

MODENHETSNIVÅET TIL KJØRETØY- OG FARTØYTEKNOLOGIER FOR ALTERNATIVE DRIVSTOFF/ENERGIBÆRERE





Forord

På oppdrag for Samferdselsdepartementet har Menon Economics utarbeidet en en kort beskrivelse av modenheten for transportmidler som benytter elektrisitet, hydrogen, biodrivstoff og natur- og biogass. Vi skiller mellom personbil, buss, varetransport på vei, ferge og hurtigbåt og annen sjøtransport.

Prosjektet har vært ledet av Annegrete Bruvoll, med Øyvind Nystad Handberg og Christian Grorud ved Weightless Values, som prosjektmedarbeidere. Magnus Gulbrandsen har vært kvalitetssikrer.

Vi takker Samferdselsdepartementet og kontaktperson Arnhild Wartainen for et interessant oppdrag. Forfatterne står ansvarlig for alt innhold i rapporten.

Desember 2018

Annegrete Bruvoll

Prosjektleder

Menon Economics

Innhold

1	INNLEDNING OG SAMMENDRAG	1
2	LANDTRANSPORT	3
2.1	Personbiler	3
2.2	Varebiler	6
2.3	By- og regionbusser	6
2.4	Tungtransport	8
3	SJØTRANSPORT	10
3.1	Innenriks passasjertrafikk	10
3.2	Annen innenriks skipstrafikk	11
4	REFERANSER	13

1 Innledning og sammendrag

Dette notatet gir en kort beskrivelse av modenheten for transportmidler som benytter alternative energibærere/drivstoff: elektrisitet, hydrogen, biodrivstoff og natur- og biogass, og mulig utvikling fram mot 2025 og 2030. Vi skiller mellom personbil, buss, varetransport på vei, ferge og hurtigbåt og annen sjøtransport.

Med grader av teknologisk modenhet følger vanligvis teknologier fra grunnforskningsstadiet til teknologier som har vist seg funksjonsdyktig og kommersielt berettiget i ett eller flere markedssegmenter.¹ Vi skiller i omtalen mellom teknologier som er teknologisk modne, men ikke er konkurransedyktige (eller som bare er konkurransedyktige i små markedssegmenter) og teknologier som er teknologisk og konkurransemessig modne.² Relevant økonomisk modenhet for norske forhold må ses i lys av norske priser, støtteordninger og avgifter.

Tabell 1.1 oppsummerer hovedtrekkene i hva litteraturen indikerer om modenheten for hver energibærer for hvert transportmiddel. Lade- og fyllinfrastruktur omtales der det er spesielt relevant. Resonnementene bak oppsummeringen er utdypet i kapittel 2 og 3. Det er naturligvis stor usikkerhet knyttet til framskrivninger og oversikten må forstås som «best guesses», gitt informasjonen som foreligger.

¹ https://ec.europa.eu/research/participants/data/ref/h2020/wp/2014_2015/annexes/h2020-wp1415-annex-g-trl_en.pdf

² *Teknologi i praktisk bruk vil imidlertid sjelden kunne forstås som «ferdig modnet», ettersom de videreutvikles og forfines helt til de evt. er utkonkurrert. Produksjonsmetoder kan også utvikles, og effektene av industriell volum-produksjon kan gi betydelige kostnadsreduksjoner som fører til en mer omfattende markeds-penetrasjon.*

Tabell 1.1 Modenhet i dag og fram mot 2025/2030: alternative drivstoffteknologier for ulike transportmidler

Transport-middel	Elektrisitet	Hydrogen	Flytende biodrivstoff	Biogass (CBG, LBG) og naturgass (CNG, LNG)
Personbil	Voksende modellutvalg for korte og medium distanser. Med forventet synkende batteripriser vil både modellutvalg og rekkevidde bli større.	Brenselceller tilgjengelige for personbilssegmentet, men ikke konkurransedyktig. Noen få bilmodeller er tilgjengelige. På kjøretøysiden er brenselcellenes kostnad, ytelse og robusthet det mest utfordrende, i tillegg til manglende fyllinfrastruktur. Videre kostnadsreduksjoner for brenselceller vil gi lavere priser og større modellutvalg. Energitalene i leddene fra hydrogenproduksjon til konvertering til elektrisitet representerer en merkostnad sammenlignet med batterielektrisk drift.	Bensin- og dieselekvivalente, flytende biodrivstoff kan i hovedsak benyttes som bensin og diesel. Stort og mangfoldig tilbud av kjøretøy. Ingen vesentlige teknologi- eller markedsbegrensninger på kjøretøysiden. Innblandingspotensialet er vesentlig større enn produksjonen av avansert biodrivstoff.	Ikke vurdert her. Lite egnet for lette kjøretøy fordi risikoen for metan-lekkasjer er utfordrende å håndtere for små motorer. Ingen formelle hindringer for bruk av metangasser til drift av lette kjøretøy per i dag, men rimelig å anta at bruken likevel vil avgrenses til tyngre kjøretøy i 2025/2030.
Varebil	Som for personbiler. Utvalget av bilmodeller har vært lite, men er nå økende.	Samme tekniske forutsetninger som for personbiler, men produsent- og brukerpreferanser kan gi svakere vekst i modellutvalget.	Som for personbiler. Ingen vesentlige teknologi- eller markedsbegrensninger på kjøretøysiden.	
Bybuss	Nær teknologisk modent og konkurransedyktig. Kjøreledning i særlig egnede områder.	Flere brenselcellebusser i demonstrasjons-drift. Ytterligere prisnedgang viktig for større markedspenetrasjon. Hydrogen-tanker er rimeligere enn batterier og fylles vesentlig raskere, hvilket er viktig på lange distanser. Rimelig å vente større modellutvalg og lavere priser mot 2030.	Som over. Ingen vesentlige teknologi- eller markedsbegrensninger på kjøretøysiden.	Teknologisk modent i dag, men ikke konkurransedyktig ifht diesel og biodiesel. Rimelig å anta at operatørene blir stadig mer oppmerksomme på metanlekkasjer fra alle ledd i verdikjedene. For øvrig ingen vesentlige teknologi- eller markedsbegrensninger på kjøretøysiden.
Regionbuss	Ikke testet i større skala. Kan nå teknologisk og økonomisk modenhet innen 2030.			
Tungtransport	Ladehastighet, batterikapasitet og -pris viktigere enn for bybussene. Rimelig å anta større modellutvalg og lavere kjøretøypriiser i 2025 og 2030.	Kjøretøy tilbys fra noen produsenter. Noen kilder anslår teknologisk modenhet i 2030. Utfordringene for trekkvogner bortimot identiske som for busser, og det kan ventes større modellutvalg og lavere priser mot 2030.		
Innenriks sjøfart	Batterielektrisk drift teknologisk moden og nær konkurransedyktig for korte distanser (mulighet for hyppig lading). Driftsmønster, anløpslokaliteter og avstand/tid mellom anløp mest bestemmende for konkurranse-dyktighet.	Fartøysteknologi basert på brenselceller ikke teknologisk moden i dag, men med tilpasninger og videre utvikling kan dette skje forholdsvis raskt. Størst mulighet for konkurranse med batterielektrisk drift på større distanser, men utviklingen avhengig av (forventet) pris og tilgjengelighet på hydrogen.	FAME kan i dag benyttes opp til 7 prosent innblanding. HVO kan være fullverdig erstatning, men tilbudet av HVO er lavt og prisene er høye.	CBG/CNG egnet for motorer med kort driftstid. LBG/LNG for store motorer med høy brukstid pga skalafordeler.

2 Landtransport

Kjøretøy som benytter diesel- og bensinkompatible biodrivstoff-typer er om lag like modne, teknologisk sett, som kjøretøyparken for øvrig. Utvalget av elektriske kjøretøy er stort og voksende. Batteriprisene synker, samtidig som egenskapene blir bedre. Modellutvalget er størst i personbil-segmentet. I varebil-segmentet er utvalget mindre, noe som antagelig skyldes dels fabrikantenes prioriteringer av utviklings-ressurser, dels mindre etterspørsel og omsetningspotensial i dette segmentet. Brenselcelleteknologien er moden i den betydning at den er utprøvd over lang tid, og i Japan er det anslagsvis i underkant av 3000 brenselcellebiler i drift. Brenselcelle-prisene er på vei ned, men på dagens nivå må hydrogenprisen være tilsvarende lav for at slike kjøretøy skal være attraktive i det norske markedet.

For bybusser er både batteridrift og gassmotorer teknologisk modne, men sammenlignet med dieselmotorer er de ikke konkurransedyktige uten støtte. Framover mot 2030 forventes batteridrift å være mest fordelaktig.

For regionbusser og tungtransport tilbys kjøretøy som kan benytte biogass og flytende biodrivstoff, men markedene er ikke tilstrekkelig utviklet. Batteridrift kan bli aktuelt i disse segmentene, gitt at batteriene får tilstrekkelig ladekapasitet og konkurransedyktig pris. Brenselcellekostnadene faller stadig, og innenfor tung-/langtransport kan det særlig forventes økt tilbud av kjøretøy i det internasjonale markedet.

2.1 Personbiler

Elektriske personbiler er en relativt moden teknologi. En barriere har vært høye batteri-kostnader, men prisene har falt dramatisk de siste årene samtidig som produksjonsvolumene har økt (se for eksempel IEA 2018b).

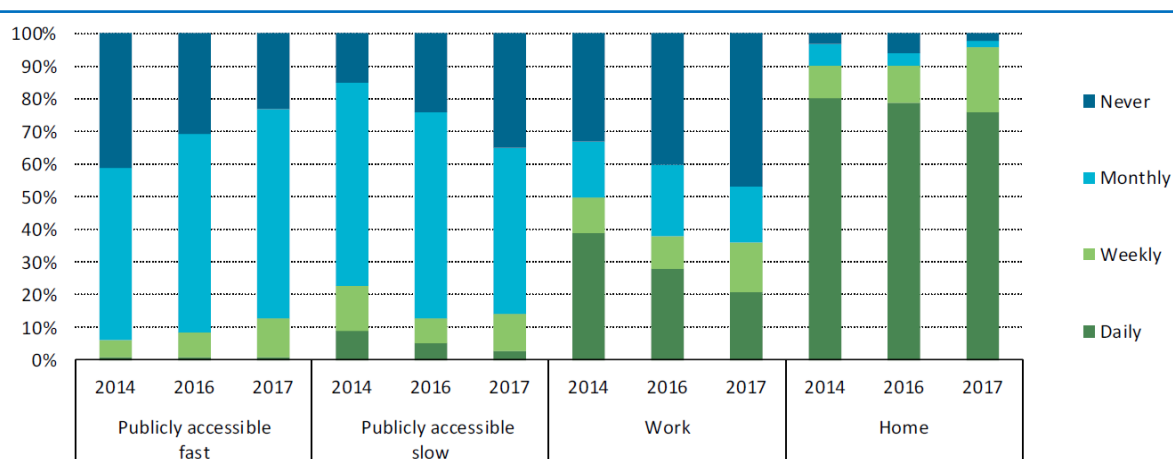
Anslag på kostnadsutviklingen tilsier vesentlige reduksjoner i kostnadene for batteriteknologiene fram til 2030 (Miljødirektoratet 2018), der for eksempel Bloomberg anslår et fall på 67 prosent.³ Dette begrunnes dels med teknologisk modning, og dels som følge av ytterligere skala-fordeler i industriell produksjon. Dette er viktige forutsetninger for videre fremvekst av alle typer elektriske transportmidler. Videre forventes fornybarandelen i elektrisitetsproduksjonen å vokse i verdens energisystemer (IEA 2017a). I takt med denne utviklingen blir det også økende behov for lagringskapasitet for å balansere produksjon og forbruk av elektrisk kraft, noe som kan stimulere batteri-utviklingen ytterligere.

En annen barriere har vært *lade-infrastruktur*. IEA (2018a) påpeker at dette er mindre viktig, da eiere av elektriske biler i Norge i hovedsak lader hjemme eller på arbeidet. Som Figur 2.1 viser, foregår omtrent 75 prosent av ladingen i Norge hjemme på daglig basis, mens det lades betydelig sjeldnere på offentlige plasser eller på arbeidet. Hyppigheten av ladninger på arbeidsplassen har gått ned i tidsperioden 2014-2017. Ifølge NVE (2016) har produksjons-, overførings- og distribusjonsanleggene

³ <https://www.bloomberg.com/news/articles/2018-03-22/electric-cars-may-be-cheaper-than-gas-guzzlers-in-seven-years> [02.12.18].

for elektrisk kraft god kapasitet i Norge, slik at forholdene derfor ligger til rette for etablering og utvikling av lade-infrastruktur.

Figur 2.1 Hyppighet av lading på offentlig tilgjengelig hurtig- og saktelading, på arbeidsplassen og hjemme i Norge



Kilde: IEA (2018a), s. 42

Rekkevidden på en lading er også en viktig faktor. Batterikapasiteten er økende (IEA 2018b), og elbilene som leveres har nå markant større rekkevidde enn for noen år siden, opp mot 55 mil.⁴ Større batterikapasitet og tilgjengelige hurtigladedepunkter har ført til at mange elbileiere benytter bilen på lengre turer, på tvers av regioner. Rekkevidden øker og kostnadene reduseres med etableringen av flere ladestasjoner og teknologisk modning av batteriene.

Antallet og andelen elektriske biler er i sterk vekst i Norge, resten av Norden (IEA 2018a) og i verden forøvrig (IEA 2018b). Elbiler anslås å utgjøre 64 prosent av nybilsalget i Norge i 2025, under forutsetning av moderate antagelser om teknologisk utvikling og uendret avgiftsregime.⁵

Subsidier i tilknytning til demonstrasjon og markedsintroduksjon har hatt avgjørende betydning i spredning av teknologien og for utviklingen av ladenettverk. Subsidieomfanget tilsier imidlertid at teknologien ikke er markedsmessig moden, og at det vil ta tid før elbiler er fullt ut konkurransedyktige. IEA (2018a) viser til at indirekte subsidier som reduserer innkjøpsprisen for elbiler vil være viktig driver for å stimulere til en større andel elbiler i personbilparken og for å fremme lade-infrastruktur.

Hydrogen produsert med elektrolyse (basert på fornybar energi) kan erstatte fossile energibærere både i transportsektoren og andre sektorer. IEA (2017b) mener hydrogen har et betydelig potensial både som energibærer og som energilagingsmedium, og at disse funksjonene vil bli stadig viktigere etter hvert som fornybarandelen i energisystemene vokser. Bilene har i dag typisk rekkevidde på 40-55 mil på en tank og fylletid er 3-5 minutter (IEA 2017b). Brenselceller er teknologisk moden, men har ikke blitt tatt i bruk større skala i Norge. Årsaken er høye kostnader. Energitapecene i leddene fra hydrogenproduksjon til konvertering til elektrisitet er en utfordring, i tillegg til vekt, volum og kostnad for brenselceller og tanker.

⁴ I NEDC-standarden, som kan overvurdere distansen: <https://www.naf.no/elbil/elbiler-i-norge/> [29.11.18].

⁵ <https://samferdsel.toi.no/forskning/kan-alle-nye-personbiler-bli-utslippsfrie-i-2025-article33890-2205.html> [27.11.18].

En betydelig utfordring for hydrogen som energibærer i brenselcellebiler er de samlede energitapene i flere ledd (hydrogen-produksjon, komprimering/flytendegjøring/distribusjon, fylling og konvertering til elektrisitet i kjøretøyet vha brenselceller).⁶ Når hydrogen blir produsert med utgangspunkt i elektrisitet betyr dette at hydrogenprisen vil være høyere enn elektrisitetsprisen (per kWh), og denne merkostnaden skal forsvares av lavere investeringskostnader hvis brenselcellebiler skal konkurrere med batteribiler. På kjøretøysiden er brenselcellenes kostnad, ytelse og robusthet (bruksegenskaper over tid) de viktigste utfordringene.⁷

Egenvekten ved hydrogen er svært lav, noe som byr på utfordringer både fordi gasstankene tar mye plass og fordi de må dimensjoneres for høyt trykk. Manglende fyllinfrastruktur er fremdeles en barriere. HYOP stengte sine fire stasjoner høsten 2018, og ifølge Norsk Hydrogenforum er det per november 2018 fem allment tilgjengelige hydrogenstasjoner i drift i Norge. Betingelsene for distribuert produksjon av hydrogen er imidlertid bedre i Norge enn i mange andre land pga. kraftsystemets kapasitet og reguleringsevne (Menon, TØI og DNV GL 2018a).

Flytende biodrivstoff er tilgjengelig i flere kvaliteter, og kan benyttes i mange av dagens konvensjonelle forbrenningsmotorer, men tilbudet og omsetningen er lav. Andelen innblanding som konvensjonelle motorer kan unytte er begrenset, særlig gjelder dette for innblanding av bioetanol. I Norge var innblandingen av biodrivstoff i bensin og konvensjonell diesel til kjøretøy i 2016 på 10 prosent (Fedoryshyn 2017), hovedsakelig konvensjonelt biodrivstoff.

Rambøll (2016) peker på at den viktigste barrieren for biodrivstoff er utfordringer med å øke produksjon og distribusjon, særlig av avansert biodrivstoff (høye produksjonskostnader). EU har innført insentivsystemer og krav som skal bidra til at biodrivstoff blir mer bærekraftig i fremtiden. Dette gir et signal om mulig økning i produksjon og markedsmodning. IEAs prognoser, som er basert på kartlagte investeringsplaner, indikerer imidlertid at den globale produksjonen av avansert biodrivstoff ikke vil bli vesentlig større de neste fem årene (IEA 2018c). Produksjonskapasiteten kan utvikle seg ulikt i forskjellige land/regioner. I Norge utredes flere produksjonsanlegg for avansert biodrivstoff. Statkraft og Södra har besluttet å investere 500 millioner NOK i et demonstrasjonsanlegg for produksjon av avansert biodiesel, med sikte på oppskalering til industriell produksjon i neste fase.

Globalt er det store forskjeller i graden av bruk og politikk for å fremme personbiler drevet av gass, men andelene er lave i Europa (Hu og Green 2011, Kirk m.fl. 2014). Bruk av gass for lette kjøretøy vil ha tilsvarende høne-og-egg problem med utbygging av infrastruktur som for hydrogen.

I det internasjonale markedet tilbys et stort antall lette kjøretøy for drift med naturgass (CNG). I Norge er utbredelsen av CNG-biler i hovedsak begrenset til Rogaland, der infrastrukturen er mest utbygget.

Ettersom metan har svært høy GWP-verdi (28 ganger høyere enn CO₂ per tonn), vil klimaeffekten kunne gå tapt med selv små lekkasjer av naturgass/biogass i ulike deler av verdikjedene⁸. Lekkasjeandelen kan forventes å øke med finmaskede distribusjonsnett, mange og små brukere og

⁶ https://www.greencarreports.com/news/1118284_commentary-electric-car-and-fuel-cell-advocates-should-agree-to-agree

⁷ U.S. Department of Energy's Office of Energy Efficiency and Renewable Energy, <https://www.energy.gov/eere/fuelcells/fuel-cells>

⁸ Lekkasje-temaet er i liten grad problematisert for mindre kjøretøy, men behandles i litteraturen for skipsmotorer, særlig i tilknytning til avveininger mellom utslipp av NOx og metan - ved motordesign og valg av driftsparametere. (SINTEF 2017).

liten andel profesjonelle brukere. Vår vurdering er derfor at biogass og naturgass er best egnet til bruk i tyngre kjøretøy/fartøy (store motorer) som driftes profesjonelt.

2.2 Varebiler

Selv om andelen nullutslippsvarebiler per i dag er relativt beskjeden, er det bevegelse i markedet som tilsier at dette kan endre seg raskt. Nye elektriske varebilmodeller, som Renault Kangoo ZE og Nissan e-NV200, har blitt tatt godt imot og er, gitt dagens subsidier, bedriftsøkonomisk konkurransedyktige til fossile varebiler for enkelte bruksområder.⁹ I perioden juni-oktober 2018 var 4-10 prosent av alle solgte varebiler nullutslippsbiler, i all hovedsak elektriske biler (Opplysningsrådet for veitrafikken OFV¹⁰).

TØI (2018) anslår at **elektriske varebiler** i dag er konkurransedyktige for bybruk sammenlignet med varebiler på diesel. For lengre distanser anslår samme rapport at elektriske varebiler er teknologisk modne i 2020-2025 og økonomisk konkurransedyktige i 2025-2030. **Varebiler på hydrogen** anslås i samme rapport til å bli teknologisk modne i 2025-2030, men ikke konkurransedyktige før etter 2030, gitt at støtteordningene for kjøp og bruk av elbiler er som i dag.

Varebiler kan benytte samme drivstoff og infrastruktur som personbilene, men utgjør under 15 prosent av det samlede bilmarkedet. Tilgjengeligheten på ulike kjøretøyteknologier vil derfor i hovedsak bli bestemt i personbilmarkedet. Varebiler vil imidlertid i mange tilfeller inngå i bedrifters flåteforvaltning, der større innkjøpsbeslutninger og fordelene ved å strømlinjeforme forvaltningsmodellene (stordriftsfordeler) kan bidra til å utsette kjøpsbeslutninger. Samtidig kan større innkjøpere og forvaltere av biler enklere skape systemer for lading, vedlikehold og driftsoppfølging når anskaffelsene er gjennomført.

Miljødirektoratet (2018) anslår at andelen lette varebiler på elektrisitet kan bli 100 prosent i 2026 gitt finansiell støtte fram til 2024. Tilsvarende anslår de at andelen tyngre varebiler på elektrisitet kan bli 100 prosent i 2030.

Varebiler kan benytte ulike former for flytende **biodrivstoff**, på linje med dagens ordinære biler med diesel- og bensinmotorer. Vi antar at **biogass** og **naturgass** vil være mindre aktuelt for lette kjøretøy pga risikoen for metan-lekkasjer. Globalt er det store forskjeller i graden av bruk og politikk for å fremme personbiler drevet av gass, men andelen er lave i Europa (Hu og Green 2011, Kirk m.fl. 2014). I tillegg til teknologiske ulemper vil bruk av gass for lette kjøretøy ha tilsvarende høne-og-egg problem med utbygging av infrastruktur som hydrogen.

2.3 By- og regionbusser

Menon, TØI og DNV GL (2018a) vurderer fem alternative drivstoffteknologier for buss: konvensjonell biodiesel, avansert biodiesel, biogass, hydrogen og elektrisitet. Den teknologiske modenheten for disse, særlig elektrisitet, er ulik for by- og regionbusser.

Rapporten vurderer **elektriske bybusser** til å være nær teknologisk modne per i dag, noe som støttes av EU-prosjektet ZeEUS (2016). Innkjøpsprisen for disse bussene er høyere enn for dieselbusser og det

⁹ www.yrkesbil.no/artikkel.php?aid=50339,

www.tb.no/kjor/biltest/motor/elektrisk-varebil-i-ny-utgave-vi-har-testet-renault-kangoo-z-e/s/5-76-717953 [27.11.18].

¹⁰ www.ofvas.no [27.11.18].

påløper også kostnader for infrastruktur, men driftskostnadene er lavere for elektrisitet enn diesel. Elektrifisering av regionale busser er mer krevende, først og fremst pga ladetiden. Erfaringene med vinterdrift i sub-arktiske forhold, som i Nord-Norge om vinteren, er fremdeles begrenset, men forsøk pågår, blant annet i Tromsø, for å kartlegge utfordringer knyttet til temperatur og føre under slike forhold.

Den teknologiske modenheten og forventninger om reduserte kostnader gjør batteridrift mer konkurransedyktig også for busser og medfører at flere norske byer satser på elektriske busser.¹¹ For regionale ruter er imidlertid batterikapasitet/-pris og ladetid fremdeles en begrensende faktor.

For **hydrogenbusser** ligger begrensningen først og fremst i brenselcellenes kostnader og egenskaper. Flere brenselcellebusser er i demonstrasjonsdrift i Europa og andre steder i verden.¹² Ytterligere prisnedgang er viktig for større markedspenetrasjon. Hydrogentanker er rimeligere enn batterier og fylles vesentlig raskere, hvilket styrker hydrogenbussenes konkurransesituasjon mot batteribusser på lange distanser. Basert på framskrivninger av brenselcelle-kostnadene fra US Department of Energy (2018), antar vi større modellutvalg og lavere kjøretøypriser i 2025 og 2030.

Gitt at det finnes en infrastruktur for fylling av hydrogen (evt ammoniakk), er det ingen vesentlige, tekniske forskjeller mellom by- og regionbusser som benytter hydrogen/brenselceller. Som for hydrogenbiler er manglende fylling-infrastruktur en barriere, med bare fem allment tilgjengelige hydrogenstasjoner i drift i Norge, i tillegg til en egen stasjon dedikert til busser.¹³ Eksempler på leverandører av brenselcellebusser i USA er BAE Systems og New Flyer, og i Europa Solaris og Van Hool (som blant annet leverte fem brenselcellebusser for rutedrift i Oslo 2012).

Busser som kan benytte diesel-ekvivalente, flytende **biodrivstoff** er tilgjengelige allerede i dag, og det er ingen vesentlige, drivstoff-relaterte forskjeller mellom by- og regionbusser.

Busser kan leveres med motor for drift med **naturgass/biogass** i dag, men årskostnadene er høyere enn for diesel og biodiesel (Menon, TØI og DNV GL 2018a). De fleste tyngre kjøretøy som kan benytte gass, er i dag utstyrt med ombygde dieselmotorer. Bifuel-motorer for drift med LNG kan bli mer alminnelig i fremtiden, og er ikke avhengige av full utbygging av infrastruktur for LNG-distribusjon. Kjøretøyteknologiene er for øvrig modne på dette feltet, og det er derfor drivstoffpriser og tilgjengelighet som vil bestemme konkurransedyktigheten for gass til bussdrift i fremtiden. Myndigheter og operatører kan forventes å bli mer oppmerksomme utfordringene knyttet til metanlekkasjer fra alle ledd i verdikjedene for biogass og naturgass. Dette kan begrense antallet tyngre kjøretøymodeller som i praksis blir vurdert for gassdrift, men representerer likevel ingen vesentlige teknologi- eller markedsbegrensninger på kjøretøysiden.

Figur 2.2 gjengir Menon, TØI og DNV GL (2018a) sine vurderinger av bedriftsøkonomiske kostnader per kilometer for ulike drivstoffteknologier for by- og regionbusser i tidsperioden 2018-2030. Kostnadsreduksjonene drives av forventninger om reduserte batterikostnader og kostnader ved ladeinfrastruktur, samt reduserte vedlikeholdskostnader for el- og hydrogenbusser. Ifølge denne

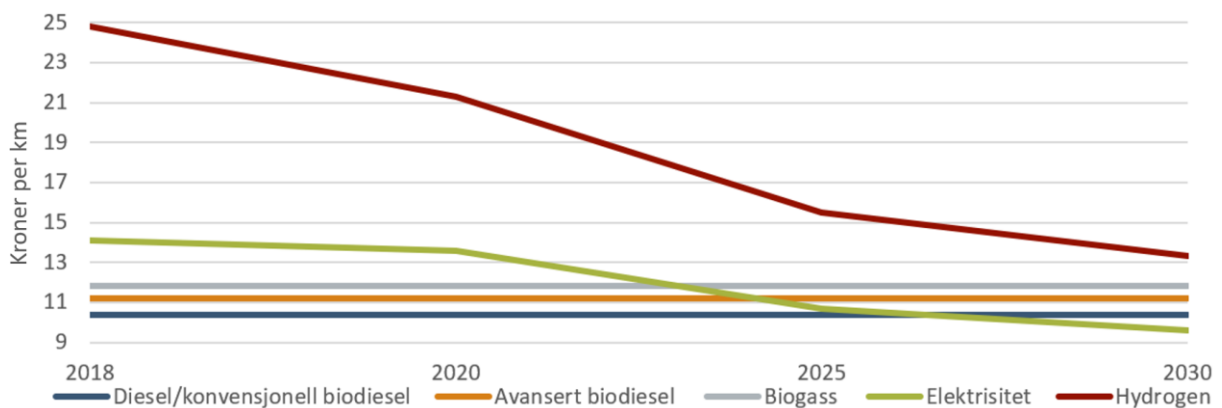
¹¹ F.eks. Oslo og Trondheim: www.tu.no/artikler/oslo-skal-ha-70-elbusser-i-drift-innen-neste-sommer/434747, <https://www.tide.no/i-tide/miljoe-og-teknologi/trondheim-faar-norges-mest-miljoevennlige-bussflaate/> [29.11.18].

¹² <https://www.fuelcellbuses.eu/category/demos-europe>

¹³ <https://www.netinform.net/H2/H2Stations/H2Stations.aspx?Continent=EU&StationID=-1> [05.12.18].

analysen forventes elbusser å bli konkurransedyktige etter 2025. Kostnadene for hydrogenbusser faller også i tidsperioden, men er ventet å fortsatt ha høyest kostnader i 2030.

Figur 2.2 Anslåtte bedriftsøkonomiske kostnader (drift og investering) per km



Kilde: Menon, TØI og DNV GL (2018a)

2.4 Tungtransport

Andelen lastebiler på nullutslippsteknologier er i dag svært lavt i Norge. Miljødirektoratet (2018, s. 7) legger blant annet til grunn at andelen elektriske små og mellomstore lastebiler og trekkvogner er ikke-eksisterende fram til 2022-2023. Det piloterer imidlertid i dag, og aktører som Posten/Bring, Asko og Tine tester nye nullutslippsteknologier.¹⁴

Lastebiler med helt ny teknologi vil leveres til nevnte og elektrisitets- og hydrogenpiloter. I USA har flere produsenter varslet markedsintroduksjon av dedikerte trekkvogner og lastebiler for **elektrisk** drift, blant annet Tesla, Zero truck og Zenith motors.¹⁵

Nikola Corp har lansert Nikola One og Nikola Two, begge for **brenselcelledrift**, og skal være bestilt av flere norske kunder allerede.¹⁶ US Hybrid leverer komplette drivlinjer med brenselceller og hel-elektrisk drift for medium og tunge trekkvogner. Drivlinjer med flere ulike hybrid- og plug-in konfigurasjoner, inkludert noen med brenselceller, er også tilgjengelige.

For elektriske og brenselcelledrevet lastebiler er det altså indikasjoner på at teknologien nærmer seg moden, men at bilene i liten grad er utprøvd. For det norske markedet oppsummerer TØI (2018) at nullutslippsteknologier innen tungtransport ligger bak bussene i teknologisk og økonomisk modenhet. De anslår at kjøretøy for tungtransport på elektrisitet vil være tilgjengelige i 2020-2025 for bybruk og i 2025-2030 for regional bruk over lengre distanser. Brenselcelle-kjøretøy for tungtransport anslås å være teknologisk modne i 2025-2030 og økonomisk konkurransedyktige etter 2030 (TØI 2018).

Med unntak av propan-trucker, samt busser og renholds-biler som benytter biogass, er **gass** lite benyttet for kjøretøydriфт i Norge. Hovedårsaken er antagelig den begrensede infrastrukturen for

¹⁴ <http://www.yrkesbil.no/artikkel.php?aid=47110>; <https://asko.no/nyhetsarkiv/i-front-med-hydrogen/>; <https://www.aftenposten.no/norge/i/w0QR5/Norske-bedrifter-vil-begynne-a-bruke-el-lastebiler>; <https://asko.no/nyhetsarkiv/i-front-med-hydrogen/> [28.11.18]

¹⁵ https://www.tesla.com/no_NO/semi; <http://zerotruck.com/>; <http://www.zenith-motors.com/> [05.12.18].

¹⁶ <http://www.yrkesbil.no/artikkel.php?aid=47110> [28.11.18]

naturgassdistribusjon (deler av Rogaland) og liten produksjon av oppgradert biogass¹⁷. I det internasjonale markedet er tunge kjøretøy med LNG/CNG-motor, inkludert plug-in hybrider og bi-fuel motorer, tilgjengelige fra flere produsenter, blant annet fra Volvo. Bruk av gass i lastebiler framstår altså som teknologisk modent, men ikke konkurransedyktig, og infrastrukturen er ikke utbygget.

Lastebiler har i dag innblanding av **biodiesel** i henhold til omsetningskravet. I tillegg har Posten 51 biler på 30 prosent biodiesel (B30) og har planer om å gå over til HVO for samtlige tusen lastebiler i flåten sin (Rambøll 2016). Biodrivstoff for tungtransport er derfor å regne som teknologisk modent, men har de samme utfordringene som beskrevet for personbiler (delkapittel 2.1). Andre store markedsaktører tester også ut kjøretøy-teknologier.

Innen tungtransport i Norge er det de store markedsaktørene som eier og drifter mesteparten av lastebilparken. Få og store aktører gjør etterspørselsbildet enklere, og aktørene kan i større grad påvirke tilbudet av alternativteknologiene. Det forenkler også utfordringer ved infrastruktur-investeringer, siden det allerede eksisterer en gods- og vedlikehold-infrastruktur, som eksempelvis hydrogen- eller ladestasjoner kan knyttes til og aktørene er store nok til å foreta investeringene.

Miljødirektoratet (2018) anslår at andelen små, mellomstore og store lastebiler på elektrisitet i Norge kan bli henholdsvis 36, 15 og 9 prosent i 2025 og henholdsvis 88, 50 og 27 prosent i 2030. Dette innebærer ikke nødvendigvis at andelene ville vært de samme i fri konkurranse med konvensjonelle lastebiler, ettersom anslagene forutsetter finansiell støtte (samt dagens avgiftsregime).

¹⁷ Biogass inneholder 25 – 50 % CO₂, nitrogen og andre forbindelser. Oppgradering av biogass består i å fjerne disse, slik at gassen blir (nesten) kompatibel med naturgass/metan.

3 Sjøtransport

3.1 Innenriks passasjertrafikk

Det er omtrent 250 hurtigbåter og 140 fergesamband i drift i Norge og disse er i dag i hovedsak driftet av fartøy på Marine Gas Oil (MGO) (Menon, TØI og DNV GL 2018a). Norske skip med batteridrift utgjør ca 35 prosent av de som hittil er bygget i verden. I løpet av tre år vil Norge ha rundt 70 el- og hybridferger (Impello og Menon 2018). For hurtigbåter er alle nevnte alternativer dyrere enn MGO, slik at de ikke er konkurransedyktige innen 2030.

Med korte avstander og hyppige ladinger blir batteriene i batterielektriske kjøretøy/fartøy godt utnyttet. Med voksende avstand og sjeldnere utlading øker batterikostnaden per km. Til sammenligning er det relativt rimelig å lagre hydrogen, mens ulempen ved hydrogen/brenselcelledrift er en høy, spesifikk hydrogenkostnad per km. Denne strukturelle forskjellen mellom batterielektrisk drift og hydrogen/brenselcelledrift kan vedvare selv om batteriene fortsetter å gå ned i pris. Hydrogen er altså mest aktuelt ved lav turnover i energilageret, mens batterier har sin styrke når turnover er høy. Felles for dem er at begge nyter godt av utviklingen innenfor kraftelektronikk og elektriske motorer. Konkurransforholdet vil endres med reduksjoner i kostnadene for de ulike nøkkelkomponentene (batterier, brenselceller og hydrogentanker).

Batteri/elektrisitet har den klart laveste kostnaden for ferger, og ifølge Menon, TØI og DNV GL (2018a) er det eksempler på at batteriferger er bedriftsøkonomisk lønnsomt i dag. Den større utrulling av batteriferger indikerer også dette, selv om viktige drivere for elektrifisering av fergesambandene også er miljøkrav fra Vegvesenet og fylkeskommunene.¹⁸

Menon, TØI og DNV GL (2018a) anslår bedriftsøkonomiske kostnader for å bygge om henholdsvis ferger og hurtigbåter i Norge slik at de kan benytte andre drivstoff enn MGO for årstallene 2018, 2025 og 2030. Kostnaden for **hydrogendrift** er gjennomgående høyest for begge fartøystyper og er ikke vurdert for 2018, da den regnes som for teknologisk umoden per i dag. Rederiet Havila vant nylig (desember 2018) en utviklingskontrakt¹⁹ som innebærer inkluderer utvikling, bygging og drift av en hydrogen-elektrisk ferje hvor minimum 50 prosent av energibehovet dekkes av hydrogen. I dag er det ingen sammenlignbare hydrogendrevne fartøy i drift noe sted i verden. Havila hevder at de skal bruke teknologi som enda ikke er moden.

Det er teknisk mulig å blande inn **biodrivstoff** for eksisterende fartøy DNV GL (2018b). For konvensjonell biodiesel (FAME)²⁰ viser tester at det er mulig med 7 prosent innblanding uten større investeringer eller tekniske vanskeligheter. For avansert biodiesel (HVO) er det mulig å blande inn opptil 100 prosent uten å tilpasse vedlikehold av tank, service og oljeskiftintervaller. For sistnevnte er imidlertid tilgjengelighet og pris en større utfordring. LBG som drivstoffs substitutt for skip som driftes av LNG er teknisk modent, og det er i dag 61 slike skip i norske farvann (DNV GL 2018b).

Fremdriftsmaskinerier for **biogass** og **naturgass** regnes som teknologisk modne i dag (Menon, TØI og DNV GL 2018a). For skipsmotorer i størrelsen 5000 – 15000 kW med høy brukstid (8000 timer/år) gir LNG vesentlig lavere årskostnader enn HFO (Heavy Fuel Oil) (Elgohary m.fl. 2015). Den relative

¹⁸ <https://vegnett.no/2018/04/elektrisk-stemning-til-sjos-na-lonner-det-seg-med-batteri/> [05.12.18].

¹⁹ <https://www.tu.no/artikler/norled-bygger-verdens-forste-hydrogen-ferge/452526>

²⁰ Fettsyremetylester (FAME) er en form for biodiesel.

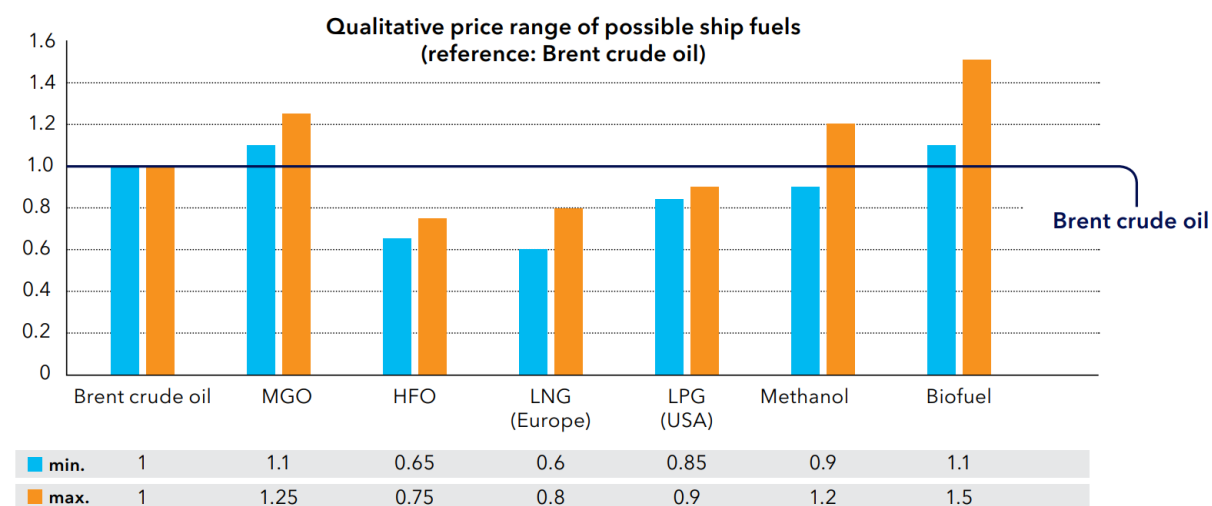
gevinsten er avtagende med mindre motorstørrelse og lavere brukstid, men vi kjenner ikke til beregninger av break even betingelser.

3.2 Annen innenriks skipstrafikk

Som for passasjerskipene, er det få andre skip på alternative drivstoffteknologier per i dag (DNV GL 2018a). DNV GL (2018a, s. 30) vurderer kostnader ved å skifte til ulike drivstoffalternativer i perioden 2018-2030 for ulike skipstyper i Norge. Dette indikerer den teknologiske modenheten til alternativene. Deres anslag viser at kostnadene for å skifte til alternative drivstoffteknologiene gjennomgående er lavest for passasjerskip. Som diskutert ovenfor er særlig elektrifisering relevant for disse skipene.

Ifølge DNV GLs (2018c) anslag på kostnadene for ulike alternative drivstoff for større skip er flytende petroleumsgass (LPG), LNG, metanol og i noen grad **biodrivstoff** er i dag konkurransedyktig med MGO, se Figur 3.1.

Figur 3.1 Drivstoffpriser normalisert rundt prisen på råolje (brent crude)



Kilde: DNV GL (2018c), s. 11.

Figuren viser ikke hydrogen siden kostnaden for hydrogen som drivstoff i dag er langt høyere enn de viste drivstoffene, men DNV GL (2018c, s. 8) fremhever likevel **hydrogen**, sammen med LNG, LPG, metanol og biodrivstoff, som de mest lovende drivstoffalternativene innen shipping. Brenselcellesystemer som er kommersielt tilgjengelige i dag, består av små, modulære enheter som ikke egner seg for store maritime installasjoner. Selv med betydelige prisreduksjoner er batterielektriske skip ikke relevante på lange distanser, og hydrogen/ammoniakk/brenselceller vil antagelig være det mest realistiske nullutslippsalternativet.

DNV GL (2018a) sine beregninger av tiltakskostnader for å skifte til mer miljøvennlig teknologier i norske skip legger til grunn både investering- og driftskostnader, men vi kjenner ikke detaljene i beregningene og grunnlaget. Hydrogen, elektrisitet, ulike biodrivstoff og hybrider vurderes. Kostnadsanslagene presenteres per reduserte tonn CO₂, og kan således ikke gi utvetydige anslag på økonomisk eller teknologisk modenhet. Anslagene viser imidlertid store forskjeller på tvers av teknologier og skipstyper, som reflekterer heterogeniteten i hvilken grad energibærerne er (teknologisk og økonomisk) modne substitutter til fossile drivstoff. Alle kostnader, utenom å øke innblandingen av LBG i LNG (se 3.1), medfører kostnader, som indikerer teknologisk og/eller økonomisk umodenhet per i dag.

DNV GL (2018a) legger til grunn at prisen på hydrogen som energibærer vil falle med 60 prosent fram til 2030, og støtter dermed foregående diskusjoner om rask teknologisk og økonomisk modning i produksjon og distribusjon av denne energibæreren.

Selv om nevnte framskrivninger viser at flere alternative energibærere kan spille en framtidig rolle for annen skipsfart, er usikkerheten stor og det er forskjeller mellom de ulike skipstypene. Det er derfor vanskelig å gi tydeligere anslag.

4 Referanser

- DNV GL. 2018a. Analyse av tiltak for reduksjon av klimagassutslipp fra innenriks skipstrafikk. DNV GL-rapport nr. 0181.
- DNV GL. 2018b. Kunnskapsgrunnlag for omsetningskrav i skipsfart. Miljødirektoratet-rapport nr. 1125.
- DNV GL. 2018c. Assessment of selected alternative fuels and technologies.
- Elgohary, M.M., Seddiek, I.S., Salem, A.M. 2015. Overview of alternative fuels with emphasis on the potential of liquefied natural gas as future marine fuel. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part M: Journal of Engineering for the Maritime Environment, 229(4), 365–375.
- Fedoryshyn, N. 2017. Bruk av biodrivstoff i transport. SSB-artikkel i serien Samferdsel og miljø: www.ssb.no/natur-og-miljo/artikler-og-publikasjoner/bruk-av-biodrivstoff-i-transport
- Hu, H. og Green, R. 2011. Making markets for hydrogen vehicles: Lessons from LPG. International journal of hydrogen energy, 36, 6399-6406.
- IEA. 2017a. Energy Technology Perspectives 2017. Paris: International Energy Agency (IEA).
- IEA. 2017b. Global trends and outlook for hydrogen. Paris: International Energy Agency (IEA).
- IEA. 2018a. NordicEV Outlook 2018: Insights from leaders in electric mobility. Paris: International Energy Agency (IEA).
- IEA. 2018b. Global EV Outlook 2018: Towards cross-modal electrification. Paris: International Energy Agency (IEA).
- IEA. 2018c. Biofuels for transport. Tracking Clean Energy Progress, updated 23 May 2018.
- Impello og Menon. 2018. Effekter av energiforskningen. Prosjekt for NFR, under publisering.
- Kirk, J., Bristow, A.L., Zanni, A.M. 2014. Exploring the market for Compressed Natural Gas light commercial vehicles in the United Kingdom. Transportation Research Part D, 29, 22-31.
- Menon, TØI og DNV GL. 2018a. Klimatiltak innenfor kollektivtransport. Forfattere: Amundsen, A., Bruvoll, A., Fridstrøm, L., Hagman, R., Handberg, Ø.N., m.fl. Menon-publikasjon nr. 79.
- Menon, TØI og DNV GL. 2018b. Fylkeskommunenes klimagassutslipp fra lokale ruter. Forfattere: Eide, M.S., Endresen, Ø., Hagman, R., Mjelde, A., Pedersen, S., m.fl. Menon-publikasjon nr. 22.
- Miljødirektoratet. 2018. Miljøavtale med CO₂-fond: Modellering av kostnader og potensial for utslippsreduksjoner. Forfattere: Molin, D., Haarsaker, V., Rasmussen, Ø.H., Laird, B. M-rapport nr. 1047.
- NVE. 2016. Hva betyr elbiler for strømmettet? Forfattere: Skotland, C.H., Eggum, E. og Spilde, D. NVE-rapport nr. 74.
- Rambøll. 2016. Biodrivstoff i transportsektoren kartlegging av barrierer og kostnader. Forfattere: Berg, H.Ø. Harbo, H.G., Lånke, A.F. Rambøll-rapport nr. 1350016758.
- SINTEF. 2017. GHG and NOx emissions from gas fuelled engines, Report OC2017 F-108.
- TØI. 2018b. Technological maturity level and market introduction timeline of zero-emission heavy-duty

vehicles. Forfattere: Jordbakke, G.N., Amundsen, A., Sundvor, I., Figenbaum, E., Hovi, I.B. TØI report 1655.

U.S. Department of Energy. 2018. Cost Projections of PEM Fuel Cell Systems for Automobiles and Medium-Duty Vehicles, Fuel Cell Technologies Office Webinar April 25, 2018

ZeEUS. 2016. An overview of electric buses in Europe. ZeEUS eBus report.



Menon Economics analyserer økonomiske problemstillinger og gir råd til bedrifter, organisasjoner og myndigheter. Vi er et medarbeidereiet konsultentselskap som opererer i grenseflatene mellom økonomi, politikk og marked. Menon kombinerer samfunns- og bedriftsøkonomisk kompetanse innenfor fagfelt som samfunnsøkonomisk lønnsomhet, verdsetting, nærings- og konkurranseøkonomi, strategi, finans og organisasjonsdesign. Vi benytter forskningsbaserte metoder i våre analyser og jobber tett med ledende akademiske miljøer innenfor de fleste fagfelt. Alle offentlige rapporter fra Menon er tilgjengelige på vår hjemmeside www.menon.no.