*. Fagbokforlaget.
- Rosoff, M. (2011, Oktober 26). *Refining Gas Uses More Electricity Than Electric Cars*. Hentet fra [Business Insider: http://www.businessinsider.com/elon-](http://www.businessinsider.com/elon-)

musk-and-chris-paine-explain-how-the-electric-car-got-its-revenge-2011-10?r=US&IR=T

- Sanitthangkul, J. (2012). *Factors Affecting Consumer Attitude toward the Use of Eco-car Vehicles*. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*. Hentet fra <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877042812006830>
- Simonsen, B. (2017, Februar). Nel Hydrogen. *Personlig kommunikasjon*.
- Smith, W. (2000). *The role of fuel cells in energy storage*. *Journal of Power Sources*. Hentet fra <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378775399004851>
- Statistisk sentralbyrå A. (2017, Mars 28). *ssb.no*. Hentet fra <https://www.ssb.no/transport-og-reiseliv/statistikker/bilreg/aar/2017-03-28>
- Statistisk sentralbyrå B. (2017, Februar 24). *ssb.no*. Hentet fra <https://ssb.no/energi-og-industri/statistikker/elkraftpris/kvartal/2017-02-24>
- Statistisk sentralbyrå C. (2016, April 22). *Kjørelengder, 2015*. Hentet fra *ssb.no*: <https://www.ssb.no/transport-og-reiseliv/statistikker/klreg/aar/2016-04-22>
- Statistisk sentralbyrå D. (2017, Mars 28). *Registrerte kjøretøy, 2016*. Hentet fra *ssb.no*: <https://www.ssb.no/bilreg/>
- Statistisk sentralbyrå E. (2016, April 5). *Sal av petroleumsprodukt, 2015, endeleg tal*. Hentet fra *ssb.no*: <https://www.ssb.no/energi-og-industri/statistikker/petroleumsalg/aar/2016-04-05>
- Statistisk sentralbyrå F. (2016, Mars 30). *Registrerte kjøretøy, 2015*. Hentet fra *ssb.no*: <https://www.ssb.no/transport-og-reiseliv/statistikker/bilreg/aar/2016-03-30>
- Statoil. (u.å). Hentet fra *statoil.com*: <https://www.statoil.com/no/what-we-do/new-energy-solutions.html>
- Strand, C. B. (2017, April). Proxll. *Personlig kommunikasjon*.
- SunEarthTools. (u.å). *CO2 emissions*. Hentet fra https://www.sunearthtools.com/tools/CO2-emissions-calculator.php#txtCO2_5
- Sviland, E. (2017, April). Hafslund Nett AS. *Personlig kommunikasjon*. (M. Høiberg, Intervjuer)
- TDN Finans. (2016, April 1). *Dagens Næringsliv*. Hentet fra <http://www.dn.no/nyheter/energi/2016/04/01/1002/DiaGenic/ny-hydrogenstasjon-i-sandvika>
- TEMPO. (u.å). *transportmiljo.no*. Hentet fra <http://www.transportmiljo.no/tema/nokkeltall/vei/>

- Thomas, C. (2009). *Fuel cell and battery electric vehicles compared*. International Journal of Hydrogen Energy. Hentet fra <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360319909008696>
- Toyota. (2016). *Mirai Product Information*. Hentet fra file:///C:/Users/s235876/Downloads/2016_Mirai_Product_Information.pdf
- Toyota A. (u.å). *Fueling the Toyota Mirai*. Hentet fra https://ssl.toyota.com/mirai/Mirai_Fueling.pdf
- Toyota B. (u.å). *toyota.no*. Hentet fra <https://www.toyota.no/new-cars/avensis/index/specs>
- Transportøkonomisk institutt. (2012). *Indikatorer for miljøvennlig bytransport i Norge – sammenhenger og sammenligninger*. TØI. Hentet fra <https://www.toi.no/getfile.php?mmfileid=25337>
- Transportøkonomisk institutt. (2015). *Klimagasseffekt ved ulike tiltak og virkemidler i samferdselssektoren - transportmodellberegninger*. TØI. Hentet fra <https://www.toi.no/getfile.php?mmfileid=41199>
- Transportøkonomisk institutt. (2016, Desember 5). *Innfasing av rene kjøretøy kan gi nær halverte utslipp i 2030*. Hentet fra <https://www.toi.no/transportmodeller/innfasing-av-rene-kjoretoy-kan-gi-nar-halverte-utslipp-i-2030-article34067-1212.html>
- United Nations. (u.d.). Hentet fra unfccc.int: http://unfccc.int/kyoto_protocol/background/items/2880.php
- Universitetet i Oslo. (2015). Hentet fra http://www.uio.no/studier/emner/matnat/kjemi/KJM3800/eksamensoppgaver/kjm3800_bokmal_h15_fasit.pdf
- US Department of Energy A. (u.å). *Energy.gov*. Hentet fra <https://energy.gov/eere/fuelcells/high-pressure-hydrogen-tank-testing>
- US Department of Energy B. (u.å). *fueleconomy.gov*. Hentet fra http://www.fueleconomy.gov/feg/fcv_sbs.shtml
- US Department of Energy C. (u.å). *energy.gov*. Hentet fra <https://energy.gov/eere/fuelcells/hydrogen-production-natural-gas-reforming>
- US Department Of Energy D. (2015). *Hydrogen and Fuel Cells Program*. Hentet fra [energy.gov: https://www.hydrogen.energy.gov/h2a_production.html](https://www.hydrogen.energy.gov/h2a_production.html)
- US Department Of Energy E. (u.å). *fueleconomy.gov*. Hentet fra <https://www.fueleconomy.gov/feg/Find.do?action=sbs&id=38171&id=38428>
- US Department Of Energy F. (2013, Mars). *Progress and Accomplishments in Hydrogen and Fuel Cells*. Hentet fra <https://www1.eere.energy.gov/hydrogenandfuelcells/pdfs/accomplishments.pdf>

- US Environmental Protection Agency. (2015). *Social Cost Carbon*. Hentet fra https://www.epa.gov/sites/production/files/2016-12/documents/social_cost_of_carbon_fact_sheet.pdf
- US Environmental Protection Agency A. (2017, April 14). *United States Environmental Protection Agency*. Hentet fra <https://www.epa.gov/ghgemissions/overview-greenhouse-gases>
- US Environmental Protection Agency B. (2017, Februar 14). *Understanding Global Warming Potentials*. Hentet fra EPA: <https://www.epa.gov/ghgemissions/understanding-global-warming-potentials>
- Ward, J. (u.å). *How much electricity is used refine a gallon of Gasoline?* Hentet fra USDOE: <http://gatewayev.org/how-much-electricity-is-used-refine-a-gallon-of-gasoline>
- Williams, R. (u.å). *Estimates of Hydrogen Production Potential and Costs from California Landfills*. University of California. Hentet fra <http://biomass.ucdavis.edu/files/2013/09/09-20-2013-05-13-2013-2007-cbc-ca-lfg-h2-berlin-poster.pdf>
- X-rates. (2017, Januar 20). *x-rates.com*. Hentet fra <http://www.x-rates.com/graph/?from=USD&to=NOK&amount=1>
- Zeng, K. (2011). *Recent progress in alkaline water electrolysis for hydrogen production and applications*. *Progress in Energy and Combustion Science*. Hentet fra <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360128509000598>