



Jernbane-
direktoratet

NULLFIB

DELMÅL 4: HYDROGEN, BIOGASS OG
BIODIESEL

Sammendrag

Norge har frem til 2030 å kutte 45 prosent av klimagassutslippene. Transportsektoren står for 30 prosent av de totale utslippene, og mye må dermed gjøres innenfor denne sektoren frem mot 2030. Den teknologiske utviklingen innenfor løsninger med nullutslipp går derimot svært raskt. Det er derfor et behov for å kartlegge aktuelle nullutslippsløsninger som vil kunne ha en positiv virkning på sektorens utslipp og samtidig gi økonomiske besparelser. Jernbanedirektoratet har derfor gjennomført prosjektet «NULLutslippsløsninger For Ikke-elektrifiserte Baner» (NULLFIB). Hensikten er å utrede tilgjengelige valg for nullutslippsløsninger og gi anbefaling for videre satsning. Dette er delrapport 4 som utreder mulighetene for bruk av hydrogen, biogass og biodiesel som alternativer.

Rapporten skal gi kunnskapsgrunnlag om bruk av hydrogen, biogass og biodiesel som energibærere i jernbanen

Dokumentet skal sammen med delrapport 2 og 3, danne grunnlag for sammenligninger og analyse av ulike aktuelle energibærere i NULLFIB sin hovedrapport.

Dette dokumentet gir også forklaringer og underlag for de tall som er brukt i økonomiske analyser av hydrogen, biogass og biodiesel som energibærere i jernbanen, og det casestudiet som er utført på Nordlandsbanen i tilknytting til NULLFIB.

Dokumentet trekker ingen konklusjoner og gir ikke anbefalinger for valg av teknologi. Sammenligninger av teknologier, konklusjoner og anbefalinger gjøres i NULLFIB sin sluttrapport.

Prosjektnummer: 21007122	Saksnummer: 201900402-7	Revisjon: 00
Utarbeidet av: Geir Vadseth	Kontrollert av: Bjørn Bryne og Per Herman Sørli	Godkjent av: Stephen Oommen

Innhold

1 Historisk utvikling.....	7
1.1 Hydrogen.....	7
1.2 Biogass	7
1.3 Biodiesel	8
2 Hydrogenteknologi	10
2.1 Teknologibeskrivelse.....	10
2.1.1 Kjøretøyets oppbygging	10
2.1.2 Kjøretøyets fremdriftssystem	10
2.1.3 Brenselscellene.....	11
2.1.4 Batteriet.....	12
2.1.5 Lagringstankene i kjøretøyet.....	12
2.2 Hvor langt har forskningen kommet	13
2.3 Tilgjengelighet av teknologi for bruk av hydrogen.....	13
2.4 Prisutvikling, historisk og forventet	14
2.5 Fremtidig perspektiv på utviklingen av hydrogenteknologi.	15
2.6 Hva er forventet utvikling uttalt fra produsenter/kjøretøyprodusenter	15
2.7 Energieffektivitet 'Well to wheel'	15
3 Biogass.....	16
3.1 Teknologibeskrivelse.....	16
3.1.1 Kjøretøyets oppbygging	16
3.1.2 Kjøretøyets fremdriftssystem	16
3.1.3 Lagringstankene i kjøretøyet.....	17
3.2 Hvor langt har forskningen kommet	17
3.3 Tilgjengelighet av teknologi for bruk av biogass	17
3.4 Prisutvikling, historisk og forventet	18
3.5 Fremtidig perspektiv på utviklingen av biogassteknologi.	18
3.6 Hva er forventet utvikling uttalt fra produsenter/kjøretøyprodusenter	19
3.7 Energieffektivitet 'Well to wheel'	19
4 Biodiesel	21
4.1 Teknologibeskrivelse.....	21
4.2 Hvor langt har forskningen kommet	21
4.3 Tilgjengelighet av teknologi for bruk av biodiesel	21
4.4 Prisutvikling, historisk og forventet	22
4.5 Fremtidig perspektiv på utviklingen av biodieselteknologi.....	22
4.6 Hva er forventet utvikling uttalt fra produsenter/kjøretøyprodusenter	23
4.7 Energieffektivitet 'Well to wheel'	24
5 Nå-situasjon for bruk av hydrogen, biogass og biodiesel som energibærer innen transport/anlegg generelt	25
5.1 Erfaringer	25
5.2 Planlagte utvidelser for bruk og tidsperspektiver (anleggsmaskiner, lastebiltransport, ferger og luftfart).....	25
6 Nå-situasjon ved hydrogen, biogass og biodiesel som energibærer innen jernbane.....	27
6.1 Presentasjon av erfaringer ved hydrogendrift	27
6.1.1 Alstom iLint/LNMG.....	27
6.1.2 Railpower/BNSF HH20B	27
6.2 Planer for hydrogendrift	28
6.3 Presentasjon av erfaringer ved biogasdrift.....	29

6.3.1 Amanda/Tekniska Verken	29
6.3.2 Andre prosjekter.....	29
6.4 Planer for biogassdrift.....	29
6.5 Presentasjon av erfaringer ved biodieseldrift.....	29
6.6 Planer for biodieseldrift	30
7 Miljøkonsekvenser ved bruk av hydrogen	31
7.1 Utslipp	31
7.2 Støy	31
7.3 Levetid, gjenbruk/deponering av utstyr.....	32
7.4 HMS ulemper og gevinster	32
8 Miljøkonsekvenser ved bruk av biogass	33
8.1 Utslipp	33
8.2 Støy	33
8.3 Levetid, gjenbruk/deponering av utstyr.....	33
8.4 HMS ulemper og gevinster	34
9 Miljøkonsekvenser ved bruk av biodiesel.....	35
9.1 Utslipp	35
9.2 Støy	35
9.3 Levetid, gjenbruk/deponering av utstyr.....	35
9.4 HMS ulemper og gevinster	35
10 Fyllekonsepter/teknologi for fylling og transport av hydrogen	36
10.1 Fylleanlegg	36
10.2 Oppfyllingshastigheter og kapasitet	37
10.3 Produksjon, kapasitet og tilgjengelighet.	37
10.4 Transport av flytende, gass.	37
10.5 Hva er maksimal rekkevidde, gods, persontog.....	38
10.6 Regenerering av effekt ved motorbremsing.....	38
11 Fyllekonsepter/teknologi for fylling og transport av biogass	39
11.1 Kapasitet i fylleanlegg	39
11.2 Kjøretøyenes fyllekapasitet	39
11.3 Produksjon, kapasitet og tilgjengelighet.	39
11.4 Transport av biogass, flytende, gass.	40
11.5 Hva er maksimal rekkevidde, gods, persontog.....	40
11.6 Regenerering av effekt ved motorbremsing.....	40
12 Fylling og transport av biodiesel.....	41
12.1 Kapasitet i fylleanlegg	41
12.2 Kjøretøyenes fyllekapasitet	41
12.3 Produksjon, kapasitet og tilgjengelighet.	41
12.4 Transport av biodiesel	42
12.5 Hva er maksimal rekkevidde, gods, persontog.....	42
12.6 Regenerering av effekt ved motorbremsing.....	42
13 Begrensninger/barrierer ved bruk av hydrogen som energibærer	43
13.1 Kapasitet for lengre strekninger og hvilke restkapasiteter skal beregnes.....	43
13.2 Klimatiske forhold som kan, og påvirker hydrogendrift.....	43
13.3 Topografiske forhold.....	43
13.4 Konsekvenser for nyttelast ved installasjon av hydrogenteknologi.....	44
14 Begrensninger/barrierer ved bruk av biogass som energibærer.....	45
14.1 Kapasitet for lengre strekninger og hvilke restkapasiteter skal beregnes.....	45

14.2 Klimatiske forhold som kan, og påvirker biogassdrift	45
14.3 Topografiske forhold	45
14.4 Konsekvenser for nyttelast ved installasjon av biogass teknologi	45
15 Begrensninger/barrierer ved bruk av biodiesel som energibærer	46
15.1 Kapasitet for lengre strekninger og hvilke restkapasiteter skal beregnes.....	46
15.2 Klimatiske forhold som kan, og påvirker biodieseldrift.....	46
15.3 Topografiske forhold.....	46
15.4 Konsekvenser for nyttelast ved installasjon av biodieselt teknologi	46
16 Nødvendige forutsetninger/tiltak i infrastrukturtiltak for en overgang til hydrogendrift.....	47
16.1 Fyllanlegg	47
16.2 Tunneler	47
16.3 Tilpassing av verksteder og andre overdekkede områder	49
16.3.1 Verksteder.....	49
16.3.2 Øvrige anlegg	51
16.4 Behov for sikring av områder	51
17 Nødvendige forutsetninger/tiltak i infrastrukturtiltak for en overgang til biogassdrift.....	52
17.1 Fyllanlegg	52
17.2 Tunneler	52
17.3 Tilpassing av verksteder og andre overdekkede områder	53
17.4 Behov for sikring av områder	54
18 Nødvendige forutsetninger/tiltak i infrastrukturtiltak for en overgang til biodieseldrift	55
18.1 Fyllanlegg	55
18.2 Tunnelprofiler.....	55
18.3 Tilpassing av verksteder og andre overdekkede områder	55
18.4 Behov for sikring av områder	55
19 Utvikling av kjøretøyflåten.....	56
19.1 Nye kjøretøy.....	56
19.2 Ombyggingsmuligheter av eksisterende/kommende kjøretøy til alternativ drift.....	56
20 Forurensning og HMS gevinster ved vedlikehold- og byggearbeider i infrastrukturen ved overgang til alternativ drift	57
20.1 Hydrogendrift.....	57
20.2 Biogassdrift	57
20.3 Biodieseldrift	57
21 Sikkerhet og risiko.....	58
21.1 Lover og forskrifter.....	58
21.2 Gassikkerhet	59
21.2.1 Farer ved bruk av gass, flytende og trykksatt:	59
21.2.2 Hydrogenegenskaper sammenlignet med Metan	62
21.2.3 Oppsummering gass sikkerhet	63
21.3 Sikkerhet biodiesel:	64
22 Kostnader for kjøretøy ved drift basert på hydrogen	65
22.1 Investering.....	65
22.2 Drift	66
22.3 Vedlikehold.....	66
23 Kostnader for kjøretøy ved drift basert på biogass	68
23.1 Investering.....	68
23.2 Drift.....	68
23.3 Vedlikehold.....	69

24 Kostnader for kjøretøy ved drift basert på biodiesel.....	70
24.1 Investering.....	70
24.2 Drift.....	70
24.3 Vedlikehold.....	70
25 Kostnader for infrastruktur; Investering, drift og vedlikehold ved drift basert på hydrogen	71
25.1 Investering.....	71
25.1.1 Investering i fylleanlegg.....	71
25.1.2 Investering i verkstedanlegg.....	71
25.1.3 Tilpassing av tunneler	72
25.1.4 Investering i styrket beredskap	74
25.2 Drift og vedlikehold	74
25.2.1 Drift av styrket beredskap.....	75
26 Kostnader for infrastruktur; Investering, drift og vedlikehold ved drift basert på biogass	76
26.1 Investering.....	76
26.1.1 Investering i fylleanlegg.....	76
26.1.2 Investering i verkstedanlegg.....	76
26.1.3 Tilpassing av tunneler	76
26.1.4 Investering i styrket beredskap	76
26.2 Drift og vedlikehold	76
27 Kostnader for infrastruktur; Investering, drift og vedlikehold ved drift basert på biodiesel.....	77
27.1 Investering.....	77
27.2 Drift.....	77
27.3 Vedlikehold.....	77
28 Referanser	78

1 Historisk utvikling

1.1 Hydrogen

Hydrogengass ble første gang kunstig fremstilt og beskrevet av Phillip von Hohenheim 1493-1541, og er siden blitt beskrevet av ulike vitenskapsmenn gjennom 1600 og 1700 tallet før Antoine Lavrent Lavoisier ga det navnet hydrogen i 1738. Hydrogengass (H_2) er det vanligste grunnstoffet i universet, og er den letteste gassen vi kjenner til.

Gassen er svært reaktiv og inngår i en rekke svært vanlig forekommende stoffer slik som vann og alle hydrokarboner.

Teknologi for bruk av hydrogen har vært utviklet over de siste 200 årene. Prinsippet for brenselceller ble første gang beskrevet i 1839, mens den første anvendelsen av brenselceller var i NASAs romfartsprogrammer (Gemini og Apollo). Dette fordi cellene produserer både strøm og rent vann, som reduserte behovet for å bringe med drikkevann til astronautene (1).

Den mest utbredte fremstillingsprosessen for hydrogen i dag er reformering av naturgass.

Vannelektrolyse (vannspalting ved hjelp av strøm) utgjør i dag kun ca. 2% av den globale hydrogenproduksjonen (1).

Vannelektrolyse var dominerende inntil slutten av 1960-tallet, og har vært benyttet i industriell skala i snart 100 år (fra slutten av 1920-tallet av Norsk Hydro) som innsatsfaktor for kunstgjødselproduksjon. Omlag halvparten av alt hydrogen som produseres brukes i ammoniakkproduksjon (1).

Utviklingen av brenselceller for bruk i transportsektoren ble initiert på 1980-tallet. I løpet av 1990-tallet ble en rekke prototyper av busser og biler demonstrert. Flere store bilprodusenter la ned store investeringer i teknologit utvikling, med fokus på kompakte og effektive løsninger, men de brenselcellebilene som disse bilprodusentene erklærte at de skulle serieprodusere i 2003, ble det ikke noe av (1).

Til det var brenselcellene mer enn 10 ganger for dyre, hadde altfor kort levetid og tålte ikke temperaturer under frysepunktet (1).

De påfølgende 10 årene skjedde det imidlertid en utvikling med fokus på levetid og reduserte kostnader, og noen bilprodusenter lanserte senere mindre serier av hydrogenbiler. Enkelte produsenter har fortsatt utviklingen av systemer til transport som har resultert i en rekke prototyper og prøveprosjekter rundt om i verden.

1.2 Biogass

Biogass er en gassblanding som inneholder 50-70vol% metan (CH_4), 30-50vol% karbondioksid (CO_2) og mindre mengder av blant annet vanddamp (H_2O), hydrogensulfid (H_2S) og ammoniakk (NH_3) (2).

Biogass ble først oppdaget på 1600-tallet da det ble observert at gass fra sumper var antenkelige, og at gassen ble produsert ved degradering av organisk materiale. På 1800-tallet ble det oppdaget at biogass kunne brukes som drivstoff, og i 1896 ble biogass brukt i gatelysene i Exeter i England. Videre utover 1900-tallet ble det forsket på å forstå og optimalisere produksjonen (3).

Biogass produseres ved anaerob nedbryting av organisk materiale. Anaerob nedbryting betyr nedbryting av stoffer uten tilgang på oksygen. Eksempler på organisk materiale som kan brukes til å produsere biogass er matavfall, slakteavfall, avløpslam og dyregjødsel. Under 2. verdenskrig var det energimangel i mange av de europeiske landene. Dette skjøyt fart i biogassproduksjonen, spesielt fra dyregjødsel. Senere falt interessen ettersom andre billige energialternativer ble tilgjengelige.

Siden biogass inneholder korrosive stoffer som H₂S og en høy andel CO₂ som ikke har noen energinytte, blir gassen oppgradert før den brukes i transportsektoren. Den oppgraderte gassen har en høy andel metan og dermed et økt energiinnhold. Kvalitetskravet til biogass som drivstoff er på 97vol% metan (4), som gjør biogass tilnærmet ekvivalent med naturgass.

Biogass brukt som drivstoff er mest vanlig for busser, renovasjonsbiler og lastebiler. Norge tok i bruk biogass som drivstoff på tidlig 2000-tallet. I 2010 ble det brukt 0,9 GWh biogass til landtransport. Deretter har bruken økt. I 2018 ble det brukt 210 GWh biogass til landtransport, som var nesten en dobling fra 2017. Ved sammenligning er dette fortsatt mye lavere enn bruken av biodiesel som i 2018 var 3800 GWh (5). Verdens første biogasstog var Amanda som gikk mellom Linköping-Västervik og Linköping-Kalmar i Sverige i perioden 2005-2010. I Europa generelt har det vært få gassrelaterte prosjekter for jernbane, og det er per i dag ingen tog i Norge som går på biogass.

1.3 Biodiesel

Biodiesel ble for første gang presentert som drivstoff i 1900, da Rudolf Diesel viste fram dieselmotoren i World's Fair. Da var biodieselen laget av jordnøttolje. Tanken var at bønder kunne benytte seg av egenlaget drivstoff for maskinene de brukte i forbindelse med jordbruket. Da petroleum diesel ble lett tilgjengelig og billig ble dieselmotoren endret og tilpasset dens egenskaper. Interessen for biodiesel sank betraktelig med unntak av tider hvor det var oljekrise og under 2. verdenskrig. På 1990-tallet begynte interessen å stige igjen (6).

Biodiesel kan produseres fra mange ulike typer råstoff, som definerer hvilken generasjonstype biodieselen er.

Førstegenerasjons biodiesel produseres fra biomasse som også kan brukes til matproduksjon. Den mest vanlige typen er FAME (fatty acid methyl esters) som betyr at biodieselen består av lange metylerte fettsyreester. FAME lages av vegetabiliske oljer som for eksempel rapsolje, solsikkeolje eller palmeolje.

Bruken av FAME i dieselmotorer er knyttet til noen utfordringer (7).

- Lagringstiden er kortere. Stabiliteten av drivstoffet endres ved innblanding av FAME. Dette skyldes endring i kjemisk struktur som fører til at blandingen er mer utsatt for biologisk nedbryting.
- FAME absorberer vann som fører til at bakterier, sopp og gjær kan vokse i tanken.
- FAME har dårligere kuldeegenskaper enn konvensjonell diesel.
- FAME fungerer som løsemiddel, og kan derfor gjøre skade på pakninger.
- Smøreegenskapene til FAME endres over tid, som kan føre til dannelse av voksaktige stoffer som tetter filtre.

Lagring over seks måneder av FAME biodiesel krever at lagringen er luft- og fukt-tett for å forhindre oksidering eller bakterievekst. Alternativ ved behov for lengre lagring er tilsats av stabilisatorer som hindrer disse reaksjoner (1).

Andre generasjons biodiesel (også kalt avansert biodiesel) kan produseres fra en rekke råstoff. Noen eksempler er lignocellulosisk råstoff (landbruksprodukter og skogbruksrester), ikke-spiselige vegetabiliske oljer, resirkulerte oljer (matolje, stekeolje etc.), avfall (fra f.eks. slakteindustrien) og energivekster (vekster som plantes med intensjon om å bli brukt til energiindustrien).

Den vanligste typen er HVO (hydrogenated vegetable oil), hvor oljen har fått flere hydrogenatomer og færre dobbeltbindinger, som fører til økt energitettheten.

Hvis HVO produseres fra råstoff som kan benyttes til matproduksjon er den en 1. generasjons biodiesel.

For HVO biodiesel er anvendelse og lagringsstabilitet identisk med konvensjonell diesel, dvs. tilnærmet ubegrenset.

Tredjegerasjons biodiesel produseres fra algebasert råstoff (mikro- og makroalger). Disse råstoffene får økt oppmerksomhet pga. at de er ikke-spiselige, har høyt oljeinnhold og har rask biomasseproduksjon ved gode vekstbetingelser.

Biodiesel knyttes opp mot et par etiske dilemmaer.

Historisk sett er mesteparten av biodieselen av typen førstegerasjons biodiesel. Dette har vekket mye oppsikt ifm. Food vs. Fuel dilemmaet som går ut på at områder og råstoff som potensielt kan brukes til matproduksjon brukes isteden til drivstoffproduksjon.

I senere tid har andel avansert biodiesel (som ikke har dette etiske dilemmaet knyttet til seg) vokst betraktelig.

Et annet etisk dilemma er bruk av palmeolje til biodieselproduksjon. Bruken av biodiesel i Norge økte kraftig fra 2014 til 2017, før den gikk ned igjen i 2018. I 2018 var 19% av biodieselen brukt i Norge laget fra palmeolje, kontra 46% i 2017. Ca. 1% av biodieselen var i 2018 fra norske råvarer (5) (8).

I 2006 utførte Jernbaneverket en utredning for bruk av biodiesel (FAME) ved jernbane. De konkluderte med at det er mulig å blande inn opptil 50% 1. generasjons biodiesel (FAME) i konvensjonell diesel, så lenge det tas forholdsregler ifm. flytegenskaper til drivstoffet om vinteren og lagringsegenskapene. Biodiesel ble første gang testet ut som drivstoff i tog i 2007 (1).

2 Hydrogenteknologi

2.1 Teknologibeskrivelse

Beskrivelsen av teknologien i avsnittene under baseres på de valg som er gjort for de europeiske kjøretøyene som til nå er bygget eller planlagt. Det kan ikke utelukkes at andre leverandører gjør valg som medfører at beskrivelsene av deres kjøretøy vil være noe annerledes.

2.1.1 Kjøretøyets oppbygging

Kjøretøyet som prototypen for passasjertog, som benyttes i Tyskland er basert på, er i utgangspunktet et ordinært dieseldrevet motorvognsett for passasjertrafikk med en dieselmekanisk drivlinje. Det vil si at kjøretøyet fyller diesel på lagringstanker og har dieselmotorer som er koblet til automatgirkasse som via mellomaksler og fordelingsgirkasser er koblet til akslene. I hydrogentoget er dieseltank, motor og automatgirkasse fjernet. Den ledige plassen (og bæreevne for vekt) etter dieseltanker og motorer er erstattet med et batteri til å mellomlagre energi til fremdriften, under toget, og ledig plass på kjøretøyets tak er utnyttet til å plassere brenselceller og lagringstanker for hydrogen. Automatgirkassen er erstattet med en elektrisk motor som via et reduksjonsgir er koblet til mellomakslene mot boggien¹. Hydrogentoget drives som et batterielektrisk tog, den elektriske traksjonsmotoren i kjøretøyet drives av strøm fra batteriet, og ved normal bremsing vil strøm mates fra elmotoren og tilbake til batteriet (E-brems som på et ordinært elektrisk kjøretøy, bare at strøm mates tilbake til batteri, fremfor tilbake til kontaktledningsanlegget). Batteriet som er satt inn har begrenset kapasitet og trenger derfor lading underveis. Denne ladingen skjer ved at det genereres strøm i brenselcellene ved at hydrogenet fra lagringstankene reagerer med oksygen i luft og danner vann som slippes ut. Brenselcellene henter ut energien fra denne prosessen og overfører denne energien til batteriet i form av strøm som lader batteriet. Energien til å drive kjøretøyet kommer fra det hydrogenet som fylles på kjøretøyet og lagres i tanker som gass under høyt trykk. Disse tankene er plassert på kjøretøyets tak sammen med brenselcellene. Brenselcelle og lagringstank må plasseres på samme vogn, det er ikke vurdert som forsvarlig å la gass under trykk overføres fra en vogn til en annen, da dette er en deformasjonssone ved sammenstøt. Tanker og brenselceller er volumkrevende, på prototypen som er bygget for passasjertog dekkes de meste av tilgjengelig areal av dette utstyret, til tross for at dette er et kjøretøy med relativt store tilgjengelige arealer og relativt lite effektbehov (Sammenlignet med kjøretøy benyttet i Norge).

2.1.2 Kjøretøyets fremdriftssystem

Kjøretøyets fremdriftssystem omtales gjerne som kjøretøyets traksjonssystem. Det er for disse kjøretøyene som nevnt elektriske motorer, drevet av et batteri, som lades av hydrogendrevne brenselceller som henter hydrogen fra trykksatte lagringstanker. Det kan derved sies at traksjonssystemet er et elektrisk batteritog med en hydrogendrevet batterilader. Kjøretøyets fremdrift er styrt uavhengig av brenselcellene. Kjøretøyet kan ved behov ta ut større effekter fra batteriene enn hva brenselcellene kan levere av strøm til lading, så lenge det er for kortere perioder og at gjennomsnittseffekten holdes lavere enn brenselcellenes maksimale kapasitet.

Siden toget i både er et batteritog og et hydrogentog, så kan traksjonssystemet bygges med elektrisk brems som gjenvinner bremseenergi inntil et visst nivå ved normal bremsing. Alle moderne elektriske tog har slike systemer, (bortsett fra at det i tog drevet av kontaktledning tilbakemates strøm til kontaktledningsanlegget og ikke til et batteri). Slike gjenvinningssystemer er gunstige for

¹ Ett seriebygd hydrogenkjøretøy vil ha en noe annen oppbygging der de elektriske motorene plasseres i boggiene og driver akslene direkte eller via en girkasse. Mellomaksler og fordelingsgirkasser kan dermed unngås.

togets virkningsgrad og bidrar til å holde det totale energiforbruket nede på kjøretøy som har denne type systemer

Ut ifra de prototyper av tog med hydrogen som energibærer som finnes i dag klarer kjøretøyet samlet å gi en utnyttelse av omkring 55% av den energien som finnes i drivstoffet til fremdrift av kjøretøyet (9). Resten omdannes til varme å må regnes som tap med mindre det finnes systemer for å utnytte det til oppvarming av kjøretøyet. Til sammenligning vil kjøretøy basert på diesel som energibærer klare å utnytte omkring 26-34%, kjøretøy basert på tilførsel av energi fra kontaktledning omkring 85 % og kjøretøy med batterier som energibærer forventes å kunne klare å utnytte omkring 80 %.

Traksjonssystemer for hydrogen kjøretøy konfigureres og optimaliseres for å passe til den bruk og de forhold kjøretøyet skal opereres under. Prototypene som er bygget så langt er konfigurert for drift som lokaltog i et helt flatt og relativt ruralt område, med moderate vinterforhold på en bane som gir en relativt lav gjennomsnittshastighet. For drift under vesentlig annerledes forhold enn dette må kjøretøyets konfigurering med hensyn på traksjonseffekt, batteristørrelse, brenselcellens kapasitet, og lagringstankenes størrelse vurderes, og tilpasses de aktuelle forhold.

2.1.3 Brenselcellene

Det finnes ulike typer brenselceller, som har ulike kvaliteter med tanke på levetid, virkningsgrad og effekter. Til bruk i tog har man til nå valgt å benytte brenselceller som opererer på en relativt lav driftstemperatur, (65 °C). Det er ikke denne type celler som gir størst effekt pr kg utstyr eller høyest virkningsgrad, men den er valgt med bakgrunn i at typene med lav driftstemperatur anses som noe mer robuste og gir en lengere levetid på brenselcellenes membraner (9). Per i dag forventes det en levetid på omkring 15000 driftstimer for brenselceller for bruk i tog før de må overhales. Overhaling av brenselceller omfatter bytte av membraner i edle og kostbare metaller. Dette gir en levetid på omkring 4- 5år mellom hver gang det må utføres tyngre vedlikehold på brenselcellene. Pr i dag forventes det at vedlikeholdet av brenselceller til tog vil være noe mer kostbart enn vedlikehold knyttet til dieselmotorer til tog. Dette kan imidlertid forandre seg dersom brenselceller blir en mer allment tilgjengelig og vanlig teknologi, eller det skjer teknisk utvikling som bidrar til forbedringer i forventet levetid, eller rimeligere materialer kan benyttes i brenselcellenes membraner. Pr i dag er imidlertid vedlikehold av brenselceller til tog et marginalt marked, preget av sterke monopoliserende krefter som følge av at teknologien er så lite utbredt. Det forventes at dette vil fortsette å være tilfellet med mindre bruken av brenselceller forandrer seg dramatisk.

Brenselcellenes effektivitet er sterkt påvirket av belastning og driftsforhold. I utstyret som finnes i dag er det derfor valgt å styre brenselcellene ut ifra hva som er optimal belastning for brenselcellene, fremfor å styre det ut ifra hvilket behov for kraft toget har i sin drift. Dette er gjort både for å få opp systemets virkningsgrad, men også for å sikre lengst mulig levetid på brenselcellene. For å kunne frikoble brenselcellene fra togets kraftbehov er man avhengige av at man har en batteripakke som har kapasitet til å både håndtere togets kraftbehov, tilbakemating av bremseenergi og brenselcellenes strømproduksjon for å optimalisere driften.

Dimensjoneringen av brenselceller til et gitt kjøretøy må gjøres ut ifra forventet gjennomsnittlig effektbehov. Dette vil variere ut ifra kjøretøyets type (Goods, passasjer, langdistanse, lokaltog) kjøretøyets størrelse, kjøretøyets bruk (hastighet og stoppmønster), operasjonsklima, og banens egenskaper (Antall og lengde av bakker og svinger), samt en rekke andre faktorer.

Prototypene som er bygget så langt er konfigurert for drift som lokaltog i et flatt og relativt ruralt område, med moderate vinterforhold på en bane som gir en relativt lav gjennomsnittshastighet.

Dersom kjøretøy skal benyttes under vesentlig annerledes forhold bør dimensjoneringen av brenselcellene tas opp til vurdering i forhold til de faktiske forhold kjøretøyet skal konfigureres for.

2.1.4 Batteriet

Batteriet i et hydrogentog har to funksjoner. Det skal være et mellomlager for energi som kan ta opp differansen mellom kjøretøyets behov for kraft under operasjon og brenselcellenes evne til å generere kraft med optimal belastning over tid. I tillegg er det et lager for energi som gjenvinnes fra kjøretøyets bremsing (e-brems). I prototypen er det installert to batterier med en kapasitet tilsvarende det som finnes i de største elbilene (110kWh), men med tilhørende utstyr og nødvendig beskyttelse veier denne installasjonen omkring 2 tonn. (Det er et batteri i hver vogn på prototypen)

Batteriene som egner seg for bruk i tog, er ikke nødvendigvis de samme som det som egner seg for bruk i biler selv om kapasiteten i dette tilfellet er relativt lik. Togs energiforbruk er mindre følsom overfor endringer av vekt enn biler. Dette skyldes at stålhjul som ruller på stålskinner har lavere rullemotstand enn luftfylte gummihjul mot veibane. Og at rullemotstanden for stålhjul øker mindre med økende last enn gummihjul. Levetiden på tog vesentlig lengere enn for biler, så behovet for levetid i batteriene er dermed mye viktigere for driftsøkonomien. For ytterligere informasjon om batterityper til tog henvises til delrapport 2.

Dimensjoneringen av batteriets kapasitetsbehov påvirkes av brenselcellenes kapasitet, som er satt ut ifra forventet gjennomsnittlig effektbehov, samt en vurdering av hvor store avvik fra gjennomsnittlig effektbehov som vil kunne oppstå med den planlagte driften kjøretøyet konfigureres for. I tillegg vil det måtte gjøres en beregning av hvor store effekter det er behov for å kunne mate tilbake til batteriet fra kjøretøyets e-brems med operasjon på den aktuelle banen. Dette vil variere ut ifra Kjøretøyets type (Gods, passasjer, langdistanse, lokaltog) kjøretøyets størrelse, kjøretøyets bruk (hastighet og stoppmønster), operasjonsklima, og banens egenskaper (Antall og lengde av bakker og svinger), samt en rekke andre faktorer.

2.1.5 Lagringstankene i kjøretøyet

Lagringstankene for hydrogen er energilageret i et hydrogentog. Den energi toget trenger i driften mellom hver gang toget fylles opp med hydrogen, må lagres i disse tankene. Rekkevidden for toget avhenger av hvor mye hydrogen som kan lagres i tankene. Lagringstankene for hydrogen har samme funksjon som dieseltanken på et dieseldrevet kjøretøy. Det er i hovedsak to måter å lagre hydrogen, som væske, eller som gass. Dersom hydrogen lagres som væske må den først omdannes til gass, før den kan benyttes i brenselcellene. På de prototypene som til nå er bygget er det valgt å lagre hydrogen om bord i kjøretøyet som gass komprimert til 350 bars trykk (9). Gassen er fordelt på en rekke sylindriske tanker laget av et ikke-metallisk komposittmateriale som er plassert på kjøretøyets tak. Tankene som er benyttet er som følge av det høye trykket og det eksplosjonsfarlige innholdet laget meget sterke og utsatt for omfattende testing for å bevise sin styrke, og motstand mot utmatting. Tradisjonelt sett er drivstofftanker som regel ikke plassert på tak, men heller under eller inne i kjøretøyet. Hydrogentanksystemet skiller seg fra ordinære dieseltanksystemer på mange måter, blant annet ved at de har lavere vekt pr volumenheter, og krever et større volum. Dette påvirker hvor og hvordan tanksystemene kan plasseres i kjøretøyet. I tillegg er hydrogen en brannfarlig gass som er lettere enn luft, og ved lekkasjer vil gassen stige opp, dette taler for at lagringstanker for hydrogen bør plasseres på tak av kjøretøy av hensyn til sikkerhet. Fra en dieseltank pumpes diesel opp til der den skal benyttes, for en tank med gass under høyt trykk er det ikke nødvendig med pumper, men trykket må reduseres fra det trykk som er i lagringstanken til det trykk brenselcellene trenger. Lagringstanker og brenselceller er i prototypene plassert nær hverandre, for å få minst mulig rørsystem med hydrogen i. Dette er gjort for å minimere muligheten for lekkasjer av hydrogen.

Dimensjoneringen av kjøretøyets tanker påvirkes av togets totale energiforbruk, hvilken rekkevidde man ønsker og hvilke klimatiske forhold man opererer under. I tillegg begrenses mulighetene for hvor mye tanker man kan ha i et kjøretøy, av tilgangen på plass som er egnet og ledig for bruk til dette formålet, på kjøretøyet.

Ved konfigurering av et kjøretøy vil dimensjonering av tanker måtte gjøres spesifikt for den drift, det klima og den banestrekning kjøretøyet skal driftes.

2.2 Hvor langt har forskningen kommet

Basisteknologien for bruk av hydrogen i kjøretøy er i stor grad ferdig utviklet. Systemer med brenselceller som produserer strøm fra hydrogen er kjent teknologi som har vært forsket på lenge. Forskningen på dette området fokuserer i stor grad på å få til mer stabile og robuste systemer som kan produseres til en lavere pris.

I tillegg til forskning på basisteknologien drives det forskning knyttet til sikkerhet relatert til lagring og håndtering av hydrogen. Jernbanedirektoratet er i denne forbindelse med i forskningsprosjektene MoZEES (Mobility Zero Emission Energy Systems) og SH2IFT (Safe and efficient hydrogen fuel handling and technology).

Fra SH2IFT prosjektet er det kommet frem at kunnskapen om hydrogens virkning ved ulike former for ulykker er mangelfull, og at det derfor er vanskelig å lage simuleringer av alle typer ulykker, slik man gjør med andre gasser. Dette gjør det utfordrende å gjøre gode risikovurderinger av hydrogenbruk i større skala.

Fra MoZEES prosjektet er det kommet frem at det drives forskning, blant annet ved IFE (Institutt for energiteknikk), på lagring av hydrogen i metallhydrid. Denne type lagring vil medføre at sikkerhetsutfordringene knyttet til lagring og håndtering av hydrogen som gass og væske kan forandre seg.

I forhold til bruk av hydrogen i stor skala, er produksjonen viktig. Det drives forskning og produktutvikling knyttet til produksjon av hydrogen fra elektrolyse. Det er produksjon av hydrogen fra naturgass som representerer det største potensialet for produksjon av hydrogen i stor skala. Prosessen for denne type produksjon er godt kjent og brukes til å produsere det aller meste av det hydrogenet som produseres i verden pr i dag. Teknikken medfører store utslipp av CO₂, og dersom den skal kunne brukes til storskala produksjon av hydrogen må det være teknologi for CO₂ rensing og håndtering tilgjengelig. Det er det per i dag løsninger for CO₂ rensing, og det drives omfattende forskning på å få til CO₂ lagring i storskala.

2.3 Tilgjengelighet av teknologi for bruk av hydrogen

Det er produsert tog, busser, lastebiler og biler som drives av hydrogen. Antallet er imidlertid svært begrenset. I Norge er det et prøveprosjekt med busser i Oslo, et par prosjekter med noen få lastebiler, og det er registrert mellom 100- og 200 personbiler. Det var opp mot 10 fylleanlegg for hydrogen i Norge, men antallet er kraftig redusert som følge av dårlig lønnsomhet. I tillegg er per tidspunkt samtlige hydrogenfyllestasjoner i Norge midlertidig stengt grunnet eksplosjon ved hydrogenfyllestasjonen i Sandvika, Bærum i juni 2019. For tog finnes det pr i dag kun 2 tog som er i drift i Tyskland. Bruken av teknologien er i stor grad på prototype stadiet. De systemene som er bygget, er bygget i et lite antall, og har dermed høye kostnader og lav standardisering. Det er de minste systemene som har kommet lengst, og når det gjelder systemer som er store nok til å benyttes i tog er det gjort svært begrensede forsøk. For systemer som er store nok til å drifte et godstog er Jernbanedirektoratet ikke kjent med at det finnes noen prototyper, bortsett fra prototyper av anlegg til skip.

Tilgjengeligheten av basisteknologien avhenger også at teknologien for sikker lagring og håndtering av hydrogen er tilstrekkelig utviklet. Lagring og håndtering av hydrogen er frem til nå stort sett håndtert i større industrianlegg med høye krav til industriell sikkerhet. Det er gjort noen forsøk med distribusjon av hydrogen fra offentlig tilgjengelig anlegg, men det er utfordrende å kombinere offentlig tilgjengelige anlegg med en tilfredsstillende sikkerhet for personer som oppholder seg i og rundt anlegget. Frem til nå har dette i stor grad vært håndtert med at det er anlegg av begrenset størrelse som kun har lagret mindre mengder hydrogen. Dersom teknologien brukes av flere eller tyngre forbrukere som bruker større volumer, må det finnes en annen måte å kombinere tilgjengelighet og sikkerhet.

Selv om basisteknologien finnes og er relativt velutviklet, må bruken av teknologien betraktes som umoden som følge av umodenheten knyttet til bruk, lagring og håndtering av hydrogen. Hydrogenteknologi for bruk i tog kan anskaffes som prototype, men det er ikke en standardisert kommersielt tilgjengelig teknologi for bruk i tog.

2.4 Prisutvikling, historisk og forventet

Frem til nå har prisen på teknologien som er nødvendig for å fremføre tog med hydrogen som energibærer vært preget av store forsknings og utviklingskostnader, høye produksjonskostnader som følge av små produksjonsvolumer, lite automatisert produksjon, og høye materialkostnader for enkelte av komponentene.

Dersom hydrogenteknologi får et kommersielt gjennombrudd vil disse kostnadene falle dramatisk som følge av kraftig økte produksjonsvolumer (1). Dersom det også kommer teknologiske forbedringer i basisteknikken som åpner for bruk av mindre kostbare materialer, vil også dette bidra til reduksjon av kostnadsnivået. Det er imidlertid utviklingstrekk som tyder på at dette gjennombruddet ikke vil komme innen transportsektoren. Innen transportsektoren ser andre teknologier ut til å hevde seg bedre i konkurransen om det forestående teknologiskiftet som må skje med overgang fra bruk av fossile drivstoff. Årsakene til at andre teknologier hevder seg bedre er sammensatte og relaterer seg både til virkningsgrader, sikkerhet, driftsutgifter, tilgang på fylleinfrastuktur og investeringskostnader.

Det finnes ulike meninger om forventet prisutvikling for hydrogenteknologi, og ulikhetene baserer seg på at det er ulike syn på hvor nærstående hydrogenteknologiens kommersielle gjennombrudd og påfølgende masseproduksjon er. Miljøer som arbeider for å fremme hydrogenteknologi har de siste 20 årene spådd at gjennombruddet er nærstående. Det er imidlertid noe vanskelig å feste lit til slike forventninger uten at de underbygges bedre enn hva vi har sett til nå. Innen transport ser hydrogenteknologien som sagt ut til å tape kampen om det kommende teknologiskiftet innenfor de fleste sektorer. Hydrogen som stoff har tilknyttede sikkerhetsutfordringer som tilsier at stoffet fortrinnsvis bør anvendes på steder der man unngår transport og har muligheten til å etablere et høyt industrielt sikkerhetsnivå. Dette kan være innenfor kraftforsyning eller annen stasjonær virksomhet. Dette er et potensielt marked der teknologien kan få sitt gjennombrudd slik at produksjonsvolumene tar seg opp og presser prisen ned, men det er også et begrenset marked med et betydelig lavere antall potensielle anlegg enn hva man ville hatt med et gjennombrudd innen transport. Det er derfor rimelig å anta at vi vil se en reduksjon i prisene på teknologien, men den vil nok la vente noe på seg, og være betydelig mer moderat enn hva man ser f.eks. for batteriteknologi, som har hatt et gjennombrudd innen transport.

Prisen for hydrogen ligger pr i dag mellom 60 og 90 NOK/kg. (9) Prisen på dette kan forandre seg eller være annerledes for enkeltprosjekter. Det er i hovedsak 3 måter å produsere hydrogen, med elektrolyse fra vann, fra naturgass eller som biprodukt fra enkelte industrielle prosesser (1).

Enkelte prosjekter har tilgjengelighet av hydrogen som biprodukt fra industrielle prosesser. Da dette er et biprodukt kan det i enkelte tilfeller gjøres tilgjengelig for f.eks. et jernbaneprosjekt til en lavere pris enn gjengs markedspris. (Dette er tilfellet blant annet for et av de planlagte prosjektene med hydrogendrift på tog i Tyskland)

Dersom det produseres fra elektrolyse, vil strømpris, virkningsgrad i prosessen og anleggskostnader avgjøre hva det koster å produsere hydrogenet, denne type anlegg vil ha som formål å tjene penger på å produsere hydrogen og det er derfor rimelig å anta at prisen på hydrogen produsert i slike anlegg vil selges til markedspris.

Dersom hydrogen produseres fra naturgass vil kostnaden for å produsere hydrogen påvirkes av prisen på naturgass, anleggskostnader, kostnaden for CO₂ håndtering eller prisen for utslipp av CO₂ fra prosessen og teknikkens virkningsgrad. Produksjon etter denne metoden, har til formål og tjene

penger på produksjonen, og det er rimelig å anta at hydrogen produsert på dette viset vil selges til markedspris.

Dagens produksjon av hydrogen er dominert av produksjon fra naturgass. Produksjon fra elektrolyse utgjør i dag kun ca. 2% av det hydrogenet som produseres på verdensbasis (1). Markedsprisen for hydrogen vil kunne variere, men det er rimelig å anta at den vil svinge i takt med prisen på naturgass, og eventuelt gå en del opp i tilknytting til innføring av CO₂ håndtering eller økte avgifter knyttet til utslipp av CO₂. Det er vanskelig å finne argumenter for at markedsprisen på hydrogen skal gå ned, og det er rimelig å anta at den over tid vil gå noe opp.

2.5 Fremtidig perspektiv på utviklingen av hydrogenteknologi.

Hydrogen vil trolig ha en rolle som energibærer og energilager i fremtiden, men det er ikke åpenbart at dette vil være tilknyttet transportsektoren. Basisteknologien er i utgangspunktet god nok til å kunne få ett gjennombrudd, men hydrogen som stoff har noen fysiske egenskaper som gjør sikker bruk, håndtering og lagring utfordrende med den teknologien som benyttes i dag. I tillegg har teknologien samlet sett en høy kompleksitet, stor sårbarhet, og lav virkningsgrad, noe som gjør gjennombruddet for den type teknologi som benyttes i kjøretøy med hydrogen som energibærer mindre sannsynlig.

2.6 Hva er forventet utvikling uttalt fra produsenter/kjøretøyprodusenter

Det er hovedsakelig en leverandør som av jernbanekjøretøy som de senere år har hatt en stor satsing på hydrogen som alternativ driftsform for togene sine. Det er noen få andre som har utviklet tegninger for tog med hydrogen som energibærer, men det er ikke bygget noe. Vi ser også at den ene leverandøren som har satset på hydrogen nå også har begynt å fokusere på andre alternative teknologier.

Det er i Europa et operativt prøveprosjekt med tog med hydrogen som energibærer. Det forventes at det skal bli et par prosjekter til i løpet av de neste årene (9). De produsentene som ikke har satset tungt på denne teknologien uttaler at det er et press i markedet for å finne alternativer til dieseltog, men at det presset er teknologinøytralt og har fokus på fjerning av utslipp, investeringskostnader og driftskostnader. At teknologien bidrar til opprettholdelse av sikkerhetsnivå i jernbanen er i denne sammenheng en selvfølge som ligger som en forutsetning for et hvert teknologivalg i denne sektoren.

2.7 Energieffektivitet 'Well to wheel'

Sammenligninger av energieffektivitet er komplekse og kan ha ulike feilkilder. Det vil ofte kunne være diskusjon om hvor effektivitetskjedens startpunkt skal være og hvilke faktorer som skal være med. Det kan også forekomme diskusjoner om forutsetninger og diskusjoner om hvilken teknologi som skal legges til grunn.

For hydrogen er det valgt å starte med elektrisk kraft, dette er gunstig i forhold til å få gode sammenligninger mot batteri og kontaktledningsdrevne tog. Vi har også valgt å legge til grunn elektrolyse av vann som produksjonsform, da dette pr i dag er det eneste alternativet som gjør at hydrogen kan regnes med som en nullutslipps teknologi. I det tyske prøveprosjektet med hydrogentog benyttes flytende hydrogen for å forsyne fyllestasjonen. Av den grunn har vi derfor lagt dette til grunn også i denne vurderingen.

Produksjonsprosessen av hydrogen fra vann er oppgitt til å ha en virkningsgrad på 63%. Omdanningen fra gass til flytende, transport med lastebil og omdanning tilbake til egnet form for fylling på kjøretøy forventes å bidra med en virkningsgrad på ca. 53%. Kjøretøyets virkningsgrad inklusive regenerering av bremseeffekt er av kjøretøyleverandør oppgitt til å ligge på 55%.

Samlet gir dette da en energieffektivitet på 18,4%

3 Biogass

3.1 Teknologibeskrivelse

Beskrivelsen av teknologien i avsnittene under er basert på valgene som er gjort for de metankjøretøyene som til nå er bygget eller planlagt. Det kan ikke utelukkes at andre leverandører gjør valg som medfører at beskrivelsene av deres kjøretøy vil være noe annerledes.

3.1.1 Kjøretøyets oppbygging

Det svenske kjøretøyet kalt Amanda, var i utgangspunktet et ordinært dieseldrevet motorvognsett type Y1 for passasjertrafikk. Kjøretøytypen ble tidligere også brukt til passasjertrafikk i Norge på Bratsbergbanen. I utgangspunktet fyller kjøretøyet diesel på lagringstanker og har dieselmotorer. I Amanda ble dieseltank og dieselmotor erstattet med gasstanker og gassmotor. Energien til å drive kjøretøyet kommer fra den gassen som fylles på kjøretøyet og lagres i tanker som gass under høyt trykk. Vi ser fra bussapplikasjoner at disse tankene ofte er plassert på kjøretøyets tak. Gassmotor og lagringstank må i europeiske kjøretøy plasseres på samme vogn, det er ikke vurdert som forsvarlig å la gass under trykk overføres fra en vogn til en annen, da dette er en deformasjonssone ved sammenstøt. Tanker for komprimert gass er volumkrevende, dersom det utvikles prototyper for drift med biogass kan det ikke utelukkes at det vil bli brukt flytende gass i isolerte tanker for å få med seg en større energimengde.

3.1.2 Kjøretøyets fremdriftssystem

Kjøretøyets fremdriftssystem omtales gjerne som kjøretøyets traksjonssystem. Det er for biogass kjøretøy som nevnt gass motorer. I dag er flere teknologier for bruk av biogass i forbrenningsmotorer tilgjengelig. Hvis transportmiddelet skal tilpasses bruk av gass er det bi-fuel og dual-fuel konseptene som er mest utbredt. Det er flere kjente måter å bygge opp traksjonssystemer med forbrenningsmotorer på og kan i hovedsak deles inn i mekaniske, der det er mekanisk eller hydraulisk overføring av kraft fra motor til aksler og hjul, og elektrisk der kraften omdannes til elektrisitet for så å overføres til elmotorer som driver aksler og hjul.

En bi-fuel motor er en ombygd bensinmotor (Ottomotorprinsippet, der brennbar gassblanding antennes med en gnist). Teknologien utnytter at blandinger av bensin og luft er lett antennes også når motoren er kald. Dette brukes til å starte motoren og varme den opp til driftstemperatur. Raskt etter motorstart er temperaturen høy nok til at blandinger av biogass og luft lett antennes av en gnist. Motoren skifter da automatisk over til nesten 100% gass. Dermed kan motoren gå på bensin og for eksempel komprimert biogass (CBG), så lenge motoren er tunet til å håndtere biogass. Virkningsgraden i en tilpasset bi-fuelmotor kan være så å si den samme som for en original bensinmotor.

En dual-fuel motor er en ombygd dieselmotor (Dieselmotorprinsippet, der gass eller forstøvet diesel selvantenner ved innsprøytning i komprimert luft). De fleste dual-fuel motorer kan bruke 100% diesel ved behov, som ved oppstart, og deretter gå over til gass. I motsetning til en bi-fuel motor, kan ikke dual-fuel motorer gå på 100% gass. Eldre dieselmotorer er enklere å bygge om til dual-fuel på grunn av enklere konstruksjon og mindre teknologistyring. Det er mulig å bygge om en eldre diesel motor til å bruke opptil 30% - 40% gass, mens nyere motorer kan kun benytte rundt 20–30% gass. Når motorer ombygges i tett samarbeid med motor- og/eller kjøretøyprodusent kan det oppnås vesentlig høyere gassinnblanding. For eksempel så kan Volvos nye generasjon flytende naturgass/ flytende biogass (LNG/LBG) kjøretøy kjøre på dieselmengder helt ned til 5%. Disse bruker i tillegg 15%–20% mindre drivstoff enn de tidligere gasskjøretøyene til Volvo. Motorene er derimot originalbygget for dual-fuel og kan ikke kjøre langt kun på diesel (10).

Det er også mulig å benytte rene gassmotorer som originalt er bygget for å gå på gass. Oppgradert biogass er tilnærmet ekvivalent med naturgass, og kan dermed med mindre justeringer brukes i gassmotorer som er designet for naturgass.

Infrastruktur for naturgass sees som kommersielt tilgjengelig teknologi. Nyere gassmotorer har fått bedre virkningsgrad og ytelse, og tilnærmet samme effekt og dreiemoment som dieselmotorer (11).

3.1.3 Lagringstankene i kjøretøyet

Lagringstankene for biogass er energilageret i et biogasskjøretøy. Den energi toget trenger i driften mellom hver gang toget fylles opp med biogass, må lagres i disse tankene. Rekkevidden for toget avhenger av hvor mye biogass som kan lagres i tankene. Lagringstankene for biogass har samme funksjon som dieseltanken på et dieseldrevet kjøretøy. Det er i hovedsak to måter å lagre biogass, som væske (LBG), eller som komprimert gass (CBG). CBG er det mest utbredte for busser og andre kjøretøy. LBG har store fordeler i forhold til å kunne utnytte lagringsvolum effektivt. Tradisjonelt sett er drivstofftankertanker som regel ikke plassert på tak, men heller under eller inne i kjøretøyet. Biogasstanksystemet skiller seg fra ordinære dieseltanksystemer på mange måter, blant annet ved at de har lavere vekt pr volumenheter, og krever et større volum. Dette påvirker hvor og hvordan tanksystemene kan plasseres i kjøretøyet. I tillegg er biogass en brannfarlig gass som normalt er lettere enn luft, og ved lekkasjer vil gassen stige opp ved gitte betingelser. Dette taler for at lagringstanker for biogass bør plasseres på tak av kjøretøy av hensyn til sikkerhet. Fra en dieseltank pumpes diesel opp til der den skal benyttes. For en tank med gass under høyt trykk er det ikke nødvendig med pumper, men trykket må reduseres fra det trykk som er i lagringstanken til det trykk gassmotoren trenger.

Dimensjoneringen av kjøretøyets tanker påvirkes av togets totale energiforbruk, hvilken rekkevidde man ønsker og hvilke klimatiske forhold man opererer under. I tillegg begrenses mulighetene for hvor mye tanker man kan ha i et kjøretøy, av tilgangen på plass som er egnet og ledig for bruk til dette formålet, på kjøretøyet.

Ved konfigurering av et kjøretøy vil dimensjonering av tanker måtte gjøres spesifikt for den drift, det klima og den banestrekning kjøretøyet skal driftes.

3.2 Hvor langt har forskningen kommet

Teknologien for bruk av biogass i kjøretøy ved bruk av forbrenningsmotorer er i stor grad ferdig utviklet. Det fins flere alternativer til løsninger for å bruke biogass som drivstoff i transportsektoren, der det drives mer produktutvikling enn forskning.

Selve produksjonen av biogass sees ikke på som en flaskehals, og det produseres nok til å dekke behovet. Det drives forskning på å bruke flere typer råstoff, som vil øke produksjonspotensialet ytterligere.

I tillegg til de kommersielt tilgjengelige teknologiene, forskes det også på for eksempel brenselceller for metan, som gjør at biogass kan brukes i kombinasjon med elektrisitet og kan oppnå bedre virkningsgrader enn ved bruk av forbrenningsmotorer.

3.3 Tilgjengelighet av teknologi for bruk av biogass

Biogass kan i dag kommersielt produseres og brukes som drivstoff i transportsektoren (12). Gassen kan produseres fra mange avfallskilder. Avløps slam utgjør den største andelen av avfall som blir brukt til biogassproduksjon, mens bruk av matavfall og næringsavfall har økt i senere tid. Den tradisjonelle og kommersielt tilgjengelige prosessen går ut på å ha avfall i råtnetanker hvor mikroorganismer bryter ned avfallet og produserer biogass. I 2018 var det 35 produsenter av biogass i Norge, og det var i 2016 11 anlegg som oppgraderte biogassen (12) (13). Tradisjonell oppgradering går ut på å separere CO₂ og metanen, i tillegg til å rense for uønskede stoffer. Tre forskjellige teknologier er brukt i Norge i dag; våtskrubbing, aminskrubbing og membranseparasjon.

Motorer og lagringssystemer for biogass er så utbredt at det kan betraktes som kommersielt tilgjengelig systemer. Standardiserte og ferdig utviklete produkter er tilgjengelige i de fleste aktuelle størrelser til tross for at teknologien pr i dag ikke brukes på jernbane i noen utstrakt grad.

3.4 Prisutvikling, historisk og forventet

Som nevnt ovenfor er motorer og lagringsystemer for biogass er kommersielt tilgjengelige produkter. Motorene er svært like bensin og dieselmotorer, men produseres nok i et betydelig lavere antall. Dette har medført at selve motorene i en del tilfeller har vært en del dyrere enn en tilsvarende dieselmotor. Dette vil ha størst effekt for de minste motorene og avta gradvis i takt med økende motorstørrelse. For en stor lokomotivmotor vil prisen på selve motoren ha liten betydning, det er tilpassingen av konstruksjonen som vil være prisdrivende. Lagringsystemer for biogass er teknisk mer avanserte enn lagringsystemer for diesel, dette gjør at de har vært betydelig dyrere frem til nå. Det forventes at dette bildet ikke vil endre seg betydelig.

Biogass til driftsformål omsettes ikke i et transparent marked, i motsetning til bensin og diesel. Prisen forhandles og settes etter avtale mellom biogassprodusent og distributør, og deretter mellom distributør og sluttbruker. Etterspørselen er en sentral bidragsyter til prisen. Kostnadene som sluttbruker må betale knyttes til blant annet produksjon av biogass, oppgradering av biogassen, transport til fyllestasjoner og margin for produsent og mellomledd (14). Biogassanlegg som bruker avløpsslam og organisk avfall som råstoff får som regel betalt for å motta det. Anlegg som bruker annet råstoff må betale for råstoffet, men får i gjengjeld et høyere utbytte av biogass (12). Prisen for biogass til landbaserte kjøretøy varierer ut ifra hvilken fyllestasjon som benyttes. CNGpriser er et nettbasert sanntidskart hvor prisene for CNG samt CBG kan innhentes av transportører. Prisene som er meldt inn varierer mellom 7,3-12,4 NOK/kg for CNG og 17-19,3 NOK/kg for CBG, som vil si at biogass er noe dyrere enn naturgass. Det er også informert ved en fyllestasjon at prisen for CBG med energiinnhold 9,9kWh/Nm³ var 11,35NOK/Nm³ (15) (10). Prisene på CNGpriser sine sider ble lagt inn i 2012-2013, og det kan dermed regnes med at disse har endret seg noe. Høyere prising av klimagassutslipp i fremtiden vil trolig gjøre biogass mer konkurransedyktig sammenlignet med naturgass.

Prisutviklingen til biogass vil være tett knyttet opp mot utviklingen av markedet. Biogassmarkedet i Norge har vokst den siste tiden, og det har blitt mer attraktivt å bruke biogass både innenfor tungtransportsektoren og skipstransport. Pådrivere for dette er blant annet at teknologien for både produksjon av biogass og biogassmotorer er utviklet som gjør overgangen i markedet enklere. Samtidig har Norge et naturgassmarked som også gir et markedspotensial for biogass. Biogass har i tillegg ingen veibruksavgift eller CO₂-avgift, i likhet med elektriske transportmidler. En ting som derimot bremser veksten er mangel på fyllestasjoner. Dette skaper usikkerhet knyttet til tilgjengelighet, som kan være en barriere for markedet.

Carbon limits skrev i sin rapport i 2018 at ved vurdering av «Total-cost-of-ownership» kan biogass være konkurransedyktig med fossil diesel til en pris opp mot 100 øre/kWh for CBG og noe lavere for LBG. Grunnen til dette er høyere merkostnader knyttet til innkjøp av kjøretøy, infrastruktur og fyllestasjoner (16). DNV GL gjorde i 2018 en utredning for biodrivstoff innenfor skipsfartøy. De vurderte markedet for LBG som «svært umodent», med stor usikkerhet i prisbildet. I en studie utført i 2015 ble LBG prisen estimert til å være tre ganger så høy som marin gassolje, MGO (det vanligste fossile drivstoffet for skip som selges i Norge), mens en nyere studie fra 2018 anslår at LBG prisen er ca. det dobbelte av MGO (17). Dette viser en positiv trend når det kommer til biogassprisen, men også at det foreløpig ikke er konkurransedyktig på pris med andre fossile drivstoff.

3.5 Fremtidig perspektiv på utviklingen av biogassteknologi.

Mye av biogassteknologien er allerede kommersiell, i tillegg til at det er fortsatt et forbedringspotensial og nye muligheter som er under utvikling. Biogass vil derfor trolig ha en rolle som energibærer i fremtiden. I forhold til hydrogenteknologi er biogassteknologien mindre kompleks og den er fleksibel nok til å ta i bruk flere typer råvarer. Produksjonspotensialet er der, og det står og faller på interessen i samfunnet. For at biogass skal kunne bli en betydelig energibærer innen transportsektoren må det etableres sikre rutiner rundt bruk, håndtering og lagring, da gassens fysiske egenskaper er utfordrende med tanke på miljø og sikkerhet.

3.6 Hva er forventet utvikling uttalt fra produsenter/kjøretøyprodusenter

Det er pr i dag liten aktivitet fra kjøretøyprodusenter for å utvikle kjøretøy som baserer seg på biogass som energibærer. Jernbanedirektoratet har jevnlig møter med aktuelle kjøretøyleverandører for å innhente informasjon om hva markedet kan tilby og hvilke teknologiske trender kjøretøyleverandørene er opptatt av. Det er i disse møtene ikke kommet frem noen informasjon om at noen av de aktuelle kjøretøyleverandørene som er aktive i det Norske markedet har noen planer om utvikling av jernbanekjøretøy med biogass som energibærer. Det er også usikkert om det vil bli brukt ressurser til å utvikle slike kjøretøy, som følge av at teknologien har betydelige sikkerhetsmessige utfordringer knyttet til bruk av drivstoff i gassform som er vanskelige å håndtere i jernbanen.

Total produksjonskapasitet av biogass for produksjonsanlegg som var i drift utgangen av 2017 var ca. 920 GWh. Mer fokus på sirkulærøkonomi vil bidra til å øke etterspørselen (12). Miljødirektoratet har i sin underlagsrapport anslått et potensial for biogassproduksjon i Norge til 2,3 TWh i 2020, og ved å ta i bruk nye produksjonsteknologier og nye råstofftyper kan potensialet øke betydelig mot 2030 (18).

I dag brukes biogass for det meste som drivstoff for busser, varebiler og lastbiler. Noen aktører begynner å se på potensialet for å benytte biogass som drivstoff. ASKO har iverksatt et pilotprosjekt hvor biogass skal produseres av matavfall som ikke egner seg til dyrefôr. De hadde i 2016 åtte biogassdrevne distribusjonsbiler (12). I 2017 inngikk Tine og AGA en intensjonsavtale om utbygging av fyllestasjoner for LBG for Tines lastebiler (19). I 2019 inngikk Hurtigruten en avtale med Biokraft om leveranse av biogass, som hittil er den største biogassavtalen på verdensbasis (20). Seks av skipene skal innen 2021 gå på biogass. Biokraft på Skogn i Trøndelag er per i dag verdens største produsent av LBG (21).

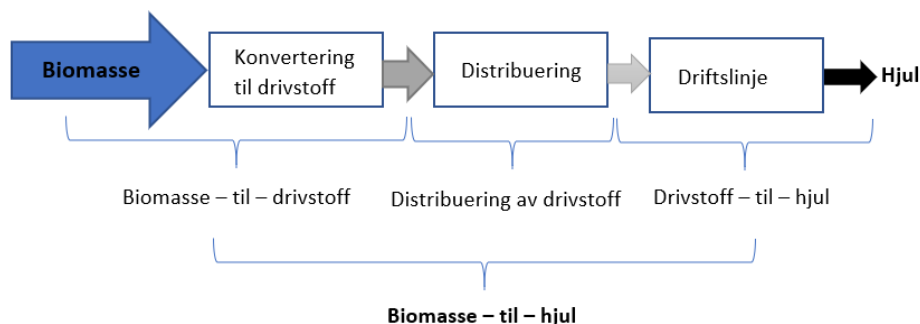
3.7 Energieffektivitet 'Well to wheel'

Sammenligninger av energieffektivitet er komplekse og kan ha ulike feilkilder. Det vil ofte kunne være diskusjon om hvor effektivitetskjedens startpunkt skal være og hvilke faktorer som skal være med. Det kan også forekomme diskusjoner om forutsetninger og diskusjoner om hvilken teknologi som skal legges til grunn.

For energibærere som bruker biomasse som råstoff er det mer naturlig å bruke begrepet «Biomasse - til - hjul». Effektivitet ved bruk av biomasse kan defineres på flere måter (1):

- Klimagassreduksjonspotensiale, som er minst 60% for 1. generasjon og minst 90% for 2. generasjon.
- Karboneffektivitet, altså hvor mye karbon fra råstoffet blir i drivstoffet; dette variere avhengig av teknologi mellom 55–100 %;
- Energieffektivitet fra spesifikt energiinnhold i råstoff (her brennverdi) til energiinnhold i drivstoff, som kan ligge mellom 40–70%.

Det er den siste definisjonen som er aktuelt i dette tilfelle. Den totale energieffektiviteten kan deles inn i flere steg; «Biomasse – til – drivstoff», distribusjon og «Drivstoff – til – hjul». Dette er illustrert i Figur 1.



Figur 1: Illustrasjon av «Biomasse – til – hjul» energieffektivitetskonseptet.

For biogass er «Biomasse – til – drivstoff» energieffektiviteten typisk rundt 65%. Denne verdien vil derimot avhenge av hvilket råstoff som benyttes (22).

Når det kommer til FTW energieffektivitet avhenger dette av type forbrenningsmotor. Virkningsgraden til rene gassmotorer har økt de siste årene. Den kan variere en del, men kan ligge mellom 25-40% (10). I tillegg er det andre tap i kjøretøy og kraftoverføringer som gir et biogasskjøretøy en forventet virkningsgrad på 20-34%, der verdien 30% er brukt i beregning.

Hvis det antas at det benyttes en gassmotor, vil den totale «Biomasse – til – hjul» energieffektiviteten til biogass ligge på ca. 19,5%.

4 Biodiesel

4.1 Teknologibeskrivelse

Teknologien til kjøretøy som benytter biodiesel vil være den samme som for konvensjonell diesel, og det vil derfor ikke bli gitt noen inngående beskrivelse av dette her da dette forutsettes å være kjent teknologi for leserne.

Prinsipielt sett baseres teknologien på at energi lagres i form av diesel i flytende form i en lagringstank, og omsettes i en forbrenningsmotor som arbeider etter dieselprosessen. Flytende diesel sprøytes under høyt trykk inn i et forbrenningskammer i motoren som inneholder komprimert luft. Diesel forstøves under innsprøyting og selvantenner når det blandes med den komprimerte luften. Kraften fra eksplosjonen som oppstår presser et stempel ned og skaper mekanisk bevegelse som overføres videre av en veivaksel til girkasser eller generator. Det er flere kjente måter å bygge opp traksjonssystemer på og kan i hovedsak deles inn i dieselmekaniske, der det er mekanisk eller hydraulisk overføring av kraft fra motor til aksler og hjul, og dieselelektrisk der kraften omdannes til elektrisitet for så å overføres til elmotorer som driver aksler og hjul.

4.2 Hvor langt har forskningen kommet

Basisteknologien for bruk av biodiesel i kjøretøy er i stor grad ferdig utviklet. Standard diesel som er på markedet i dag skal ha <7,5% FAME innblandet, som er godkjent av alle motorleverandører. Storskala produksjon av biodiesel fra 1. generasjons råstoff er kommersiell teknologi. For 2. generasjons biodiesel er kommersiell produksjon begrenset til HVO-produksjon fra avfallsoljer og treoljer. Her har utviklingen gjort at HVO-biodiesel har særskilt gode kuldeegenskaper, og er dermed svært egnet til å erstatte konvensjonell diesel (1). HVO biodiesel kan brukes i dieselmotorer med mindre korrigeringer, og gir tilnærmet lik ytelse. Det er ingen øvre grense på andel innblandet HVO.

Mye av forskningen i dag fokuserer på å få andre teknologier kostnadseffektive ved oppskalering produksjon av biodiesel fra pilotskala til fullskala. Dette gjelder teknologier som gassifisering og Fischer-Tropsch, og termokjemisk flytendegjøring som inkluderer pyrolyse og HTL (hydrothermal liquefaction) for produksjon av rå-olje og oppgradering. Disse teknologiene har gjort betydelig fremskritt på pilotskala, men er ennå ikke kostnadseffektive i storskala.

4.3 Tilgjengelighet av teknologi for bruk av biodiesel

Biodiesel kan i utgangspunktet anvendes innenfor alle sektorer som bruker konvensjonell diesel. Det har blitt tatt i bruk i store forbrenningsmotorer som benytter biodiesel for busser, lastebiler og vogntog med gode resultater. Dieselmotorprodusenter har som regel godkjent drift av motorer med inntil 10% FAME og ubegrenset for HVO. Flere leverandører har også motorer optimalisert for biodiesel tilgjengelig (1). Biodiesel kan leveres gjennom eksisterende distribusjonskanaler, og har dermed en moden infrastruktur.

Bruk av biodiesel innenfor jernbane er heller ikke noe nytt. Jernbaneverket utførte i 2006 en utredning for bruk av FAME biodiesel for togdrift. Den konkluderte med at det var mulig å blande inn 50% 1. generasjons FAME biodiesel med konvensjonell diesel, så lenge forholdsreglene for flyteegenskaper til drivstoffet om vinteren, samt lagringsegenskapene tas hensyn til (23). Siden den gang har utviklingen av HVO biodiesel gjort dette til en mer attraktiv løsning da kuldeegenskapene og lagringsstabiliteten er lik konvensjonell diesel.

Basisteknologien for produksjon og anvendelse av biodiesel er dermed velutviklet og klar til bruk. Lagringsteknologi er noe mer utfordrende for FAME biodiesel enn HVO, pga. kjemisk stabilitet.

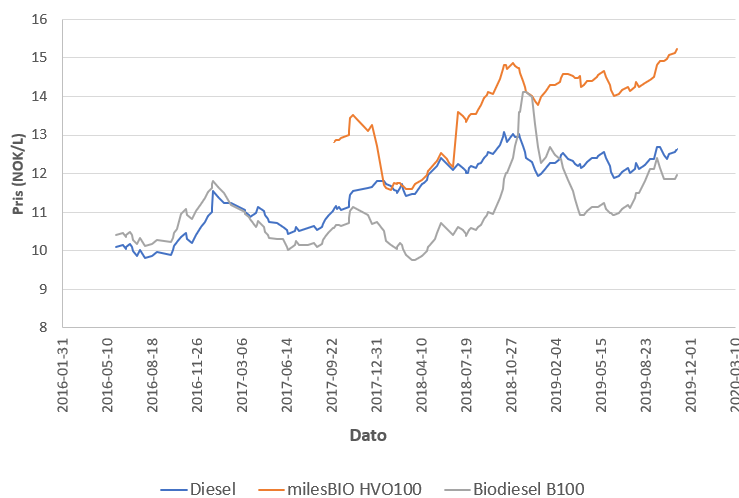
Når det gjelder selve forbrenningen av biodiesel for å få energjutnyttelse skjer dette i en vanlig dieselmotor. Det har dermed de samme utslippene knyttet til selve forbrenningen som konvensjonell diesel. Dieselmotoren er også under utvikling for å redusere lokale utslipp. Det utvikles motorer som har lavere kompresjonsvolum, som senker temperaturen og dermed også NOx-utslipp. Siden

dieselmotoren baserer seg på at brennstoffet skal selvantenne under trykk krever dette et nytt innsprøytningssystem som gjør at dieselen blir varm nok selv ved mindre kompresjonskammer. Andre fordeler med lavere kompresjon er at motoren blir lettere (24). Euro VI-standarden har også gjort at dieselmotorer drevet på konvensjonell diesel eller biodiesel har fått lavere utslipp av partikler og NOx (12). Å få dieselmotoren tilnærmet utslippsfri vil være et viktig steg for å gjøre biodiesel en attraktiv energibærer også i framtiden.

4.4 Prisutvikling, historisk og forventet

Biodieselprisen avhenger av opphav av råstoff og produksjonsmetode. Den har historisk sett vært noe dyrere enn konvensjonell diesel. I 2009 vedtok regjeringen å innføre dieselavgift også for biodiesel. Denne avgiften ble deretter fjernet i 2015 for biodiesel som ikke var omfattet av omsetningspåbud (25). Det er foreslått i statsbudsjettet for 2020 at det skal innføres veibruksavgift på alt flytende biodrivstoff, som inkluderer biodiesel (26).

EU har satt et mål at 2. generasjon biodiesel skal koste omtrent 8,5 kr/L, mens for mer avanserte termokjemiske prosesser omtrent 10 kr/L. Circle K tilbyr muligheten til å fylle både B100 og HVO100 ved noen av deres fyllestasjoner. Prisutviklingen de siste årene er vist i Figur 2. Siden 2016 og fram til oktober 2019 har B100 prisen variert mellom 9,75-14,11 kr/L. HVO100 ble tilgjengelig fra september 2017, og prisen fram til i dag har variert mellom 11,60-15,14 kr/L. Generelt er HVO100 1-2kr dyrere per liter enn konvensjonell diesel, mens B100 koster ca. det samme som konvensjonell diesel. For truckdiesel har prisene for HVO100 vært 2-3kr dyrere per liter enn konvensjonell diesel (27). Prisene fra Circle K er for veibruk. Dieselprisen for jernbane ligger på 6,29kr/L, som er lavere da det er færre avgifter innenfor jernbane enn veibruk.



Figur 2: Prisutvikling på konvensjonell diesel, HVO100 og B100 ved Circle K fyllestasjoner fra mai 2016 til oktober 2019 (27).

Mye av forskningen fokuserer på prosessoptimalisering for energi- og kostnadseffektive prosesser. Noe forskning omfatter også integrasjon av flere verdikjeder som drivstoff og biokjemikaler, desentralisert produksjon av rå-biooljer og innmating i eksisterende fossil-raffinerier. Det forventes kostnadsreduksjoner av biodiesel gjennom mer robuste prosesser, i tillegg til muligheten for å utnytte nye råvarestrømmer, primært avfall (plastikk) og restprodukter. Priser under 8 kr/L er forventet i 2030. For de fleste biodrivstoffer som skal erstatte diesel utgjør råstoffet en stor andel av produksjonskostnaden (1).

4.5 Fremtidig perspektiv på utviklingen av biodieselteknologi.

Biodiesel vil trolig fortsette å være en energibærer i årene framover. Teknologien og infrastrukturen er moden for kommersiell storproduksjon av 1. generasjons biodiesel, samt 2. generasjons biodiesel

fra noen typer råvarer. Dette er med på å gjøre biodiesel til en attraktiv løsning for å erstatte fossile energibærere der andre alternative energibærere ikke er en mulighet.

Utviklingen er derimot avhengig av at bruken av avansert biodrivstoff øker betraktelig for at biodiesel som energibærer skal være et bærekraftig alternativ. Ved å benytte avansert biodiesel unngår man det etiske dilemmaet som omhandler at råstoffet til drivstoffproduksjonen dyrkes på landområder der det ellers kunne vært matproduksjon, og dermed tvinger fram at nye landområder må benyttes. Avansert biodiesel kan produseres fra flere typer råvarer, men som nevnt tidligere er foreløpig kommersiell produksjon begrenset til produksjon fra avfallsoljer og treavfall.

Andel avansert biodiesel brukt innen transportsektoren i Norge øker heldigvis. I 2018 var i underkant av 40% av biodrivstoffet omsatt i Norge avansert biodrivstoff, kontra 21% i 2017 (28). Flere forskningsprosjekter, som 4Refinery og Waste2Road, jobber med utvikling av kostnadseffektive prosesser for avanserte drivstoffer. Prosjektene gjennomføres i samarbeid med oljeraffinerier, hvor det utvikles teknologier som er direkte sammenlignbare med dagens produksjons- og distribusjonsinfrastruktur for fossile drivstoffer. I tillegg utgjør 3. generasjons biodiesel en interessant fremtidig løsning. Denne typen biodiesel baseres på å dyrke fettproduserende alger (1).

4.6 Hva er forventet utvikling uttalt fra produsenter/kjøretøyprodusenter

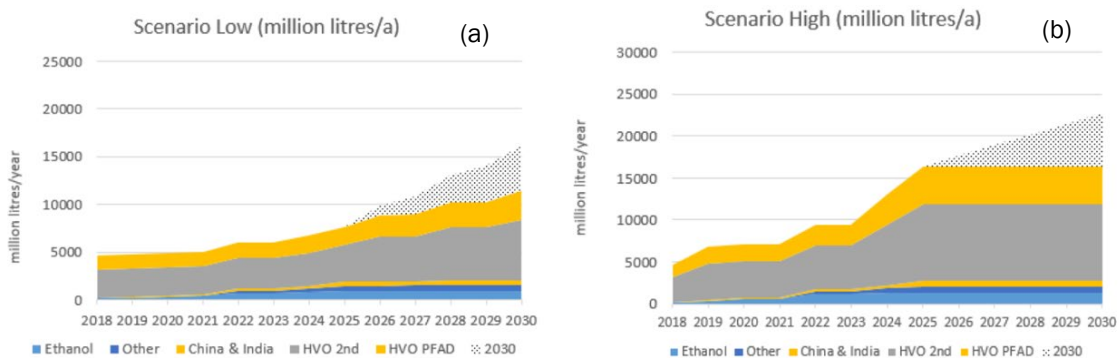
Mesteparten av biodieselen som brukes i Norge i dag, både konvensjonelle og avansert, er importert. I 2018 var 1,1% av biodieselen norskprodusert. Råstoffet som ble brukt var først og fremst skogsavfall, i tillegg til små mengder cellulose og brukt fritureolje (28). Tendensen er at andelen norskprodusert biodiesel øker, men at det går sakte.

I 2018 startet selskap Silva Green Fuel (eid av Statkraft og Södra) å bygge et demonstrasjonsanlegg for avansert biodrivstoff med råstoff primært fra skogen. Anlegget er planlagt å stå ferdig i løpet av 2019. Formålet er å teste teknologien for kontinuerlig produksjon av 2. generasjons biodrivstoff som kan direkte erstatte dagens fossile drivstoffprodukter, samt å teste ulike råvaretyper. Ut ifra resultatene vil selskapene beslutte om det skal bygges fullskalaanlegg (29).

Tilnærmet all produsert HVO går til veitrafikk. HVO produseres i dag i betydelige volumer i Europa og er tilgjengelig for import til Norge. Om HVO kan ansees som avansert eller konvensjonelt avhenger av råstoffet som benyttes i produksjonen. Hovedprodusentene av HVO i Europa er Neste Oil, Preem og UPM, der Neste Oil står for over 90 % av totalproduksjonen. Etterspørselen etter 2. generasjons HVO forventes å øke da egenskapene er tilnærmet identiske med konvensjonell diesel, og den tilbyr en mer bærekraftig løsning i tråd med miljøkrav. I dag benytter for eksempel ferjene Fjord1 som trafikkerer sambandet Hella-Dragsvik-Vangsnes i Sognefjorden 100 % HVO (7). I Trondheim kjører 47% av bussene på HVO biodiesel, og i Bergen har det blitt tatt i bruk 129 nye busser som går på biodiesel og som er Euro VI godkjent (30) (31).

2. generasjons HVO ansees også å være den mest relevante formen for biodiesel for jernbane, om ikke-elektrifiserte baner skal ta i bruk denne energibæreren. Figur 3 viser det globale produksjonspotensialet for blant annet avansert HVO (grå farge) fram mot 2030 ved to scenarier ut ifra dagens produksjonsanlegg samt planlagte anlegg. Det lave scenarioet illustrerer situasjonen når fullt produksjonspotensialet ikke er oppnådd, som ansees som det mest realistiske scenarioet. Dette kan skyldes at det blir forsinkelser i bygging av anlegg, eller at noen anlegg ikke bygges i det hele tatt, eller at anleggene ikke oppnår full produksjon. Det høye scenarioet viser situasjonen når fullt

produksjonspotensial er oppnådd. Begge tilfellene viser at produksjonen av avansert HVO vil øke fram mot 2030 (32).



Figur 3: Årlig global produksjon av utvalgte biodrivstoff som brukes i transportsektoren, samt framtidig prediksjon av utvikling. (a) Lavt scenario: Fullt produksjonspotensial er ikke realisert, enten fordi noen anlegg ikke bygges, forsinkelser eller at anleggene ikke oppnår full produksjon. (b) Høyt scenario: Fullt produksjonspotensial er realisert (32).

Andelen avansert biodiesel i transportsektoren i Norge øker betraktelig som et resultat av strengere omsetningskrav. I 2018 var 40% av biodrivstoffet brukt i transportsektoren klassifisert som avansert, kontra 21% i 2017 (28). Andelen norskprodusert biodiesel er fortsatt meget beskjeden, som vil si at tilgjengeligheten avhenger av import. Spesielt for tungtransport og kollektivtransport virker utviklingen til å fortsette i positiv retning, så lenge motorene overholder miljøstandarder. For transportsektorer hvor nullutslippssløsninger er en gjennomførbar teknologi vil trolig ikke bruk av biodiesel være en utbredt løsning i årene framover.

4.7 Energieffektivitet 'Well to wheel'

På samme måte som for biogass så brukes begrepet «Biomasse – til – hjul» også for biodiesel. Definisjonene står i kapittel 3.7 og er illustrert i Figur 1. Effektivitetsanalysen av er delt inn i flere trinn. Første steg er energieffektiviteten ved å omdanne biomassen til selve drivstoffet, deretter distribusjon av drivstoffet og til slutt energieffektiviteten til drivstoffet i forbrenningsmotoren. For biodiesel ligger «Biomasse – til – drivstoff» energieffektiviteten på omkring 35% for FAME. Andre typer biodiesel og andre produksjonsmetoder vil gi andre verdier (22).

Tapene under anvendelse i motoren er sammenlignbare med fossil diesel. Typisk virkningsgrad av en dieselmotor er 26-34% der verdien 30% er brukt til beregning.

Dette vil gi en «Biomass – til – hjul» energieffektivitet på 10,5% hvis FAME blir brukt som energibærer.

Dersom energieffektiviteten ved produksjonen av biodiesel øker, vil dette bidra til en høyere energieffektivitet.

5 Nå-situasjon for bruk av hydrogen, biogass og biodiesel som energibærer innen transport/anlegg generelt

5.1 Erfaringer

Hydrogen

Bruken av hydrogen innen transport/anlegg er svært lav i Norge, i Europa og i verden generelt. Det markedet der hydrogenteknologi til kjøretøy har hatt størst suksess til nå er i California, USA. Det er produsert noen få tusen biler, men i forhold til det totale antallet biler er dette et tilnærmet neglisjerbart antall. Det er også produsert en del busser, men dette er i all hovedsak busser som er produsert til ulike prøveprosjekter og dreier seg om et svært begrenset antall i forhold til det totale antall busser. På anleggssiden er det produksjon av trucker som utgjør det største produksjonsvolumet, men også dette er veldig lave produksjonsvolumer i forhold til antallet trucker med andre energibærere.

Biogass

Bruk av biogass innen transport/anlegg er i likhet med hydrogen, generelt lav i Norge og Europa i forhold til andre drivstoffalternativer. Sverige er derimot ett av landene i Europa hvor det har vært høy politisk interesse i å implementere biogass som energibærer i transportsektoren, og der er det mulighet for å fylle biogass på de fleste bensinstasjonene. Bruk av biogass i Norge er i stor grad begrenset til busser, skip, lastebiler/renovasjonsbiler og et lite antall personbiler. Ifølge SSB var det i 2019 litt over 1800 registrerte gasskjøretøy i Norge. Av disse var det 820 busser, 460 varebiler og 319 lastebiler (33). Kun en håndfull personbilmodeller på biogass er til salgs her til lands i dag. Som statistikken viser har den største satsningen på biogass innen transport vært for bybusser, og regjeringen har satt som mål at i 2025 skal alle nye bybusser være nullutslippskjøretøy eller bruke biogass. Noen aktører innen tung- og langtransport har også begynt å ta i bruk biogass, men antallet er fortsatt lavt sammenlignet med totalen.

Biodiesel

Bruken av biodiesel er i forhold til de to førstnevnte energibærerne relativt utbredt innen transport- og anleggsektoren. Biodrivstoff utgjorde 12 prosent av totalt drivstoff til veitransport i Norge i 2018. I første halvår i 2019 utgjorde biodrivstoff 17 prosent av samlet forbruk av drivstoff. Biodiesel utgjør ca. 90% av dette biodrivstoffet (5). HVO biodiesel er kjemisk sett det samme som konvensjonell diesel. Det vil si at biodieselen kan bli brukt på lik linje som diesel. Innenfor tungtransport sektoren har flere store aktører godkjent at HVO100 (som vil si 100% HVO) biodiesel brukes i deres dieselmotorer. Biodiesel blir også brukt innen marin sektor. Produksjonsvolumet av biodiesel er lav i Norge, og nesten all biodiesel blir importert fra andre land.

5.2 Planlagte utvidelser for bruk og tidsperspektiver (anleggsmaskiner, lastebiltransport, ferger og luftfart)

Hydrogen

Det er flere aktører som har kunngjort planer og ambisjoner om å øke produksjonen av kjøretøy med hydrogen. Det finnes planer om produksjon av lastebiler, det er minst 2 prosjekter med tog som er under planlegging i Europa, og det er minst 2 ferger under planlegging i Norge. Det er i hovedsak det

som må defineres som småskala planer for å vise frem teknologien i håp om at dette skal fremstå så attraktivt at markedet begynner å etterspørre disse produktene. Det er ikke identifisert noen planer som er så store at de betinger at denne teknologien skal beveges seg ut av test og verifiseringsstadiet og inn i en fase der de driver en reell konkurranse med andre teknologier om å vinne betydelige markedsandeler.

Biogass

Flere aktører innen tungtransport og kollektivtransport har ambisjoner om å øke andelen kjøretøy som benytter enten LBG eller CBG. Regjeringen presenterte i Nasjonal transportplan 2018-2019 at alle nye bybusser skal være nullutslippskjøretøy eller bruke biogass i 2025. Enova tilbyr støtte til innkjøp av tynge biogassdrevne kjøretøy, og har også åpnet for å gi støtte til bygging av nye fyllestasjoner. Flere fyllestasjoner vil være avgjørende for veksten av biogassmarkedet med transportformål. Litra AS er blant de største privateide transportørene i Norge. De meldte i 2017 at de hadde inngått en avtale med Skagerak Energi om leveranse av biogass for 100 tunge kjøretøy fram til 2022. Den første trekkvognen ble levert i 2018, og alle skal være i bruk innen 2022 (34). Innenfor den marine sektoren er det også vekst i bruk av biogass. Hurtigruten har fått støtte fra NOx-fondet til tiltak med kombinasjon av batteripakker, LNG og LBG. De har inngått en avtale med Biokraft for leveranse av LBG, og avtalen er den største biogassavtalen på verdensbasis. Skipene skal gå mellom Bergen og Kirkenes fra 1. januar 2021 (20).

Biodiesel

Siden noen typer biodiesel kan brukes på lik linje som diesel, utgjør alle transportmidler som bruker konvensjonell diesel et marked for biodiesel. Det er hovedsakelig tunge kjøretøy som bruker ren biodiesel som energibærer i dag. En stor andel av den tunge kjøretøyparken er konstruert for å kunne bruke biodiesel i samme drivlinje som normalt bruker diesel. Volvo og Scania er to av aktørene som er markedsledende i tungtransport sektoren. Begge godkjenner bruk av ren biodiesel i alle sine Euro V og VI motorer. Andre aktører begynner nå å følge etter. Mercedes åpnet nylig for bruk av slike drivstoff på enkelte motormodeller (35). Biodiesel har de samme utslippene knyttet til bruk som konvensjonell diesel. Dette betyr at ettersom samfunnet går mot utslippsfrie alternativ, vil ikke biodiesel stille som en attraktiv kandidat innenfor noen områder. For sektorer som har større utfordringer med å implementere nullutslippsløsninger kan bruken av avansert biodiesel og utviklede dieselmotorer med mindre utslipp fortsatt vært en attraktiv løsning. Regjeringen varsler at det skal innføres et omsetningskrav på 0,5 prosent avansert biodrivstoff innenfor luftfartssektoren fra 2020. Kravet innebærer at det ikke skal brukes biodrivstoff fra problematiske råstoff som palmeolje (36). Det åpnes også stadig fyllestasjoner som tilbyr 100% biodiesel som kan benyttes av tungtransport. I dag tilbyr Eco-1, Preem og Circle K 100% biodiesel på noen av deres fyllestasjoner. Den marine sektoren er også et marked for biodiesel, men det har hittil vært relativt lite bruk pga. høyere priser ift. konvensjonell diesel.

6 Nå-situasjon ved hydrogen, biogass og biodiesel som energibærer innen jernbane

6.1 Presentasjon av erfaringer ved hydrogendrift

6.1.1 Alstom iLint/LNVG

Det franske selskapet Alstom har på oppdrag fra LNVG bygget 2 prototyper for passasjertrafikk som er satt i drift på en strekning i den tyske delstaten Niedersachsen. Disse kjøretøyene er bygget opp som beskrevet i de foregående kapittel 2.1. Prosjektet ble startet i 2013 som en pilot for å danne grunnlag for beslutning om teknologivalg for en større anskaffelse som skal erstatte LNVG sine dieselskjøretøy når disse når teknisk levetid. Foreløpig er kun første fase av prosjektet gjennomført, andre fase som inkluderer ytterligere 12 kjøretøy er ifølge selskapet bestilt og under bygging.

Strekningen togene er satt i drift på er en relativt rural bane med lav hastighet, mange stopp, på en linje med liten eller ingen stigning og ingen tunneler. Leverandøren mener det er et vellykket prosjekt som viser at basisteknologien kan levere den forventede pålitelighet. Det er pr i dag leverandøren som har ansvaret for vedlikehold, hydrogenleveranse og fylling av togene. Prosjektet er et prøveprosjekt, og det er rimelig å anta at det er brukt betydelige FoU midler fra både hovedleverandør og underleverandører i prosjektet i tillegg til at prosjektet har mottatt flere ulike former for offentlig utviklingsstøtte. Prosjektets økonomi er dermed vanskelig å få oversikt over og bør ikke uten videre brukes som referanse. Oppdragsgiver har pr dato ikke gjort noen sluttevaluering av prosjektet, eller tatt valg om videre bruk av teknologien.

6.1.2 Railpower/BNSF HH20B

I 2009 bygde BNSF om et Railpower GG20B skiftelokomotiv om fra dieselhybridrift til hydrogenhybridrift som fikk betegnelsen HH20B.

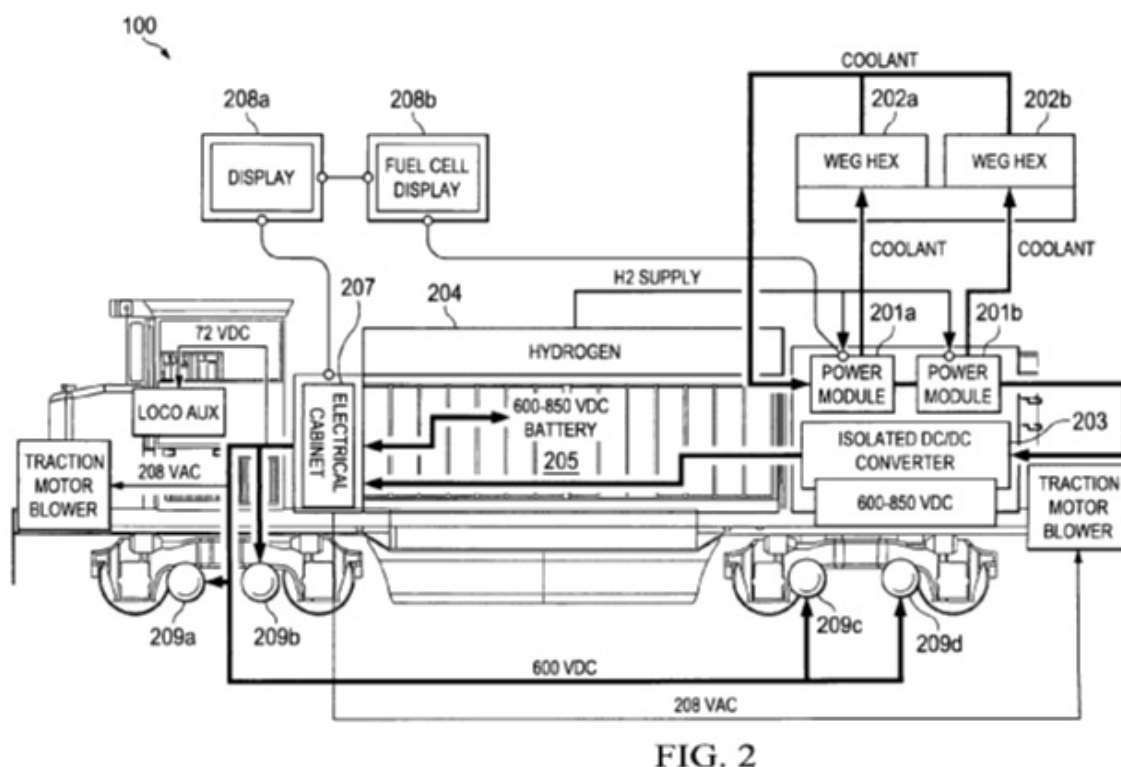


FIG. 2

Figur 4: Prinsippskisse av GG20B

GG20B er i utgangspunktet ett batteridrevet skiftelokomotiv der batteriene lades med en 300 hk dieselmotor. Ombyggingen bestod kort fortalt av å installere en hydrogentank over traksjonsbatteriene og å bytte ut dieselmotoren med to brenselceller. Sluttresultatet er ett lokomotiv som funksjonsmessig tilsvarer det et lokomotiv som fra grunnen er designet som hydrogenlokomotiv ville ha hatt.

Lokomotivet har effekt som tilsvarer 2000 hk, og 356 kN starttrekkraft. Dette er et lokomotiv som er designet for amerikanske forhold noe som gjør at det med egenvekt på 127 t veier betydelig mer enn det som tillates i Norge for dette lokomotivet.

I direktoratets dialog med BNSF i 2019 er selskapets vurderinger at hydrogendrift er for risikofyllt, infrastrukturkostnader knyttet til fyllestasjoner er for høye, og at energitettheten i hydrogen er for lav i forhold til utnyttelsen av volumet i kjøretøyet.

6.2 Planer for hydrogendrift

Det er i Tyskland i 2019, av RMV (lokaltransportmyndighetene i Frankfurt-området), bestilt 27 stk. iLint fra Alstom som skal settes i drift i et prosjekt der togene drives av hydrogen som er tilgjengelig som restprodukt fra en industribedrift i området (9).

Det er planer om testing av hybride tog KL/hydrogen eller annen alternativ energibærer, på 15 regiontog i Frankrike. Men det foreligger her ingen kontrakt, og det er foreløpig ukjent om det vil være hydrogenteknologi som vinner denne kontrakten (9).

6.3 Presentasjon av erfaringer ved biogassdrift

Norge har per dags dato ingen tog som går på biogass. Resten av Europa og verden har derimot noe erfaring med gasstog. Mesteparten av erfaringene går på bruk av naturgass som drivstoff, men siden oppgradert biogass er tilnærmet ekvivalent med naturgass vil disse kunne brukes i samme motorer.

6.3.1 Amanda/Tekniska Verken

Svensk Biogas, datterselskap av Tekniska Verken, iverksatte et pilotprosjekt i 2005 hvor et Y1-motorvognsett ble konvertert fra dieseldrift til ren gasdrift. Dieselmotoren ble byttet ut med to Volvo GH10B gassmotorer, og biogassen ble lagret i komprimert form (CBG) fordelt på 12 gassylindere. Toget ble kalt Amanda, og var verdens første biogasstog. Det hadde en rekkevidde på ca. 600 km, og gikk på lokalt produsert biogass. Amanda var i drift i fem år på strekningen Linköping-Västervik (Tjustbanan) og Linköping-Kalmar (Stångådalsbanan). Det ble opplyst i ettertid at de ikke opplevde noen driftsproblemer i forbindelse med gasdriften og at vedlikeholdskostnadene for gassmotorene var på samme nivå som for dieselmotoren (14).

6.3.2 Andre prosjekter

I Spania samarbeider togselskapet Renfe med Gas Natural Fenosa og Enagás på et LNG-pilotprosjekt for persontog. En av de to dieselmotorene i toget ble byttet ut med en LNG-motor for å få en direkte sammenligning av ytelsen. Toget kjører en 20km lang strekning mellom Trubia i Baíña og Figaredo, nord i Spania. Hvis pilotprosjektet sees som en suksess kan LNG-tog bli brukt for rute C8f som går fra Baíña til Collanzo (ca. 40km). Tsjekkia og Litauen har også hatt pilotprosjekt for tog som buker naturgass som drivstoff (37) (38) (39).

I Nord-Amerika har det vært en økt bruk av gass som drivstoff til jernbane. En av grunnene til dette er at prisen på naturgass har vært lavere enn diesel. Flere aktører leverer løsninger til dual-fuel drift. Et eksempel på en aktør som satser på dette er Indiana Harbor Belt Railroad (IHBR) som er en amerikansk skiftoperatør med 46 lokomotiv. I samarbeid med US Department of Transportation (US DoE) skal de konvertere 31 lokomotiver fra diesel til dual-fuel-drift. Det er forventet at disse vil være driftsklare i løpet av 2021. I Asia er det blant annet gassprosjekter for tog i Kina, Indonesia og India (14).

6.4 Planer for biogassdrift

Når alle planlagte anlegg for produksjon av biogass kommer i gang, vil det bli produsert rundt 1 TWh biogass i Norge i 2020 (40). En av de største utfordringene i dag er å få nok kunder til denne biogassen.

Strengere utslippskrav og forbedringer av virkningsgraden til gassmotorer gjør at biogass kan bli et mer attraktivt alternativ som drivstoff. Det er per dags dato ingen kjente planer om biogassdrift på jernbane i Europa. Det fins noen prosjekter som går på å bruke naturgass som drivstoff på tog. Hvis disse ansees som en suksess kan det være mulig å erstatte naturgass med biogass i fremtiden.

6.5 Presentasjon av erfaringer ved biodieseldrift

Biodiesel, både innblandet og som ren FAME eller HVO, har vært i bruk i ulike deler av verden i flere tiår. Jernbaneverket gjennomførte en utredning for bruk av biodiesel (FAME) ved jernbane i 2006. Parallelt til dette ble det publisert en rapport fra UIC (Union Internationale de Chemin de fer). Begge konkluderte med at det er mulig å blande inn opptil 50% 1. generasjons FAME biodiesel i konvensjonell diesel, så lenge det tas hensyn til flyteegenskapene til biodieselen om vinteren. Svenske Inlandsbanan bygger tankstasjoner for HVO, som ikke har de samme utfordringene når det gjelder flyteegenskaper. Første anlegget står på plass i Östersund, og kan benyttes av både jernbane- og veitransport.

Biodiesel ble første gang testet ut som drivstoff i tog i 2007. Noen lokomotivprodusenter har også dedikerte modeller for biodiesel, men tilbudet er begrenset for motorer som er egnet til B100.

Amerikanske Amtrak gjennomførte et ett-års prøveprosjekt i 2010–2011 og konkluderte med at innblandingen med opptil 20% biodiesel (B20) ikke hadde noen negative effekter på materiellet (1).

6.6 Planer for biodieseldrift

I Norge er det et omsetningskrav om 20% biodrivstoff innen 2020. Dette gjelder kun flytende biodrivstoff, som vil si at biogass ikke teller. Biodiesel står for ca. 90% av biodrivstoffet som brukes (41). I tillegg øker også kravene til andel avansert biodrivstoff.

Det er foreløpig ingen planer om biodieseldrift innen norsk jernbane. I Nederland (regionene Friesland og Groningen) har operatøren Aviva bestilt 18 nye tog som skal gå på 100% HVO. Disse skal være i bruk fra desember 2020 (42).

7 Miljøkonsekvenser ved bruk av hydrogen

7.1 Utslipp

Utslipp fra bruk av hydrogen som energibærer er komplekst og må deles i to deler for å kunne forstås korrekt.

Den første delen er selve bruken av hydrogen om bord i tog. Med brenselcelleteknologi er utslippet fra omsettingen av hydrogen til strøm, kun rent vann og overskuddsvarme. Svært ofte fremstilles dette som hele utslippsbildet knyttet til bruk av hydrogen som energibærer.

For å forstå hele bildet må man ikke bare se på bruken i kjøretøyet, men også på produksjons og distribusjonsskjeden.

Som tidligere nevnt er det tre hovedkilder til produksjon av hydrogen, elektrolyse av vann, utvinning fra naturgass og utnyttelse av restprodukter fra annen industriell produksjon. Av disse er det produksjon av hydrogen fra naturgass som er den dominerende metoden for produksjon av hydrogen pr i dag.

Dersom man tar utgangspunkt i at produksjonen skjer fra naturgass vil denne metoden ha et CO₂ utslipp som er på 7,05kg CO₂/pr kg hydrogen.

Dersom man tar utgangspunkt i at togene benytter restprodukter fra industrielle prosesser, blir det vanskelig å beregne et utslipp, og det vil være et diskusjonsspørsmål hvorvidt utslippene skal regnes som utslipp knyttet til hydrogenproduksjonen eller ikke, da hydrogen er et biprodukt fra en annen prosess. Tilgangen på hydrogen fra denne produksjonsmetoden vil ikke reguleres av behovet for hydrogen, men av behovet for produktet som produseres i primærprosessen. Dette gir denne kilden noen begrensninger som kilde til hydrogen dersom bruken av hydrogen økes betydelig.

Dersom man tar utgangspunkt i at produksjonen skjer fra elektrolyse vil prosessen i seg selv ikke føre til utslipp, men vil være svært energikrevende. Energien som tilføres vil måtte tilføres i form av strøm. Det er flere aktører som i sine vurderinger av utslipp fra elektrolyse forutsetter såkalt grønn strøm, som de dermed forutsetter at er utslippsfri. Dersom man derimot legger til grunn f.eks. en nordisk kraftmiks eller en europeisk kraftmiks der bruk av strøm er forbundet med en viss grad av utslipp vil også denne produksjonsmetoden innebære en betydelig andel utslipp. Hvor store disse utslippene er vil dermed avhenge av produksjonsmetoden for strøm og prosessens virkningsgrad fra den primære energikilden til fremføring av toget.

Dersom man ikke betrakter strøm som helt utslippsfritt vil andre forhold som påvirker den samlede prosessens virkningsgrad også påvirke utslippene, slik som komprimering, omdanning til flytende form, transportavstand, transportmetode osv.

Det er også noen ulikheter i hvordan man betrakter strøm, virkningsgrader og alternativ bruk. Enkelte velger å anse tilgangen på strøm som ubegrenset, og har dermed ikke med seg vurderinger av virkningsgrader. Dersom man velger å se strøm som en begrenset ressurs, der de tap lave virkningsgrader representerer kunne vært bruk alternativt for å erstatte annen bruk av energi vil man måtte regne inn utslipp knyttet til dette også når man beregner utslipp, selv om man tar forutsetning om at det benyttes såkalt grønn strøm i produksjonsprosessen. (43)

7.2 Støy

Sammenlignet med støy fra et dieseldrevet tog vil bruk av hydrogenteknologi medføre en betydelig reduksjon i støy. Et kjøretøy med hydrogen som energibærer vil ha et støybilde som er svært likt det du får fra et ordinært elektrisk drevet kjøretøy både med tanke på utvendig støy og støy inne i kjøretøyet.

7.3 Levetid, gjenbruk/deponering av utstyr

Et tog drevet med hydrogen som energibærer er som nevnt å betrakte som et batterielektrisk tog med en hydrogendrevet batterilader. Levetiden for et ordinært jernbanekjøretøy betraktes av Jernbanedirektoratet til å være 30 år, det antas at dette vil være gyldig også for et kjøretøy med hydrogen som energibærer. Det antas at et kjøretøy med hydrogen som energibærer i hovedsak vil kunne gjenvinnnes og deponeres på samme måte som et ordinært kjøretøy. Siden teknologien innebærer bruk av et relativt sett stort batteri, må det antas at dette vil måtte gjenvinnnes, gjenbrukes eller deponeres på samme måte som andre store batterier benyttet i transport. De er ikke identifisert noen deler av teknologien som antas vil utgjøre noen særskilt utfordring å håndtere for norsk avfall og gjenvinningsindustri på det tidspunkt dette blir aktuelt.

7.4 HMS ulemper og gevinster

Bruk av hydrogenteknologi vil ha ulik påvirkning på HMS for ulike grupper av personell som er involvert i håndtering av kjøretøyet.

For førere og annet personell som arbeider om bord i kjøretøyet når det er i drift, vil de få reduserte støybelastninger sammenlignet med et dieseldrevet kjøretøy. Behandlingen og arbeidsmiljøet vil være svært likt som ved et elektrisk drevet kjøretøy når kjøretøyet er i normal drift.

Basisteknologien har liten eller ingen betydning for disse gruppenes arbeidsmiljø når toget er i normal drift, men tilstedeværelsen av en større mengde hydrogen kan ha det. Tilstedeværelsen av en lett antennbar og svært eksplosiv gass i kjøretøyet vil kunne ha stor betydning for arbeidsmiljøet i tilknytning til avvik og uønskede hendelser. Jernbanedirektoratet vil ikke gjøre noen vurdering av denne betydningen, da det er det enkelte jernbaneforetak som er ansvarlig for å utføre risikovurderinger av alle endringer i operasjon, organisasjon og teknikk innen egen virksomhet i henhold til jernbanelovgivningen.

Tilstedeværelsen av hydrogen vil også kunne påvirke verkstedpersonell, renholdspersonell, personell i ulike beredskapsorganisasjoner og andre som arbeider i og ved et kjøretøy eller et fylleanlegg som inneholder en større mengde hydrogen. Det er Jernbanedirektoratet sin vurdering at det personell som kan være involvert i avvik og uønskede hendelser er spesielt utsatt for negativ påvirkning av HMS i tilknytning til bruk av hydrogen i jernbanekjøretøy, men at dette må vurderes spesifikt av de organisasjonene som er ansvarlig for personellet det er aktuelt for.

8 Miljøkonsekvenser ved bruk av biogass

8.1 Utslipp

Utslipp i forbindelse med bruk av biogass som energibærer er koblet til mange ledd. Utslippene vil avhenge av hvilket råstoff som brukes, hvordan biogassen oppgraderes og hvordan den distribueres. I tillegg kommer utslippene som er direkte knyttet til forbrenningen av biogass i motoren og metanutslipp i tilknytning til lekkasjer og trykkavlastning.

Utslippene i forbindelse med biogassproduksjon varierer ut ifra hvilket råstoff som brukes. CO₂ utslippene vil være høyere ved biogassproduksjon fra husdyrgjødsel sammenlignet med biogass produsert fra matavfall (43). Fellesnevneren for råstoff til biogassproduksjon er allikevel at de alle er avfall, som ellers ville bidratt til utslipp av metan når de dekomponeres i naturen eller CO₂ ved forbrenning.

Hvordan biogassen renses vil også slå forskjellig ut på CO₂ regnskapet. Det samme gjelder om det produseres CBG eller LBG.

Det fins forskjellig informasjon når det kommer til reduksjon av klimagassutslipp ved bruk av biogass istedenfor diesel, som er energibæreren tog på ikke-elektrifiserte baner bruker i dag. Konsensus er at det er en klimagevinst i å erstatte diesel med biogass når det kommer til CO₂ og NO_x utslipp.

En LCA analyse gjort i samarbeid med Rambøll og Norsk Gassforum viser at tog som går på biogass kan redusere det årlige CO₂ utslippet med 77%, og NO_x utslippet med 85% sammenlignet med tog som bruker diesel (14). Faktorer som spiller inn på disse tallene er, som nevnt tidligere, blant annet hvilket råstoff som brukes og hvor langt råmaterialet må transporteres. Med innføring av Euro VI-standardene har dieselmotorer (drevet på fossil diesel eller biodiesel) fått lavere utslipp av partikler og NO_x slik at gassmotorens fordeler i forhold til lokale utslipp er mindre enn tidligere (12).

Hovedkomponenten i biogass er metan, en drivhusgass som er rundt 20 ganger verre enn CO₂. Noe metan slippes ut i naturen ved naturlige geologiske prosesser, mens mye av utslippet er menneskeskapt. Det er en potensiell risiko for metanutslipp ved produksjonen av biogass, lekkasjer fra motorer og ved fyllestasjoner for biogass. Det er derfor viktig å ha god kontroll på gasslekkasjer ved alle disse områdene.

LBG passer best som drivstoff for kjøretøy som er mye i bruk, og ikke like godt hvis kjøretøyet står mye i ro. Dette har å gjøre med at tankene ikke har kjølere, men er isolerte. Når LBG varmes opp vil den gå over til gassfase og utvide seg betraktelig. For å holde trykket nede er tankene utstyrt med overtrykksventiler som slipper ut gass. Hvis kjøretøyet står mye i ro kan dette potensielt føre til betydelige metanutslipp (10).

8.2 Støy

Støybildet fra kjøretøy med biogass som energibærer vil være noe av det samme som støy fra dieseldrevne kjøretøy. Erfaringen fra busser som går på biogass er at støybildet kan være noe mindre, men at det avhenger av enkeltmodeller (1).

8.3 Levetid, gjenbruk/deponering av utstyr

Som nevnt tidligere betraktes levetiden for et ordinært jernbanekjøretøy av Jernbanedirektoratet til å være 30 år. Det antas at dette vil være gyldig også for et kjøretøy med biogass som energibærer. Det antas at et kjøretøy med biogass som energibærer i hovedsak vil kunne gjenvinnes og deponeres på samme måte som et ordinært kjøretøy. De er ikke identifisert noen deler av teknologien som antas vil utgjøre noen særskilt utfordring å håndtere for norsk avfall og gjenvinningsindustri på det tidspunkt dette blir aktuelt.

8.4 HMS ulemper og gevinster

Bruk av biogasssteknologi vil ha ulik påvirkning på HMS for ulike grupper av personell som er involvert i håndtering av kjøretøyet.

For førere og annet personell som arbeider om bord i kjøretøyet når det er i drift, vil de få omtrent samme støybelastninger sammenlignet med et dieseldrevet kjøretøy.

Basisteknologien har liten eller ingen betydning for disse gruppernes arbeidsmiljø når toget er i normal drift, men tilstedeværelsen av en større mengde biogass kan ha det. Tilstedeværelsen av en lett antennbar og eksplosiv gass i kjøretøyet vil kunne ha stor betydning for arbeidsmiljøet i tilknytning til avvik og uønskede hendelser. Jernbanedirektoratet vil ikke gjøre noen vurdering av denne betydningen, da det er det enkelte jernbaneforetak som er ansvarlig for å utføre risikovurderinger av alle endringer i operasjon, organisasjon og teknikk innen egen virksomhet i henhold til jernbanelovgivningen.

Tilstedeværelsen av biogass vil også kunne påvirke verkstedpersonell, renholdspersonell, personell i ulike beredskapsorganisasjoner og andre som arbeider i og ved et kjøretøy eller et fylleanlegg som inneholder en større mengde biogass. Det er Jernbanedirektoratet sin vurdering at det personell som kan være involvert i avvik og uønskede hendelser er spesielt utsatt for negativ påvirkning av HMS i tilknytning til bruk av biogass i jernbanekjøretøy, men at dette må vurderes spesifikt av de organisasjonene som er ansvarlig for personellet det er aktuelt for.

9 Miljøkonsekvenser ved bruk av biodiesel

9.1 Utslipp

Utslippene i forbindelse med biodiesel som energibærer er knyttet til produksjon, distribusjon og forbrenning. Hvilken type råstoff som benyttes til produksjonen har en signifikant påvirkning på utslippene. For eksempel kan biodiesel laget fra palmeolje som har blitt utvinnet fra palmetrær dyrket på arealer som tidligere var regnskog, ha et høyere CO₂ utslipp knyttet til livsløpsberegningene enn konvensjonell diesel. Denne typen produksjon fører til direkte arealbruksendring, DLUC (direct land-use change). EU regelverket for godkjenning av biodrivstoff tillater ikke bruk av biodrivstoff produsert der produksjonen fører til DLUC (44). En annen form for arealbruksendring er indirekte arealbruksendring, ILUC (indirect land-use change). Dette innebærer at det blir produsert råstoff for biodieselproduksjon der det tidligere ble produsert mat. Matproduksjonen må dermed flyttes, og nye jordbruksarealer må utvikles. Dersom denne arealbruksendringen fører til avskoging eller drenering av myrområder, vil dette medføre klimagassutslipp. Denne risikoen gjelder først og fremst 1. generasjons biodiesel, hvor råstoffet kan brukes til mat- eller fôrproduksjon. Utslipp knyttet til ILUC kan ikke måles, og det benyttes derfor beregnede ILUC-faktorer for å finne ut det totale CO₂ utslippet fra produksjonsleddet. Avansert biodiesel laget fra avfall har derimot ikke samme risiko for arealbruksendring (8).

LCA analyser viser at utslippet ved konvensjonell dieseldrift er ca. 3,2kg CO₂/L diesel, som utgjør omtrent 3,8kg CO₂/kg diesel (45). Selv medregnet arealbruksendring for 1. generasjon produksjonsteknologi, anslås det en total reduksjon av CO₂-utslipp opp mot 60% sammenlignet med konvensjonell diesel. Bruk av avansert biodrivstoff kan redusere CO₂-utslippet med inntil 90%.

Utslipet knyttet til selve forbrenningen er det samme for biodiesel og diesel. Forskjellen er at biodiesel produseres enten fra planter som binder CO₂ når de vokser eller avfall som uansett ville ha bidratt til utslipp enten ved dekomponering i naturen eller ved annen forbrenning (1).

Når det gjelder utslipp av sot og NO_x avhenger utslippet av lasten. Under lav og mellomhøy last er NO_x-utslipp fra biodiesel lavere kontra diesel, mens ved høy belastning øker utslippet noe for biodiesel.

Biodrivstoffer fra vegetabilsk biomasse er i utgangspunktet svovelfrie. Derfor er utslipp av syrekomponenter som SO₂ og SO₃ neglisjerbare (1).

9.2 Støy

Støybildet fra kjøretøy med biodiesel som energibærer vil være det samme som for dieseldrevne kjøretøy.

9.3 Levetid, gjenbruk/deponering av utstyr

Et kjøretøy med biodiesel som energibærer vil kunne gjenvinnes og deponeres på samme måte som et ordinært dieselskjøretøy.

9.4 HMS ulemper og gevinster

Bruk av biodiesel vil ha liten eller ingen endring i påvirkning på HMS for ulike grupper av personell som er involvert i håndtering av kjøretøyet sammenlignet med dagens bruk av ordinær diesel.

10 Fyllekonsepter/teknologi for fylling og transport av hydrogen

10.1 Fylleanlegg

Fyllestasjonen for hydrogenog som har lagringstanker for hydrogen i form av gass under trykk, har flere funksjoner.

- Fyllestasjonen må lagre en mengde hydrogen som er stor nok til at kjøretøyene som betjenes fra fyllestasjonen får dekket sitt forbruk i periodene mellom hver gang fyllestasjonen blir tilført hydrogen.
- Fyllestasjonen må kunne omdanne hydrogen til den form kjøretøyene som skal fylles har behov for.
- Fyllestasjonen må kunne overføre hydrogen fra kjøretøy til tog på en sikker og effektiv måte.
- I tillegg kan det å kunne ta imot hydrogen på en sikker og effektiv måte også betraktes som en funksjon.

Lagring av en større mengde hydrogen representerer en samling av en stor energimengde, som har et potensial for å kunne frigis og omdannes på en ukontrollert måte i form av brann eller eksplosjon. Ved lagring i form av hydrogen i væskeform finnes også farer for personell i umiddelbar nærhet til anlegget knyttet til de ekstremt lave temperaturene som kan oppstå knyttet til utslipp av hydrogen i væskeform. Dette stiller store krav til sikkerhet i konstruksjon og drift av et slikt anlegg.

Mengden hydrogen som håndteres i et fylleanlegg for tog er ikke spesielt stor i en industriell sammenheng, men det må forventes at DSB og planmyndighetene stiller samme type krav til et fylleanlegg for tog som det som stilles til andre industrielle anlegg som håndterer potensielt farlige substanser.

Plassering av et fylleanlegg for tog i Norge vil dermed med stor sannsynlighet måtte ha sikkerhetssoner som gjør det relativt arealkrevende og vil måtte plasseres noe avsidesliggende i forhold til bebyggelse og annen aktivitet.

Det midlertidige fylleanlegget som er bygget for å betjene de to prototypene som er i drift i Tyskland baserer seg på lagring av hydrogen i væskeform (9). Det er et relativt lite anlegg som benytter en tankbilhenger som lager for hydrogen. Denne inneholder ca. 2,4m³ med hydrogen i væskeform når den er full. Tankhengeren byttes ut ca. hver 3 uke, med det driftsmønster togene pr i dag har. Det er søkt om byggetillatelse for et permanent anlegg som skal betjene de 14 togene i prøveprosjektet. Dette anlegget er også basert på lagring av hydrogen som væske. Anlegget det er søkt om baseres i likhet med det midlertidige anlegget seg på leveranser av hydrogen med tankbil. Det permanente anlegget vil få en kapasitet som gjør at det trenger leveranser av hydrogen med tankbil flere ganger i uken (9).

Fylleanlegg kan også konstrueres med lokal produksjon av hydrogen, men da må det bygges med moduler for dette og sikres en betydelig leveranse av elektrisk kraft for å forsyne elektrolyse prosessen som benyttes for å produsere hydrogen. Det permanente anlegget som er søkt om å bygge i Tyskland inneholder ikke en produksjonsmodul, men leverandøren antyder at dette kan planlegges inn i et fremtidig byggetrinn som enda ikke er planlagt eller søkt om.

For å kunne benytte hydrogen fra lagringstankene til å fylle opp togets lagringstanker må fylleanlegget inneholde en modul som omdanner flytende hydrogen til hydrogen-gass med korrekt trykk. Dette skjer ved at flytende hydrogen føres fra lagringstank til en fordampningsmodul der flytende hydrogen ekspanderes over en ekspansjonsventil og tilføres en viss energi i en varmeveksler slik at det oppnås en fordampning av flytende hydrogen og etablering av gass med korrekt trykk for fylling av toget. Denne prosessen styres og overvåkes av elektronikk som pga. eksplosjonsfaren er plassert

i en hermetisk lukket seksjon som er fylt med nitrogen eller annen egnet inertgass. Som følge av eksplosjonsfaren ved lekkasjer i anlegget og de ekstremt lave temperaturene som kan oppstå ved håndtering av hydrogen er ventilene i anlegget operert ved hjelp av helium. Seksjonen med røranlegg, ventiler og fordampere er plassert i en relativt åpen modul med god ventilering til det fri i toppen for å hindre ansamling av hydrogen ved lekkasjer eller ulykker i anlegget.

10.2 Oppfyllingshastigheter og kapasitet

Oppfylling av et hydrogenkjøretøy kan gjøres i løpet av noen minutter når kjøretøyet er kjørt i posisjon og koblet til fylleanlegget.

Et fylleanlegg for hydrogentog kan dimensjoneres til å ha så stor kapasitet som det er behov for. Det er ikke anlegget i seg selv som vil være den begrensende faktor, men tilgangen på hydrogen og behovet for hydrogen.

10.3 Produksjon, kapasitet og tilgjengelighet.

Hydrogen kan grovt sett ha tre ulike opphav, det kan produseres fra hydrokarboner, det kan produseres fra elektrolyse av vann, det kan produseres som restprodukt fra ulike kjemiske prosesser i industrien.

Pilotprosjektet i Tyskland baseres pr i dag på hydrogen som restprodukt fra industrien. Dette er imidlertid en begrenset ressurs som kan levere til drift av to tog. For det utvidete prosjektet vil det ikke dette være nok, og man må på sikt basere seg på hydrogen fra andre kilder. Det er pr i dag ikke kjent hvor store kvanta med hydrogen som er tilgjengelige for drift av jernbanekjøretøy i Norge som har opphav i restprodukter fra industrielle prosesser. Det er heller ikke kartlagt hvor slike kilder eventuelt finnes, og hvilken transport som vil bli nødvendig med henting av hydrogen fra slike kilder.

For storskala produksjon av hydrogen, finnes det to aktuelle teknikker, elektrolyse av vann og produksjon fra hydrokarboner. Ved produksjon fra hydrokarboner genereres det store mengder CO₂ og andre restgasser, som utgjør en betydelig forurensning dersom de slippes ut i atmosfæren. For at slik produksjon skal kunne være forsvarlig, må restgassene fanges og håndteres på en måte som ikke gir utslipp til atmosfæren. Flere store olje og gassaktører jobber med å finne løsninger for denne type storskala produksjon av hydrogen, men pr i dag er det ikke noen anlegg tilgjengelige i Norge som leverer hydrogen basert på denne type produksjon.

Produksjon av hydrogen fra vann ved hjelp av elektrolyse er i seg selv en relativt ren form for produksjon. Men den er energikrevende, prosessen i seg selv har en virkningsgrad på ca. 63 %. Det er pr i dag ikke noen anlegg i Norge som produserer hydrogen med denne metoden som er egnet til å forsyne jernbanekjøretøy.

Det finnes et fergesamband i Norge der det skal benyttes flytende hydrogen. I dette prosjektet ble det tidligere i år kjent at det ikke finnes noen produksjon av dette i Norge de kan benytte seg av, så hydrogenet de skal bruke må bli kjørt med lastebil fra Europa.

Det er rimelig å forvente at drift av jernbane med hydrogen vil kunne oppleve tilsvarende utfordringer som det omtalte fergeprosjektet i forhold til leveranser av hydrogen.

10.4 Transport av flytende, gass.

Hydrogen er en potensielt farlig substans i store kvanta, og transport av hydrogen omfattes dermed av krav til transport av farlig gods. Det er i prinsippet to aktuelle måter å transportere Hydrogen over land på. På jernbane eller på vei. Begge former for transport har egne regler og begrensninger for slik transport.

Sett fra et samfunnssikkerhetsperspektiv, vil det ikke være ønskelig med utstrakt transport av denne type brennbare gasser hverken på vei eller på jernbane dersom det ikke er strengt nødvendig. Bakgrunnen for det er det store skadepotensialet som finnes i tilknytning til ulykker som medfører ukontrollerte utslipp av brennbar gass. Ukontrollerte utslipp kan potensielt antennes, og pga. at

mediet er i gassform må få lov til å brenne ut da en slukking av brannen kan medføre eksplosjonsfare.

Jernbanen hadde et eksempel på dette på Lillestrøm i 2000 da propangass fra en godsvogn for transport av gass ble antent. Det var en krevende og risikofylt operasjon for det sivile beredskapsapparatet, som i tillegg til tiltak for å forhindre eksplosjon også omfattet evakuering av store deler av Lillestrøm sentrum. Denne brannen fikk brenne ut, men dersom det hadde oppstått eksplosjon ville det med høy sannsynlighet krevd flere menneskeliv (46).

Dersom et slik uhell hadde skjedd i en tunnel med en transportvogn for hydrogen vil den energimengden som finnes i en transportvogn for hydrogen være så stor at det i tillegg til fare for involvert personell og materiell er et potensial for betydelige skader på selve tunnelen ved brann eller eksplosjon. Dersom det etableres faste og frekvente transporter med hydrogen på vei eller på jernbane bør dimensjonering av lokal beredskap og tapspotensiale langs strekningene vurderes.

10.5 Hva er maksimal rekkevidde, gods, persontog

Det er størrelsen på kjøretøyets lagringstanker for hydrogen som er dimensjonerende for togets rekkevidde.

Dimensjoneringen av kjøretøyets tanker påvirkes av togets totale energiforbruk, hvilken rekkevidde man ønsker og hvilke klimatiske forhold man opererer under. I tillegg begrenses mulighetene for hvor mye tanker man kan ha i et kjøretøy, av tilgangen på plass som er egnet og ledig for bruk til dette formålet, på kjøretøyet.

Maksimal rekkevidde for persontog er av de fleste leverandører som har konsepter basert på tog med hydrogen som energibærer oppgitt til ca. 1000km.

Ved konfigurering av et kjøretøy vil dimensjonering av tanker måtte gjøres spesifikt for den drift, det klima og den banestrekning kjøretøyet skal driftes.

For godstog finnes det ingen konsepter som er utviklet av noen kjøretøyleverandører.

Det er foreslått noen konsepter fra ulike forskningsmiljøer og interesseorganisasjoner. Det begrensende innen dette er at det vurderes som uakseptabelt å flytte hydrogen fra en vogn til en annen. Alt hydrogenutstyr vil måtte plasseres i den samme vogn/lokomotivet.

Prinsipielt vil man kunne bruke flere vogner dersom overføringen av energi skjer i form av strøm. Hvilken rekkevidde man da oppnår vil variere svært mye ut ifra om man baserer seg på bruk og fylling av flytende hydrogen eller hydrogen som trykksatt gass, og om man benytter ett lokomotiv/vogn eller flere vogner.

Konsepter for godstog med hydrogen som energibærer er av Jernbanedirektoratet vurdert til å være for teknologisk umodent til å kunne anslå noen rekkevidde.

10.6 Regenerering av effekt ved motorbremsing

Et tog som har hydrogen som energibærer, er i prinsippet et batterielektrisk tog med hydrogendrevet batterilader. Dette innebærer at toget har en elektrisk drivlinje og et fremdriftsbatteri der det finnes mulighet for å gjenvinne og lagre energi fra bremsing av toget.

Dersom fremdriftsbatteriet har tilstrekkelig kapasitet vil et hydrogentog kunne gjenvinne bremseenergi på lik linje med et ordinært elektrisk tog eller et batteritog.

Begrensningen ligger i fremdriftsbatteriet størrelse, et slik batteri vil i en del tilfeller kunne være for lite til at regenerering av bremse energi kan gjøres optimalt. Det vil med andre ord kunne regnes med at en viss andel av den mulige tilgjengelige energien fra bremsing vil kunne gjenvinnes, men utnyttelsesgraden vil trolig være noe lavere enn på ordinære elektriske tog og batterielektriske tog.

11 Fyllekonsepter/teknologi for fylling og transport av biogass

11.1 Kapasitet i fylleanlegg

Fyllestasjonen for tog som har lagringstanker for biogass i form av gass under trykk, har flere funksjoner.

- Fyllestasjonen må lagre en mengde biogass som er stor nok til at kjøretøyene som betjenes fra fyllestasjonen får dekket sitt forbruk i periodene mellom hver gang fyllestasjonen blir tilført biogass.
- Fyllestasjonen må inneholde den formen for biogass (CBG eller LBG) som kjøretøyene som skal fylles har behov for.
- Fyllestasjonen må kunne overføre biogass til kjøretøy på en sikker og effektiv måte.
- I tillegg kan det å kunne ta imot biogass på en sikker og effektiv måte også betraktes som en funksjon.

I likhet med hydrogen representerer lagring av en større mengde biogass en samling av en stor energimengde, som har et potensial for å kunne frigis og omdannes på en ukontrollert måte i form av brann eller eksplosjon. Dette stiller store krav til sikkerhet i konstruksjon og drift av et slikt anlegg. Sikkerhetsnivået i og rundt et fylleanlegg for tog vil måtte være høyt nok til at det overbeviser DSB og lokale planmyndigheter om at det er en tilfredsstillende sikkerhet knyttet til anlegget til at det er forsvarlig å gi byggetillatelse. Det må forventes at planmyndighetene stiller samme type krav til et fylleanlegg for tog som det som stilles til andre industrielle anlegg som håndterer potensielt farlige substanser.

Det er i dag 20 kommersielle fyllestasjoner for biogass, hvorav én distribuerer både LBG og CBG. De resterende 19 distribuerer kun CBG eller en kombinasjon av CBG og CNG. Det er i tillegg 9 ikke-kommersielle fyllestasjoner. CBG leveres ved et trykk på 230 bar, mens LBG leveres med et trykk på 3-4 bar og temperatur på ca. -172 °C. I januar 2019 ble det annonsert at det kommer en LBG tank tilkoblet en CBG fyllestasjon på industriområdet Øra i Fredrikstad. En fyllestasjon for CBG er planlagt ferdigstilt i løpet av 2019 i Halden, og en planlagt fyllestasjonen i Stokke skal levere en kombinasjon av CBG og LBG. I tillegg er det planlagt å komme en LBG fyllestasjon i Trondheim (10).

11.2 Kjøretøyenes fyllekapasitet

Et fylleanlegg for biogasstog kan dimensjoneres til å ha så stor kapasitet som det er behov for. Fyllekapasiteten avhenger av lagringskapasiteten av drivstoffet i toget.

11.3 Produksjon, kapasitet og tilgjengelighet.

Biogass kan produseres fra mange forskjellige typer avfall. De fleste biogassanleggene i Norge i dag bruker avløps slam eller matavfall som råstoff. Produksjonen er en anaerob (dvs. oksygenfri) biologisk prosess hvor mikroorganismer bryter ned de organiske komponentene i avfallet og produserer metan og CO₂, i tillegg til mindre mengder andre gasser. Biogassen fra anleggene har en metanandel på 50-70%, og må oppgraderes før den kan brukes som drivstoff. Det er hovedsakelig tre teknologier for å oppgradere biogassen; våtskrubbing,aminskrubbing og membranseparasjon.

Sammenlignet med diesel inneholder gass mindre energi per volumenhet. En liter diesel har samme energiinnhold som ca. 1 060 liter biogass i naturlig form. Til sammenligning har en liter diesel samme energiinnhold som 4,3 liter CBG eller ca. 1,6 liter LBG. Når biogass anvendes som drivstoff er det derfor nødvendig med komprimering eller flytendegjøring (47). Om et tog benytter CBG eller LBG avhenger av lagringsplass og energibehov. Når biogassen forbrennes vil den alltid være i gassfase, som vil si at forskjellen på CBG og LBG er fasetilstanden den er lagret i. LBG har høyere

energitetthet og gir dermed lengre rekkevidde. CBG lagres i sylindere, mens LBG lagres i vakuumisolerte sylindertanker (48).

Produksjonen av biogass er ikke den begrensende faktoren når det gjelder kapasitet og tilgjengelighet. Det er nok avfall til å dekke behovet, og det er ledig kapasitet ved anleggene for å øke produksjonen. Flaskehalsen innenfor veitrafikk er infrastrukturen og tilgjengelighet på drivstoffet. De fleste kommersielle fyllestasjonene ligger på Østlandet. For LBG, som er den mest lovende energibærerformen for lengre strekninger, er det foreløpig kun én fyllestasjon i Norge. Dette setter for øyeblikket begrensninger på den kommersielle tilgjengeligheten. LBG kan imidlertid også fraktes over hele landet med tankbil ved behov.

11.4 Transport av biogass, flytende, gass.

Flere av fyllestasjonene for biogass er tilknyttet biogassproduksjonen ved avfallshåndteringsanlegg. Utover dette transporteres gassen som regel på tankbil. Noen steder distribueres også gassen via rørledninger. Ved lengre strekninger transporteres gassen i væskefase. Dette gjør det mer effektivt å transportere gassen da den opptar mindre volum. Ulempen er at det kreves mye energi for å kjøle ned gassen slik at den forblir i væskefase. Bedrifter med store flåter av gasskjøretøy bruker ofte ikke-kommersielle fyllestasjoner (35).

Biogass er på lik linje med hydrogen en brennbar gass. Forhåndsreglene for transport av biogass er dermed i tråd med hva som ble beskrevet i kapittel 10.4. Det er derimot allerede etablert en lokal produksjonsstruktur for biogass som gjør at den ikke nødvendigvis trenger å transporteres over like store avstander som hydrogen.

11.5 Hva er maksimal rekkevidde, gods, persontog

LBG har høyere energitetthet sammenlignet med CBG, som gjør at rekkevidden til kjøretøyene ofte er lenger. Typisk rekkevidde for LBG tungtransport lastebiler varierer mellom 1000km til 1600km, avhengig av antall tanker. Flere produsenter har derfor satset på LBG til både tungtransport og skip. CBG egner seg mer til kjøretøy som har lengre perioder med stillestående (10). Biogasstoget Amanda som brukte CBG som drivstoff hadde en rekkevidde på 600km.

11.6 Regenerering av effekt ved motorbremsing

Regenerering av effekt ved motorbremsing er ikke mulig for tog hvor biogass er energibærer da det normalt ikke har muligheten til å lagre den regenererte effekten.

12 Fylling og transport av biodiesel

12.1 Kapasitet i fylleanlegg

Eksisterende fylleanlegg for diesel kan benyttes som fylleanlegg for biodiesel med gjennomføring av mindre tiltak. Flytende biodrivstoff omsettes i dag i hovedsak som lavinnblandet biodiesel i fossil diesel, men det er flere aktører som har begynt å tilby fylling av 100% biodiesel. Eco-1 har seks fyllestasjoner som distribuerer ren biodiesel på Østlandet, Preem har to fyllestasjoner på henholdsvis Langhus og Halden, og Circle K har 16 fyllestasjoner i Norge som tilbyr HVO100 og B100. Disse er fordelt på Øst-, Vest-, Sør- og Midt-Norge (35).

12.2 Kjøretøyenes fyllekapasitet

Kjøretøyenes fyllekapasitet vil være den samme for biodiesel som for konvensjonell diesel.

12.3 Produksjon, kapasitet og tilgjengelighet.

Biodiesel produseres av fett eller oljer fra organiske ressurser som planter og avfall. Hvis biodieselen er produsert fra råvarer som kan bli brukt i matindustrien kalles det for 1. generasjons biodiesel, mens hvis det er produsert fra andre råvarer som ikke kan brukes til mat eller fôrproduksjon, som f.eks. avfall fra skog- eller kjøttindustrien, blir det kalt avansert biodiesel eller 2. generasjons biodiesel. Tyskland er den største produsenten av biodiesel i Europa, mens Finland er størst i Skandinavia (32).

Det finns forskjellige typer biodiesel. Den mest vanlige er FAME (fatty acid methyl ester), som blir produsert fra oljeholdige planter som raps eller soya, eller dyrefett. FAME produseres ved en prosess som kaller transesterifisering. Prosessen går ut på at fett/ olje reagerer med en alkohol (som regel metanol) under tilstedeværelsen av en katalysator og danner fettsyreestere (FAME). Glycerol er et restprodukt fra prosessen og kan brukes i andre industrier til å f.eks. produsere kjemikalier. Fettsyreesterne må renses før de kan benyttes som biodiesel.

FAME har andre egenskaper enn konvensjonell diesel. For eksempel fungerer FAME som et løsningsmiddel som kan skade pakningen i motoren. Hvis høye mengder FAME blandes inn med diesel kan dette føre til avleiringer i motoren som kan gi motorproblemer. FAME absorberer vann, og kan dermed ikke lagres like lenge som vanlig diesel. Lagringsperioder anbefales å være maks seks måneder.

Standard biodiesel som er på markedet i dag har innblandet 7,5% FAME.

En annen type biodiesel er HVO (hydrogenated vegetable oils). HVO kan bli produsert fra planteoljer, i tillegg til avfallsoljer og dyrefett. Denne biodieselen blir produsert ved at olje reagerer med hydrogen under høyt trykk, ved tilstedeværelse av en katalysator. Oksygenatomene bli fjernet og oljen blir omdannet til lange kjeder med hydrokarboner.

HVO har fått økende oppmerksomhet da egenskapene er like som for konvensjonell diesel. Dermed er lagringstiden tilnærmet ubegrenset, i tillegg til at det ikke blir avleiringer i motoren. Det er ingen innblandingsgrense for HVO i diesel. Hydrogenet som blir brukt i produksjonen kommer ofte fra naturgass, og som regel skjer produksjonen i konvensjonelle oljeraffinerier. NesteOil i Finland har derimot dedikert et anlegg til HVO produksjon (44).

Teknologien for produksjon av 1. generasjon biodiesel er kommersielt moden, og tilgjengeligheten er stor. Kommersiell produksjon av 2. generasjons biodiesel er foreløpig begrenset til HVO-produksjon fra avfallsoljer og treoljer (fra sidestrøm fra papirproduksjon). Kravene fra myndigheter om andel avansert biodrivstoff øker, og dermed vil det være et behov for at produksjonen av avansert biodrivstoff også øker for å møte behovet.

12.4 Transport av biodiesel

Transport av biodiesel skjer på samme måte som transport av konvensjonell diesel. Drivstoffet transporteres i væskefase i enten tog, tankskip eller lastbiler.

12.5 Hva er maksimal rekkevidde, gods, persontog

Rekkevidden på tog som har biodiesel som energibærer vil være den samme som rekkevidden for dieseltogene som brukes i dag.

12.6 Regenerering av effekt ved motorbremsing

Regenerering av effekt ved motorbremsing er ikke mulig på tog som bruke biodiesel som energibærer, da de normalt ikke har mulighet til å lagre den regenererte effekten.

13 Begrensninger/barrierer ved bruk av hydrogen som energibærer

13.1 Kapasitet for lengre strekninger og hvilke restkapasiteter skal beregnes

For persontog med hydrogen som energibærer vil ikke kapasitet til å kjøre lange strekninger være en barriere som er til hinder for bruk av teknologien. Dette vil heller være et konkurransefortrinn for denne teknologien i forhold til blant annet batteridrift. Det er mulig å lagre energimengder om bord i et persontogkjøretøy med hydrogen som energibærer som gir kjørelengder som er sammenlignbare med hva vi pr i dag har på dieselskjøretøy. Hydrogenkjøretøy kan også fylles opp med hydrogen forholdsvis raskt slik at rekkevidde ikke er en utfordring for denne teknologien.

Som tidligere nevnt er det ikke noen konsepter for gods som er utviklet av noen kjøretøyleverandør enda. Konseptskisser som er presentert av ulike forskningsmiljøer og interesseorganisasjoner tyder imidlertid på at det kan være noe utfordrende å få plass til tilstrekkelige mengder med hydrogen og utstyr tilknyttet prosessen med å omdanne hydrogen til strøm til å drive et godstog over lengere avstander uten å ta i bruk en eller flere vogner i tillegg til lokomotivet. Dette kan medføre at tiltakene for å etablere tilstrekkelig kapasitet til fremdrift i toget bidrar til å etablere operative begrensninger f.eks. ved skiftning og vending av tog som ikke lar seg gjennomføre på alle deler av den infrastruktur godsbransjen benytter uten betydelige endringer av eksisterende infrastruktur. Dette vil kunne være en barriere for bruk av denne teknologien innen godstransport.

13.2 Klimatiske forhold som kan, og påvirker hydrogendrift

Brenselscelleteknologien som benyttes i et tog med hydrogen som energibærer er svært følsom ovenfor forurensninger. Forurensninger kan komme inn i prosessen fra drivstoffet, og det er derfor svært høye krav til renhet på det drivstoffet som benyttes.

I tillegg kan prosessen forurennes fra tilknyttet utstyr som f.eks. kompressorer som brukes for å komprimere inntaksluft til brenselcellene. Det er eksempler på at olje fra kompressorer har medført havarier i brenselceller på kjøretøy.

Proessen kan også forurennes fra forurensninger i selve inntaksluften. Kjøretøy med hydrogen som energibærer har derfor avanserte rensesystemer for å sikre ren inntaksluft. Det er lite kunnskap om drift av kjøretøy med denne følsomme teknologien under krevende vinterforhold, og den type raskt endrende klimatiske forhold som opptrer ved ut og innkjøring av jernbanetunneler i tilknytning til vinterdrift og drift i områder som under visse forhold har spesielt høyt saltinnhold i luften.

Dette er forhold det i norsk Jernbane er en betydelig erfaring med at kan gi ulike tekniske og praktiske utfordringer for alle typer teknologi. En del av disse utfordringene er spesielle for jernbane, og en del av dem er spesifikke Norge, og noen få er begge deler.

Den manglende erfaringen og den sårbarheten denne teknologien har, kan medføre begrensninger og barrierer i forhold til bruk av teknologien i Norsk jernbane vi pr i dag ikke er kjent med.

13.3 Topografiske forhold

Brenselcelleteknologi kan påvirkes av atmosfærisk trykk Dette er en påvirkning som kan unngås dersom de benyttes kompressorer på inntaksluften, og siden dette er relativt normalt vil vi kunne se på denne påvirkningen som irrelevant. Da et kjøretøy med hydrogen som energibærer ikke har særskilte utfordringer knyttet til tilgangen til tilstrekkelige energimengder er det heller ikke ansett som at andre topografisk relaterte problemstillinger er relevante begrensninger eller barrierer for tog med hydrogen som energibærer.

13.4 Konsekvenser for nyttelast ved installasjon av hydrogenteknologi.

For Persontog er ikke dette en relevant utfordring, men for gods vil det kunne ha en påvirkning. Dersom et godstog må bruke vogner som energilager vil dette påvirke den tilgjengelige nyttelasten negativt. Hvor stor denne påvirkningen vil være er det noe usikkerhet rundt da det pr i dag ikke er presentert noen teknisk løsning basert på denne teknologien for godstog som er utviklet av en kjøretøyleverandør.

14 Begrensninger/barrierer ved bruk av biogass som energibærer

14.1 Kapasitet for lengre strekninger og hvilke restkapasiteter skal beregnes

For persontog med biogass som energibærer vil ikke kapasitet til å kjøre lange strekninger være en barriere som er til hinder for bruk av teknologien. Det er mulig å lagre energimengder om bord i et persontogkjøretøy med biogass som energibærer som gir kjørelengder som er sammenlignbare med hva vi pr i dag har på dieselskjøretøy. Det som bestemmer kjørelengdekapasiteten vil være lagringskapasiteten av gassylindere. Biogass kan også fylles opp forholdsvis raskt slik at rekkevidde ikke er en utfordring for denne teknologien.

Kjøretøy som bruker LBG vil ha en høyere kapasitet for lengre strekninger enn kjøretøy som bruker CBG. Tilgangen på kjøretøy med biogass som energibærer er derimot pr i dag tilnærmet fraværende i Europa.

14.2 Klimatiske forhold som kan, og påvirker biogasdrift

Teknologien med bruk av gassmotorer er prinsipielt så lik bruken av andre forbrenningsmotor at det forventes at klima og andre forhold som påvirker kjøretøyet vil ha tilnærmet samme påvirkning på kjøretøyet som det har på ordinære dieselskjøretøy.

14.3 Topografiske forhold

Et kjøretøy med biogass som energibærer har ingen særskilte utfordringer knyttet til tilgangen til tilstrekkelige energimengder når det gjelder persontog. Andre topografisk relaterte problemstillinger anses heller ikke som relevante begrensninger eller barrierer for tog med biogass som energibærer på persontog. I forhold til godstog er dette vanskeligere å vurdere da det ikke foreligger noen relevante tekniske løsninger som er utviklet av en kjøretøyleverandør.

14.4 Konsekvenser for nyttelast ved installasjon av biogassteknologi

For Persontog er ikke dette en relevant utfordring. Biogass som energibærer kan ikke transporteres mellom vogner, og av sikkerhetsmessig grunnlag vurderes ofte den beste løsningen at gassylindrene plasseres på taket. Persontoget Amanda hadde derimot gassylindrene under og på siden av toget.

Påvirkningen av biogassteknologi på nyttelasten for godstog er noe usikkert da det pr i dag ikke er presentert noen teknisk løsning basert på denne teknologien for godstog som er utviklet av en kjøretøyleverandør.

15 Begrensninger/barrierer ved bruk av biodiesel som energibærer

15.1 Kapasitet for lengre strekninger og hvilke restkapasiteter skal beregnes

Kapasiteten vil være den samme for tog som brukes biodiesel som energibærer som konvensjonell diesel.

15.2 Klimatiske forhold som kan, og påvirker biodieseldrift

Det vil ikke være andre begrensninger knyttet til klimatiske forhold ved biodieseldrift sammenlignet med konvensjonell diesel Dersom man legger til grunn bruk av HVO. Ved bruk av FAME vil klimaforhold som gir kondens i lagringstanker kunne medføre økte utfordringer med algevekst.

15.3 Topografiske forhold

Det vil ikke være andre begrensninger knyttet til topografiske forhold ved biodieseldrift sammenlignet med konvensjonell diesel.

15.4 Konsekvenser for nyttelast ved installasjon av biodieselteknologi

Bruk av biodiesel som energibærer vil ikke gi noen endring i nyttelast for verken persontog eller godstog sammenlignet med dieseldrevne tog, da energilagrene vil være de samme.

16 Nødvendige forutsetninger/tiltak i infrastrukturtiltak for en overgang til hydrogendrift

16.1 Fylleanlegg

Lagring av en større mengde hydrogen representerer en samling av en stor energimengde, som har et potensial for å kunne frigis og omdannes på en ukontrollert måte i form av brann eller eksplosjon. Ved lagring i form av hydrogen i væskeform finnes også farer for personell i umiddelbar nærhet til anlegget knyttet til de ekstremt lave temperaturene som kan oppstå knyttet til utslipp av hydrogen i væskeform. Dette stiller store krav til sikkerhet i konstruksjon og drift av et slikt anlegg.

I tillegg vil det knyttet til et slik anlegg normalt også stilles krav om områdesikring i form av inngjerding av anlegg og sikkerhetssone, adgangskontroll og overvåkning av området.

Sikkerhetsnivået i og rundt et fylleanlegg for tog vil måtte være høyt nok til at det overbeviser DSB og lokale planmyndigheter om at det er en tilfredsstillende sikkerhet knyttet til anlegget til at det er forsvarlig å gi byggetillatelse.

Mengden hydrogen som håndteres i et fylleanlegg for tog er ikke spesielt stor i en industriell sammenheng, men det må forventes at planmyndighetene stiller samme type krav til et fylleanlegg for tog som det som stilles til andre industrielle anlegg som håndterer potensielt farlige substanser.

Plassering av et fylleanlegg for tog i Norge vil dermed med stor sannsynlighet måtte ha sikkerhetssoner som gjør det relativt arealkrevende og vil måtte plasseres noe avsidesliggende i forhold til bebyggelse og annen aktivitet.

Et fylleanlegg for tog vil i tillegg kunne betraktes som et potensielt mål for vilde handlinger i form av sabotasje eller terror, og må sikres i forhold til dette. Da anlegget skal benyttes i jernbaneforetakenes drift vil sikringsforskriften måtte benyttes i vurderingen av anleggets sikkerhet knyttet til vilde handlinger. Hvorvidt et slikt anlegg vil underlegges kravene til objektsikring i sikkerhetsloven må vurderes av relevant sikkerhetsmyndighet.

Fylleanlegg kan også konstrueres med lokal produksjon av hydrogen, men da må det bygges med moduler for dette og sikres en betydelig leveranse av elektrisk kraft for å forsyne elektrolyse prosessen som benyttes for å produsere hydrogen.

16.2 Tunneler

Tunneler i Norge normalt er bygget for å drenere vann, noe som medfører at tunneler med begge ender omtrent på samme høyde over havet er bygget med et såkalt «høybrekk». Det vil si at tunnelens høyeste punkt er inne i tunnelen, noe som gjør at ved et uhell inne i en tunnel vil kunne få hydrogen som fanges oppe under tunneltaket og utgjør en fare for alle som befinner seg i nærheten.

Det er pr i dag ikke utredet eller godkjent noen teknisk løsning som håndterer denne utfordringen på en god måte.

For enkelte tunneler vil en løsning av denne utfordringen med stor sannsynlighet kreve betydelige midler.

Jernbanedirektoratet er pr i dag ikke kjent med at det finnes prosjekter der drift av jernbane med hydrogen i tunneler er operasjonalisert. Jernbanedirektoratet kan ikke si om teknologien er moden nok til at tilpassing av tunneler lar seg gjennomføre på det nåværende tidspunkt.

Dersom drift i tunneler med tog basert på hydrogen som energibærer lar seg gjennomføre, er tunneler i likhet med verksteder innelukkede områder, der vi med drift basert på hydrogen tar med oss en vesentlig mengde brennbar eksplosiv gass inn. I likhet med på verksteder må vi med drift i tunneler sikre oss mot at hydrogengass på avveie antennes og at dersom den antennes må konsekvensene av en eksplosjon gjøres minst mulige, og vurderes som akseptable både før og etter at en ulykke har inntruffet.

Som på et verksted må kildene til antennelse fjernes, noe som medfører at tunnelens elektriske system bør være utført med en EX klassifisering. Det er ikke mulig å oppnå EX klassifisering av et kontaktleddningsanlegg (KL anlegg), da det alltid vil oppstå lysbuer i kontaktpunktet mellom toges strømvogter og kontaktleddningen.

Jernbanedirektoratet vurderer det dermed som vanskelig å kombinere drift med hydrogen med elektrisk drift med KL i tunneler.

Videre er togets bremses en vesentlig kilde til gnister som antenner en rekke branner hvert år, Overgang til andre materialer i bremseskiver for godstog vil redusere omfanget av gnister fra bremsene men det vil fortsatt forekomme gnister og temperaturene i hjul ved bremsing ser ut til å øke. Jernbanedirektoratet vurderer det som vanskelig og fjerne denne kilden til gnister og høye overflatetemperaturer.

Det er i et ordinært dieseldrevet kjøretøy har flere høyt termiske belastede systemer som kan generere høye overflatetemperaturer.

Det vil ved kjøring med forbrenningsmotor i en tunnel med gasser i en brennbar blanding fare for at motorer kommer ut av kontroll som følge av at de suger inn brennbare gasser og ruser ut.

Kombinasjonen av dieseldrift og hydrogendrift i samme tunnel bør utredes i forhold til sikkerhet, før det kan sies om det lar seg kombinere på en måte som tilfredsstillende de sikkerhetskrav og det sikkerhetsnivå som gjelder for jernbane.

I tillegg til å fjerne tennekilder må det for å forhindre gasseksplisjoner og håndtere hydrogengass på avveie sikres at hydrogen ikke får anledning til å ansamle seg i toppen av tunnelen samt at det må bygges deteksjons og varslingssystemer for brennbar gass som kan detektere tilstedeværelse av brennbare gasser og varsle infrastrukturforvalter slik at operative tiltak som stenging av tunnel osv. kan iverksettes.

Varsling og deteksjonssystemer må ha en sikker helårs strømforsyning, og en EX utførelse. Kostnaden for varsling og deteksjonssystemer vil variere med tunnelens lengde og tilgangen til sikker strømforsyning.

Det er stor forskjell på hvilke tiltak som må iverksettes for å hindre ansamling av hydrogen på avveie i ulike tunneler. Korte tunneler med jevn stigning i en retning vil i de fleste tilfeller ha potensial for å kunne ventilere ut hydrogen med naturlig ventilasjon, men hver tunnel må i tillegg vurderes mer detaljert i forhold til mulige ansamlingspunkter i selve konstruksjonen.

For tunneler med høyeste punkt inne i tunnelen (Høybrekk), må det etableres mulighet for ventilering enten i form av en ventilasjonssjakt som naturlig ventilerer fra tunnelens høybrekk eller ved en EX sikker mekanisk ventilasjon som suger ut fra høyeste punkt i tunnelen. I likhet med øvrige tunneler må også hver tunnel vurderes særskilt i forhold til mulige ansamlingspunkter i selve konstruksjonen. Kostnaden knyttet til ventilasjonssjakter og mekanisk ventilasjon vil variere fra tunnel til tunnel, avhengig av lengden på ventilasjonssjakten som må borres og tilgangen til stedet de må borres fra for løsninger med sjaktventilering, og avhengig av med tunnelens lengde og tilgangen til sikker strømforsyning for mekanisk ventilasjon

Ventilasjonsystemene må virke under alle forhold og være konstruert og dimensjonert for å kunne håndtere f.eks. vinterproblemer knyttet til at fuktig luft fra tunnelen ventileres ut i temperaturer under null, hvor fuktighet kondenseres og fryser til slik at ventilasjonsanleggets funksjon reduseres eller stanses. Både naturlig ventilerte ventilasjonssjakter og mekaniske ventilasjonssystemer må ha overvåking og varslingssystemer som sikrer at infrastrukturforvalter har kontroll på funksjonen og kan iverksette operative tiltak som stenging av tunnel og feilretting ved svikt i ventileringen av tunnelen. Slike systemer vil ha en kostnad som varierer med tunnelens lengde og tilgangen til sikker strømforsyning.

Dersom det skulle oppstå en gasseksplosjon i en tunnel, vil vi ikke ha andre muligheter til å avlaste trykk enn i tunnelens lengderetning, da tunnelens struktur må anses som meget sterk i både vegger, gulv og tak. Ved en større hydrogeneksplosjon i en lengere tunnel vil eksplosjonens trykkbølge bli meget kraftig, oppnå svært høy hastighet og nå svært langt før den avtar. Det er dermed en risiko for at alle som oppholder seg i en tunnel ved en slik ulykke vil omkomme som følge av eksplosjonen. Eksperimenter fremvist i tilknytning til SH2IFT prosjektet indikerer i tillegg at blokkeringer i tunnelen f.eks. i form av kjøretøy vil bidra til å øke eksplosjonens hastighet og dermed også skadepotensialet. Det er ikke identifisert noen form for skadereduserende tiltak, noe som medfører at det heller ikke knyttes noen investeringskostnader til dette.

Under gitte forutsetninger vil en eksplosjon inne i en tunnel kunne medføre skader på tunnelens struktur. I verst tenkelige tilfelle vil en eksplosjon kunne medføre at tunnelen blir så skadet at den ikke lenger kan brukes. Dette er ikke en investeringskostnad, men det bør regnes inn avsetninger til erstatning av ødelagte tunneler ved bruk av hydrogen som energibærer.

Samlet sett er det svært vanskelig å gi en generisk vurdering av kostnader til tilpassing av tunneler da en rekke tunneler vil kunne benyttes uten kostbare tiltak, mens i andre tunneler kan vi risikere å måtte installere en rekke svært kostnadskrevenne tiltak for å kunne etablere en tilfredsstillende sikkerhet.

16.3 Tilpassing av verksteder og andre overdekkede områder

Hydrogen er en meget brennbar og eksplosjonsfarlig gass som i bruk i tog, oppbevares under svært høyt trykk. Dette gjør at verksteder og andre innelukkede områder der kjøretøyene oppbevares må tilpasses dette. Verksteder/depoter for vedlikehold av hydrogenkjøretøyer vil måtte kategoriseres som særskilte brannobjekter.

16.3.1 Verksteder

Dagens prototyper som er i prøvedrift i Tyskland vedlikeholdes i midlertidige telt. Et permanent verksted må bygges på en måte som minimerer faren for eksplosjon eller brann knyttet til utslipp av hydrogengass ved vedlikehold eller feil på togene, samtidig som det må bygges slik at skadene som følge av en brann eller en eksplosjon blir minst mulig og kan håndteres best mulig.

Det er pr i dag ikke kjent akkurat hva som vil kreves for å få bygge og drifte et verksted for vedlikehold av hydrogentog, men det vil kreve mer av verkstedet enn hva som kreves av ordinære verksteder noe som vil gjenspeiles både i byggekostnader og i driftskostnader for verkstedet.

Vi ser kun på førstelinjeverksteder der operative kjøretøy tas inn og få sitt ordinære vedlikehold. Andrelinjeverksteder vil i liten grad påvirkes av kjøretøyets energibærer, da drivstoffet ikke følger komponentene inn i andrelinjeverksteder

Bygging av et nytt verksted som er tilpasset vedlikehold av kjøretøy som bærer med seg en anseelig mengde brennbar og eksplosiv gass, vil ha de de samme grunnleggende kravene som et ordinært verkstedprosjekt, i tillegg må det gjøres tiltak for å tilpasse anlegget til tilstedeværelsen av eksplosiv gass som er lettere enn luft.

Dersom det skulle være mulig å etablere, vil verkstedinfrastrukturen i tillegg til ordinære funksjoner også måtte utføres slik at utslipp av gass under vedlikehold ikke eksploderer, og at dersom det eksploderer må bygningene være utført på en måte som gir minimal skade som følge av gasseksplasjonen.

For å hindre at gass som slipper ut i forbindelse med vedlikehold ikke eksploderer må det etableres eksplosjonssikre soner (EX soner), der alt utstyr og elektrisk anlegg er utført på en måte som ikke under noen omstendigheter avgir gnister eller oppnår høye overflatetemperaturer. Videre må bygningen lages slik at brennbare gasser som er lettere enn luft ikke får anledning til å samle seg på noe sted, men ventileres ut til fri luft. Det må være egne soner for varme arbeider, som er avskilt fra EX sonen. Anlegget bør også ha overvåknings og varslingssystemer for å detektere og varsle om tilstedeværelse av brennbare gasser i anlegget.

For å sikre at skaden som følger av en gasseksplasjon minimaliseres er det tre hovedfunksjoner som må ivaretas. Bygningen må ikke kollapse som følge av en eksplosjon, en eksplosjon må ikke medføre at tredjeparter utsettes for fare som følge av risiko for å bli truffet av deler av bygningen eller andre ting som er satt i bevegelse som følge av en gasseksplasjon og personer i bygningen må ha størst mulig sannsynlighet for å overleve en gasseksplasjon i bygget.

Alle disse funksjonene dreier seg om trykkavledning ved eksplosjon og hvor fort og i hvilken retning trykket kan avledes. I denne kontekst vil en trykkavledning oppover sannsynligvis være gunstig noe som medfører at bygget må utføres med en sterk struktur i vegger som kan motstå en viss mengde trykk, kombinert med en tilstrekkelig mengde svake områder i taket som kan blåses ut uten at det medfører at det genereres flyvende bygningsdeler som utgjør fare for tredjepart når de kommer ned igjen.

Jernbanedirektoratet er ikke kjent med at det pr i dag er prosjektert eller bygget anlegg som er tilpasset vedlikehold av jernbanekjøretøyer som bærer med seg en vesentlig mengde brennbar gass som er lettere enn luft.

En forutsetning for at et eksisterende verksted skal kunne tilpasses vedlikehold av jernbanekjøretøy som bærer med seg en vesentlig mengde brennbar gass som er lettere enn luft er at det har en bygningsstruktur som egner seg for denne type tilpassing.

Eldre verkstedbygg i murstein har ikke den styrke i vegger eller evne til å deformeres uten å kollapse som behøves i et verksted som skal vedlikeholde jernbanekjøretøy som bærer med seg en vesentlig mengde brennbar og eksplosjonsfarlig gass.

Moderne verkstedbygg basert på stålskjelett med utvendig platekledning forventes å ikke kollapse ved en eksplosjon, men har ikke styrke elementenes innfesting til stålskjelettet som er egnet til å holde disse fast slik at trykket avledes oppover ved en større gasseksplasjon.

Jernbanedirektoratet har gjort en vurdering av eksisterende verkstedbygninger i Norge og har ikke funnet noen bygninger som umiddelbart fremstår som egnet for tilpassing til å vedlikeholde tog med hydrogen som energibærer i.

Dersom det allikevel skulle være aktuelt å tilpasse eksisterende verksteder vil det også måtte gjøres en vurdering av egnethet i forhold til bevaring av kulturhistorisk verdifulle bygninger.

Utfordringene og tiltakene knyttet til sikkerhet i verkstedbygg tilsier at det ikke bør legges til grunn at verkstedbygg tilpasset hydrogenkjøretøy benyttes til vedlikehold av KL baserte kjøretøy.

Jernbanedirektoratet er per i dag ikke kjent med at det finnes prosjekter der permanente verksteder for operasjonelle kjøretøy med hydrogen som energibærer er tatt i bruk. Jernbanedirektoratet kan pr i dag ikke si om teknologien er moden nok til at etablering av funksjonelle og effektive permanente

verksteder for kjøretøy med hydrogen som energibærer lar seg gjennomføre på det nåværende tidspunkt.

16.3.2 Øvrige anlegg

For den øvrige jernbaneinfrastrukturen er det i hovedsak områder som er overbygget som trenger å tilpasses for hydrogentog. Hydrogen er en gass som er lettere enn luft og som ved utslipp vil stige opp. Alle områder som er overbygget og som toget skal passere gjennom må dermed være utført på en måte som sikrer at hydrogengass ikke får anledning til å samle seg og bygge opp eksplosjonsfarlige konsentrasjoner i bygningsstrukturen.

I norsk infrastruktur er det i hovedsak tunneler, underjordiske stasjoner og snøoverbygg som har denne utfordringen da det i liten grad er bygget tak over sporene på andre stasjoner i Norge. (med unntak av f.eks. jernbanestasjonen i Bergen). For noen av disse bygningsstrukturene vil det ikke kreves noen tiltak, for andre kan enkle tiltak være tilstrekkelige, men for enkelte av dem kjenner vi pr i dag ikke noen teknisk løsning på dette problemet som er gjennomførbar med enkle midler.

16.4 Behov for sikring av områder

Som nevnt i foregående kapitler er det flere typer områder som vil kunne ha behov for ulike former for sikring i tilknytning til bruk av hydrogen som energibærer i Jernbanen.

Det er jernbanedirektoratets oppfatning at det bør forventes at det ved bruk av hydrogen som energibærer for jernbanekjøretøy vil være behov for den samme type sikring av områder og installasjoner som man ser i industrianlegg som håndterer hydrogen og andre eksplosive stoffer i tilsvarende mengder.

Sikring av områder vil måtte gjøres som sannsynlighetsreducerende tiltak i forhold til forekomst av uønskede hendelser og som konsekvensreducerende tiltak når en uønsket hendelse inntreffer.

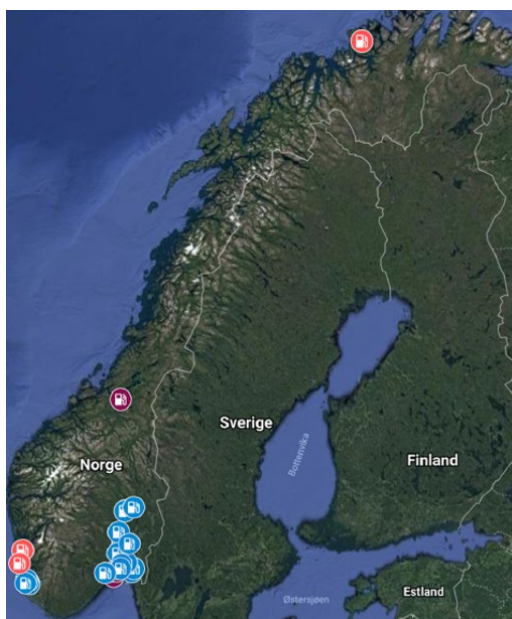
Denne type områdesikring vil trolig være lettere å gjennomføre i tilknytning til godstrafikk enn for persontrafikk.

I tilknytning til passasjertrafikk vil det kunne oppstå en konflikt mellom transportsystemets behov for åpenhet for allmennheten, og behovet for å beskytte de reisende og allmenheten mot konsekvensen av uønskede hendelser i tilknytning til bruk og håndtering av hydrogen.

17 Nødvendige forutsetninger/tiltak i infrastrukturtiltak for en overgang til biogassdrift

17.1 Fylleanlegg

Selv om det produseres mer biogass og flere bedrifter begynner å bruke kjøretøy på biogass, følger ikke infrastrukturen for fyllestasjoner like raskt etter. Fyllestasjonene som finns i Norge i dag ligger for det meste på Østlandet, mens noen få ligger på Vestlandet. For at jernbanedriften skal kunne gå over til biogass, må det bygges flere fyllestasjoner. Distansen mellom fyllestasjoner for gass burde være rundt 200 km for CBG og 400 km for LBG. CBG er mer etablert i markedet enn LBG, med det er forventet en vekst i bruk av LBG spesielt for tyngre langdistansekjøretøy, da denne gir en lengre rekkevidde enn CBG (49). I dag er det kun én fyllestasjon for LBG, i tillegg til at det skal etableres et par til i henholdsvis Trondheim og Fredrikstad. En forutsetning til å det skal være realiserbart å gå fra diesel til biogass for jernbanetransport er at infrastrukturen for fyllestasjoner øker. Figur 5 viser en oversikt over plasseringene av fyllestasjoner for CNG (oransje), CBG (blå) og LBG (lilla) som er etablert eller skal etableres i Norge.



Figur 5: Fyllestasjoner for CNG (oransje), CBG (blå) og LBG (lilla) som er etablert eller planlagt i Norge (10).

Biogass som energibærer har mange av de samme risikoene knyttet til sikkerhet som hydrogen. Kravene til sikkerhet rundt fylleanleggene vil dermed være tilnærmet de samme som nevnt i kapittel 16.1.

17.2 Tunneler

Tunneler i Norge normalt er bygget for å drenere vann, noe som medfører at tunneler med begge ender omtrent på samme høyde over havet er bygget med et såkalt «høybrekk». Det vil si at tunnelens høyeste punkt er inne i tunnelen, noe som gjør at ved et uhell inne i en tunnel vil kunne få biogass som fanges oppe under tunneltaket og utgjør en fare for alle som befinner seg i nærheten.

Det er pr i dag ikke utredet eller godkjent noen teknisk løsning som håndterer denne utfordringen på en god måte.

For enkelte tunneler vil en løsning av denne utfordringen med stor sannsynlighet kreve betydelige midler.

Denne utfordringen er svært lik tilsvarende problemstilling for hydrogen, men kan i praksis antas å være noe lettere å utrede og håndtere da det finnes gode simuleringsverktøy for denne type gassbranner og fordi det er betydelige forskjeller i hva som skal til for å kunne antenne en gassblanding med de to ulike gassene.

Jernbanedirektoratet er per i dag ikke kjent med at det finnes prosjekter der drift av jernbane med biogass i tunneler er operasjonalisert under eksisterende europeisk regelverk. I likhet med tilpassing av verksteder kan Jernbanedirektoratet pr i dag ikke si om teknologien er moden nok til at tilpassing av tunneler lar seg gjennomføre på det nåværende tidspunkt. For beskrivelse og vurdering av mulige tiltak for å håndtere brennbare og eksplosive gasser som er lettere enn luft i jernbanetunneler henvises det til kapittel 16.2.

17.3 Tilpassing av verksteder og andre overdekkede områder

Biogass er en brennbar og eksplosjonsfarlig gass som i bruk i tog oppbevares under trykk eller som flytende gass i isolerte tanker med en viss avdampning. Dette gjør at verksteder og andre innelukkede områder der kjøretøyene oppbevares må tilpasses dette. Verksteder/depoter for vedlikehold av biogasskjøretøyer vil måtte kategoriseres som særskilte brannobjekter.

Det må påregnes at et verksted må ha eksplosjonsluker som kan ta av trykk fra en eksplosjon for å hindre at bygningsstrukturen kollapser, ventilasjonsluker i tak, EX klassifisering av elektrisk anlegg, anlegg for å kjøle ned gassbranner, spesielle løsninger for varme arbeider, avanserte systemer for overvåkning, spesielt utdannet personell, osv.

Det er per i dag ikke kjent akkurat hva som vil kreves for å få bygge og drifte et verksted for vedlikehold av biogasstog, men det vil kreve mer av verkstedet enn hva som kreves av ordinære verksteder noe som vil gjenspeiles både i byggekostnader og i driftskostnader for verkstedet.

For den øvrige jernbaneinfrastrukturen er det i hovedsak områder som er overbygget som trenger å tilpasses for biogasstog. Biogass består i hovedsak av metan som er en gass som er lettere enn luft og som ved utslipp vil stige opp. Alle områder som er overbygget og som toget skal passere gjennom må dermed være konstruert på en måte som sikrer at gass ikke får anledning til å samle seg og bygge opp eksplosjonsfarlige konsentrasjoner i bygningsstrukturen.

I norsk infrastruktur er det i hovedsak tunneler, underjordiske stasjoner og snøoverbygg som har denne utfordringen da det i liten grad er bygget tak over sporene på andre stasjoner i Norge. (med unntak av f.eks. jernbanestasjonen i Bergen). For noen av disse bygningsstrukturene vil det ikke kreves noen tiltak. For andre kan enkle tiltak være tilstrekkelige, men for enkelte av dem kjenner vi pr i dag ikke noen teknisk løsning på dette problemet som er gjennomførbar med enkle midler.

Bygging av et nytt verksted som er tilpasset vedlikehold av kjøretøy som bærer med seg en anseelig mengde brennbar og eksplosiv gass, vil ha de samme grunnleggende kostnader som et ordinært verkstedprosjekt, i tillegg til kostnadene med å tilpasse anlegget til tilstedeværelsen av eksplosiv gass som er lettere enn luft.

Utfordringene og tiltakene knyttet til sikkerhet i verkstedbygg tilsier at det ikke bør legges til grunn at verkstedbygg tilpasset biogasskjøretøy benyttes til vedlikehold av KL baserte kjøretøy.

Jernbanedirektoratet er pr i dag ikke kjent med at det finnes prosjekter der permanente verksteder for operasjonelle kjøretøy med biogass som energibærer er tatt i bruk. Jernbanedirektoratet kan pr i dag ikke si om teknologien er moden nok til at etablering av funksjonelle og effektive permanente

verksteder for kjøretøy med biogass som energibærer lar seg gjennomføre på det nåværende tidspunkt. For vurdering av tiltak og verksteder i forhold til tilpassing til operasjon med bruk av brennbare gasser som er lettere enn luft henvises det til kapittel 16.3.

17.4 Behov for sikring av områder

Som nevnt i foregående kapitler er det flere typer områder som vil kunne ha behov for ulike former for sikring i tilknytning til bruk av biogass som energibærer i Jernbanen.

Det er jernbanedirektoratets oppfatning at det bør forventes at det ved bruk av biogass som energibærer for jernbanekjøretøy vil være behov for den samme type sikring av områder og installasjoner som man ser i industrianlegg som håndterer brennbar gass og andre eksplosive stoffer i tilsvarende mengder.

Sikring av områder vil måtte gjøres som sannsynlighetsreduserende tiltak i forhold til forekomst av uønskede hendelser og som konsekvensreduserende tiltak når en uønsket hendelse inntreffer.

Denne type områdesikring vil trolig være lettere å gjennomføre i tilknytning til godstrafikk enn for persontrafikk.

I tilknytning til passasjertrafikk vil det kunne oppstå en konflikt mellom transportsystemets behov for åpenhet for allmennheten, og behovet for å beskytte de reisende og allmenheten mot konsekvensen av uønskede hendelser i tilknytning til bruk og håndtering av biogass.

18 Nødvendige forutsetninger/tiltak i infrastrukturtiltak for en overgang til biodieseldrift

18.1 Fylleanlegg

Eksisterende fylleanlegg for diesel kan benyttes med gjennomføring av mindre tiltak som kan regnes som drift. Ingen investeringer er nødvendige ved overgang fra diesel til biodiesel.

18.2 Tunnelprofiler

Ingen tiltak er nødvendige ved overgang fra diesel til biodiesel.

18.3 Tilpassing av verksteder og andre overdekkede områder

Ingen tiltak er nødvendige ved overgang fra diesel til biodiesel.

18.4 Behov for sikring av områder

Ingen tiltak er nødvendige ved overgang fra diesel til biodiesel.

19 Utvikling av kjøretøyflåten

Kjøretøyflåten må fornyes kontinuerlig og det bør også beregnes en viss vekst i flåtens størrelse. Med den flåtestørrelsen som er i dag er i persontogflåten vil det i gjennomsnitt kreves en fornyelse i størrelsesorden 10- 15 kjøretøy pr år for å opprettholde flåtens størrelse og kvalitet over tid.

Vekst i behovene for passasjertrafikk med tog vil i tillegg generere behov for anskaffelser av nye kjøretøy. Tilsvarende gjelder for flåten av kjøretøy som er knyttet til godstrafikk.

Fornyelses og vekstbehovene i kjøretøyflåten gir et rom for gradvis innføring av ny teknologi dersom det er behov for å bytte ut den eksisterende.

Kjøretøyflåten domineres av kjøretøy som benytter den elektrifiserte delen av jernbanenettet, og her er det ikke identifisert noe behov for implementering av alternativ teknologi.

Det er kun ca. 10% av flåten som i dag drives av diesel, der det i dag er behov for et teknologiskifte.

Store deler av den dieseldrevne kjøretøyflåten er imidlertid i slutten av sin levetid og behovene for utskiftning pga. alder ligger ikke så veldig langt frem i tid. Behovene for erstatninger vil komme innen segmentene lokal/regionaltrafikk, fjerntogtrafikk, godslokomotiver og passasjertrafikk til baner i distrikter med lav passasjerbelastning.

19.1 Nye kjøretøy

Det er pr i dag mulig å anskaffe kjøretøy som kan benytte biodiesel for alle typer kjøretøy som benytter diesel som energibærer. Alle produsenter av dieselskjøretøy kan pr i dag tilby kjøretøy med velprøvde konstruksjoner som kan benytte biodiesel. Det er svært få endringer i eksisterende konstruksjoner som skal til for at ordinære dieselskjøretøy skal kunne benyttes med diesel. Dette gir god tilgang på mulige nye kjøretøy innen alle kategorier der diesel tidligere er blitt benyttet

Det er pr i dag én produsent av kjøretøy som tilbyr et produkt med hydrogen som energibærer, som passer inn i en av kjøretøykategoriene. Dette er et produkt det er begrenset erfaring med og selv med kjøp av dette produktet vil en slik anskaffelse være å betrakte som en utviklingskontrakt. Det er flere produsenter som har tegninger for kjøretøy, men det er ikke bygget eller testet. En anskaffelse av et kjøretøy som tilhører en annen produktkategori enn den ene som er bygget og testet i 2 eksemplarer, eller fra en annen leverandør, vil være å betrakte som en full utviklingskontrakt med den risiko det medfører. Det er pr i dag svært begrenset tilgang på kjøretøy med hydrogen som energibærer.

Det er pr i dag ingen aktuelle produsenter av kjøretøy i Europa som tilbyr eller har planer om å tilby kjøretøy med biogass som energibærer. Tilgangen på nye kjøretøy med denne energibæreren er pr i dag tilnærmet fraværende i det Europeiske markedet for kjøretøy.

19.2 Ombyggingsmuligheter av eksisterende/kommende kjøretøy til alternativ drift

Alle eksisterende dieselskjøretøy kan ombygges til å kunne benytte biodiesel. Innsatsen som må til for å få dette til vil variere mellom kjøretøytyper. Det er en antagelse om at innsatsen som må til og den tekniske risikoen ved en slik endring vil være større ved ombygging av eldre kjøretøy enn ved ombygging av de noe nyere konstruksjoner. Det er ikke gitt at det er å anbefale for de aller eldste kjøretøyene.

Ombygging av eksisterende dieselskjøretøy til drift med hydrogen eller biogass vil være et meget omfattende og kostbart tiltak. Det vil trolig ikke være gjennomførbart for de fleste av de eksisterende kjøretøyene. Prototypene som er bygget for drift med hydrogen som energibærer er imidlertid bygget på en eksisterende dieseltog konstruksjon så det kan ikke utelukkes. Men det er ikke gitt at det er gjennomførbart med noen av de eksisterende kjøretøyene som finnes i dagens flåte.

20 Forurensning og HMS gevinster ved vedlikehold- og byggearbeider i infrastrukturen ved overgang til alternativ drift

20.1 Hydrogendrift

Bruk av kjøretøy som har hydrogen som energibærer vil ha stor påvirkning på HMS for det personell som er involvert i vedlikehold og byggearbeider av jernbanens infrastruktur som i dag gjøres med dieseldrevne kjøretøy.

Siden kjøretøy med hydrogen som energibærer har et annet og gunstigere støybilde enn hva dagens dieseldrevne kjøretøy har, vil de som arbeider i og ved disse kjøretøyene få reduserte støybelastninger ved overgang til denne teknologien.

Et hydrogendrevet kjøretøy vil i tillegg bare ha lokale utslipp av rent vann, som vil være avgjørende for personellens arbeidsmiljø med tanke på luftkvalitet og eksponering for skadelige gasser. Dette vil gjelde på generell basis, men gjelder spesielt ved arbeid i tunneler og andre innelukkede områder der avgasser fra dieseleksos kan bygge seg opp til høye konsentrasjoner ved langvarige arbeider.

Tilstedeværelsen av en betydelig mengde hydrogen på arbeidsstedet vil imidlertid føre til at personellet er eksponert med en endret sikkerhetsrisiko dersom det er avvik som fører til lekkasjer av gass i fra kjøretøyene. Jernbanedirektoratet vil ikke gjøre en vurdering av om denne endrede eksponering for sikkerhetsrisiko er akseptabel. Den enkelte virksomhet som er ansvarlig for det eksponerte personellet må selv vurdere om dette er en akseptabel risiko å eksponere sine ansatte for.

20.2 Biogasdrift

Bruk av kjøretøy som har biogass som energibærer vil ha liten påvirkning på HMS for det personell som er involvert i vedlikehold og byggearbeider av jernbanens infrastruktur som i dag gjøres med dieseldrevne kjøretøy.

Et biogassdrevet kjøretøy vil ha lokale utslipp av eksos og støy som ikke er så langt fra det du får fra et dieselskjøretøy. Dette vil være avgjørende for dette personellet arbeidsmiljø. Dette vil gjelde på generell basis, men spesielt ved arbeid i tunneler og andre innelukkede områder der gasser fra eksos kan bygge seg opp til høye konsentrasjoner ved langvarige arbeider.

Tilstedeværelsen av en betydelig mengde biogass på arbeidsstedet vil også føre til at personellet er eksponert med en endret sikkerhetsrisiko dersom det er avvik som fører til lekkasjer av gass i fra kjøretøyene. Jernbanedirektoratet vil ikke gjøre en vurdering av om denne endrede eksponering for sikkerhetsrisiko er akseptabel. Den enkelte virksomhet som er ansvarlig for det eksponerte personellet må selv vurdere om dette er en akseptabel risiko å eksponere sine ansatte for.

20.3 Biodieseldrift

Overgang fra diesel til biodiesel vil ikke ha noen påvirkning på HMS i tilknytning til byggearbeider eller vedlikehold av infrastrukturen.

21 Sikkerhet og risiko

21.1 Lover og forskrifter

Kravene til kjøretøy for å ivareta sikkerhet er i utgangspunktet harmonisert gjennom europeisk lovgivning, med eventuelle ytterligere nasjonale krav der det er relevant. For å få godkjent nytt materiell så må man generelt:

- Verifisere at materiellet fyller kravene i Technical Specifications for Interoperability (TSI) (verifiseres av Notified Body (NoBo), teknisk kontrollorgan)
- Verifisere at materiellet fyller kravene i nasjonalt jernbaneregelverk (verifiseres av Designated Body (De-Bo), utpekt organ)
- Evaluere risikostyringsprosessen og resultatet (evalueres av Assessment Body (AsBo), assesserende enhet)
- Verifisere at prosessstandarden CENELEC EN 50126 er fulgt (verifiseres av Independent Safety Assessor (ISA), uavhengig assessor)

De primære kildene til relevante europeiske og norsk regelverk som vil gjelde for nytt materiell er:

- Interoperabilitetsdirektivet, 2008/57/EC (erstattes i Norge av 2016/797/EC i løpet av kort tid).
- Sikkerhetsdirektivet 2004/49/EC.
- CSM RA (Common Safety Method, 402/2013), felles sikkerhetsmetode for risikoevaluering og-vurdering.
- CENELEC EN 50126 Railway applications – the specification and demonstration of Reliability, Availability, Maintainability and Safety (RAMS).
- Relevante Tekniske Spesifikasjoner for Samtrafikkevne (TSI) med tilhørende standarder.

Dette er et omfattende og velutviklet regelverk som har til hensikt å ivareta sikkerhet på jernbanen gjennom de krav som er stilt. Regelverket bygger på to ulike hovedprinsipper som utfyller hverandre i forhold til å klare å ivareta og utvikle sikkerhetsnivået i jernbanen uten å blokkere annen utvikling av jernbanesystemet. Prinsippene er «etterlevelseskra» og «risikovurderingskra».

Hoveddelen av regelverket er en samling av konkrete eller funksjonelle tekniske krav til kjøretøyenes funksjon og verifikasjon av disse, samt krav til prosesser og metoder i tilknytning til utvikling og bygging av kjøretøy. Dette er det vi her omtaler som «etterlevelseskra», regler som det skal dokumenteres at er blitt fulgt. Velutviklede og dekkende «etterlevelseskra» er godt egnet til å sikre ivaretagelse av sikkerhet, men det har svakheter i forhold til utvikling, der enkelte teknologier i perioder der det er nytt og ukjent, enten kan være u hensiktsmessig strengt regulert eller uregulert fordi det ikke finnes regler for den nye teknologien enda (og at slik regelverksutvikling ofte tar noe tid).

Den andre delen av regelverket som bygger på de ansvarlige parters vurdering av risiko i tilknytning til egen aktivitet, har sitt utspring i regelverket som omtales som CSM-RA. Her er det krav om vurdering og evaluering av risiko som er prinsippet som benyttes for å ivareta og utvikle sikkerhetsnivået i jernbanen. Ansvar for sikker drift i jernbanens regler, er plassert relativt tydelig hos operatør. For at ikke dette regelverket ved innføring skal innebære voldsomme endringer i kravene til sikkerhet i de ulike delene av europeisk jernbane er det lagt til grunn at dagens nivå er akseptabelt. Kravet til vurdering av risiko er dermed knyttet til endringer. Kravet til at risikovurdering skal utføres er at det foreligger en endring i teknikk, operasjon eller organisasjon. Det er også gitt

regler for hva som må dokumenteres for at aksept av risiko kan skje. Enten må det dokumenteres at endringen ikke er av betydning for sikkerhet, eller så må det dokumenteres at det er dekkende og relevant «etterlevelseregulering» som er fulgt, eller så må det gjøres sammenlignende analyse mot et referansesystem som er vurdert til å representere et akseptabelt sikkerhetsnivå, eller så må det gjøres en konkret sannsynlighetsvurdering av alle identifiserte potensielle farer. Kravene til akseptabel sannsynlighet er imidlertid satt så høyt at den sistnevnte metoden i praksis er svært krevende å benytte. Regelverket er godt egnet til å sikre ivaretagelse av sikkerhetsnivå i jernbanen. Det er få svakheter i dette regelverket med unntak av at det kun behandler det som faktisk gjøres. Ved utrulling av ny teknologi vil denne delen av regelverket ikke gi svar på om aktiviteter som ikke er gjort enda vil kunne bli vurdert som akseptable eller ei. En annen svakhet er at ulike operatører kan komme frem til ulike konklusjoner i forhold til hva de vurderer å være akseptabelt.

Siden de ansvarlige operatørene er gitt ansvaret for å vurdere risiko i tilknytning til egen operasjon er myndighetene (for Norge, Statens Jernbanetilsyn) gitt rettigheten til å tildele og trekke tilbake det sikkerhetssertifikat eller den sikkerhetsgodkjenning operatører må ha for å kunne operere på det nasjonale jernbanenettet. På denne måten er systemet rigget slik at det innebærer svært stor risiko for operatørene å gjøre svake eller dårlige vurderinger av sikkerhet. De endringene som er vurdert til å være vesentlige er i tillegg underlagt krav til metodekontroll av en ekstern part (AsBo).

For biogass og biodiesel kan regelverket samlet sett vurderes som relativt velutviklet og dekkende. Når det gjelder hydrogen er det huller i «etterlevelseregulering» som innebærer at det i praksis ikke er stilt «etterlevelseskra» til hydrogen når det gjelder brannsikkerhet. Dette beror på en formulering i standarden for brannsikkerhet i jernbanekjøretøy (EN45545) om at reglene gjelder for alle hydrokarboner, siden hydrogen ikke kan defineres som et hydrokarbon er dette et uregulert område der «etterlevelsereglene» ikke fungerer optimalt. Det forventes av Jernbanedirektoratet at dette ikke vil være uregulert i fremtiden.

Når det eksisterer et slikt hull i «etterlevelseregulering» kan man få en situasjon der en godkjenning av et kjøretøy som anvendes i en gitt operasjon ikke nødvendigvis kan overføres til en annen operasjon. Siden den med andre infrastruktur elementer eller operasjonelle forhold. Videre kan man oppleve at tidligere gitte godkjenninger ikke er gyldige for prosjekter som gjennomføres senere. Der det er hull i etterlevelseregulering er risikoen for dette spesielt stor.

Godkjenningen av hydrogentog i Tyskland kan være et eksempel på det overnevnte.

21.2 Gassikkerhet

21.2.1 Farer ved bruk av gass, flytende og trykksatt:

Bruk av brennbar gass som metan/biogass og hydrogen som drivstoff for transport gir enkelte utfordringer sammenlignet med tradisjonelle drivstoff som diesel, for eksempel:

- For å oppnå tilfredsstillende energitetthet trykkes gass gjerne til 200 bar for biogass og 200–700 bar for hydrogen; ved enhver utetthet i rør/tanker vil gass lekke ut med stor hastighet (1).
- Når gass lekker ut blandes denne med luft, og vil kunne danne skyer som kan eksplodere ved antennelse etterfulgt av ofte langvarig jetflamme (1).
- Ved oppbevaring i flytende form kreves svært kraftig nedkjøling; dette gir utfordringer med hensyn til isolasjon, og kan gi eksplosjon om tanken varmes opp uten tilstrekkelig trykkavlastning. Ved lekkasjer i flytende form kan brennbar gass spre seg betydelig lengre avstander på bakkenivå enn ved utslipp av komprimert gass, og utsette omgivelser for risiko for eksplosjon eller flashbrann (1).

Farescenarier forbundet med utslipp av gass vil primært være følgende:

Gasseksplosjonsfare

Dersom gassen som lekker kan samles opp i innelukkede rom eller i dårlig ventilerte områder som i en tunnel, så vil det kunne være fare for eksplosjoner om gass antennes. For hendelser utendørs med hydrogen eller biogass kreves normalt større utslipp for å utgjøre betydelig fare for personer mer enn 10-20m unna en hendelse. I en tunnel kan også mindre utslipp innebære stor risiko som følge av at betydelige overtrykk lettere bygges opp og i liten grad vil avta med avstand inne i tunnelen. Påfølgende branner vil også kunne gi farlige gasser, høy temperatur og kunne vanskeliggjøre rømning og redning. Inne i tunneler kan dermed gassekspløsjoner representere en betydelig risiko, mens risiko ved hendelser utendørs vil være begrenset (1).

Jetbranner

Ved utslipp fra trykksatte tanker/systemer som antenner vil en jetbrann kunne oppstå; denne vil være farlig for personer i nærheten, spesielt i tunnelsituasjoner, samt kunne gi følgeeffekter som beskrevet under (1).

Flammeball, prosjektiler og trykkbølger fra tankbrudd/BLEVE

En jetbrann vil kunne varme opp gass- og væsketanker (primært andre drivstofftanker, men eventuelt også farlig gods i nærheten) slik at disse svekkes og eventuelt fysisk eksploderer. Dette kan gi følgeeffekt med stor flammeball, prosjektiler og trykkbølger (tankbrudd eller BLEVE). Slike hendelser vil normalt kreve noe tid for å utvikle seg, slik at evakuering/ rømning under visse forhold vil være mulig. I en tunnelsituasjon vil en slik hendelse være ekstra kritisk, og påfølgende brann kan også utvikle giftige gasser, enten fra gassforbrenningen selv eller andre materialer som tar fyr i brannen (1).

Flashbranner/pølbranner (biogass)

Ved utslipp i flytende form vil gass som nevnt kunne bevege seg langt langs bakken. Dersom denne så antenner vil en flashbrann kunne oppstå. En flashbrann vil også kunne forekomme ved utslipp inne i en tunnel, både ved trykksatt og flytende gass. Denne vil være livsfarlig for personer som er inne i brennbar sky når flammen passerer. For utslipp av flytende gass vil også pølbrann kunne forekomme (spesielt ved biogass): slike vil kunne gi tilsvarende følgeeffekter som nevnt for jetbrann (1).

Kryogen fare ved større utslipp av flytende gass

Flytende gass som brukes til drivstoff er gjerne trykksatt til noen få bar, og store utslipp (spray, pøl) kan gi betydelig lokal nedkjøling som i gitte omstendigheter kan utgjøre fare for mennesker og utstyr (f.eks. vogner i nærheten med farlig gass/væske). Ved betydelige utslipp av flytende hydrogen vil luft fryse til nitrogen- og oksygenpartikler og kunne deponeres nær utslipp (1).

Farescenariene diskutert over er ikke unike for bruk av gass på tog: disse er også høyst aktuelle ved veitrafikk hvor betydelige mengder LNG, bensin, hydrogengassflasker og enkelte steder tankbiler med flytende hydrogen, daglig transporteres, inkludert i tunneler. En rekke mulige veitransportscenarier som alle har lav sannsynlighet, ville ha potensiale til å utvikle seg til katastrofer. Dette gjelder også for scenarier med bruk av gass som drivstoff (1).

I Stockholm var det i mars 2019 en hendelse i en buss hvor trykksatt naturgass eksploderte som følge av støt mot tanker (50) som gav trykktankeeksplosjon etterfulgt av antennelse, gassekspløsjon og brann. Denne ulykken kunne fått et mye mer alvorlig utfall om bussen hadde hatt passasjerer om bord. I Gøteborg i 2016 (51) førte en antent lekkasje og jetbrann over noe tid til eksplosjon i nabetank. Hydrogentanker bygges generelt mer robust enn naturgasstanker, men scenarier som dette vil like fullt være relevante med tanke på mulige hendelser.

Etter 2,5 års drift var det 10. juni 2019 en kraftig eksplosjon på hydrogenfyllestasjonen på Kjørbo i Sandvika. Foto av hendelsen er vist i Figur 6. En 950 bar trykktank på fyllestasjonen begynte å

lekkje, i starten med svært lav rate, men etter et par timer feilet pakninger og hendelsen eskalerte. Anslagsvis 1,5–3 kg hydrogen fra tanken ble da sluppet ut i løpet av 3 sekunder (52). Det turbulente hydrogenutslippet antente og eksploderte i inngjerdingen som var satt opp for å beskytte



Figur 6: Foto tatt etter eksplosjonen på Kjørbo, Sandvika, 10. juni 2019 (NRK).

omgivelsene. Den kraftige eksplosjonen ødela en liten seksjon av gjerdet, og deler av dette ble kastet utover i veibanen mot nord. I etterkant oppstod flere mindre jet-branner som følge av avrevne rør. Hendelsen skjedde midt i hjemfarten etter Pinsehelgen, og trykkbølgene utløste airbag i noen få av de passerende bilene, samt førte til vindusknusing i et kontorbygg 50–60m sørvest for installasjonen. Tilfeldigheter førte til at ingen personer alvorlig skadet i hendelsen.

Av lærdom fra hendelsen kan vi trekke at en må være forberedt på at også større lekkasjer med lav forventet sannsynlighet kan skje, og at disse gjerne vil antenne og eksplodere. Hydrogensystemer bør designes med minst mulige dimensjoner på rør og koblinger som kan oppfylle nødvendig funksjon, slik at konsekvensene ved større lekkasjehendelser blir minst mulig. Ytterligere designtiltak eller annet som kan begrense fare for skade på utstyr, personell og tredjeperson ved alvorlige hendelser må også vurderes nøye (1).

21.2.2 Hydrogenegenskaper sammenlignet med Metan

Hydrogen både i gassfase og som flytende (LH₂) har mange ekstreme egenskaper sammenlignet med biogass og andre drivstoff; i Tabell 1 er hydrogen sammenlignet med metan (hovedkomponent i naturgass og biogass).

Tabell 1: Sammenligning av forskjellige egenskaper til hydrogen og metan.

Egenskap	Hydrogen	Metan
Molekylvekt	2 g/mol	16 g/mol
Tetthet ved 0 °C	0,090 kg/m ³	0,72 kg/m ³
Lydhastighet	1270 m/s	450 m/s
Kokepunkt	20,4K (-253°C)	111K (-162 °C)
Kritisk punkt	32K @ 13 bar	191K @ 46 bar
Tetthet	flytende 70,8 kg/m ³	420 kg/m ³
Flammegrenser	4–75%	5–14%
Minste tennenergi (MIE)	0,017 mJ	0,29 mJ
Største laminære forbrenningshastighet	2,7 m/s	0,45 m/s

Disse egenskapene kan gi utfordringer med hensyn til sikkerhet, og det er viktig å være bevisst på disse egenskapene når man planlegger og designer hydrogensystemer og sikkerhetssystemer relatert til bruksområdet som er planlagt. Noen implikasjoner er:

- Hydrogen i gassfase er svært lett og stiger hurtig til værs ved utslipp. For situasjoner ute i det fri bidrar dette til å begrense brennbar skystørrelse og fare for omgivelsene. Unntak er utslipp av flytende hydrogen hvor resulterende blanding av hydrogen og kald luft er tyngre enn omgivelsesluft ved høye konsentrasjoner, og blir først nøytral og lettere etterhvert som den tynnes ut, spesielt ved betydelig luftfuktighet. Metan er også lettere enn luft, men blir tyngre enn omgivelsesluft ved fordampning av flytende gass (1).
- Hydrogen har svært vide flammegrenser sammenlignet med de fleste andre gasser, minste tennenergi er svært lav, og maksimal forbrenningshastighet svært høy. Et utslipp av metan og hydrogen fra samme trykk og hullstørrelse vil ha omtrent samme forbrenningsenergi. Om dette slipper ut i et innelukket volum (f.eks. tunnel) så vil sannsynligheten generelt være mye høyere for at utslippet med hydrogen danner en betydelig eksplosiv sky, at denne antenner, og at eksplosjonen gir høye trykk. Med hydrogen er det derfor viktigere å hindre at gass kan slippe ut i lukkede rom eller steder helt eller delvis innelukket oppover. I risikostudier relatert til hydrogen bør også mulighet for detonasjonsovergang (DDT) og eventuelle konsekvenser vurderes (53).
- Lav tetthet på hydrogen både i gassfase og væskefase gir henholdsvis 2,8 og 2,5 ganger høyere hastighet på utslipp sammenlignet med utslipp av metangass og LNG ved samme trykk. Med tanke på sikkerhet er dette gunstig, da høy utslippshastighet gir raskere uttynning i luft. Høy støkiometrisk konsentrasjon for hydrogen (nær 30 %) bidrar også til at et hydrogenutslipp raskt tynnes ut til konsentrasjoner med lavere reaktivitet. Ved konsentrasjoner under 15% er hydrogen mindre reaktiv enn støkiometrisk naturgass, og under 10% er reaktiviteten svært lav. Ved konsentrasjoner under

8% er oppdriften til hydrogenflammen sterkere enn evnen til å brenne nedover, og flammer vil kun brenne oppover ute i det fri (1).

- Flytende hydrogen er betydelig kaldere enn frysepunkt til hovedkomponentene i luft, og vil umiddelbart fordampe i luft (mens luften kondenserer/fryser). Rør og tanker med flytende hydrogen må derfor isoleres godt (vakuump eller helium er aktuelle medium) og bør ikke være i kontakt med luft. Flytende biogass (LBG) er på den annen side varmere enn kokepunkt for komponentene i luft, og har ikke de samme problemstillingene. Ved større utslipp vil flytende naturgass danne pøl, dette vil bare i begrenset grad forventes med flytende hydrogen. For et LH₂-utslipp kan det derfor forventes at alt hydrogen raskt fordampes, noe som bidrar til større risiko under selve utslippet. Så fort gassky er transportert bort av vind eller ventilasjon, vil imidlertid faren være over. Ved utslipp av LNG vil det i større grad dannes pøl; denne vil kunne fordampe gradvis over lenger tid på grunn av varmetilførsel fra underlag, og eksplosjonsfare vil ikke være over før pøl er fullt fordampet (1).
- Det er kort vei fra kokepunkt til kritisk punkt for flytende hydrogen, og gitt den lave temperaturen er det viktig at hydrogensystemer isoleres godt og at det alltid er tilstrekkelig dimensjonerte trykkavlastningssystemer som kan håndtere avdampning uten at trykket stiger. I motsatt fall vil det kunne være risiko for BLEVE (tankeeksplosjon som følge av rask faseovergang og ekspansjon ved trykkfall når tanken brister). En begrenset fenomenforståelse rundt LH₂-BLEVE gjør dette punktet særlig viktig. For tog i tunnel er det ikke uproblematisk å nødventilere hydrogen, da dette kan føre til eksplosjonshendelse inne i tunnelen (1).
- Høy utslippshastighet på gass, høye trykk, samt høye flammehastigheter gjør at det er mye støy når trykk-satt hydrogen lekker eller brenner. Flammer er ofte også usynlige (1).
- På grunn av lite molekyl og høye trykk har hydrogen en spesiell evne til å tære på beholdere og rør (hydrogensprøhet): for å begrense dette er det viktig å benytte materialer i rør og utstyr som i liten grad påvirkes av dette (austenittisk stål og enkelte andre materialer). Ved bruk av feil type materialer kan lekkasjefare øke betraktelig (1).

21.2.3 Oppsummering gass sikkerhet

I forbindelse med innføring av hydrogen eller biogass vil det være utfordringer med eksplosjonsrisiko.

For hendelser med tog utendørs forventes det ingen signifikant økning av risiko som følge av mindre lekkasjer og utslipp av gass. Farepotensialet i forbindelse med utslipp og eksplosjon i tilknytning til større hendelser kan representere betydelige sikkerhetsrelaterte utfordringer som må vurderes av de ansvarlige for operasjon og godkjenning av jernbanekjøretøy.

For hendelser med tog i tunneler er situasjonen en helt annen. I en tunnel kan en rekke hendelser, fra begrensede lekkasjescenarier til større ulykkes scenarier, både med biogass og hydrogen, kunne representere en betydelig og uakseptabel risiko for personell og passasjerer.

Introduksjon av gass som drivstoff på jernbane, enten biogass eller hydrogen, komprimert gass eller flytende, kan øke risikoen forbundet med togdrift. Som beskrevet over vil hendelser i tunnel kunne være av særlig bekymring.

Da det i liten grad er økende aksept for risiko i samfunnet bør det være en forutsetning at et togkonsept basert på gassdrift har som mål å lages så sikkert at risiko fra hendelser med gassystemene blir neglisjerbar sammenlignet med annen risiko forbundet med togtransport. Dette forutsetter særlig fokus på å sikre at tunnelhendelser kan håndteres på en sikker måte. Det er Jernbanedirektoratet sin vurdering at det pr i dag ikke er funnet eller presentert noen sikkerhetsstrategi som kan ivareta denne forutsetningen.

21.3 Sikkerhet biodiesel:

Bruk av biodiesel vil ikke forandre risikobildet sammenlignet med bruk av ordinær diesel. Fra et sikkerhetsperspektiv i jernbanen vil endring av dieselens opphav, trolig bli betraktet som en endring uten sikkerhetsmessig betydning.

22 Kostnader for kjøretøy ved drift basert på hydrogen

22.1 Investering

Investering i kjøretøy kan fordeles på produksjonskostnader for kjøretøyet og engangskostnadene ved engineering og godkjenning av kjøretøyet. Kostnadene til produksjon av kjøretøy er noe det finnes mye erfaringsmateriale på og som kan anslås med en god presisjon. Det er også en del erfaringstall for engangskostnadene ved kjøretøyanskaffelsesprosjekter. Fra prosessen med endring av et ordinært type 75 EMU til en bimodal type 76 BMU, har vi også noe erfaring på kostnadene med å introdusere ny teknologi i eksisterende kjøretøy (før de er bygget, ikke retrofit). I tillegg vil det for denne teknologien komme kostnader til ren utvikling da det er bygget så få tog med denne type drift tidligere.

Engangskostnaden for anskaffelse av et tog basert på hydrogen som energibærer anslås til å være i størrelsesorden 400- 500 millioner norske kroner. Dette inkluderer da kjøretøyleverandørenes kostnader til engineering, utvikling testing og godkjenning, samt kostnadene relatert til å gjennomføre en offentlig anskaffelse av et kjøretøy og følge opp anskaffelsen. Denne kostnaden fordeles normalt på det antall kjøretøy som anskaffes, slik at pris pr kjøretøy varierer ut ifra hvor mange kjøretøy anskaffelsen omfatter. Størrelsen på engangskostnader vil kunne variere ut ifra f.eks. valutakurser, og hvilket år kostnadene kommer i.

For øvrig er størrelsen på engangskostnadene ved å anskaffe et kjøretøy relativt konstant, og påvirkes i liten grad av hvilken type kjøretøy som anskaffes.

Produksjonskostnaden for et kjøretøy uten engangskostnader varierer sterkt som følge av hvilken type kjøretøy som skal bygges.

En standard elektrisk motorvogn EMU, på ca. 110m for bruk i regiontogtrafikk har en basis pris som kan regnes som 100%. Det forventes at innkjøpspris for et tilsvarende hydrogenkjøretøy uten engangskostnader vil være omtrent 125%. Dersom størrelsen på Kjøretøyet halveres vil produksjonsprisen uten engangskostnader kunne forventes å gå ned med 30-40%.

For lokomotiver vil hydrogenteknologien kreve et fysisk stort lokomotiv for å få plass til alt utstyr. Prisen må dermed baseres på et 6 akslet lokomotiv. Dersom vi angir prisen for et 6 akslet bimodalt lokomotiv for gods som 100%, vil et lokomotiv som er tilpasset hydrogendrift ha en innkjøpspris som er mindre enn 20% høyere

Ved bruk av en kombinasjon av et elektrisk lokomotiv og en hydrogenvogn kan eksisterende lokomotiver og godsvogner tilpasses slik bruk, Det vil da kun være produksjons- og godkjenningskostnader knyttet til en container som inneholder hydrogenrelatert utstyr.

Det gis dermed følgende anslag for kostnader for kjøretøy med engangskostnad og utviklingskostnad under forutsetning om at hele dagens flåte av dieselkjøretøy byttes ut:

- 110m motorvogn med hydrogen som energibærer 170 millioner NOK pr stk.
- 60m motorvogn med hydrogen som energibærer 113 millioner NOK pr stk.
- 6 akslet lok med hydrogen som energibærer 70 millioner NOK pr stk.
- Hydrogencontainer for å sette på godsvogn for å drifte persontog 40 millioner NOK.
- Hydrogencontainer for å sette på godsvogn for å drifte godstog 55 millioner NOK.

22.2 Drift

Kostnadene knyttet til drift av togtilbudet kan deles inn i flere kategorier.

Leiekostnadene knyttet til kjøretøy basert på hydrogen som energibærer vil ha størst påvirkning fra to ulike faktorer, pris pr kjøretøy inklusive engangskostnader, og hvor lang nedskrivningstid som beregnes på investeringen. Her ser vi på antatt leie for et teknologivalg, der det forutsettes normal avskrivningstid for kjøretøy på 30 år og anskaffelsen omfatter det meste av dagens tilbud som kjøres med dieselmotorvogner vil leieprisen kunne komme ned mot 150% av leieprisen for et tilsvarende ordinært kjøretøy.

En annen vesentlig faktor i driftsutgiftene er energikostnadene. Prisen for diesel til bruk i jernbanekjøretøy er pr i dag 6,29 kr/L. Diesel har et energiinnhold på 42 MJ/kg, og et dieseltog kan antas å ha en virkningsgrad på 26-34%. Prisen for hydrogen varierer noe men LVGN oppgir at de har en anskaffelseskostnad for flytende hydrogen som ligger mellom 60 og 100 kr/kg. Energiinnholdet i hydrogen er 140 MJ/kg, og LVGN sin togleverandør oppgir at de oppnår en virkningsgrad på ca. 55% i de eksisterende prototypene av tog med hydrogen som energibærer som opereres i Tyskland. Til sammenligning har kjøretøy basert på tilførsel av strøm fra KL en virkningsgrad på 85% og en strømpris på 0,529kr/kWh.

Sammenligning av kostnadsnivåer til energi for ulike driftsformer viser da at kostnaden knyttet til drift med hydrogen er ca. 195% av ordinær dieseldrift og ca. 675% av ordinær elektrisk drift, når man legger til grunn en hydrogenpris på 90kr/kg.

Den delen av operatørs driftskostnader som relaterer seg til bemanning av tog (med unntak av personell knyttet til logistikken relatert til fylling av drivstoff) påvirkes ikke av valg av energibærer for toget. Innenfor denne delen av driftskostnadene antas kostnadene dermed å være på samme nivå som for ordinær drift.

22.3 Vedlikehold

En vesentlig del av driftskostnadene til operatør ved ordinær drift på jernbanen har sammenheng med vedlikehold. Erfaringstall viser at drift med KL gir de laveste utgiftene til vedlikehold av kjøretøy. Drift basert på diesel gir økte utgifter til vedlikehold som anslås å ligge i størrelsesorden 125%. LVGN gir ikke konkrete tall fra sin prøvedrift vedrørende vedlikehold, men opplyser at deres erfaring er at kostnadsnivået ved vedlikehold av hydrogentogene er vesentlig høyere enn for de tilsvarende dieseltogene som brukes i samme driftsmønster. Det kan være mange årsaker til dette, og det er svært vanskelig å få oversikt over blant annet fordi vedlikeholdet utføres av togleverandør, som har kommersielle hensyn å ta i forhold til opplysninger som kan påvirke deres salg av tog. Det må nok en mer omfattende drift til, der det er sikkerhet for at oppdragsgiver og operatør kjenner hele kostnadsbildet ved vedlikehold, før vi med sikkerhet kan fastslå det reelle kostnadsnivået for vedlikehold av kjøretøy basert på hydrogen som energibærer ut ifra erfaringstall. Ser vi imidlertid på teknologien i kjøretøyene er den vedlikeholdsmessig kostnadsdrivende dieselmotoren byttet ut med blant annet brenselceller. Togleverandøren anslår 4-5 års levetid for disse i kjøretøyet før de må gjennomgå en omfattende revisjon.

Kostnadsnivået relatert til arbeid på denne type systemer må antas å være høyt, da denne teknologien ikke enda har hatt noen omfattende kommersiell suksess som har medført masseproduksjon, standardisering og allmengjøring av vedlikeholdet. Det må for et teknologivalg på det nåværende tidspunkt antas at vedlikehold av selve hydrogenteknologien utføres av svært spesielle foretak med høye kostnader og liten konkurranse. Dette underbygger LVGN sitt utsagn om at deres erfaring er at vedlikeholdskostnadene virker å være betydelig høyere enn for et tilsvarende dieseltog.

Vi har ut ifra dette, basert på en skjønnsmessig vurdering valgt å anta at vedlikeholdskostnaden for tog med hydrogen som energibærer ligger 25% høyere enn for tilsvarende kjøretøy basert på diesel som energibærer.

Personer som forsker på, og arbeider for å fremme hydrogenteknologi, har i ulike rapporter så langt som 20 år tilbake spådd at hydrogenteknologiens kommersielle gjennombrudd er nært forestående. Innenfor personbil, buss og ferge er det utviklingstrekk som tyder på at hydrogenteknologien utkonkurreres av annen miljøteknologi, slik som elektrisitet i form av batterier og ulike former for biogass og biodiesel. Dersom hydrogenteknologiens kommersielle gjennombrudd skulle komme, er det rimelig å anta at kostnadene ved vedlikehold vil kunne reduseres noe.

Det bør også legges til at vedlikeholdskostnader har en tendens til å øke som funksjon av tid. Videre har det vært en vesentlig utvikling i kvalitet på jernbanekjøretøy over de siste 30-40 årene som medfører at kostnadene til vedlikehold pr togkilometer er kraftig redusert. En kan dermed ikke utelukke at et tog basert på hydrogen som energibærer vil kunne ha lavere vedlikeholdskostnader som nytt enn, hva et eldre tog basert på diesel eller elektrisitet har.

23 Kostnader for kjøretøy ved drift basert på biogass

23.1 Investering

Investering i kjøretøy kan fordeles på produksjonskostnader for kjøretøyet og engangskostnadene ved engineering og godkjenning av kjøretøyet. Kostnadene til produksjon av kjøretøy er noe det finnes mye erfaringsmateriale på og som kan anslås med en god presisjon. Det er også en del erfaringstall for engangskostnadene ved kjøretøyskaffelsesprosjekter. Det meste av dette er relativt likt det som er beskrevet i kapittel 22.1.

For et kjøretøy basert på biogass vil det være mest relevant å ta utgangspunkt i prisene for ordinære dieselskjøretøy, og gi det et tillegg for at det ved innføring i Norge er et lite antall kjøretøy engangskostnadene skal fordeles på. Det må regnes inn utviklingskostnader som følge av at det pr i dag ikke finnes biogasskjøretøy for jernbane å få kjøpt i et kommersielt marked og et tillegg for at lagringen av drivstoffet har en noe mer komplisert teknologi enn i ordinære dieselskjøretøy.

Produksjonskostnaden for et kjøretøy uten engangskostnader varierer sterkt som følge av hvilken type kjøretøy som skal bygges.

En standard diesel motorvogn DMU, på ca. 110m for bruk i regiontogtrafikk har en basis pris som kan regnes som 100. Det forventes at innkjøpspris for et tilsvarende biogasskjøretøy uten engangskostnader vil være omtrent 105%. Dersom størrelsen på kjøretøyet halveres, vil produksjonsprisen uten engangskostnader kunne forventes å gå ned med 30-40%.

For lokomotiver vil endret teknologi gi et noe større utslag, da fremdriftsteknologien er en større del av den totale kostnaden. Dersom vi angir prisen for et ordinært diesellokomotiv for gods som 100%, vil et lokomotiv som er tilpasset biogassdrift ha en innkjøpspris som er mindre enn 20% høyere uten engangskostnader og utviklingskostnader.

Det gis følgende anslag for kostnader for kjøretøy med engangskost og utviklingskost, under den forutsetning av at hele dagens flåte av dieselskjøretøy byttes ut som et prosjekt:

- 110m motorvogn med biogass som energibærer 103 millioner NOK pr stk.
- 60m motorvogn med biogass som energibærer 87 millioner NOK pr stk.
- Lok med biogass som energibærer 68 millioner NOK pr stk.

23.2 Drift

Kostnadene knyttet til drift av togtilbudet kan deles inn i flere kategorier.

Leiekostnadene knyttet til kjøretøy basert på biogass som energibærer vil ha størst påvirkning fra to ulike faktorer; pris pr kjøretøy inklusive engangskostnader, og hvor lang nedskrivningstid som beregnes på investeringen. Normalt benyttes en nedskrivningstid på 30 år. Dersom vi ser på antatt leie for et teknologivalg, der det forutsettes normal avskrivningstid for kjøretøy på 30 år og at anskaffelsen omfatter det meste av dagens tilbud som kjøres med dieselmotorvogner, vil leieprisen kunne komme ned mot 110% av leieprisen for et tilsvarende ordinært kjøretøy.

En annen vesentlig faktor i driftsutgiftene er energikostnadene. Prisen for diesel til bruk i jernbanekjøretøy er pr i dag 6.29 kr/L. Diesel har et energiinnhold på 42 MJ/kg, og et dieseltog kan antas å ha en virkningsgrad på 26-34%. Prisen for biogass varierer noe og er utfordrende å finne da den som regel forhandles mellom forskjellige aktører. CNGprices har et online kart hvor transportører kan fylle inn hva prisen for biogass er. Det ble informert i 2013 at biogassprisen for CBG ved en fyllstasjon var 11,35 NOK/Nm³, for biogass med energiinnhold 9,9 kWh/Nm³ (15). Prisen blir dermed 1,15 kr/kWh. Prisen for LBG vil trolig å være noe høyere, selv om drivstoffet har

høyere energitetthet. Det forventes at det er mulig å oppnå en virkningsgrad på ca. 25% i et jernbanekjøretøy som baseres på biogass som energibærer. Til sammenligning har kjøretøy basert på tilførsel av strøm fra KL en virkningsgrad på 85% og en strømpris på 0,529kr/kWh.

Sammenligning av kostnadsnivåer til energi for ulike driftsformer viser da at drift med biogass koster ca. 177% av ordinær dieseldrift og ca. 615% av ordinær elektrisk drift.

Den delen av operatørs driftskostnader som relaterer seg til bemanning av tog (med unntak av personell knyttet til logistikken relatert til fylling av drivstoff) påvirkes ikke av valg av energibærer for toget. Innenfor denne delen av driftskostnadene antas kostnadene dermed å være på samme nivå som for ordinær drift med diesel.

23.3 Vedlikehold

En vesentlig del av driftskostnadene til operatør ved ordinær drift på jernbanen har sammenheng med vedlikehold. Et biogasskjøretøy er teknisk svært likt et dieselskjøretøy.

Vi har ut ifra dette, basert på en skjønnsmessig vurdering valgt å anta at vedlikeholdskostnaden for tog med biogass som energibærer ligger 5% høyere enn for tilsvarende kjøretøy basert på diesel som energibærer.

Som nevnt i kapittel 22.3 bør det også legges til at vedlikeholdskostnader har en tendens til å øke som funksjon av tid. Videre har det vært en vesentlig utvikling i kvalitet på jernbanekjøretøy over de siste 30-40 årene som medfører at kostnadene til vedlikehold pr togkilometer er kraftig redusert. En kan dermed ikke utelukke at et tog basert på biogass som energibærer vil kunne ha lavere vedlikeholdskostnader som nytt enn hva et eldre tog basert på diesel eller elektrisitet har.

24 Kostnader for kjøretøy ved drift basert på biodiesel

24.1 Investering

For et kjøretøy basert på biodiesel vil det være mest relevant å bruke prisene for ordinære dieselskjøretøy, da de i all hovedsak er teknisk sett identiske. Det bør imidlertid legges til et tillegg for fordeling av engangskostnader på små serier.

Det gis følgende anslag for kostnader for kjøretøy:

- 110m motorvogn med biodiesel som energibærer 99 millioner NOK pr stk.
- 60m motorvogn med biodiesel som energibærer 66 millioner NOK pr stk.
- Lok med biodiesel som energibærer 50 millioner NOK pr stk.

24.2 Drift

Kostnadene knyttet til drift av togtilbudet kan deles inn i flere kategorier.

Leiekostnadene knyttet til kjøretøy basert på biodiesel som energibærer vil være identiske med prisene for ordinære dieselskjøretøy.

En annen vesentlig faktor i driftsutgiftene er energikostnadene. Prisen for diesel til bruk i jernbanekjøretøy er pr i dag 6,29 kr/l og diesel har et energiinnhold på 42 MJ/kg, et dieseltog kan antas å ha en virkningsgrad på 26-34.

For et tog basert på biodiesel er alt med unntak av prisen på diesel identisk.

Begge prisene er priser fastsatt i et marked og det vil for begge priser være usikkerheter om fremtidig prisnivå. Med prisnivå for biodiesel på mellom 8,5kr/l og 10kr/l vil det være 35-60% høyere energikostnad knyttet til å bruke biodiesel enn det pr i dag er å bruke diesel.

Den delen av operatørs driftskostnader som relaterer seg til bemanning av tog (med unntak av personell knyttet til logistikken relatert til fylling av drivstoff) påvirkes ikke av valg av energibærer for toget. Innenfor denne delen av driftskostnadene antas kostnadene dermed å være på samme nivå som for ordinær drift med diesel.

24.3 Vedlikehold

Vedlikeholdet av et biodieselskjøretøy kan regnes for å være identisk med vedlikeholdet av ordinære dieselskjøretøy

Som nevnt i kapittel 22.3 bør også legges til at vedlikeholdskostnader har en tendens til å øke som funksjon av tid. Videre har det vært en vesentlig utvikling i kvalitet på jernbanekjøretøy over de siste 30-40 årene som medfører at kostnadene til vedlikehold pr togkilometer er kraftig redusert. En kan dermed ikke utelukke at et tog basert på biodiesel som energibærer vil kunne ha lavere vedlikeholdskostnader som nytt enn, hva et eldre tog basert på diesel eller elektrisitet har.

25 Kostnader for infrastruktur; Investering, drift og vedlikehold ved drift basert på hydrogen

25.1 Investering

25.1.1 Investering i fylleanlegg

LNVG har til sitt tyske prøveprosjekt anslått kostnaden for et fylleanlegg som skal betjene 14 motorvogner med to vogner pr sett til ca. 100 millioner NOK. Det er rimelig å anta at prisen for et slik anlegg i Norge vil være i samme størrelsesorden. Ut ifra dette kan vi anta at prisen et anlegg med større kapasitet vil kunne koste rundt 150 millioner. Disse anleggene inneholder ingen modul for lokal produksjon av hydrogen eller noen kraftforsyning, dersom dette skal inkluderes bør antatt kostnad doubles.

25.1.2 Investering i verkstedanlegg

Prisen for et verkstedanlegg avhenger i sterk grad av tomtekostnad, størrelse og hva som skal kunne gjøres i verkstedet. Vi ser kun på førstelinjeverksteder der operative kjøretøy tas inn og får sitt ordinære vedlikehold. Andrelinjeverksteder vil i liten grad påvirkes av kjøretøyets energibærer, da drivstoffet ikke følger komponentene inn i andrelinjeverksteder

Bygging av et nytt verksted som er tilpasset vedlikehold av kjøretøy som bærer med seg en anseelig mengde brennbar og eksplosiv gass, vil ha de samme grunnleggende kostnader som et ordinært verkstedprosjekt, i tillegg til kostnadene med å tilpasse anlegget til tilstedeværelsen av eksplosiv gass som er lettere enn luft.

SH2IFT prosjektet peker på at det er manglende kunnskaper om sikkerhet knyttet til bruk av hydrogen i lukkede og semilukkede rom som gjør det utfordrende å vurdere risiko i tilknytting til blant annet verksteder for kjøretøy med hydrogen som energibærer. Dersom det ikke kan gjøres gode risikovurderinger, blir det også utfordrende å verifisere at tiltakene som iverksettes for å oppnå en drift med et tilfredsstillende sikkerhetsnivå er tilstrekkelige.

Utfordringene og tiltakene knyttet til sikkerhet i verkstedbygg tilsier at det ikke bør legges til grunn at verkstedbygg tilpasset hydrogenkjøretøy benyttes til vedlikehold av KL baserte kjøretøy.

Jernbanedirektoratet er per i dag ikke kjent med at det finnes prosjekter der permanente verksteder for operasjonelle kjøretøy med hydrogen som energibærer er tatt i bruk. Jernbanedirektoratet kan pr i dag ikke si om teknologien er moden nok til at etablering av funksjonelle og effektive permanente verksteder for kjøretøy med hydrogen som energibærer lar seg gjennomføre på det nåværende tidspunkt.

Dersom det skulle være mulig å etablere, vil verkstedinfrastrukturen i tillegg til ordinære funksjoner også måtte utføres slik at utslipp av gass under vedlikehold ikke eksploderer, og at dersom det eksploderer må bygningene være utført på en måte som gir minimal skade som følge av gasseksplasjonen.

For å hindre at gass som slipper ut i forbindelse med vedlikehold ikke eksploderer må det etableres eksplosjonssikre soner (EX soner), der alt utstyr og elektrisk anlegg er utført på en måte som ikke under noen omstendigheter avgir gnister eller oppnår høye overflatetemperaturer. Videre må bygningen lages slik at brennbare gasser som er lettere enn luft ikke får anledning til å samle seg på noe sted, men ventileres ut til fri luft. Det må være egne soner for varme arbeider, som er avskilt fra

EX sonen. Anlegget bør også ha overvåknings og varslingssystemer for å detektere og varsle om tilstedeværelse av brennbare gasser i anlegget.

For å sikre at skaden som følger av en gasseksplosjon minimaliseres er det tre hovedfunksjoner som må ivaretas. Bygningen må ikke kollapse som følge av en eksplosjon, en eksplosjon må ikke medføre at tredjeparter utsettes for fare som følge av risiko for å bli truffet av deler av bygningen eller andre ting som er satt i bevegelse som følge av en gasseksplosjon og personer i bygningen må ha størst mulig sannsynlighet for å overleve en gasseksplosjon i bygget.

Alle disse funksjonene dreier seg om trykkavledning ved eksplosjon og hvor fort og i hvilken retning trykket kan avledes. I denne kontekst vil en trykkavledning oppover sannsynligvis være gunstig noe som medfører at bygget må utføres med en sterk struktur i vegger som kan motstå en viss mengde trykk, kombinert med en tilstrekkelig mengde svake områder i taket som kan blåses ut uten at det medfører at det genereres flyvende bygningsdeler som utgjør fare for tredjepart når de kommer ned igjen.

Jernbanedirektoratet er ikke kjent med at det pr i dag er prosjektert eller bygget anlegg som er tilpasset vedlikehold av jernbanekjøretøyer som bærer med seg en vesentlig mengde brennbar gass som er lettere enn luft. En faglig vurdering er at slik tilpassing i et verkstedprosjekt vil kunne øke kostnadene i et prosjekt relatert til selve bygningene med 50-100%.

En forutsetning for at et eksisterende verksted skal kunne tilpasses vedlikehold av jernbanekjøretøy som bærer med seg en vesentlig mengde brennbar gass som er lettere enn luft er at det har en bygningsstruktur som egner seg for denne type tilpassing. Eldre verkstedbygg i murstein har ikke styrken i veggene eller evnen til å deformeres uten å kollapse som behøves i et verksted som skal vedlikeholde jernbanekjøretøy som bærer med seg en vesentlig mengde brennbar og eksplosjonsfarlig gass. Moderne verkstedbygg basert på stålskjelett med utvendig platekledning forventes å ikke kollapse ved en eksplosjon, men har ikke styrke i elementenes innfesting til stålskjelettet som er egnet til å holde disse fast slik at trykket avledes oppover ved en større gasseksplosjon.

Jernbanedirektoratet har gjort en vurdering av eksisterende verkstedbygning i Norge og har ikke funnet noen bygninger som umiddelbart fremstår som egnet for tilpassing til å vedlikeholde tog med hydrogen som energibærer i. Dersom det allikevel skulle være aktuelt å tilpasse eksisterende verksteder vil det også måtte gjøres en vurdering av egnethet i forhold til bevaring av kulturhistorisk verdifulle bygninger.

25.1.3 Tilpassing av tunneler

SH2IFT prosjektet peker på at det er manglende kunnskaper om sikkerhet knyttet til bruk av hydrogen i lukkede og semilukkede rom som gjør det utfordrende å vurdere risiko i tilknytting til blant annet jernbanedrift i tunneler med hydrogen som energibærer. Dersom det ikke kan gjøres gode risikovurderinger, blir det også utfordrende å verifisere at tiltakene som iverksettes for å oppnå en drift med et tilfredsstillende sikkerhetsnivå er tilstrekkelige.

Jernbanedirektoratet er per i dag ikke kjent med at det finnes prosjekter der drift av jernbane med hydrogen i tunneler er operasjonalisert. I likhet med tilpassing av verksteder kan Jernbanedirektoratet pr i dag ikke si om teknologien er moden nok til at tilpassing av tunneler lar seg gjennomføre på det nåværende tidspunkt.

Dersom drift i tunneler med tog basert på hydrogen som energibærer lar seg gjennomføre, er tunneler i likhet med verksteder innelukkede områder, der vi med drift basert på hydrogen tar med oss en vesentlig mengde brennbar eksplosiv gass inn. I likhet med på verksteder må vi med drift i tunneler sikre oss mot at hydrogengass på avveie antennes og at dersom den antennes må konsekvensene av en eksplosjon gjøres minst mulige, og vurderes som akseptable både før og etter at en ulykke har inntruffet.

Som på et verksted må kildene til antennelse fjernes, noe som medfører at tunnelens elektriske system bør være utført med en EX klassifisering. Det er ikke mulig å oppnå EX klassifisering av et kontaktledningsanlegg (KL anlegg), da det alltid vil oppstå lysbuer i kontaktpunktet mellom toges strømvogter og kontaktledningen.

Jernbanedirektoratet vurderer det dermed som vanskelig å kombinere drift med hydrogen med elektrisk drift med KL i tunneler.

Videre er togets bremsesystem en vesentlig kilde til gnister som antas å antenne en rekke branner hvert år. Jernbanedirektoratet vurderer det som vanskelig og fjerne denne kilden til gnister og høye overflatetemperaturer.

Det er i et ordinært dieseldrevet kjøretøy flere termiske høyt belastede systemer, som kan generere høye overflatetemperaturer.

Det vil ved kjøring med forbrenningsmotor i en tunnel med gasser i en brennbar blanding være fare for at motorer kommer ut av kontroll som følge av at de suger inn brennbare gasser og ruser ut.

Kombinasjonen av dieseldrift og hydrogendrift i samme tunnel bør utredes i forhold til sikkerhet, før det kan sies om det lar seg kombinere på en måte som tilfredsstiller de sikkerhetskrav og det sikkerhetsnivå som gjelder for jernbane.

I tillegg til å fjerne tennekilder må det for å forhindre gasseksplisjoner og håndtere hydrogengass på avveie sikres at hydrogen ikke får anledning til å ansamle seg i toppen av tunnelen samt at det må bygges deteksjons og varslingssystemer for brennbar gass som kan detektere tilstedeværelse av brennbare gasser og varsle infrastrukturforvalter slik at operative tiltak som stenging av tunnel osv. kan iverksettes.

Varsling og deteksjonssystemer må ha en sikker helårs strømforsyning, og en EX utførelse. Kostnaden for varsling og deteksjonssystemer vil variere med tunnelens lengde og tilgangen til sikker strømforsyning.

Det er stor forskjell på hvilke tiltak som må iverksettes for å hindre ansamling av hydrogen på avveie i ulike tunneler. Korte tunneler med jevn stigning i en retning vil i de fleste tilfeller ha potensial for å kunne ventilere ut hydrogen med naturlig ventilasjon, men hver tunnel må i tillegg vurderes mer detaljert i forhold til mulige ansamlingspunkter i selve konstruksjonen.

For tunneler med høyeste punkt inne i tunnelen (Høybrekk), må det etableres mulighet for ventilering enten i form av en ventilasjonssjakt som naturlig ventilerer fra tunnelens høybrekk eller ved en EX sikker mekanisk ventilasjon som suger ut fra høyeste punkt i tunnelen. I likhet med øvrige tunneler må også hver tunnel vurderes særskilt i forhold til mulige ansamlingspunkter i selve konstruksjonen. Kostnaden knyttet til ventilasjonssjakter og mekanisk ventilasjon vil variere fra tunnel til tunnel. Det vil avhenge av lengden på ventilasjonssjakten som må borres og tilgangen til stedet de må borres fra for løsninger med sjaktventilering, samt tunnelens lengde og tilgangen til sikker strømforsyning for mekanisk ventilasjon

Ventilasjonssystemene må virke under alle forhold og være konstruert og dimensjonert for å kunne håndtere f.eks. vinterproblemer knyttet til at fuktig luft fra tunnelen ventileres ut i temperaturer under null, hvor fuktighet kondenseres og fryser til slik at ventilasjonsanleggets funksjon reduseres eller stanses. Både naturlig ventilerte ventilasjonssjakter og mekaniske ventilasjonssystemer må ha overvåking og varslingssystemer som sikrer at infrastrukturforvalter har kontroll på funksjonen og kan iverksette operative tiltak som stenging av tunnel og feilretting ved svikt i ventileringen av tunnelen. Slike systemer vil ha en kostnad som varierer med tunnelens lengde og tilgangen til sikker strømforsyning.

Dersom det skulle oppstå en gasseksplisjon i en tunnel, vil vi ikke ha andre muligheter til å avlaste trykket enn i tunnelens lengderetning, da tunnelens struktur må anses som meget sterk i både vegger gulv og tak. Ved en større hydrogeneksplisjon i en lengere tunnel vil eksplosjonens trykkbølge bli meget kraftig, oppnå svært høy hastighet og nå svært langt før den avtar. Det er dermed en risiko for at alle som oppholder seg i en tunnel ved en slik ulykke vil omkomme som følge av eksplosjonen. Eksperimenter fremvist i tilknytning til SH2IFT prosjektet indikerer i tillegg at blokkeringer i tunnelen, f.eks. i form av et kjøretøy, vil bidra til å øke eksplosjonens hastighet og dermed også skadepotensialet. Det er dessverre ikke identifisert noen form for skadereduserende tiltak, noe som medfører at det heller ikke knyttes noen investeringskostnader til dette.

Under gitte forutsetninger vil en eksplosjon inne i en tunnel kunne medføre skader på tunnelens struktur. I verst tenkelige tilfelle vil en eksplosjon kunne medføre at tunnelen blir så skadet at den ikke lenger kan brukes. Dette er ikke en investeringskostnad, men det bør regnes inn avsetninger til erstatning av ødelagte tunneler ved bruk av hydrogen som energibærer. Størrelsen som bør regnes inn vil variere med omfanget av utsatte tunneler i driften.

Samlet sett er det svært vanskelig å gi en generisk vurdering av kostnader til tilpassing av tunneler da en rekke tunneler vil kunne benyttes uten kostbare tiltak, mens i andre tunneler kan vi risikere å måtte installere en rekke svært kostnadskrevenende tiltak for å kunne etablere en tilfredsstillende sikkerhet.

For bruk i beregninger er det for teknologier som innebærer bruk av brennbare og eksplosive gasser som er lettere enn luft er tunneltiltak tillagt en kostnad på 30000 kr/meter tunnel. Tallet er satt skjønnsmessig ut ifra en vurdering av hvilke tiltak som kan være aktuelle og hva andre tekniske installasjoner i jernbanen har som kostnadsnivå. Det er et tall med meget stor usikkerhet, og det må ikke tolkes som et tegn på at Jernbanedirektoratet har vurdert at de omtalte tiltakene er tilstrekkelige eller gjennomførbare.

25.1.4 Investering i styrket beredskap

Drift basert på hydrogen innebærer både at en rekke kommuner kan få transport av flytende hydrogen gjennom kommunen på jevnlig basis, at enkelte kommuner får lokalisert fylleanlegg for hydrogen til tog innen sitt område og at en rekke kommuner kan få passasjertransport med tog som bærer med seg en betydelig mengde hydrogen.

Tilstedeværelsen av disse mengdene av hydrogen, som er en brennbar og eksplosiv gass, må inn i kommunenes risikovurderinger både i forhold til ulykker og vilde handlinger. Kommunenes vurdering av risiko knyttet til denne aktiviteten må deretter tas inn i kommunenes beredskapsanalyser som de benytter til å vurdere sin evne til å håndtere potensielle uønskede hendelser.

Resultatet av disse analysene er det kommunene som må stå for. Det er rimelig å forvente at de kommunene som ikke allerede har aktivitet som inneholder de samme faremomentene som håndtering av hydrogen innebærer, vil trenge investeringer i beredskapsutstyr og kompetanse for å kunne dokumentere at de vil kunne være i stand til å håndtere de identifiserte farene på en forsvarlig måte. Det er svært vanskelig å forutse hvilke investeringer de enkelte kommunene vil analysere seg frem til at de trenger og hva dette vil koste, men at de fleste av de potensielt berørte kommunene vil ha behov for tiltak for å forbedre beredskapen som følge av at det gjennomføres drift på jernbanen basert på hydrogen er overveiende sannsynlig.

25.2 Drift og vedlikehold

Driften av infrastruktur er også en faktor som må regnes inn i jernbanens driftsutgifter. Det er kun enkelte deler av dette som varierer som konsekvens av valg av energibærer. For hydrogen infrastruktur dreier dette seg om drift av fylleanlegg, drift av verksteder og drift av de sikkerhetstiltak som må iverksettes i tunneler for at det skal være mulig å anse det som tilstrekkelig sikkert å kjøre i dem. Det finnes ingen relevante erfaringstall og fastsette dette på basis av. Drift av verksteder og

fylleanlegg vil være dyrere enn hva vi erfarer med bruk av diesel. Hvor mye dyrere er imidlertid svært usikkert og vil kunne variere ut ifra en rekke ulike forhold. Drift av mulige sikkerhetstiltak i tunnel vil være noe man ikke har ved dieseldrift, og det vil være mer kompliserte og kostbare anlegg enn et KL anlegg som man har ved elektrisk drift. Det vil imidlertid kun være anlegg i tunneler, så driftskostnaden vil relatere seg til mengden tunneler som har de ulike sikringstiltakene. Til beregningsformål er det i dette arbeidet antatt en kostnad til drift og vedlikehold av disse anleggene er tre ganger så høy som driften av et KL anlegg pr meter anlegg. I tillegg er det antatt at ventilasjons og overvåkningssystemer for gass har betydelig kortere levetid enn KL anlegg.

25.2.1 Drift av styrket beredskap

For at et beredskapssystem som forventes og kunne håndtere brann og eksplosjoner i tilknytting til hydrogen skal kunne forventes å fungere, må kompetanse opprettholdes, utstyr fornyes og øvelser gjennomføres.

Innføring av hydrogen som energibærer innebærer at eksplosjoner og gassbranner må kunne håndteres. I tillegg vil togdrift basert på hydrogen som energibærer og transport av hydrogen medføre at brann og eksplosjoner kan oppstå på svært ulike steder, og dermed vil både evakuering og skadebegrensning kunne foregå på varierende steder (Ikke bare faste installasjoner). Noen av disse stedene vil i tillegg kunne være vanskelig tilgjengelige med ordinære kjøretøy, og kan i enkelte tilfeller forutsette tilgang til skinnegående utstyr eller helikoptertransport.

Det vil i hovedsak være brannvesenet som må settes i stand til å håndtere uønskede hendelser som involverer en vesentlig mengde hydrogen. Det er Jernbanedirektoratet sin vurdering at enkelte mindre kommunale brannvesen vil kunne være sårbare i forhold til å kunne forventes å håndtere denne type uønskede hendelser, men dette må vurderes og håndteres av kommunene selv.

Dette vil bli faste årlige utgifter for de berørte kommunene, som vi vet at vil komme, men som Jernbanedirektoratet ikke har kompetanse til å vurdere størrelsen på.

26 Kostnader for infrastruktur; Investering, drift og vedlikehold ved drift basert på biogass

26.1 Investering

26.1.1 Investering i fylleanlegg

Kostnaden for et fylleanlegg for biogass som er egnet til å betjene jernbanekjøretøy vil bli betydelig dyrere enn et dieselfylleanlegg da det er et mer komplisert anlegg som må håndtere en annen sikkerhetsutfordring enn et dieselfylleanlegg. Gasseksplisjonsfare gjør at plassering av et permanent fylleanlegg for jernbanekjøretøy vil kreve større tomteareal, for å ha nødvendige sikkerhetssoner, og vil måtte bygges med et høyere nivå av sikring og overvåkning enn et ordinært dieselfylleanlegg. Dette påvirker forventet investeringsbehov. Et biogass fylleanlegg er allikevel betydelig enklere enn et hydrogenfylleanlegg som følge av at de fysiske egenskapene til de to gassene har vesentlige forskjeller. Jernbanedirektoratet er ikke kjent med at det er bygget slike anlegg for tog som er relevante å bruke som referanse for kostnader, så kostnaden for slike anlegg er ut ifra faglig skjønn satt til 18 millioner pr anlegg. Det er denne prisen som er lagt til grunn i videre økonomiske analyser av dette alternativet. Tallet har høy usikkerhet og vil kunne variere fra prosjekt til prosjekt både avhengig av størrelse, tilgang på egnede områder og tomtekostnader.

26.1.2 Investering i verkstedanlegg

Prisen for et verkstedanlegg for biogass avhenger av de samme forhold som et verkstedanlegg for tog med hydrogen som energibærer. Det henvises derfor til kapittel 25.1.2 for detaljer knyttet til dette.

26.1.3 Tilpassing av tunneler

Med unntak av at kunnskapen om biogass sine egenskaper ved uønskede hendelser er betydelig bedre, og at det dermed kan gjøres mer presise risikovurderinger som kan danne grunnlag for å forstå kompenserende tiltak sin effekt bedre, er vurderingene av behov for tilpassinger i tunnel identiske med vurderingen som er gjort for hydrogen i kapittel 25.1.3. For detaljer henvises derfor til dette kapitlet.

26.1.4 Investering i styrket beredskap

Behovene for investering i beredskap vurderes å være identiske med vurderingene som er gjort for hydrogen under kapittel 25.1.4. Det henvises derfor til dette kapitlet for detaljerte vurderinger knyttet til dette tema.

26.2 Drift og vedlikehold

Utgiftene til drift og vedlikehold av infrastruktur som tilknyttes biogass vil i all hovedsak være identiske med de vurderinger som er gjort vedrørende hydrogen i kapittel 25.2 det henvises derfor til dette kapitlet for detaljer rundt dette tema.

27 Kostnader for infrastruktur; Investering, drift og vedlikehold ved drift basert på biodiesel

27.1 Investering

Det vil ikke være behov for noen investeringer i infrastruktur utover det eksisterende ved innføring av biodiesel som erstatning for ordinær diesel.

27.2 Drift

Det er ikke identifisert noen grunn til at driftsutgiftene for drift av infrastruktur skal endre seg som følge av overgang fra diesel til biodiesel.

27.3 Vedlikehold

Det er ikke identifisert noen grunn til at vedlikeholdsutgiftene for infrastruktur skal endre seg som følge av overgang fra diesel til biodiesel.

28 Referanser

1. **SINTEF**. *Analyse av alternative driftsformer for ikke-elektrifiserte baner*. 2019.
2. **Cvetkovski, Raphael og Litonjua, Irene**. *Biogas: Production, consumption and Application*. s.l. : Nova Science Publishers, 2012.
3. **Mt. Everst Biogas Project**. Biogas history. [Internett] [Sisert: 02 10 2019.] <https://nepalbiogas.wordpress.com/problem/biogas/history/>.
4. **Berg, Heidi Ø., et al**. *Biogass til transport i Midt-Norge - Markedsstudie*. 2014.
5. **SSB**. Stadig mer alternativt drivstoff i transport. [Internett] 26 09 2019. [Sisert: 15 10 2019.] <https://www.ssb.no/energi-og-industri/artikler-og-publikasjoner/stadig-mer-alternativt-drivstoff-i-transport>.
6. **Pacific Biodiesel**. History of Biodiesel Fuel. [Internett] [Sisert: 21 10 2019.] <https://www.biodiesel.com/biodiesel/history/>.
7. **Miljødirektoratet**. *Kunnskapsgrunnlag for omsetningskrav i skipsfart*. 2018.
8. —. Fakta om biodrivstoff . [Internett] 30 04 2019. [Sisert: 21 10 2019.] <http://tema.miljodirektoratet.no/no/Tema/Energi/Biodrivstoff/Fakta-om-biodrivstoff/>.
9. **Alstom Transport Norway AS**.
10. **Østfoldforskning**. *Tilpasning av tyngre kjøretøy og anleggsmaskiner for drift med biogass*. 2019.
11. **Energigjenvinningsetaten, Oslo kommune**. *TEKNOLOGIALTERNATIVER FOR KLIMANØYTRAL TUNGTRANSPORT AV AVFALL*.
12. **Sund Energy/Enova**. *Muligheter og barrierer for økt bruk av biogass til transport i Norge*.
13. **NIBIO**. Når søppelbilen drives av kumøkk, fiskeslam og matavfall. [Internett] 14 09 2018. [Sisert: 07 10 2019.] <https://www.nibio.no/nyheter/nar-soppelbilen-drives-av-kumokk-fiskeslam-og-matavfall>.
14. **Rambøll**. *NORLANDSBANEN PÅ BIOGASS*. 2018.
15. **CNGprices**. [Internett] 2019. [Sisert: 14 10 2019.] http://www.cngprices.com/station_map.php.
16. **Carbon Limits**. *Tilrette legging for bruk av biogass i Rogaland*.
17. **DNV GL**. *Utredning av omsetningskrav for biodrivstoff i skipsfarten*. 2018.
18. **Klima- og miljødepartementet**. *Nasjonal tverrsektoriell biogasstrategi*. 2014.
19. **Tine**. Ny intensjonsavtale om biogass. [Internett] 23 05 2017. [Sisert: 07 10 2019.] <https://www.tine.no/presserom/nyhetsarkiv/ny-intensjonsavtale-om-biogass>.
20. **NOx-fondet**. Hurtigruten skal gå på biogass. [Internett] NHO, 23 05 2019. [Sisert: 09 10 2019.] <https://www.nho.no/samarbeid/nox-fondet/nyheter/hurtigruten-skal-ga-pa-biogass/>.
21. **Biokraft**. *Annual report*. 2018.

22. **Huang, Wei-Dong og Percival, Zhang Y-H.** *Energy Efficiency Analysis: Biomass-to-Wheel Efficiency Related with Biofuels Production, Fuel Distribution, and Powertrain Systems*. 2011.
23. **Jernbaneverket.** *Strategi for driftsform på ikke-elektrifiserte baner*. 2015.
24. **Santander Consumer Bank.** Slik utvikles dieselmotoren for å være konkurransedyktig i fremtiden. [Internett] 22 01 2019. [Sisert: 23 10 2019.] <https://www.santanderconsumer.no/magasinet/bilmc/slik-utvikles-dieselmotoren-for-a-vaere-konkurransedyktig-i-fremtiden/>.
25. **NMBU.** *Virkemidler for Ren biodiesel i norsk landbruk*. 2019.
26. **Finansdepartementet.** Statsbudsjett 2020, Prop. 1 LS, Skatter, avgifter og toll 2020. [Internett] 2019. [Sisert: 06 11 2019.] <https://www.statsbudsjettet.no/Statsbudsjettet-2020/Dokumenter1/Budsjettdokumenter/Skatte-avgifts/Prop-1-LS-/Del-2-Forslagene-/10-Saravgifter-/>.
27. **Circle K.** Historiske priser Diesel levert. [Internett] 2019. [Sisert: 28 10 2019.] https://m.circlek.no/no_NO/pg1334077141831/business/milesDrivstoffbedrift/Priser/HistoriskepriserDiesellevert.html.
28. **Miljødirektoratet.** Salget av avansert biodrivstoff økte i fjor. [Internett] 03 05 2019. [Sisert: 21 10 2019.] <https://www.miljodirektoratet.no/aktuelt/nyheter/2019/mai-2019/salget-av-avansert-biodrivstoff-okte-i-fjor/>.
29. **Ruralis.** *Delrapport om bærekraft og klimagevinst ved overgang til fullraffinert fornybar biodiesel i norsk jordbruk*. 2019.
30. **AtB.** Godt for deg - godt for miljøet. [Internett] 2019. [Sisert: 23 10 2019.] <https://www.atb.no/nye-og-moderne-busser/godt-for-deg-godt-for-miljoet-article13025-1700.html>.
31. **Bergensavisen.** Fornyer bussparken med miljøvennlige busser . [Internett] 12 08 2019. [Sisert: 23 10 2019.] <https://www.ba.no/nyheter/buss/trafikk/forny-bussparken-med-miljovennlige-busser/s/5-8-1109467>.
32. **CIT industriell Energi AB.** *Production of liquid advanced biofuel - global status*. 2019.
33. **SSB.** Statistikkbanken. [Internett] 2019. [Sisert: 28 10 2019.] <https://www.ssb.no/statbank/table/11823/>.
34. **Litra.** Litra kjører grønt. [Internett] 2018. [Sisert: 21 10 2019.] <http://www.litra.no/blog/2017/09/15/litra-kjorer-gront/>.
35. **Regjeringen.** *Handlingsplan for infrastruktur for alternative drivstoff i transport*. 2019.
36. —. Luftfarten skal bruke 0,5 prosent avansert biodrivstoff fra 2020. [Internett] 04 10 2018. [Sisert: 23 10 2019.] <https://www.regjeringen.no/no/aktuelt/biodrivstoff-i-luftfarten/id2613122/>.
37. **Railway Gazette.** LNG locomotive agreement. [Internett] 04 04 2017. [Sisert: 09 10 2019.] <https://www.railwaygazette.com/news/traction-rolling-stock/single-view/view/lng-locomotive-agreement.html>.
38. —. Passenger LNG trial starts. [Internett] 10 01 2018. [Sisert: 09 10 2019.] <https://www.railwaygazette.com/traction-and-rolling-stock/passenger-lng-trial-starts/45761.article>.

39. **Rainway Gazette.** Gas-fuelled locomotive enters passenger service. [Internett] 15 02 2015. [Sisert: 09 10 2019.] <https://www.railwaygazette.com/news/traction-rolling-stock/single-view/view/gas-fuelled-locomotive-enters-passenger-service.html>.
40. **Avfall Norge.** Biogass - verdifullt, effektivt og med dobbel klimanytte. [Internett] 18 05 2017. [Sisert: 09 10 2019.] <https://www.avfallnorge.no/bransjen/nyheter/biogass-verdifullt-effektivt-og-kliman%C3%B8ytralt>.
41. **Drivkraft Norge.** Omsetningen av biodrivstoff i Norge i 2017. [Internett] 01 05 2018. [Sisert: 23 10 2019.] <https://www.drivkraftnorge.no/Drivstoff-og-energi/biodrivstoff/omsetningen-av-biodrivstoff-i-2017/#part4>.
42. **Railway Gazette.** Vegetable oil fuelled multiple-units ordered for future battery conversion. [Internett] 13 11 2017. [Sisert: 30 10 2019.] <https://www.railwaygazette.com/traction-and-rolling-stock/vegetable-oil-fuelled-multiple-units-ordered-for-future-battery-conversion/45478.article>.
43. **Lyngdal, Kari-Anne og Brekke, Andreas.** *Environmental Life Cycle Assessment of Biogas as a Fuel for Transport Compared with Alternative Fuels.* 2019.
44. **TØI.** *Fornybare drivstoffer – Fornybar diesel: HVO.* 2016.
45. **Framtiden i våre hender.** *Faktaark om klimagassutslipp fra forbruk.* 2013.
46. **Justis og Politidepartementet.** *NOU 2001:9 Lillestrømulykken.* Oslo : Statens forvaltningstjeneste Informasjonsforvaltning, 2001.
47. **Rambøll.** *Markedsrapport - Biogass i Oslofjordregionen.* 2016.
48. —. *NORLANDSBANEN PÅ FORNYBARE ENERGIKILDER.* 2017.
49. **Miljøkommune.** *Energistasjoner i Trondheim kommune.* 2018.
50. **2019., Lotten Engbom mfl. Explosion på buss i centrala Stockholm. Expressen. Mar.** Expressen.se. [Internett] 10 Mars 2019. <https://www.expressen.se/nyheter/just-nu-kraftig-brand-i-centrala-stockholm-buss-star-i-lagor/>.
51. **Mikael Hagberg, Johan Lindström og Petter Backlund.** *Olycksutredning: Brand i gasbuss, Gnistängstunneln, Göteborg. Tekn. rapp. 0397/16.* Gøteborg : Redningstjänsten Storgöteborg, 2016.
52. **Vislie, Geirmund.** Key Learning Points. s.l. : Gexcon, 2019.
53. **Johnson, Olav R. Hansen og D. Michael.** Improved far-field blast predictions from fast deflagrations, DDTs and detonations of vapour clouds. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries.* Mai 2015, ss. 293-306.