

JANUAR 2018

NORDLANDSBANEN PÅ BIOGASS



NÆRINGSLIVETS
NOx-fond



Jernbane-
direktoratet



Trøndelag
fylkeskommune



Nordland
FYLKESKOMMUNE

RAMBOLL



NORSK
GASSFORUM

NORLANDSBANEN PÅ BIOGASS

Revisjon **G**
Dato **2018-01-03**
Utført av **Eirik Ovrum, Johan Narvestad, Jonas Myklebost, Heidi Ødegård Berg, Helene Sedal, Hans Petter Krane, Håvard Gilja, Thomas Kjellevoid, Sana Ahsan Khan, Heidi Ødegård Berg**
Kontrollert av
Godkjent av
Beskrivelse Rambøll har på oppdrag fra Norsk Gassforum gjennomført en utredning av biogass som drivstoff for jernbane. Utredningen skal med tilstrekkelig høy presisjon besvare hvorvidt biogass, teknisk og økonomisk sett, er et realistisk alternativ for ikke-elektrifiserte banestrekninger i Norge, der Nordlandsbanen benyttes som referansebane.

Ref. 1350019338
Document ID 839400-26 / NOR-BIO-26-015

Rambøll
Hoffsveien 4
Postboks 427 Skøyen
0213 Oslo
T +47 22 51 80 00
F +47 22 51 80 01
www.ramboll.no

C:\Users\EIOV\Documents\prosjekter\Nordlandsbanen på biogass\arbeidsmappe\NOR-BIO-26-015-Rapport.docx

INNHALDSFORTEGNELSE

ORDLISTE 1

1.	EXECUTIVE SUMMARY	2
2.	BAKGRUNN FOR STUDIEN	4
3.	OPPSUMMERING AV TIDLIGERE ARBEID	7
4.	BIOGASS	8
4.1	Introduksjon til biogass	8
4.2	Verdikjede for biogass	8
4.2.1	Råstoff	9
4.2.2	Produksjon	9
4.2.3	Distribusjon	9
4.2.4	Sluttbrukere	10
4.3	Tilgang på biogass nå og i framtiden	11
4.4	Forventet etterspørsel etter biogass	12
4.5	Forventet prisutvikling på biogass	14
5.	NORDLANDSBANEN	15
5.1	Fakta om banen	15
5.1.1	Nordlandsbanens historie	15
5.2	Tilstøtende banestrekninger	16
5.2.1	Trønderbanen	16
5.2.2	Meråkerbanen	16
5.2.3	Dovrebanen	17
5.3	Andre baner med dieseldrift i Norge	17
5.3.1	Rørosbanen	17
5.3.2	Raumabanen	18
5.4	Flaskehalser på Nordlandsbanen	18
5.4.1	Plattformlengder	19
5.4.2	Kryssingsspor	20
5.4.3	Aksellast – en begrensing for malmtransporten	21
5.4.4	Tunneler	22
5.5	Planlagte prosjekter på Nordlandsbanen	23
5.5.1	Nasjonal Transportplan	23
5.5.2	ERTMS – Nordlandsbanen	24
5.5.3	Elektrifisering av Trønder- og Meråkerbanen	26
5.5.4	Dobbeltspor Trondheim-Stjørdal	26
5.5.5	Hell – Værnes	27
5.5.6	Oteråga stasjon	28
5.5.7	R2027 Trønderbanen	28
5.6	Trafikk på Nordlandsbanen	29
5.6.1	Persontrafikk	29
5.6.2	Konkurransetsetting av persontrafikk	30
5.6.3	Gods- og malmtrafikk	31
5.6.4	Beregnet dieselforbruk 2016	31
5.7	Togtyper (rullende materiell) på Nordlandsbanen	33
5.7.1	Motorvognsett type 93	33
5.7.2	Motorvognsett type 92	34
5.7.3	Lokomotiv Di4	36
5.7.4	Lokomotiv CD312	38
5.7.5	Bimodale tog på dieselstrekninger	39
5.8	Ny jernbanesektor	40
5.8.1	Jernbanereformen	40

5.8.2	NSB AS	40
5.8.3	CargoNet	41
5.8.4	Bane NOR SF	41
5.8.5	Jernbanedirektoratet	41
5.8.6	Norske tog AS	41
5.8.7	Materiellstrategi – gammelt dieselmateriell	41
6.	MILJØEFFEKTER	42
6.1	Miljøbelastning dieseldrift	45
6.2	Miljøbelastning biogass	45
6.3	Miljøbelastning diesel vs. biogass	46
7.	GASSDRIFT	48
7.1	Aktuelle teknologier for gassdrift	48
7.1.1	Gassmotor	48
7.1.2	Pålitelighet	49
7.1.3	Metanlekkasje fra gassmotor	49
7.1.4	Hybrid-drift	50
7.1.5	Lagring av gass på tog	51
7.1.6	Ombygging av tog	54
7.1.7	Gassdrift i arktisk klima	55
7.1.8	Infrastruktur	55
7.2	Erfaringer med gassdrift	56
7.2.1	Biogastoget «AMANDA»	56
7.2.2	Nord-Amerika	58
7.2.3	Russland	59
7.2.4	Europa	60
7.2.5	Asia	60
7.3	Forventet tilgjengelighet for gassdrevet materiell	61
7.4	Gassdrift i et internasjonalt perspektiv	61
7.5	Norge sin rolle som pådriver	62
8.	SIKKERHET OG RISIKO	63
8.1	Sikkerhet	63
8.1.1	Lover og forskrifter	63
8.1.2	TSI-er (Tekniske Spesifikasjoner for Interoperabilitet)	64
8.1.3	Lovpålagte standarder	64
8.1.4	Andre lover og forskrifter	65
8.1.5	Øvrige standarder, normer og håndbøker	66
8.1.5.1	Håndbøker/ veiledere til DSB	66
8.1.5.2	Øvrige standarder	66
8.2	Risiko	67
9.	ØKONOMI	70
9.1	Økonomi ved biogass – bedriftsøkonomiske betraktninger	70
9.1.1	Fyllestasjoner for biogass	71
9.1.2	Ombygging av eksisterende dieseltog til gassdrift	71
9.1.3	Nye gasstog	71
9.1.4	Årlig drivstoffkostnader	71
9.1.5	Elektrifisering med kjøreledning	72
9.1.6	Sammenligning med hydrogen	72
9.1.7	Case – sammenligning av HVO og biogass	73
9.2	Insentiver og støtte	75
9.2.1	NOx-fondet	75
9.2.2	CO ₂ -avgift	75
9.2.3	Enova	76
9.2.4	Klimasats	76
9.3	Samfunnsøkonomiske betraktninger	76

9.3.1	Lokal verdiskapning	76
9.3.2	Biogass og sirkulærøkonomi	77
9.3.3	Helse- og miljøgevinster ved reduserte lokale utslipp	77
9.3.4	LNG og NOx-fondet	77
9.3.5	Samfunnsøkonomiske gevinster	77
10.	OPPSUMMERING OG DRØFTING	78
	HENVISNINGER	80

FIGURER

Figur 4.1: Verdikjede for biogass, fra råstoff til sluttbruker av biogass og biogjødsel.	9
Figur 4.2: Transport av biogass kan foregå i rør, i komprimert form (CBG) eller i flytende form (LBG). Kilde: AGA.	10
Figur 4.3: Biogass og Naturgass kan brukes om hverandre. Flytende naturgass brukes som reserve til biogass, i tilfelle manglende leveranse. Oppgradert biogass og naturgass har like egenskaper til bruk, men ikke til totale utslipp av klimagasser. Kilde Gøteborg Energi, 2007	10
Figur 4.4: Biogassprodusenter i Norge, med produksjonskapasitet per Juli 2016.	11
Figur 4.5: Sammenligning av volumetrisk energitetthet for komprimert (CBG) og flytende (LBG) biogass, CBG tar 2,5 ganger så stor plass som LBG. Forskjellen i tetthet viser at ved transport over lengre avstander er det mest økonomisk med flytende biogass.	12
Figur 4.6: Biogass i Norge - framskrivning av etterspørselen fram til 2025.....	13
Figur 5.1: Jernbanenettet i Norge	15
Figur 5.2: Etter planen skal elektrifiseringen av strekningen fra Trondheim til Steinkjer og Storlien være ferdig i 2023	16
Figur 5.3: Utbygging av Dovrebanen	17
Figur 5.4: Røros- og Solørbanen, Dovre- og Raumabanen	18
Figur 5.5: Plattformlengder på alle stasjoner med passasjerutveksling mellom Trondheim S og Bodø.	19
Figur 5.6: Lengde på kryssingsspor fra sør til nord, vist i meter. Stiplet linje markerer godstog med lengde 600 meter.	21
Figur 5.7: Tunneler på Nordlandsbanen, kategorisert etter lengde	22
Figur 5.8: Tunnellengder på Nordlandsbanen, i rekkefølge fra Trondheim (venstre) til Bodø (høyre)	22
Figur 5.9: Grafisk fremstilling av anbefalt utbyggingsrekkefølge av ERMTS. Nordlandsbanen ligger først. Kilde: Nasjonal signalplan, 2015.	25
Figur 5.10: Viser planlagt ERTMS-utbygging.....	26
Figur 5.11: Viser alternativene mellom Ranheim og Hommelvik.....	27
Figur 5.12: Viser kart over Oteråga stasjon.....	28
Figur 5.13: Persontogtilbudet på Nordlandsbanen gitt i rutetermin 17.0 (søndag 11.12.2016 – lørdag 09.12.2017). Figuren angir linjelengde som avstand mellom endestasjoner.	30
Figur 5.14: Gods- og malmtrafikk på Nordlandsbanen	31
Figur 5.15: Fordelingshjul for dieselforbruk på Nordlandsbanen	32
Figur 5.16: Typetegning av motorvognsett Type 93 (Kilde: www.jernbane.net)	33
Figur 5.17: Bilde av Type 93, individ 93.64 (Kilde: www.wikipedia.no)	34
Figur 5.18 Typetegning av motorvognsett type 92 (Kilde: www.jernbane.net)	35

Figur 5.19: Bilde av motorvognsett type 92 (Kilde: www.wikipedia.no).....	35
Figur 5.20: Typetegning av Di4-lokomotiv (Kilde: www.jernbane.net)	36
Figur 5.21: Lokomotiv Di4 (Kilde: www.wikipedia.org).....	37
Figur 5.22: Diesellokomotiv CD312. Brukes av CargoNet til godstrafikken på Nordlandsbanen.....	38
Figur 5.23: Figuren viser toglengthe og vekt for godstog til og fra Bergen. Forholdene på Bergenbanen og Nordlandsbanen er ikke veldig ulike.....	39
Figur 5.24: Den nye jernbanesektoren [29].....	40
Figur 6.1: De forskjellige drivstoffenes påvirkning på miljø og klima, eller lokale og globale utslipp. Utviklingen de siste årene med renseteknologi for nye dieselmotorer har redusert utslippene av PM og NOx. Fra TNO i 2008.....	42
Figur 6.2: Biogass lages av organisk avfall. CO ₂ -utslipp fra forbrenning av biogass regnes ofte som klimanøytralt («biogent»). Kilde: Lyse.....	43
Figur 6.3: Systemgrense biogass	44
Figur 6.4: Klimagassutslipp dieseldrift per togtype, inkludert distribusjon av drivstoff (well to wheel).....	45
Figur 6.5: Klimagassutslipp for togtrafikk for henholdsvis diesel og biogass, inkludert distribusjon av drivstoff (well to wheel).	46
Figur 6.6: NOx utslipp for togtrafikk for henholdsvis diesel og biogass, inkludert distribusjon av drivstoff (well to wheel).	47
Figur 7.1: Forbrenningsprosessen til en firetakters gassmotor. Kilde: https://shaikmoin.wordpress.com/tag/four-stroke-engine/	49
Figur 7.2: Hybridtog har en kombinasjon av batteri for energi lagring og motor med energi fra drivstoff.	50
Figur 7.3: Lagring av CBG i lokomotiv (Alt 1.1, 1.2, 1.3) og lagring av LBG i tendervogn (Alt 2.).	52
Figur 7.4: Sammenligning av drivstoffvolumet som kreves for CBG og LBG, med gitte betingelser, og dagens dieselpasitet som referansebane.	53
Figur 7.5: Sammenligning av drivstoffvolumet som kreves for CBG og LBG, med gitte betingelser, og dagens dieselpasitet som referansebane, det vil si at i denne figuren har diesel høyere sikkerhetsmargin. Figuren viser at det er teknisk mulig å lagre nok LBG i lokomotiver.	54
Figur 7.6: Tre foreslåtte fyllstasjoner med flytende biogass (LBG). I tillegg vises plasseringen av det kommende LBG anlegget i Skogn, som er et av flere anlegg som kan levere biogass til Nordlandsbanen.....	55
Figur 7.7: Gasstog i verden i dag. Europa er på etterskudd, bortsett fra Amandatoget som tidligere gikk i Sverige, på tross av et stort antall kilometer med ikke-elektrifiserte togbaner og stor biogassproduksjon i blant annet Tyskland.....	56
Figur 7.8: Designskisse av det Svenske biogasstoget Amanda.	57
Figur 7.9: Strekningene biogasstoget Amanda kjørte på i Sverige.	57
Figur 7.10: Illustrasjon som viser plassering av gasstanker i biogasstoget «Amanda»	58
Figur 7.11: Designskisse av lokomotivet til Indiana Harbor Belt Railroad (IHBR). Kilde: http://www.fleetsandfuels.com/fuels/cng/2017/04/optifuel-for-ihbs-cng-locomotives/	59
Figur 7.12: GT1h-002 lokomotivet til Russian Railway.	60
Figur 7.13: Det er et stort antall kilometer med ikke-elektrifiserte jernbanelinjer i Europa. Det er et stort potensial for nye drivstoff, blant annet biogass. Kilde Teknisk Ukeblad [65]	62

TABELLER

Tabell 5.1: Rammer til investeringer i korridor 7. Mill. kr	24
Tabell 5.2: Data for motorvognsett type 93.....	34
Tabell 5.3 Data for motorvognsett type 92	36
Tabell 5.4 Data for lokomotiv Di4 [35]. Drivstoffet avhenger av hvor mange vogner det er i toget.	37
Tabell 5.5: Data for lokomotiv CD312. Drivstoffet avhenger av hvor mange vogner det er i toget.	38
Tabell 9.1: Kostnad ved å bygge om et dieseldrevet lokomotiv til et gassdrevet lokomotiv.	71
Tabell 9.2: Pris for nytt diesellokomotiv er hentet fra Jernbaneverkets metodehåndbok [68]. Pris for nytt gasslokomotiv er estimert til å være 30 % høyere.....	71
Tabell 9.3: Estimerte priser med tilhørende total årlig drivstoffutgift for Nordlandsbanen, for diesel, biodiesel (HVO) og flytende biogass (LBG). Prisene på HVO og LBG er forbundet med stor usikkerhet.	72
Tabell 9.4: Overordnet sammenligning av elektrifisering av hele Nordlandsbanen og Nordlandsbanen på biogass. Elektrifisering av resten av Nordlandsbanen vil ha vesentlig høyere investeringskostnader enn Nordlandsbanen på biogass.....	72
Tabell 9.5: Økonomisk case - netto nåverdi beregning av å gå for biogass framfor HVO. Antakelsene og resultatene vises i tabellen under. Antall tog av hver type (se tabellteksten) er tatt fra vanlig bruk på Nordlandsbanen.	74
Tabell 9.6: CO ₂ -avgift på fossile drivstoff. Sm ³ er standard kubikkmeter gass, og har samme energiinnhold som 1,14 l diesel.	75

ORDLISTE

Begrep / forkortelse	Forklaring
Biogass	Gass bestående hovedsakelig av metan og CO ₂ . Ved oppgradering av rå biogass til drivstoffkvalitet, fjernes mesteparten av CO ₂ . Oppgradert biogass er kjemisk likt som naturgass, og de kan brukes om hverandre.
Biogjødsel	Dersom den biologiske resten fra biogassproduksjonen tilfredsstiller krav til bruk som gjødsel kalles den biogjødsel.
CBG	Komprimert biogass, vanligvis trykksatt til mellom 200-300 bar og et naturlig substitutt til CNG.
LBG	Flytende biogass og et naturlig substitutt til LNG. Biometan gjøres flytende ved nedkjøling til -161°C for å øke energitettheten til gassen, noe som gir transport- og lagringsfordeler.
CNG	Komprimert naturgass. Kjemisk ekvivalent med CBG, men fra fossile kilder.
LNG	Flytende naturgass. Kjemisk ekvivalent med LBG, men fra fossile kilder.
GWh	Mengdemål på biogass, oppgitt i energi, millioner kilowattimer. 10 GWh biogass tilsvarer 1 million liter diesel i energiinnhold.
HVO	Avansert biodiesel. Kan brukes som erstatning for diesel i nyere dieselmotorer eller etter ombygging av gamle.
Biodiesel	Diesel laget av ikke-fossile råstoffer. I denne rapporten vurderer vi kun avansert biodiesel, HVO.
NOx	Nitrogenoksider som slippes ut fra forbrenningsmotorer. Skader miljøet lokalt og er helse-skadelig. Gassmotorer slipper ut vesentlig mindre NOx enn dieselmotorer uten rensing.
LCA	Livsløpsanalyse (Life Cycle Analysis), en vurdering av totale utslipp av CO ₂ -ekv. ut i fra gitte systemgrenser. Typisk fra drivstoff er fra råstoff, produksjon, distribusjon og bruk (well-to-wheel).
CO ₂ -ekv.	CO ₂ -ekvivalenter, klimagassutslipp fra alle klimagasser målt i hvilken global varmeeffekt det ville ha vært om det var kun utslipp av CO ₂ . F.eks. så måles et kg metan som 25 kg CO ₂ , det er da en sterkere klimagass.

1. EXECUTIVE SUMMARY

Togene på Nordlandsbanen kan gå på biogass som et lavutslippsalternativ til dagens dieseltog. Det er få tekniske eller miljømessige barrierer i veien for en Nordlandsbane hvor organisk avfall, kloakk og husdyrgjødsel kan brukes til lokal produksjon av biogass som et grønt og miljøvennlig drivstoff.

Studien har vist at:

- Konverteringen fra diesel til biogasstog er teknisk mulig innenfor fornuftige økonomiske rammer, herunder ved et antatt rimelig nivå på offentlig virkemiddelbruk.
- Sikkerhet og driftssikkerhet ved biogasstog blir ivaretatt.
- Bærekraftig biogass vil være tilgjengelig til en konkurransedyktig pris. Ny kortreist biogassproduksjon i Trøndelag og Nordland, med avfall fra husholdninger, jordbruk og oppdrettsnæringen som råstoff, kan drive Nordlandsbanen og drastisk redusere klimagassutslippene og helseskadelige utslipp fra togtrafikken.
- Ved overgang fra diesel til biogass reduseres CO₂ utslippene med 77 % eller 29 993 tonn CO₂-ekv/år og NO_x utslippene med 85 % eller 503 tonn NO_x/år i et livsløpsperspektiv.
- Flere studier konkluderer med at produksjonen av biogass og biogjødsel til sammen gir negative CO₂-ekv utslipp.
- Nordlandsbanen på biogass krever en investering på 606 MNOK. Elektrifisering krever en investering på minst 8000 MNOK.
- Nåverdiberegninger viser en høyere netto nåverdi for biogass framfor biodiesel (HVO) på 401 MNOK.
- Samfunnsøkonomisk vil en Nordlandsbane på biogass bidra til en verdiskapning på 249 MNOK og 212 årsverk årlig, fra biogassproduksjon.

Togparken er bare delvis moden for fornying. Godstrafikken på Nordlandsbanen, drevet av CargoNet, har en eierskapsmodell hvor alle tog leases, og dette skaper en økonomisk utfordring, men også samtidig en mulighet for innføring av lavutslippsløsninger.

Biogass og naturgass kan brukes om hverandre som drivstoff, og det er i dag mange eksisterende og planlagte gassdrevne tog i blant annet Amerika, Russland og India. Det er få uløste tekniske utfordringer med biogasstog, det som mangler for å få gasstog på det europeiske markedet er villighet til å produsere dem fra de europeiske produsentene. Gassmotorer brukes i Norge i dag i mange skip og busser.

Det er i dag en stor oppblomstring av biogassanlegg i Norge, og flere anlegg som leverer oppgradert biogass til transport er i disse dager i ferd med å begynne produksjonen. Den største utfordringen i dag er å få nok kunder til denne biogassen. Det største av disse anleggene, Biokraft på Skogn i Nord-Trøndelag, kan alene levere all biogassen Nordlandsbanen trenger, og det er før anleggets planlagte dobling av produksjonskapasiteten. Det vil ikke være en mangel på biogass som drivstoff for Nordlandsbanen.

Biogass er et biodrivstoff som produseres av avfall og rester lokalt i Norge, og bidrar til sirkulær-økonomi og gjenbruk av ressurser. Det vil også medføre en verdiskapning i regionen på 249 millioner kroner og 212 årsverk bare med Nordlandsbanens forbruk (se avsnitt 9.3).

Råstoffene til produksjon av biogass kan anses som klimanøytrale, men der er nødvendig å se all bruk av energi i en livsløpsanalyse, såkalt: well to wheel.

Klimagassutslipp er globale og det finnes ingen energibærere som ikke har noen utslipp forbundet ved seg, når man tar med alle faktorer som for eksempel produksjon og konstruksjon av anlegg.

Vi har derfor brukt Livsløpsvurdering (LCA) som er en anerkjent metode for å vurdere miljøpåvirkning av et produkt eller et system gjennom livsløpet. Ved hjelp av denne metoden tar man hensyn til utslipp som oppstår både i forhold til produksjon av drivstoff og bruken av denne. Vi har i denne analysen fokusert på klimagassutslipp målt i CO₂-ekvivalenter og lokal NO_x utslipp.

Biogass som drivstoff vil kunne føre til en reduksjon i CO₂ utslipp på 77 % eller 29 993 tonn per år, i en livsløpsanalyse, i forhold til dagens diesel, samt en betydelig reduksjon i lokale utslipp av NO_x på 85 %, eller 503 tonn per år. Denne reduksjonen av NO_x gjelder i forhold til både dagens diesel og en framtidig løsning med HVO biodiesel på eksisterende tog. Nøyaktig hvor store utslippsreduksjoner biogass har i forhold til diesel er usikkert. Noen studier opererer med en reduksjon på over 100 %, hvor biogassproduksjonen og bruken til sammen faktisk sparer atmosfæren for CO₂-utslipp. Dette kan hverken elektrisitet eller hydrogen konkurrere mot, om biogassen er produsert på rett vis.

Norge har nå en mulighet til å ta en ledende rolle i bruken av flytende biogass (LBG) til transport. Ved å bruke flytende biogass som drivstoff til Nordlandsbanen, kan Norge bli en internasjonal pådriver for LBG, på samme måte som Norge er det i dag for LNG.

Anbefalinger:

Biogasstog på Nordlandsbanen vil være et godt alternativ fordi ny kortreist biogassproduksjon i Trøndelag og Nordland, blant annet med lokale avfall fra skogsavfall og oppdrettsnæringen som råstoff kan drive Nordlandsbanen og drastisk redusere klimagassutslippene og helseskadelige utslipp fra togtrafikken vi anbefaler derfor at:

1. Det settes i gang en prosess som har som mål å få leverandører til å tilby biogasstog til Nordlandsbanen.
2. Sverige er kommet langt med utvikling av gassdrevne tog. Vi anbefaler at Jernbanedirektoratet starter et samarbeid mellom norske og svenske jernbanemyndigheter om videreutvikling av biogasstog.
3. Det er en utfordring at det ikke eksisterer et regelverk for biogasstog eller produseres rene biogasstog i Europa. Norske myndigheter oppfordres til å ta kontakt med EU for å utviklet biogasstog for Europa.

2. BAKGRUNN FOR STUDIEN

2.1. Bakgrunn

Rambøll har på oppdrag fra Norsk Gassforum gjennomført en utredning av biogass som drivstoff for jernbane. Utredningen skal med tilstrekkelig høy presisjon besvare hvorvidt biogass, teknisk og økonomisk sett, er et godt alternativ for ikke-elektrifiserte banestrekninger i Norge, der Nordlandsbanen benyttes som referansebane. På dette grunnlaget er tre essensielle problemstillinger besvart gjennom utredningen:

- **Hvorvidt konverteringen er teknisk mulig innenfor fornuftige økonomiske rammer, herunder ved et antatt rimelig nivå på offentlig virkemiddelbruk.**
- **Hvorvidt sikkerhet og driftssikkerhet ivaretas. Et sentralt aspekt er også opplevd risiko og kommunikasjonsmessige hensyn for begge temaer.**
- **Hvorvidt nok bærekraftig biogass vil være tilgjengelig til en konkurransedyktig pris.**

I tillegg vil reduksjon i klimagassutslipp og miljøgevinst være sentral ved en overgang fra diesel- til biogassdrift.

Med jernbanereformen [1] gjennomfører regjeringen en kraftig satsing på norsk jernbane. I Norge er det Nasjonal Transportplan (NTP) [2] som legger grunnlaget for jernbanestrategien, og i NTP 2018-2029 ble følgende sagt om jernbane og ny teknologi:

«... Regjeringen ønsker å legge til rette for at ny teknologi kan testes og ev. tas i bruk i Norge. Regjeringen vil at nullutslippsløsninger skal legges til grunn for alle fremtidige offentlige materiellanskaffelser på jernbanen. Ved kjøp av nytt rullende materiell skal dette skje i den grad teknologiutviklingen tillater det...»

Denne jernbanestrategien muliggjør en satsning på biogass som drivstoff for jernbane ettersom en stor del av togparken til Nordlandsbanen er moden for utbytting, mens tradisjonell elektrifisering med kjøreledning er for dyrt og hydrogentog og batteritog ikke er like moden teknologi som gasstog. Konkurransetsettingen av trafikkpakke Nord er satt til desember 2019 [3]. Trafikkpakken omfatter persontogtilbudene på Nordlandsbanen, Trønderbanen, Meråkerbanen, Raumabanen, Rørosbanen og fjerntogene på Dovrebanen.

I 2015 gjennomførte Jernbaneverket¹ en utredning av konsekvensene ved å elektrisere de gjenstående dieselstrekningene i Norge, beskrevet i kapittel 5.5.3. Utredningen skulle avklare muligheter for fremtidige driftsformer og energibærere. Strategien bygger på kunnskapsgrunnlaget fra rapporten «Analyse av alternative driftsformer for ikke-elektrifiserte baner», utarbeidet av SINTEF. Batteri, hydrogen, naturgass, og biodiesel ble evaluert mot diesel-elektrisk fremdrift (dagens situasjon) og konvensjonell elektrifisering som referansekonsepter. Driftsformene ble evaluert på bakgrunn av energieffektivitet, fleksibilitet/robusthet, gjennomførbarhet, miljøkonsekvenser, pålitelighet, ressurstilgang, sikkerhet og totalkostnad. Det ble konkludert med at flere av konseptene kan bli aktuelle, men at det ikke er hensiktsmessig å gjennomføre en elektrifisering av de gjenstående dieselstrekningene, bortsett fra Rørosbanen og Solørbanen, i Norge før nullutslippsteknologi blir utredet mer i detalj.

¹ Fra 1. januar 2017 overtok Bane NOR ansvaret for den nasjonale jernbaneinfrastrukturen fra Jernbaneverket, som følge av jernbanereformen som Stortinget sluttet seg til.

Målet for strategiutformingen, i tilknytning til utvikling av transportsystemet, er å tilby et effektivt, tilgjengelig, sikkert og miljøvennlig transportsystem som dekker samfunnets behov for transport og fremmer regional utvikling. I tillegg redegjør strategien for relevante krav og føring-er i forbindelse med etablering av nye løsninger. Den overordnede teknologiske strategien inne-bærer blant annet valg av internasjonalt anerkjent og etablert teknologi, og forhåndsdefinerte teknologiske løsninger. Dette skal gi mulighet til standardisering med tanke på vedlikehold og fornyelse. I tillegg skal levetidsperspektivet og kontinuerlig kvalitetsforbedring inngå i alle faser. Andre kriterier som er av stor strategisk betydning er følgende punkter;

- Interoperabilitet mellom banestrekning og for materiell
- Ivaretagelse av nødvendighet grad av redundans
- Utvikling av konkurransedyktige baner
- Tidshorisont for teknologiutvikling og tidspunkt for endring av driftsform

Strategien ble levert til Samferdselsdepartementet og bidro til en anbefalt strategi i NTP 2018-2029 for de ikke-elektrifiserte strekningene [4]. Det bør understrekes at datagrunnlaget til Jern-baneverket ikke inkluderer en vurdering av biogass som drivstoff for jernbane.

Denne rapporten tar for seg en løsning for en miljøvennlig Nordlandsbane, og viser at det er tek-nisk, økonomisk og miljømessig gjennomførbart å ha en miljøvennlig Nordlandsbane på biogass.

2.2 Norsk Gassforum

NGF er et samarbeidsorgan av 10 fylkeskommuner med formål å fremme bruk av naturgass, biogass og hydrogen for verdiskapning og bedre klima og miljø regionalt, nasjonalt og interna-sjonalt. Forumet har følgende medlemmer:

- Nordland fylkeskommune
- Trøndelag fylkeskommune
- Møre og Romsdal fylkeskommune
- Sogn og Fjordane fylkeskommune
- Hordaland fylkeskommune
- Rogaland fylkeskommune
- Vest Agder Gassforum
- Telemark Gassforum
- Vestfold fylkeskommune
- Østfold fylkeskommune

Styremedlemmer er ledende fylkespolitikere. Fylkestingsrepresentant Roald Kvamme fra Hordaland er styreleder. Per Kragseth fra Hordaland er daglig leder.

2.3. Samarbeidspartnere

Utredningen er finansiert med tilskudd fra følgende samarbeidspartnere:

- NOx- fondet
- Jernbanedirektoratet
- Nordland fylkeskommune
- Nord-Trøndelag fylkeskommune
- Sør-Trøndelag fylkeskommune
- Norsk Gassforum

I tillegg deltar CargoNet i utredningen.

2.4. Prosjektgruppen

Prosjektgruppen har bestått av følgende fra samarbeidspartnerne:

- Daglig leder Per Kragseth Norsk Gassforum
 - Fylkesoljekonsulent Knut Viggo Larsen
 - Seniorrådgiver Hans-Einar Lundli
 - Senioringeniør Harald Larsen
 - Prosjektleder Eirik Ovrum
- leder
Fylkeskommunen Nordland,
Tidligere fylkeskommuner
Sør-Trøndelag, Nord-Trøndelag
Jernbanedirektoratet
CargoNet
Rambøll AS

3. OPPSUMMERING AV TIDLIGERE ARBEID

I regi av Norsk Gassforum gjennomførte Cowi og Østfoldforskning en kvalifiseringsstudie i 2015 for å finne ut om gass er et aktuelt drivstoff for jernbane i Norge. Studien hadde hovedfokus på godstransport, som resultat av at CargoNet var partner i prosjektet. Det ble vist til et stort potensiale for mer klima- og miljøvennlig drift av tog når naturgass (LNG) erstatter diesel som drivstoff. En overgang til biogass vil redusere klimagassutslippene ytterligere. I tillegg vil gassdrift tilnærmet eliminere NOx-utslippene sammenlignet med dagens dieseldrift.

Studien viste også til reduserte årlige driftskostnader ved en overgang til LNG. LNG ble vurdert som et første skritt på veien mot og en døråpner for biogassdrift på tog. Det ble anbefalt at arbeidet skulle videreføres i en utvidet studie, med spesielt fokus på tekniske løsninger knyttet til implementering av biogass på tog.

Denne første rapporten gjorde også samfunnsøkonomiske beregninger, hvor man brukte nøkkeltall fra Jernbaneverket og nasjonal godsmodell for samfunnsmessige kostnader ved CO₂- og NOx-utslipp. I sammendraget til rapporten står det, angående utslipp fra godstransport:

«I tillegg til bedriftsøkonomiske besparelsen kommer beregnede samfunnsøkonomiske gevinster. I et 10 års perspektiv, med en økende CO₂ kostnad pr. tonn over tid, er disse gevinstene beregnet til om lag MNOK 10 basert på overgang til LNG og om lag MNOK 65 ved overgang til Biogass. Velger vi å se virkningen i et lenger perspektiv, basert på et varig skifte, vil gevinsten øke ytterligere.»

Rapporten rapporterte også tall for forbruk av diesel på Nordlandsbanen, med en estimert reduksjon av NOx-utslipp ved overgang til natur- eller biogass på 99 %, samt en reduksjon av CO₂-utslipp på 91 % ved bruk av biogass.

Rapporten konkluderte med at en omlegging av jernbanedrift til biogass vil være et sterkt bidrag til fornybarsamfunnet og anbefalte en videreføring av studien med en dypere vurdering av bruk av biogass.

4. BIOGASS

Biogass er lokal sirkulærøkonomi i praksis, hvor avfall brukes lokalt til å lage et miljøvennlig fornybart drivstoff og biogjødsel samtidig. Matavfall, slakteavfall, avløpsslam, husdyrgjødsel og slam fra fiskeoppdrett kan brukes til å lage metan som i dag driver busser i flere Norske byer. Ved å produsere biogass av avfallet unngår man utslipp fra forråtning som ellers ville forekommet om man deponerte eller utslipp ved forbrenning. Man får også biogjødsel som kan erstatte kunstgjødsel og dermed gi miljøgevinster.

Biogassproduksjonen i Norge har økt de siste årene, og det vil i 2018 produseres nok biogass av drivstoffkvalitet til å drive hele Nordlandsbanen, og alt kan være produsert lokalt.

4.1 Introduksjon til biogass

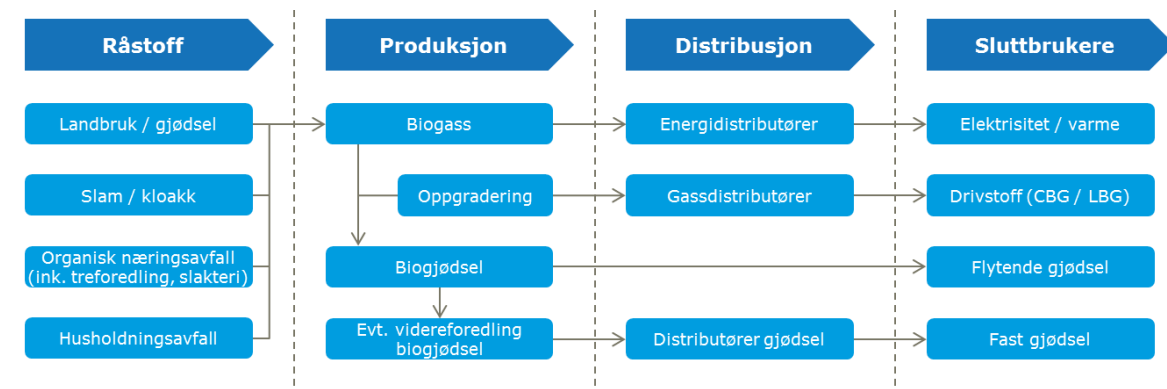
Biogass er betegnelsen på metan som er produsert gjennom anaerob (uten tilgang til oksygen) nedbrytning av organisk materiale. Naturgass er også metan, slik at naturgass og biogass i praksis er samme gass (naturlige substitutter), forskjellen mellom dem er opprinnelsen. Naturgass er blitt dannet over mange hundre tusen år i bakken og er å betrakte som en fossil gass. Biogass dannes i en prosess som vanligvis tar 1-30 dager og er basert på nedbrytning av avløpsslam, våtorganisk avfall, husdyrgjødsel og andre organiske rester som alternativt ville ha forråtnet på annen måte eller eventuelt blitt sendt til forbrenning.

Etter at biogassproduksjonen har funnet sted er de organiske restene redusert til et luktfritt og næringsrikt gjødselprodukt som kan brukes som jordforbedringsmiddel eller som erstatning for kunstgjødsel. Biogassproduksjonen skaper i så måte to fornybare produkter – både fornybar gass og et fornybart gjødselprodukt.

Biogass har flere anvendelsesområder. Ettersom biogass og naturgass er samme gass kan den i praksis anvendes til de samme formålene og bruke samme infrastruktur. Den kan forbrennes i en gassmotor, og kan benyttes til produksjon av varme og elektrisitet eller som fornybart drivstoff.

4.2 Verdikjede for biogass

En typisk verdikjede for biogass starter når avfallet har havnet i søppeldunken, og slutter når biogassen for eksempel fylles på et kjøretøy, og når biogjødselen spres på åker, eng eller andre grøntarealer. De ulike delene av en verdikjede for produksjon og bruk av biogass er vist under i Figur 4.1. Vi har valgt å dele verdikjeden inn i fire trinn, som beskrevet under.



Figur 4.1: Verdikjede for biogass, fra råstoff til sluttbruker av biogass og biogjødsel.

4.2.1 Råstoff

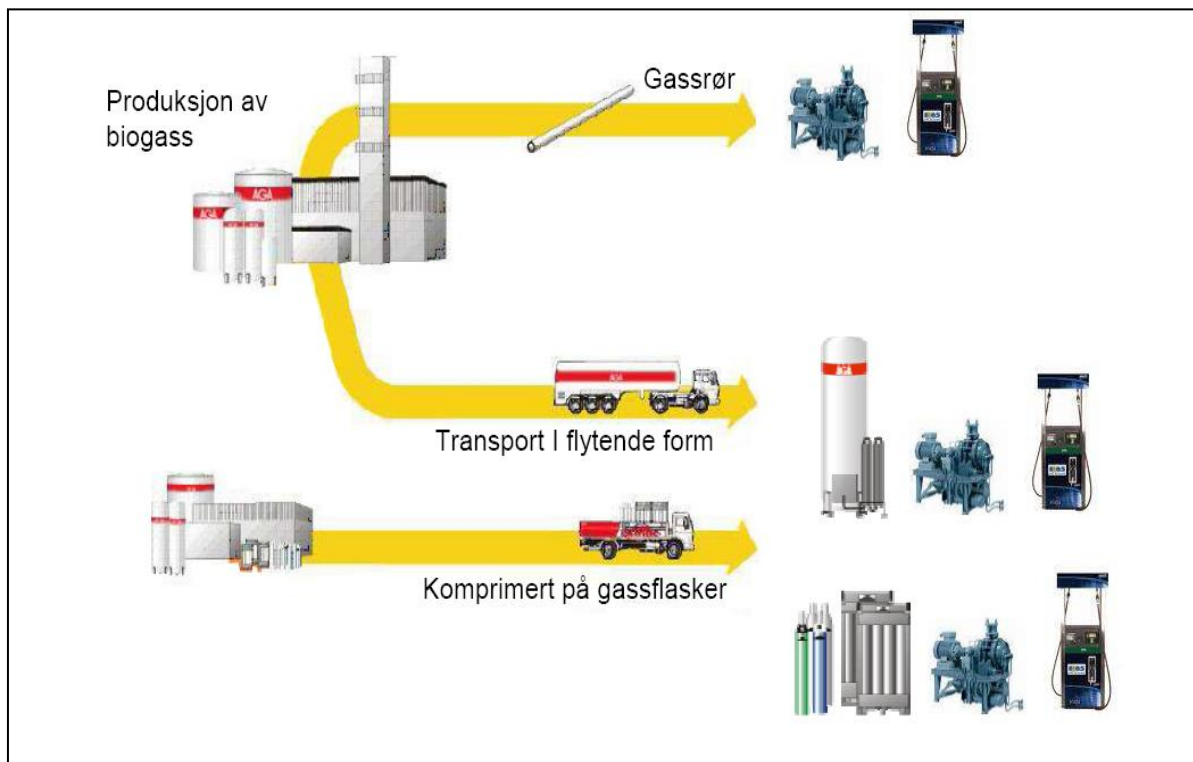
For biogassanleggene er avfallet en ressurs, og betegnelsen «råstoff» brukes av bransjen om alt organisk materiale som kan anvendes til biogassproduksjon. Innsamling og transport av organisk avfall til biogassanlegget er det første trinnet og gjøres typisk av kommunale og private avfalls- håndteringselskaper, industriaktører og transportører.

4.2.2 Produksjon

Selve biogassproduksjonen gjøres i et biogassanlegg. Biogassanlegget lager to produkter, biogass og biogjødsel. Biogassen kan enten anvendes som den er eller den kan oppgraderes. Gassoppgradering innebærer rensing av biogassen og enten komprimering eller flytendegjøring. Biogassen tar da mindre plass og blir billigere å lagre og transportere. Restene av råstoffet som er blitt behandlet i biogassanlegget kalles biogjødsel. Den er næringsrik og luktfri og egner seg ofte godt som gjødsel eller jordforbedringsmiddel. Biogjødsel kan enten anvendes som den er eller den kan avvannes, tørkes eller pelleteres.

4.2.3 Distribusjon

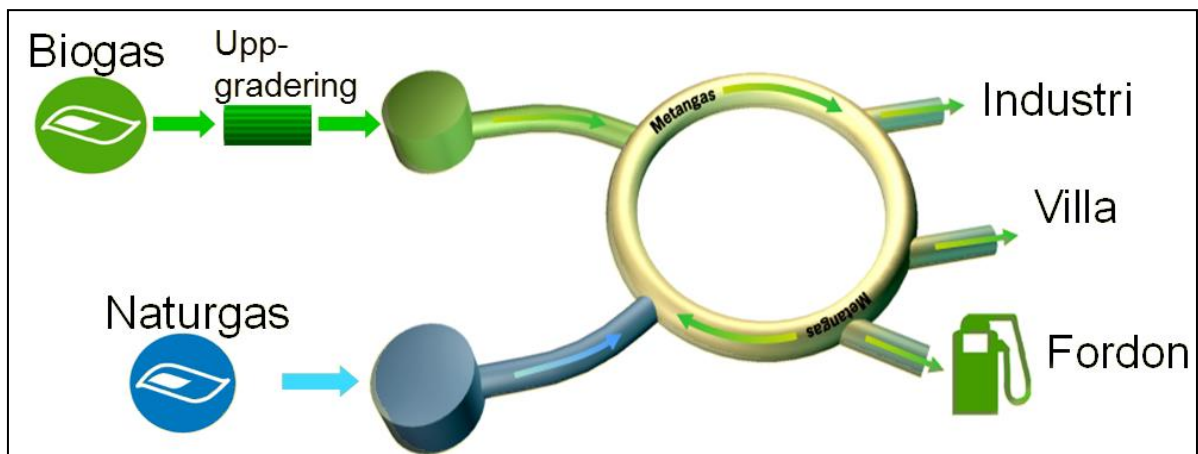
Biogassen kan anvendes til lokal produksjon av varme og elektrisitet, som kan anvendes lokalt eller distribueres via kraftnettet og som fjernvarme. Biogass som ikke anvendes lokalt må distribueres. Distribusjon av biogass kan skje i rør, i komprimert form i flaskebatterier på lastebil eller i flytende form på tankbil. Norge har, i motsetning til en del andre europeiske land, ikke et utbredt gassdistribusjonsnett og det er vanlig å transportere biogass på laste- og tankbil. Distributørleddet er i disse tilfellene typisk aktører som AGA, Gasnor og Skagerak energi. Biogjødsel transporteres vanligvis på lastebil i flytende eller tørr form.



Figur 4.2: Transport av biogass kan foregå i rør, i komprimert form (CBG) eller i flytende form (LBG).
Kilde: AGA.

4.2.4 Sluttbrukere

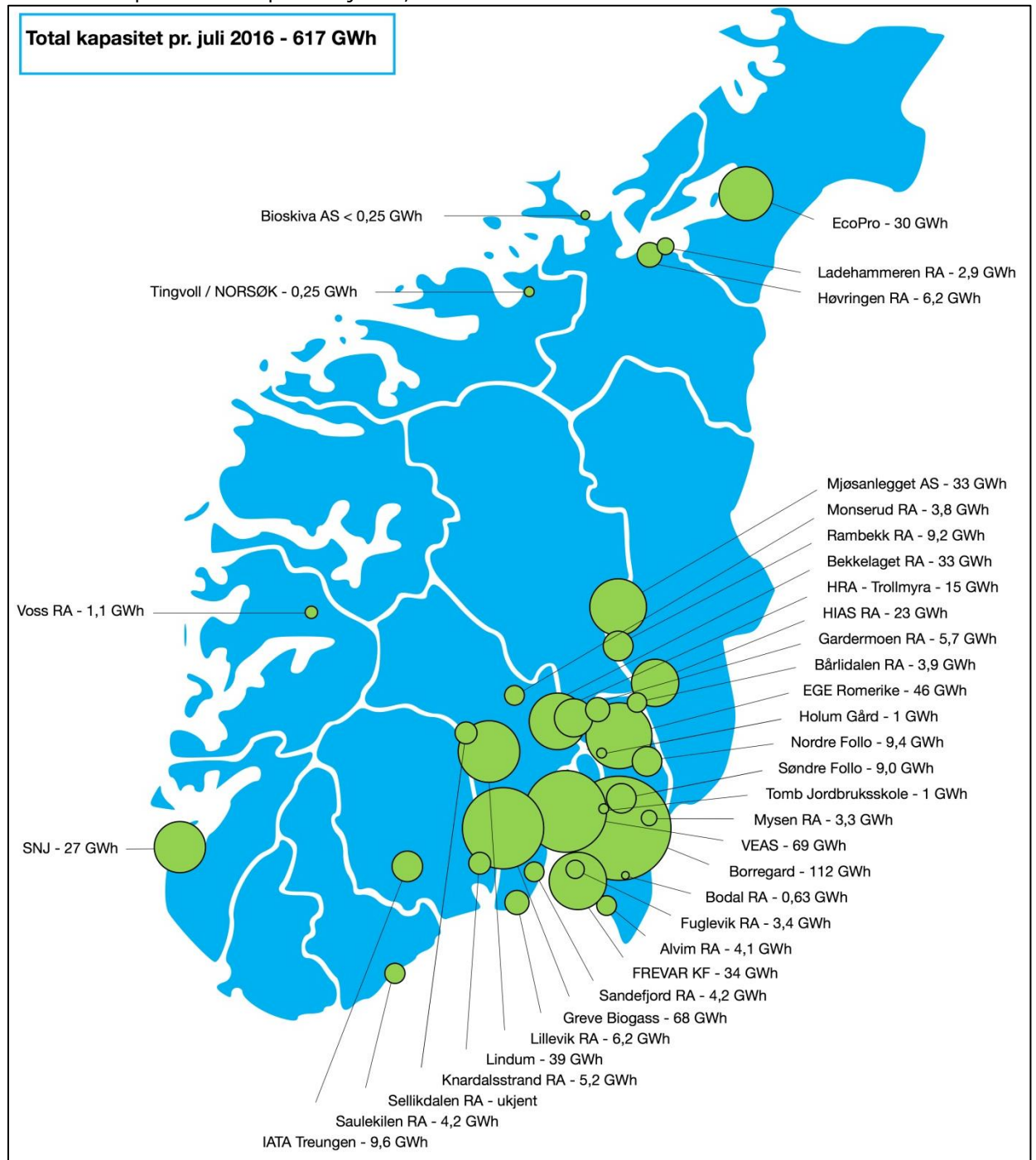
Sluttbrukere av produkter fra biogassanlegg kan være boligområder eller industri som er tilkoblet et fjernvarmenett. Når biogassen anvendes som drivstoff er det flåteaktører, som for eksempel kollektivtransportselskapene AtB i Trondheim og Ruter i Oslo, samt varetransportselskaper som ASKO og TINE som er vanlige forbrukere i dag. Foruten til tog forventes det på sikt at også ferjer og tungtransport i større grad vil ta i bruk biogass som drivstoff. Biogjødsel kan, avhengig av innhold og konsistens (våt/tørr) spres på landbruksjord på samme måte som husdyrgjødsel, anvendes som jordforbedringsmiddel eller den kan selges på sekk som et alternativ til kunstgjødsel.



Figur 4.3: Biogass og Naturgass kan brukes om hverandre. Flytende naturgass brukes som reserve til biogass, i tilfelle manglende leveranse. Oppgradert biogass og naturgass har like egenskaper til bruk, men ikke til totale utslipp av klimagasser. Kilde Gøteborg Energi, 2007

4.3 Tilgang på biogass nå og i framtiden

Det er per i dag 35 produsenter av biogass i Norge, illustrert i Figur 4.4. Anleggene har en estimert årsproduksjon tilsvarende 473 GWh med en produksjonskapasitet på 617 GWh (tall fra 2016). Det er totalt ni produsenter som oppgraderer biogassen til drivstoffkvalitet, som tilsvarer omtrent halvparten av årsproduksjonen, rundt 300 GWh eller 30 millioner liter diesel.



Figur 4.4: Biogassprodusenter i Norge, med produksjonskapasitet per Juli 2016.

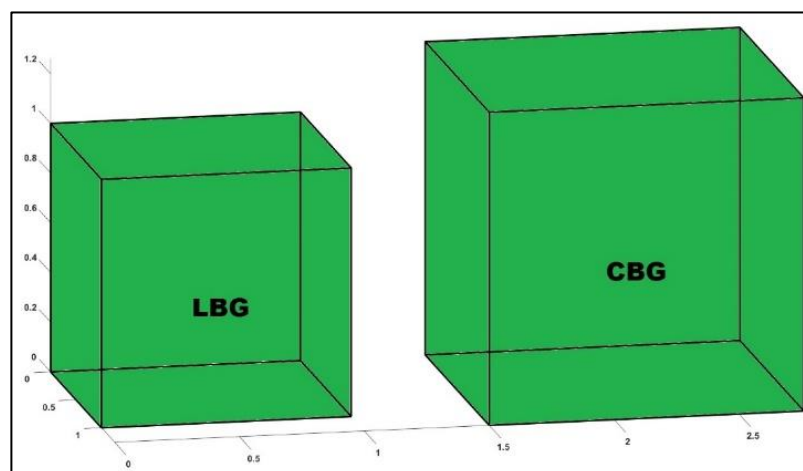
Tilgjengelige volum av biogass til drivstoff øker raskt, og det forventes en dobling i produsert biogass av drivstoffkvalitet i løpet av få år. En trend i markedet er en tendens mot større produksjonsanlegg og produksjon av biogass av drivstoffkvalitet fremfor biogass til varme og elproduksjon. Av planlagt produksjon er det verdt å nevne at det er flere aktører som planlegger nye produksjonsanlegg eller utvidelser av eksisterende anlegg.

Biokraft er i ferd må bygge et stort produksjonsanlegg på Skogn i Nord-Trøndelag med en kapasitet på 125 GWh biogass av drivstoffkvalitet med planlagt oppstart før jul 2017. Produksjonen er planlagt opptrappet til 250 GWh i løpet av noen år. Videre er det planer om til sammen ca. 130 GWh økt biogassproduksjon fra andre biogassinitiativer rundt omkring i landet, deriblant Ecopro i Verdal som starter med produksjon av komprimert biogass (CBG) før Jul 2017. Mye av produksjonen er planlagt til drivstoffformål. Lokale avfall fra husholdninger, jordbruk og oppdrettsnæringen brukes til å lage flytende biometan, som kan drive Nordlandsbanen og drastisk redusere klimagassutslippene og helseskadelige utslipp fra togtrafikken.

4.4 Forventet etterspørsel etter biogass

Det forventes at etterspørselen etter biogass til transport vil øke fram mot 2020. Dersom Nordlandsbanen konverterer til biogassdrift så vil dette representere en årlig etterspørsel etter 125 GWh biogass, tilsvarer 12,5 millioner liter diesel. Foruten Nordlandsbanen er det i hovedsak offentlige aktører som driver frem veksten. Ruter, busselskapet i Oslo og Akershus, er en aktør som har konkretisert økning i etterspørsel fram mot 2020. Flere kommuner bruker biogass til busstrafikken i dag, og kollektivtrafikken forventes å utgjøre den største andelen av etterspørselen frem mot 2020. På kort sikt er det naturlig at naturgass som i dag anvendes til drivstoff erstattes av biogass. Biogass kan være aktuelt for båter og renovasjonsbiler, samt for lokal varettransport.

Godstransport representerer et stort potensielt marked der biogass i dag spiller en begrenset rolle. Ulike typer biodiesel, hydrogen og elektrisitet konkurrerer mot biogass i godsmarkedet, der et voksende antall aktører ønsker å velge mer bærekraftige alternativer enn de benytter i dag. Diskusjoner om bærekraft knyttet til biodiesel kan medføre at flere ønsker å ta i bruk biogass. Utviklingen fremover både på produksjons- og distribusjonssiden kan ha betydning for hvilke drivstoff som vinner markedsandeler.



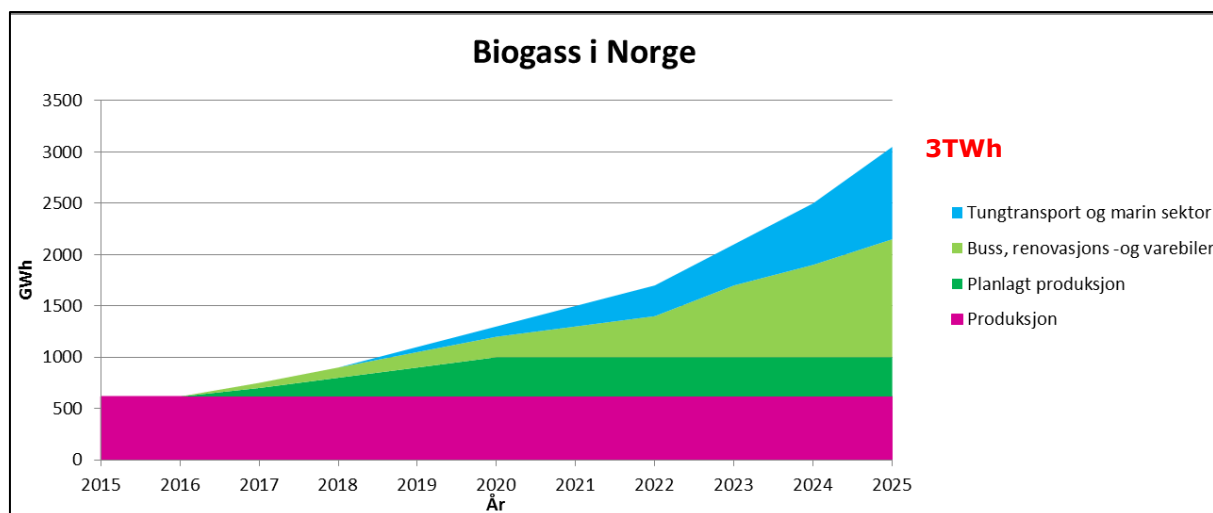
Figur 4.5: Sammenligning av volumetrisk energitetthet for komprimert (CBG) og flytende (LBG) biogass, CBG tar 2,5 ganger så stor plass som LBG. Forskjellen i tetthet viser at ved transport over lengre avstander er det mest økonomisk med flytende biogass.

Infrastruktur for fylling av både biogass og naturgass må være tilgjengelig dersom aktører i næringslivet skal velge biogass. Prosjekter som Biogas2020 og GREAT (Green Regions with Alternative fuels for Transport) vil bidra til økt tilgjengelighet gjennom mer infrastruktur for distribusjon av biogass. I EU har naturgass, herunder både CNG og LNG, fått et betydelig fokus, og forslag til direktiv med krav til infrastruktur foreligger. En trend med økt anvendelse av gasskjøretøy i Europa generelt, sammen med økende tilgang på fyllestasjoner for naturgass, er en mulig driver også for økt anvendelse av biogass i bl.a. godstrafikken Norge.

Bærekraft og økonomi er sentrale kriterier for valg av drivstoff. Biogass vil i så måte være gjenstand for sammenligninger med andre alternativer på disse områdene. I sammenligninger som er gjort kommer biogass generelt ut som et konkurransedyktig alternativ både på økonomi og bærekraft. Ulike aktører vil imidlertid vektlegge ulike forhold, og noen vil vektlegge kostnader mer enn miljø.

Biogass framstår som et robust alternativ og vil dra fordel av en utvikling der det kreves stadig strengere dokumentasjon på bærekraft og opphav. Videre er biogass et alternativ som eksemplifiserer prinsippene for en sirkulær økonomi godt, og dette muliggjør lett forståelige og gode historier om kretsløpstankegang og anvendelse av avfall som drivstoff.

Etterspørselen etter biogass til transportformål er forventet å øke betydelig mot 2025. Figuren nedenfor illustrerer et overordnet estimat på utviklingen. I realiteten vokser biogassmarkedet i trappetrinn, der vekst i produksjon og bruk skjer omtrent samtidig. Vi har dermed forutsatt at eksisterende og planlagt produksjon allerede har en del inngåtte kontrakter. Tett dialog og informasjonsdeling mellom sluttbruker og produsenter muliggjør en slik økning i totalmarkedet, og representerer en forutsetning for videre vekst.



Figur 4.6: Biogass i Norge - framskriving av etterspørselen fram til 2025

4.5 Forventet prisutvikling på biogass

Prisen sluttbruker må betale for biogass til drivstoffformål består av kostnader knyttet til

- Produksjon av biogass
- Oppgradering av biogass til henholdsvis komprimert eller flytende biogass
- Transport av biogass fra produksjonsanlegg til fyllestasjon
- Evt. etablering og drift av fyllestasjon
- Margin for produsent og mellomleddene.
- Eventuelle avgifter (biogass er fritatt fra drivstoffavgifter i dag)

Biogass til drivstoffformål omsettes, i motsetning til f.eks. bensin og diesel, ikke i et transparent marked. Prisen på biogass fremforhandles og fastsettes i bilaterale avtaler mellom biogassprodusenter og distributører, og videre mellom distributører og sluttbruker. Et annet karakteristisk trekk ved biogassmarkedet er at verdikjedene i stor grad er lokale. Biogass fra en produsent leveres i hovedsak til en distributør og en eller få sluttbrukere.

Etterspørsel er en forutsetning for at biogassprodusentene skal kunne levere tilstrekkelige volumer til konkurransedyktige priser. På lang sikt og ved betydelig økt etterspørsel kan prisen måtte øke for å utløse mer kostbare prosjekter eller framskaffe tilstrekkelig råstoff. Etterspørsel og økt forutsigbarhet medfører at lavthengende frukter i biogassmarkedet utløses. Dette kan være anlegg som konverterer fra varme- til drivstoffproduksjon eller anlegg med overkapasitet som øker produksjonen, og som dermed kan gi mer biogass til lave kostnader.

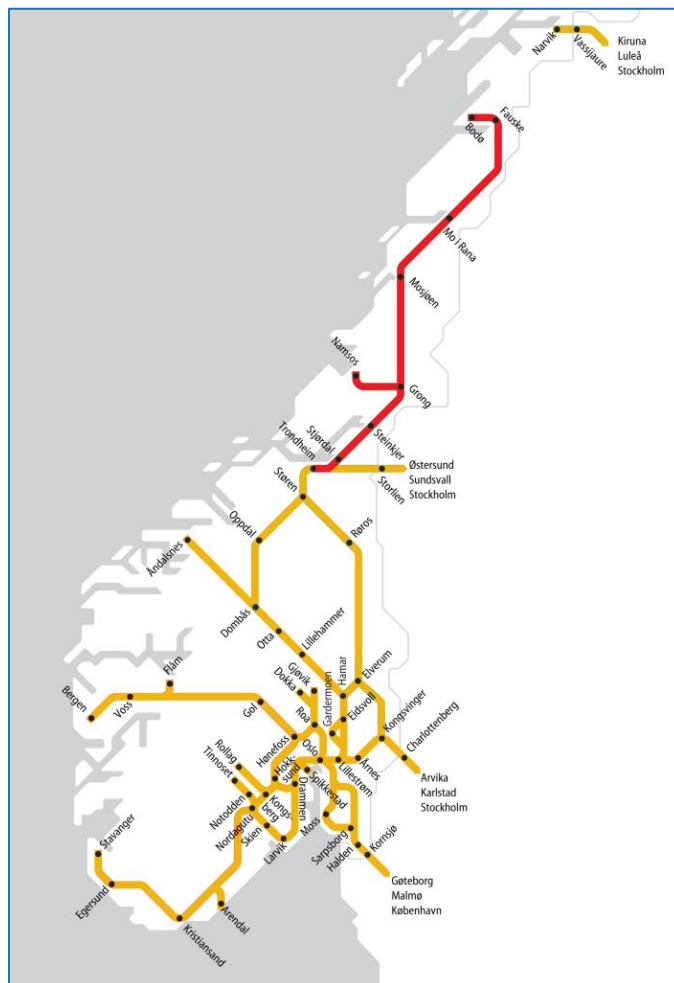
5. NORDLANDSBANEN

Dette kapitlet beskriver i hovedsak Nordlandsbanen og dets materiell, samt andre elektrifiserte jernbanestrekninger i Norge som ikke er elektrifiserte.

5.1 Fakta om banen

Banen er 727,12 kilometer lang fra Trondheim til Bodø [5]. Banen er Norges lengste hovedstrekning, og er knyttet sammen med Dovrebanen i Trondheim og med Meråkerbanen på Hell. Nordlandsbanen går gjennom et svært vekslende terreng og klima, fra kystterreng via innlandsbygder til høyfjell. Nordlandsbanen som helhet har stor betydning som bindeledd og kommunikasjonssåre for distriktene den går gjennom.

Banen er enkeltsporet i hele sin lengde og ikke elektrifisert [6]. Strekningen mellom Trondheim og Steinkjer er en del av Trønderbanen, og er sterkt trafikkert. Mellom Bodø og Rognan er det også en del lokal-togtrafikk. Fra Mosjøen og nordover er det ikke moderne signalanlegg så stasjonene må være bemannet for at tog skal kunne krysse, noe som setter begrensninger på antall tog som kan kjøres.



Figur 5.1: Jernbanenettet i Norge

5.1.1 Nordlandsbanens historie

Nordlandsbanen er bygget ut gjennom et tidsrom på 60 år, fra begynnelsen av 1900-tallet og fram til banen ble åpnet til Bodø i 1962. Deler av banen fra Mosjøen til Dunderlandsdalen ble bygget under 2.verdenskrig da den tyske okkupasjonsmakten hadde et sterkt fokus på framdrift av anlegget, noe som medførte dårligere standard på fyllinger og banelegeme. Hitlers ambisjon var en rask utbygging av jernbanen til Kirkenes. Nord for Mo i Rana ble også krigsfanger satt inn i arbeidet under forferdelige forhold. Etter krigen ble det utført mange forsterknings- og forbedringsarbeider for å bringe banestandarden opp på hovedlinjestandard også nord for Mosjøen.

Banens overbygning (pukk, skinner og sviller) ble imidlertid ikke ferdig forsterket før på 1980-tallet. Nordlandsbanen har som følge av det svært varierte klimaet banen går gjennom stadige

utfordringer med hensyn til ras og store nedbørsmengder. Den nyeste linjeomleggingen skjedde i 2011, da strekningen Hommelvik – Hell med tunnel gjennom Gevingåsen ble åpnet. Den nye strekningen er på 5,7 kilometer, hvorav 4,4 kilometer ligger i tunnel. Samtidig ble Nordlandsbanen om lag 2 kilometer kortere. [7]

I mars 2017 kunne NRK skrive at Regjeringen bestiller en utredning om Nord-Norgebanen fra Fauske til Tromsø i neste Nasjonal Transportplan - bare seks år etter at Jernbaneverket konkludert med at det ikke var lønnsomt nok. Strekningene som bør utredes, er en bane som går til Tromsø – Tromsbanen, med forgrening fra Narvik via Evenes til Harstad. En vurdering av mengden gods som ville transporteres med jernbane viste at mengden kun tilsvarte et tog i hver retning per døgn, noe som ikke ville være god nok frekvens for dagligvarer eller tidskritiske varer som fisk. Det er trolig ventet en femdobling av mengden fisk som eksporteres fra Nord-Norge. Det vil derfor være viktig å få på plass en bestilling i neste Nasjonal Transportplan om at Nord-Norgebanen skal utredes.

5.2 Tilstøtende banestrekninger

Togtilbudet på Nordlandsbanen trafikkerer også andre banestrekninger, både elektrifiserte og ikke-elektrifiserte strekninger. Nordlandsbanen kan derfor ikke betraktes isolert.

5.2.1 Trønderbanen

Trønderbanen er lokaltogtilbudet i Nord- og Sør-Trøndelag og forbinder Trondheim med bydeler og tettsteder i Trøndelag. Hoved strekningen mellom Trondheim og Steinkjer har hyppige avganger hver time, med ekstra avganger i rush-tiden. [8]



Figur 5.2: Etter planen skal elektrifiseringen av strekningen fra Trondheim til Steinkjer og Storlien være ferdig i 2023

5.2.2 Meråkerbanen

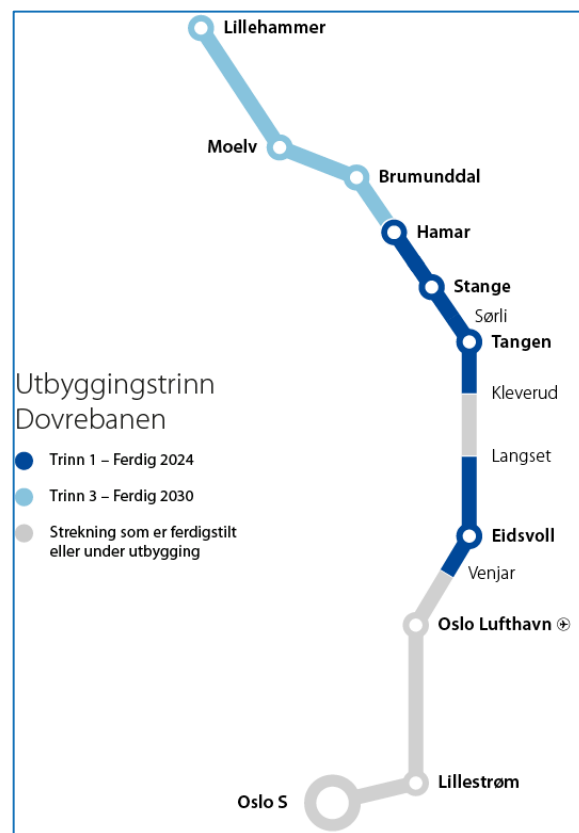
Meråkerbanen er 70,69 kilometer lang fra Hell stasjon på Nordlandsbanen til riksgrensen mot Sverige. Opprinnelig er Meråkerbanen navnet på hele strekningen Trondheim – Storlien. Banen åpnet i 1881 og ga normalsporet forbindelse fra Trondheim til det svenske jernbanenettet. Det er vedtatt i Stortinget at banen skal få elektrisk drift.

Meråkerbanens største svakhet er at den er dieseldrevet og grenser direkte inn mot den svenske Mittbanan som har hatt elektrisk drift i mange tiår. Banen mangler også fjernstyring. Fra svensk hold har det i en årrekke blitt ytret ønske om elektrifisering for å få til gjennomgående tog og økt godstrafikk. Ved stortingsbehandlingen av Nasjonal transportplan for perioden 2014 – 2023 ble det vedtatt at Meråkerbanen skal elektrifiseres samtidig med strekningen Trondheim – Steinkjer av Nordlandsbanen. Dette vil få stor betydning for spesielt godstrafikken. [9]

5.2.3 Dovrebanen

Dovrebanen er 485 kilometer lang fra Eidsvoll til Trondheim. Banen går nordover gjennom Hamar, Lillehammer og Gudbrandsdalen før den ved Dombås klatrer opp og over Dovrefjell til Hjerkin, ned Drivdalen til Oppdal og videre til Støren og Trondheim. Banen ble åpnet i sin helhet i 1921 og fikk elektrisk drift i 1970.

Dovrebanen er i dag en nasjonal hovedforbindelse mellom Østlandet og Trøndelag og videre nordover for person- og godstrafikk. Banens standard varierer og det er utfordringer knyttet til dreneringssystemer og stabilitet. Det pågår fornyelse av banens dreneringssystemer. [10] Jernbaneverket planlegger og bygger ut Dovrebanen fra enkeltspor til dobbeltspor mellom Eidsvoll og Hamar, 60 km. Dette vil gi en langt høyere kapasitet på strekningen og korte ned reisetiden med en halvtime. [11]



Figur 5.3: Utbygging av Dovrebanen

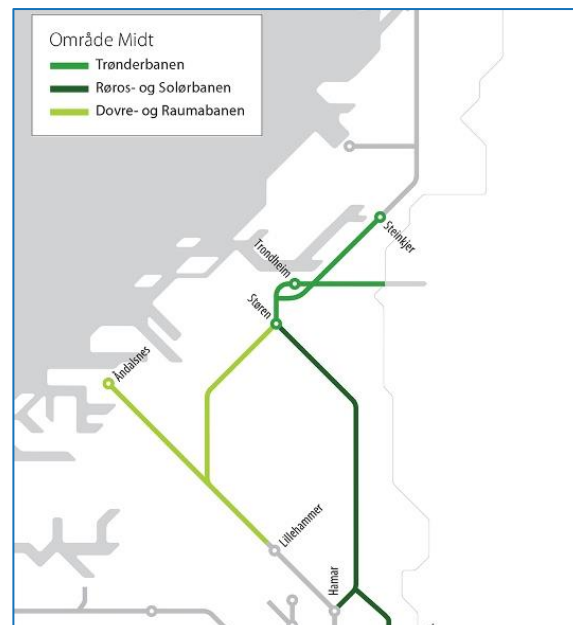
5.3 Andre baner med dieseldrift i Norge

5.3.1 Rørosbanen

Rørosbanen er i dag betegnelsen på den 382 km lange jernbanen som går mellom Hamar og Støren via Røros. Rørosbanen ble bygd etappevis i perioden 1862–77 og offisielt åpnet 13. oktober 1877. Den er Norges første stambane, det vil si en bane som forbinder to landsdeler. Da banen ble åpnet brukte man navnet «Rørosbanen» for hele banestrekningen mellom Hamar og Trondheim. Banen ble derfor uoffisielt også kalt «Trondhjemsbanen» [12]. Rørosbanen er i dag tilknyttet Dovrebanen både ved Hamar og ved Støren, og Solørbanen ved Elverum. Høyeste punkt er 670 moh., ved Harborg (mellom Glåmos og Rugldalen). Banen er ikke elektrifisert, derimot dieseldrevet i hele sin lengde, men mange arbeider for at dette skal skje i løpet av neste periode for Nasjonal transportplan, 2018-2029. Det er også lang avstand mellom stasjonene og lengden på banens kryssingsspor, noe som setter begrensninger på kapasiteten i godstrafikken. [13]

5.3.2 Raumabanen

Raumabanen er 115 kilometer lang fra Dombås til Åndalsnes. Banen er knyttet sammen med Dovrebanen på Dombås. Åndalsnes er banens endestasjon og knutepunkt for gods- og persontrafikken til og fra Møre og Romsdal. Raumabanen går gjennom et landskap som veksler fra fjellbygdene lengst nord i Oppland til den dramatiske naturen ned Romsdalen og under Trollveggen ut til fjorden ved Åndalsnes.



Figur 5.4: Røros- og Solørbanen, Dovre- og Raumabanen

Raumabanen er ikke elektrifisert og har heller ikke fjernstyring. Det betyr at banens stasjoner må betjenes ved togkryssinger. De fleste togkryssingene er lagt til Bjørli stasjon som ligger om lag midtveis på banen. Også stasjonene Lesja, Verma og Marstein kan bemannes ved behov for togkryssinger. Manglende fjernstyring er hemmende for banens kapasitet. Banen er stedvis rasutsatt, dette setter krav til sikring beredskap og varsling.

Green Cargo kjører godstog på banen. Sør for Dombås benyttes elektriske lok. [14]

Togselskapet Green Cargo kjører godstogene på Raumabanen i dag. Det kjøres ett togpar og selskapet melder om stort sett fulle tog. Likevel har det gjennom flere år hersket en utrygghet knyttet til framtida for godstrafikken på banen. Green Cargo melder også om en regularitet i denne trafikken som nå ligger på 98 prosent. De største godskundene på banen er Bring og Post Nord.

Det skal nå lages en strategi for å få mer gods over på banen og fremfor alt sikre godstrafikken framover. Det handler om tilrettelegging for både bedre kommersielle forhold, om å bedre infrastrukturen og om ruteplanmessige forhold. En arbeidsgruppe bestående av folk fra Jernbanedirektoratet, Bane NOR, togselskap og næringslivet arbeider med å lage en strategi for godstrafikken på Raumabanen. Denne skal så innarbeides i Jernbanedirektoratets handlingsprogram for jernbanen de kommende årene. Handlingsprogrammet for jernbanen bygger på Nasjonal transportplan og skal ut på høring i april [15].

5.4 Flaskehalser på Nordlandsbanen

For å gjøre togtilbudet mer attraktivt er det flere avganger og kortere reisetid som gir størst effekt. Et allerede attraktivt tilbud kan forbedres ved å tilby økt kapasitet i form av flere seter eller større transportvolumer (lengre tog). En vesentlig økning i antall tog som kjøres på Nordlandsba-

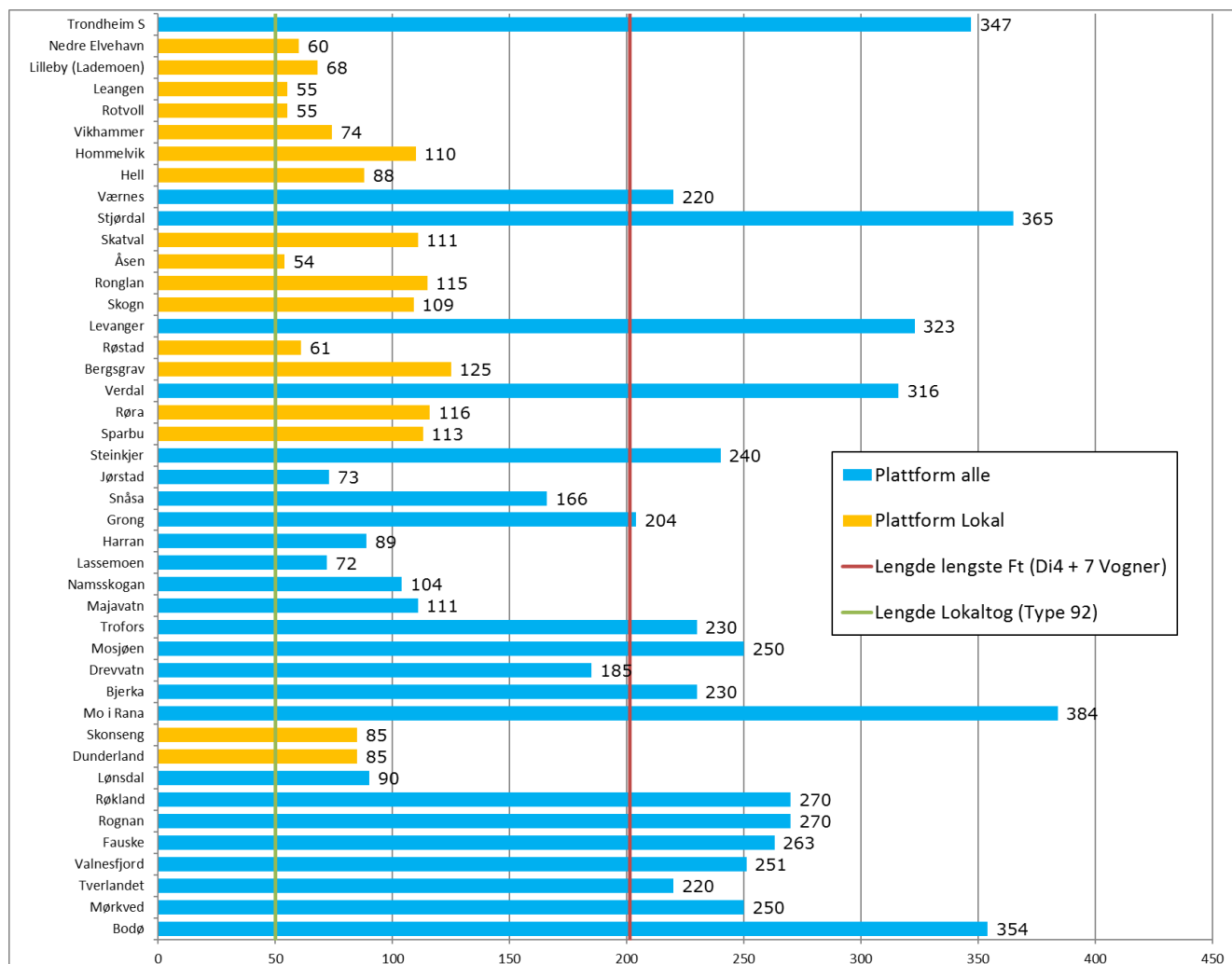
nen vil kreve utbygging av dobbeltsporsparseller. I det følgende oppsummeres begrensninger og muligheter for utbedring.

5.4.1 Plattformlengder

Passasjertrafikken begrenses av antall sitteplasser per avgang. En mindre kostandsintensiv tilbudsforbedring kan oppnås ved å tilby flere seter på hver togavgang, f.eks. ved å kjøre doble motorvognsett eller ved å sette inn flere passasjervogner i togstammen. Lengden på passasjer-tog begrenses av lengden på plattformene på stasjonene hvor toget stopper.

Figuren under viser plattformlengder på alle stasjoner med passasjerutveksling mellom Trondheim S og Bodø.

Flirt-togene som benyttes på lokal- og InterCity-strekningene på Østlandet er 110 meter lange (enkeltsett). Det fremgår av figuren at disse togene ikke kan benyttes på Trønderbanen uten å forlenge plattformene på mange stasjoner.



Figur 5.5: Plattformlengder på alle stasjoner med passasjerutveksling mellom Trondheim S og Bodø.

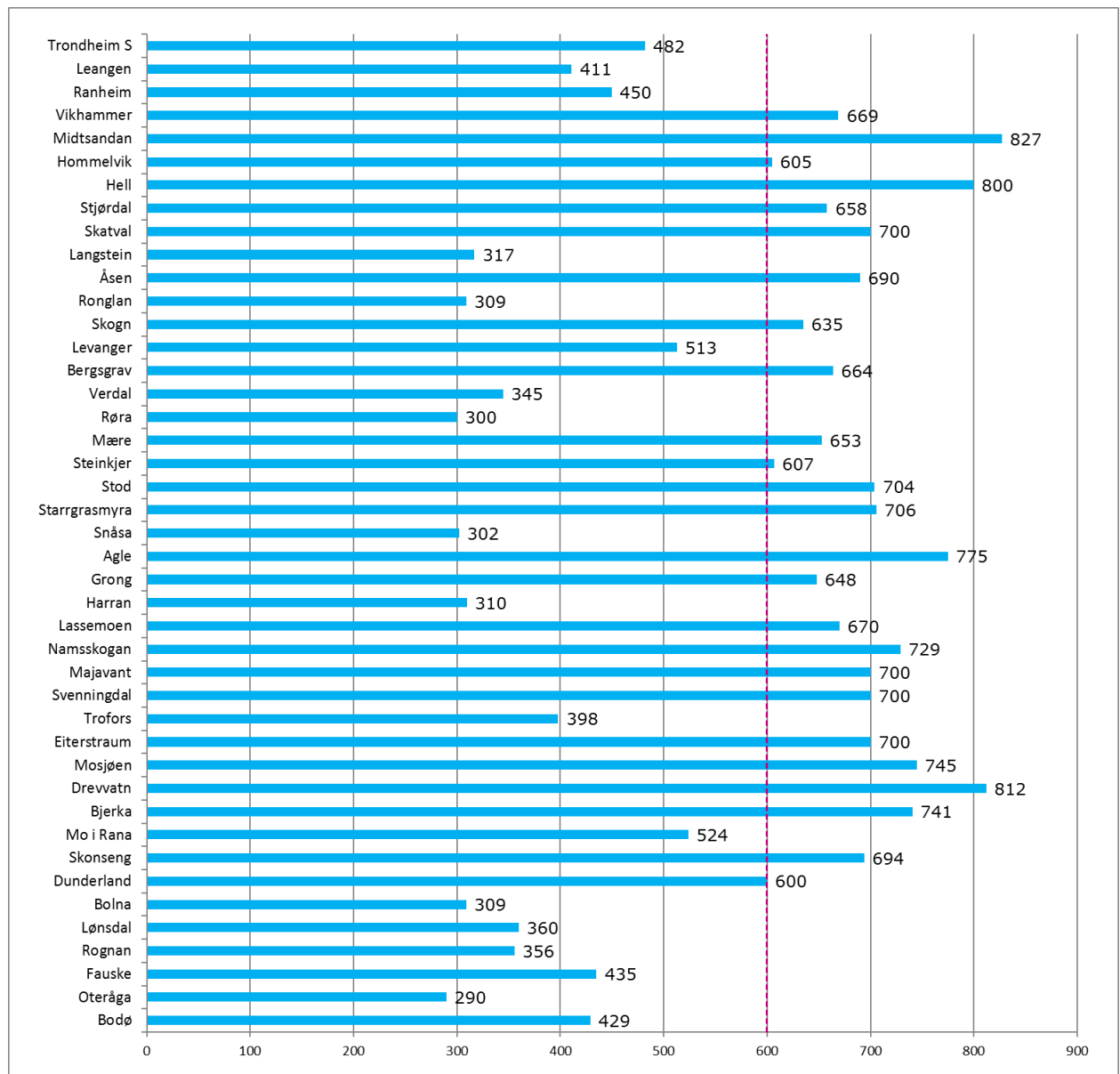
5.4.2 Kryssingsspor

For godstrafikken er det lengden på kryssingsspor som begrenser kapasiteten. I tillegg må terminalene ha tilstrekkelig lange ankomstspor for å ta imot hele togstammen. Ideelt sett bør også lastegatene være lange nok til hele togstammer, men det vil være mulig å splitte togstammen opp i kortere deler som kan lastes og losses i parallelle spor.

Figuren viser at det nord for Dunderland ikke er mulig å krysse lange godstog. At banen ikke har moderne signalanlegg nord for Mo i Rana forverrer situasjonen, da kryssinger kun kan gjennomføres når stasjonene er bemannet.

Nytt kryssingsspor på Oteråga og utrulling av nytt signalsystem (ERTMS) vil være med på å bedre situasjonen. Det jobbes med et kryssingsspor på Saltfjellet. Tilbudsforbedringene som følger av dette vil være mulighet for å øke toglengden på enkelte avganger, samt en mer punktlig og fleksibel togframføring.

Kryssingsspor er vist i figuren under, kilde: Grafisk ruteplan



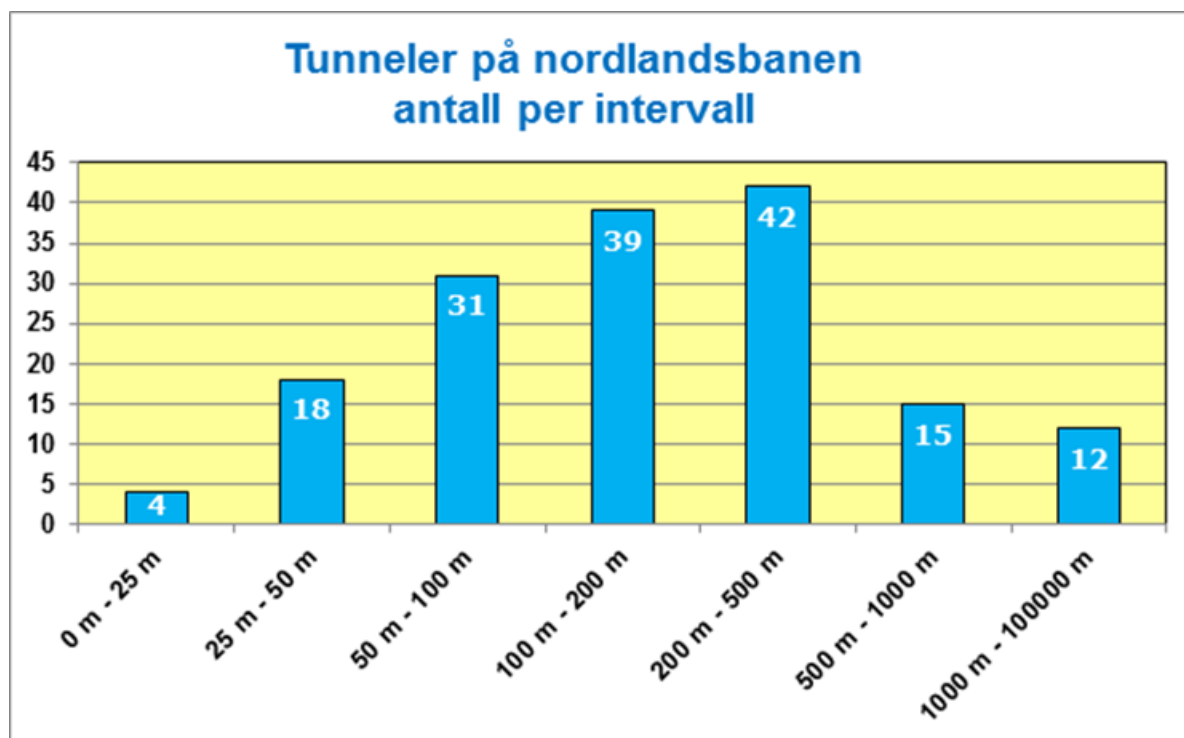
Figur 5.6: Lengde på kryssingsspor fra sør til nord, vist i meter. Stiplet linje markerer godstog med lengde 600 meter.

5.4.3 Aksellast – en begrensning for malmtransporten

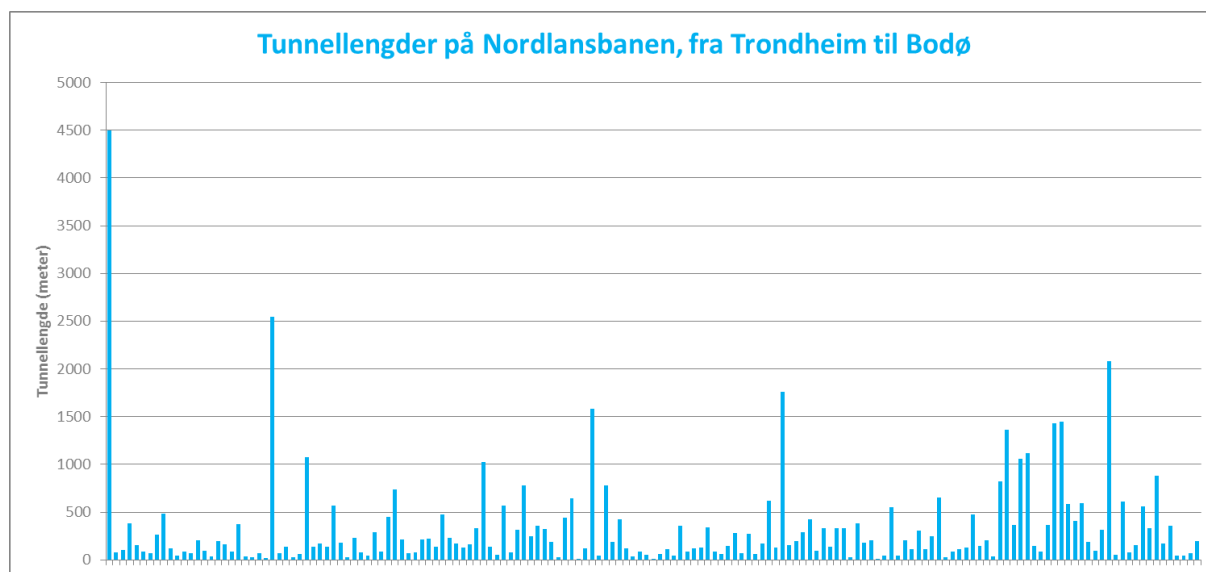
Selskapet Rana Gruber Mineral AS frakter jernmalmen med tog fra Ørtfjell i Dunderlandsdalen til Mo i Rana. De hadde før 2013 investert 750 millioner kroner i bedriften, og planla da en dobling av produksjonen. Investeringen gjaldt blant annet 60 millioner kroner i moderne malmvogner, like som de på Ofotbanen. Jernbanens lokale begrensning på 24 tonns aksellast er i dag en flaskehals for malmfrakten, og dette vil etter hvert også kunne begrense annen togtrafikk på Nordlandsbanen [16]. En oppgradering til 30 tonns aksellast, hvilket det er på Ofotbanen, vil kunne utløse store private investeringer som ved dagens prisnivå kan gi en økning i minareksporten på flere hundre millioner kroner per år.

5.4.4 Tunneler

Tunneler på Nordlandsbanen har ofte tverrsnitt som ikke tilfredsstiller dagens krav til frittromsprofiler, med trange eller ingen rømningsveier. Nye typer drivstoff kan medføre at tunneler som i dag trafikkeres på dispensasjon fra forskrifter og reglement må utbedres for å oppfylle dagens krav til standard. Dette kan i seg selv utgjøre en vesentlig kostnad.



Figur 5.7: Tunneler på Nordlandsbanen, kategorisert etter lengde



Figur 5.8: Tunnellengder på Nordlandsbanen, i rekkefølge fra Trondheim (venstre) til Bodø (høyre)

Datamaterialet som er benyttet i figurene er hentet fra Bane NORS strekningsbeskrivelse [17]

5.5 Planlagte prosjekter på Nordlandsbanen

5.5.1 Nasjonal Transportplan

Nasjonal transportplan, NTP, presenterer regjeringens transportpolitikk. Nasjonal transportplan 2018–2029 ble lagt frem 5. april 2017. Det settes av 18,76 milliarder kroner til planlegging av nye investeringsprosjekter på jernbanen i Nordlands-området i planperioden [18].

Regjeringen vil sette av betydelige ressurser for å effektivisere godstransporten og legge til rette for en omlegging i mer miljøvennlig retning. På jernbane legges det opp til en satsing på 18 milliarder kroner i planperioden. Godspakken på jernbane inneholder terminaltiltak, kapasitetsøkende tiltak som bygging/forlenging av kryssingsspor og banekoblinger. Prosjektet dekker flere fylker. I planperioden legges det opp til bygging av kryssingsspor på Nordlandsbanen og mindre terminaltiltak for å styrke godstransporten på bane i korridoren.

Det er ønskelig å snu trenden med det stadig økende vedlikeholdsetterslepet på jernbanen. Vedlikehold og fornying er høyt prioritert i ny NTP. Regjeringen legger opp til å bruke 126 milliarder kroner på vedlikehold og fornying av jernbanen i 12-årsperioden, inkludert ERTMS. Dette vil komme Nordlandsbanen til gode.

Jernbaneverket utarbeidet i 2011 en rapport om den foreslåtte Nord-Norgebanen på strekningen Fauske-Tromsø. Utbyggingen ble grovt anslått til å koste 40-60 milliarder kroner. Samferdselsdepartementet vil be Jernbanedirektoratet om å utarbeide et oppdatert kostnadsanslag for Nord-Norgebanen, i tillegg til en samfunnsøkonomisk analyse for en slik utbygging.

Regjeringen har med andre ord store ambisjoner for norsk jernbane. Bevilgningene har økt kraftig de siste årene, og det satses betydelig på jernbane i ny Nasjonal transportplan. På side 307 i NTP, 13.2.9 Korridor 7: Trondheim – Bodø med armer til svenskegrensen, kan en lese at «Hovedprioriteringene på jernbanen i korridoren er elektrifisering og modernisering av strekningen Trondheim – Steinkjer og Meråkerbanen. Dette vil i planperioden gi reduserte reisetider med 7 minutter og økt kapasitet på Trønderbanen samt innfasing av nullutslippstog». [19]

Som det kommer frem ved tabell 1, Rammer til investeringer i korridor 7, er det satt av store beløp til Nordlandsbanen allerede i den første femårsperioden.

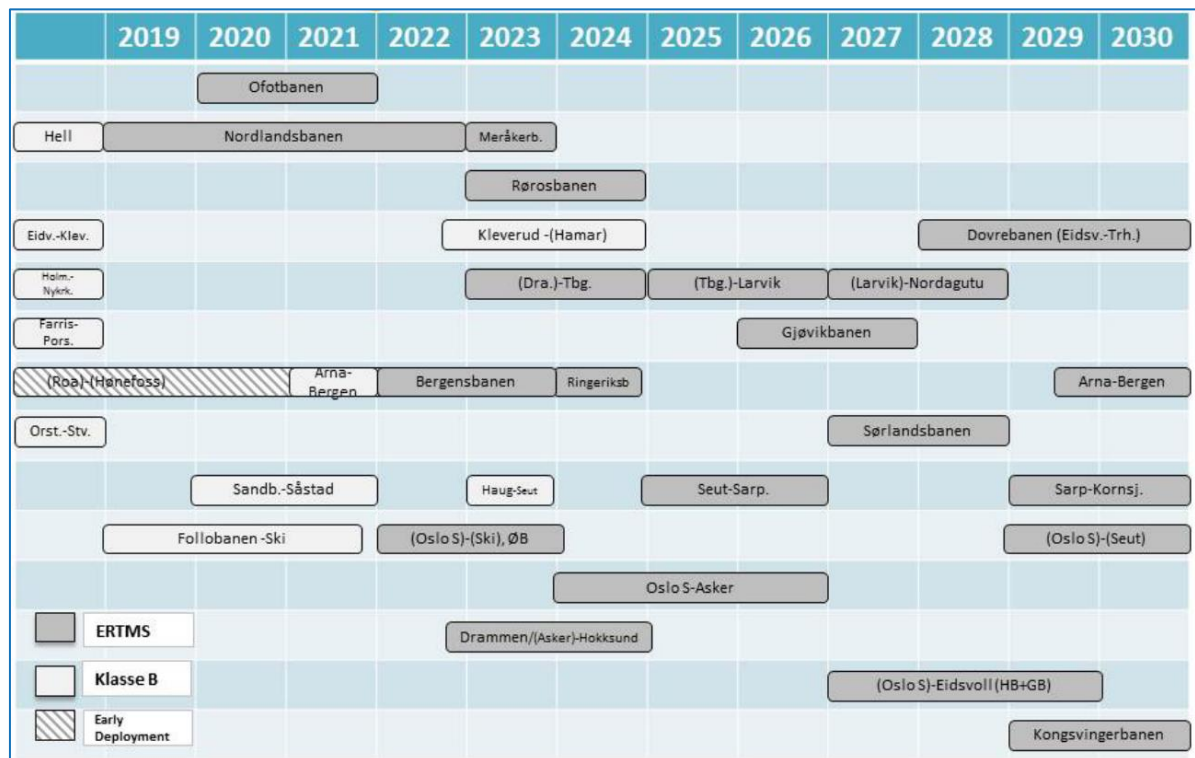
Tabell 5.1: Rammer til investeringer i korridor 7. Mill. kr

		2018–2023	2024–2029	2018–2029	Annen finansiering
Veg	Vedtatte/igangsatte prosjekt	2 938	0	2 938	766
	Nye store prosjekter	0	3 620	3 620	600
Bane	Vedtatte/igangsatte prosjekt	183	0	183	0
	Nye store prosjekter	3 585	358	3 943	0
Kyst	Vedtatte/igangsatte prosjekt	100	0	100	0
	Nye store prosjekter	0	155	155	0
Luft	Vedtatte/igangsatte prosjekt	0	0	0	0
	Nye store prosjekter	0	1 470	1 470	600
Sum		6 806	5 603	12 409	1 966

5.5.2 ERTMS – Nordlandsbanen

En betydelig andel av Signal- og sikringsanleggene på det norske jernbanenettet nærmer seg slutten av sin forventede levetid, og noen har også allerede overskredet denne. Behovet for fornyelse av signalanlegg på det norske jernbanenettet er derfor økende, og flere steder i ferd med å bli prekært. Behovet for fornyelse av signalanlegg danner utgangspunkt for utbyggingsrekkefølgen av ERTMS.

ERTMS står for European Rail Traffic Management System, og er et felleseuropeisk system for å styre togtrafikken. I dag bruker europeiske land ulike typer signalsystem, til dels av gammel type, og det byr på utfordringer i grensekryssende trafikk. Norge, Sverige og Danmark blir de første som gjennomfører ERTMS. Jernbaneverket har besluttet å etablere ERTMS på Nordlandsbanen, se figur 1. Denne utbyggingen er under planlegging. [20]

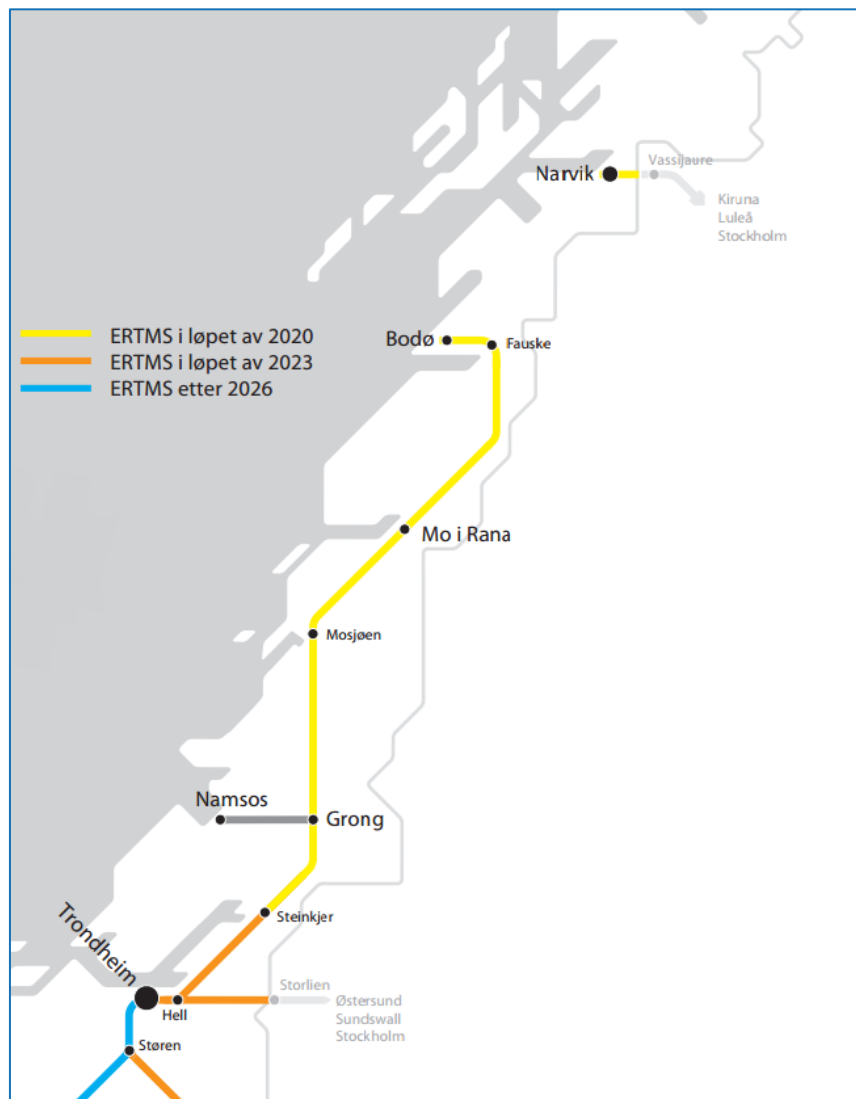


ERTMS-anleggene plasseres i området rundt de 26 jernbanestasjonene som i dag befinner seg på strekningen. Det skal til sammen legges fire mil med kabelkanaler for jernbanestrekningen som går fra Steinkjer til Bodø, og er totalt på cirka 60 mil.

Nyttevirkningene vil være økt kapasitet, høyere hastighet og færre signalfeil. Pr. i dag er strekningen mellom Trondheim S – Eiterstraum fjernstyrt, resterende deler av Nordlandsbanen betjenes av en TXP på stasjonene. Ved å innføre ERTMS, vil etter hvert hele Nordlandsbanen bli fjernstyrt, noe som gir muligheter for kryssinger på sporet hele døgnet [21].

ERTMS forutsetter ombygging av ombordutrustning av kjøretøyene.

Prosjektets styringsramme: 23,4 milliarder kroner



Figur 5.10: Viser planlagt ERTMS-utbygging

5.5.3 Elektrifisering av Trønder- og Meråkerbanen

Bane NOR skal nå elektrifisere Trønderbanen og Meråkerbanen. Det dreier seg om banestrekningene Trondheim-Steinkjer, Hell-Storlien og Stavne-Leangen. Planleggingen er godt i gang og byggestart blir etter planen i 2017. Sist en jernbanestrekning i Norge ble elektrifisert, var i 1972 Elektrifiseringen av Meråkerbanen vil gi et forbedret tilbud for godstransport mellom Norge og Sverige, per i dag er det kun elektrifisert fram til fram til norskegrensa på Storlien. Prosjektet skal etter planen avsluttes innen 2023, men det er ikke satt av midler til forslag statsbudsjettet for 2018 [22]. I alt skal 200 km bane elektrifiseres i løpet av perioden.

5.5.4 Dobbeltspor Trondheim-Stjørdal

Jernbanestrekningen mellom Trondheim S og Stjørdal har begrenset kapasitet. Dobbeltspor trengs for å få økt frekvens og hastighet på Nordlandsbanen fra Trondheim.

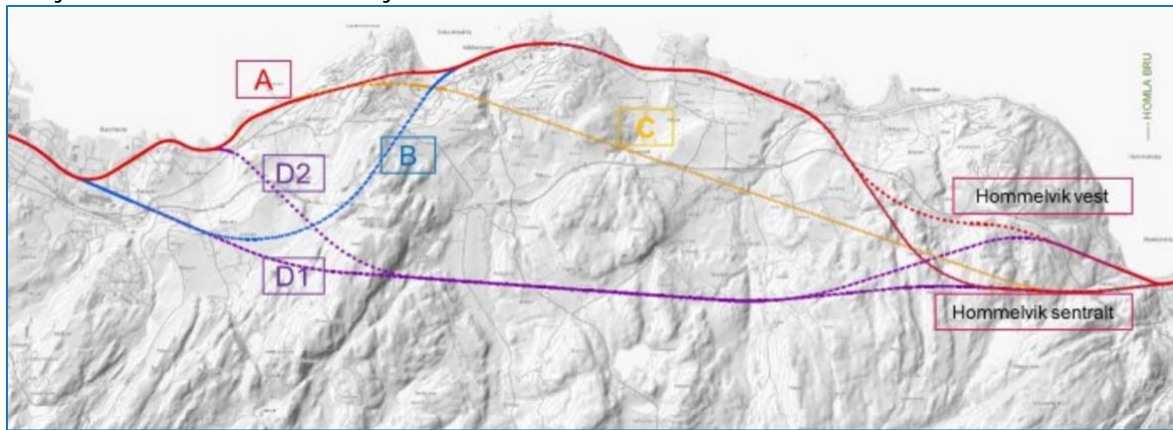
En modernisering vil kunne gi bedre tilgang til sjøen i flere tettbygde områder. Det jobbes nå med konsekvensutredning som blant annet skal gi grunnlag for en kommunedelplan for strekningen fra Leangen til Hommelvik.

Bane NOR har kostnadsberegnet de fire traseene som er aktuelle for dobbeltspor mellom Trondheim og Stjørdal. To av alternativene er beregnet til å koste ca. 10 milliarder, de to øvrige alternativene blir vesentlig dyrere. Den samfunnsøkonomiske analysen vil avgjøre hva Bane NOR til slutt anbefaler.

Av de fire sportraseene er det konsekvensutredningens alternativ A som er billigst, 9,4 milliarder kroner. Traseen går langs kysten som i dag, men nye tunneller gir rettere sportrasè.

Når dobbeltsporet står ferdig vil det sammen med andre tiltak være lagt til rette for redusert kjøretid med ca. 15 minutter fra Trondheim til Værnes. Dobbeltsporet gir også mulighet til å øke antall togpassasjerer fra 1 til 2 millioner årlig på strekningen. [23]

Prosjektets mål er å redusere kjøretiden Trondheim-Værnes med 15 minutter.



Figur 5.11: Viser alternativene mellom Ranheim og Hommelvik

5.5.5 Hell – Værnes

Den gamle jernbanebrua over Stjørdalselva har stått ut sin tjenestetid og har blitt erstattet med ny. Det har lenge vært behov for å bygge om sporene på Hell stasjon og signalanlegget har også behov for en oppgradering.

Ny jernbanebru med to spor står ferdig høsten 2016. Det betyr større fart på togene over Stjørdalselva. Samtidig legges grunnlaget for morgendagens jernbane mot Steinkjer og svenskegrensa. Nye sporløsninger og ny plattform er klar når disse viktige togstrekningene skal elektrifiseres de neste fem åra. Da økes kapasiteten både på person- og godstrafikken, Trøndelagsfylkene knyttes nærmere sammen og standarden på jernbanen mot Sverige gjør oss til en del av det moderne jernbanenettet både i Norden og Europa.

Prosjektet legger til rette for økt persontrafikk og for at tilbudet på Trønderbanen blir mer konkurransedyktig i forhold til veitransport. Tiltakene vil bidra til økt kapasitet, sikkerhet, fleksibilitet og punktlighet på strekningen Hell-Værnes. [24]

Totalkostnad: 655 millioner kroner

samt tre tog i timen i rush mellom Steinkjer og Trondheim. Tiltakene er estimert til 350 mill. kr i høy ramme [27].

Estimert tiltaksramme: 350 millioner kroner

5.6 Trafikk på Nordlandsbanen

5.6.1 Persontrafikk

Trafikken på banen kan deles inn i tre områder. Saltenpendelen betjener strekningen Bodø-Rognan. Strekningen er 80,99 km lang, og kjøretiden er normalt 60 minutter. Noen avganger starter i Fauske.

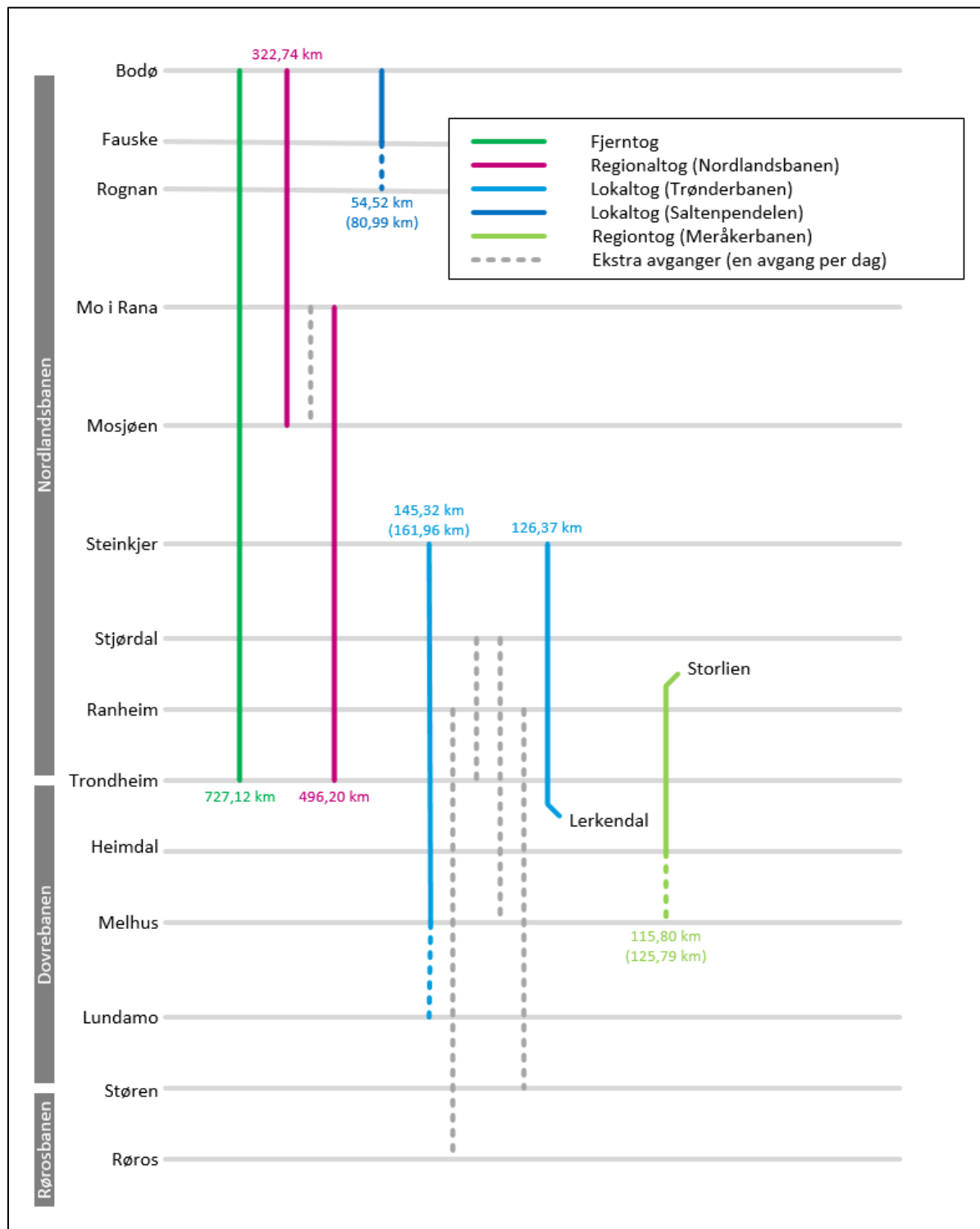
Mellom Trondheim og Bodø kjøres fjerntog (inkl. nattog) og godstog. Kjøretiden er i underkant av 10 timer. I tillegg kjøres det regionaltog på strekningene Bodø-Mosjøen og Trondheim-Mo i Rana. Disse strekningene er hhv. 322,74 km og 469,20 km lange.

Begrepet Trønderbanen benyttes om togtrafikken i Trondheims-regionen. Begrepet inkluderer, i tillegg til trafikk på Nordlandsbanen mellom Trondheim og Steinkjer, Dovrebanen nord for Støren og Meråkerbanen til svenskegrensen og Storlien.

På strekningen Lerkendal/Trondheim-Stjørdal-Steinkjer er det timesfrekvens på avgangene, med ekstra innsatstog i rush. Kjøretiden på strekningen Trondheim-Steinkjer (123,87 km) er ca. 2 timer.

Persontrafikken som kjøres i 2017 er illustrert i Figur 5.13.

Samlet kjører dieseldrevne persontog i rute i overkant av 80 000 km hver uke. På neste er det utarbeidet en tabell som spesifiserer dette pr. materielltype, som beregningsgrunnlag for videre studier av utslipp og energiforbruk. Figuren viser distansen som tilbakelegges av et passasjertog i hver pendel. Tall i parentes inkluderer pendelforlengelser, vist med stiplede linjer. Grå, stiplede linjer viser innsatstog og enkeltavganger.



Figur 5.13: Persontogtilbudet på Nordlandsbanen gitt i rutetermin 17.0 (søndag 11.12.2016 – lørdag 09.12.2017). Figuren angir linjelengde som avstand mellom endestasjoner.

5.6.2 Konkurransetutting av persontrafikk

For å sikre konkurranse på like vilkår ble persontogmateriellet skilt ut av NSB og overført til selskapet Norske tog AS i april 2017. Persontogene skal gjøres tilgjengelig gjennom utleie til det vinnende togselskap for den enkelte trafikpakke. Like konkurransevilkår er også grunnen til at

Mantena, som driver med togvedlikehold, ble skilt ut av NSB i april 2017. Selskapet vil bli fullt ut konkurranseutsatt. [28]

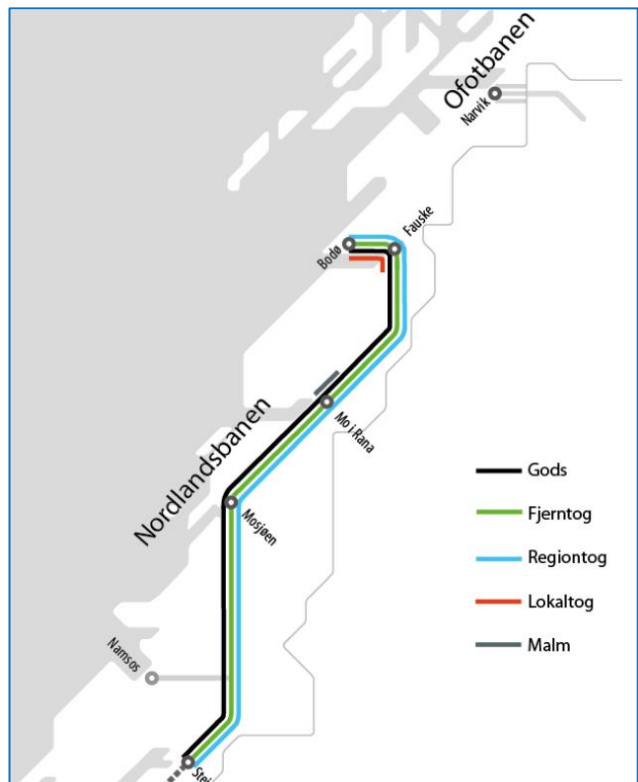
Både Norske tog AS og Mantena skal eies av Samferdselsdepartementet fra april 2017.

Innføring av konkurranse om det beste tilbudet, betyr at forskjellige persontrafikkoperatører kan få ansvaret for persontrafikken på konkrete strekninger og linjer for perioder på 8 til 10 år. De første trafikkavtalene basert på denne type konkurranse har trafikkstart i juni 2019. I en overgangsfase har Jernbanedirektoratet inngått en direktekjøpsavtale med NSB AS om driften på strekninger som ennå ikke har vært konkurranseutsatt. [29]

5.6.3 Gods- og malmtrafikk

Jernbanen har tapt markedsandeler til vei de siste årene. Dette kommer både av sterkere konkurranse fra lastebilen og utfordringer med stengte jernbanelinjer som følge av ras og flom. Regjeringen vil derfor forsterke vedlikeholdet av jernbanenettet, forbedre kapasiteten ved å bygge nye og forlenge kryssingsspor og styrke godsterminalene. Jernbaneverket startet i 2015 etableringen av alternative beredskaps-/omlastningsterminaler. Dette skal bidra til å redusere ulempene for aktørene når det oppstår driftsavbrudd på delstrekninger. [30]

Tall fra Transportøkonomisk institutt, 2015, viser at 92 prosent av godstrafikken mellom Oslo og Narvik går med tog. På strekningen Oslo-Bodø er jernbaneandelen 79 prosent [31]. Det er i dag også tømmertog fra østlandet til Skogn.



Figur 5.14: Gods- og malmtrafikk på Nordlandsbanen

5.6.4 Beregnet dieselforbruk 2016

På ikke-elektrifiserte strekninger bruker togene diesel som drivstoff. Dieseltog har normalt diesel-elektrisk drift. Dieselmotoren driver en generator som omformer dieselkraften til elektrisk energi. Diesellokomotivet fungerer i prinsippet som et elektrisk lokomotiv. Dieseltog kan også ha hydraulisk drift.

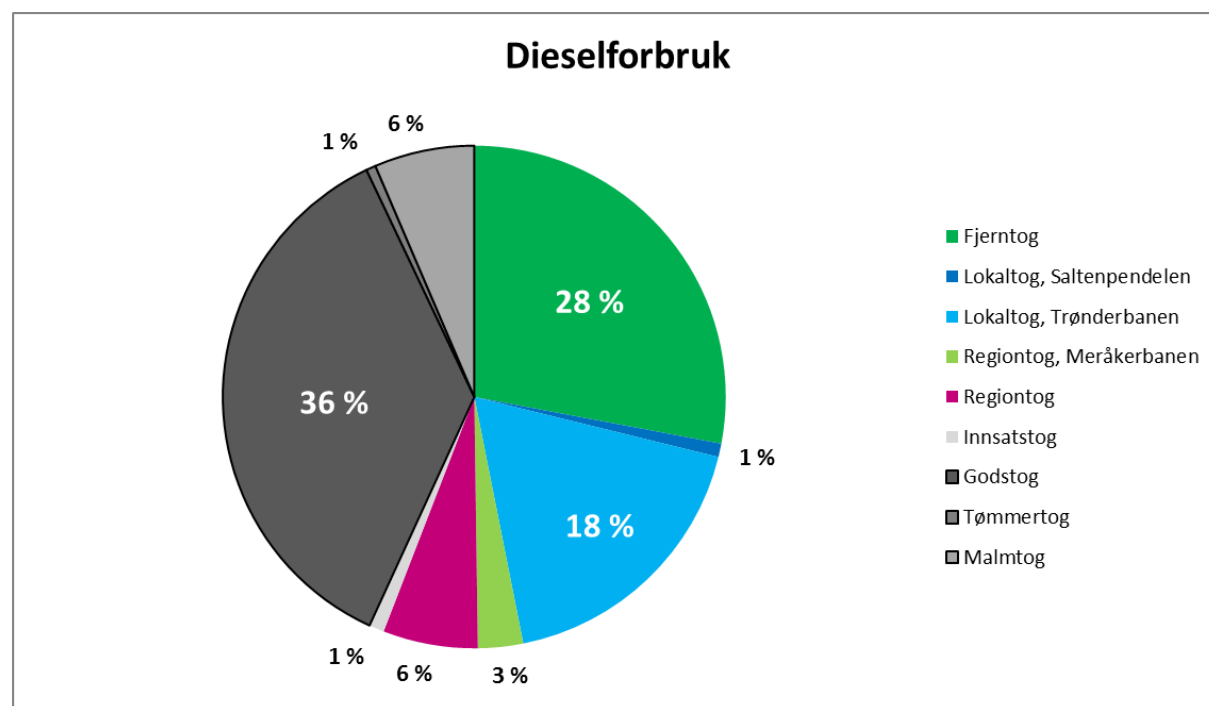
I 2014 var forbruket av diesel omtrent 160 GWh, men noen selskap har ikke oppgitt det totale dieselforbruket sitt. Det er i dag ca. 1400 km ikke elektrisk jernbane, men disse strekningene utgjør bare ca. 20 % av trafikken. Nordlandsbanen og Rørosbanen er av de lengste, men togtrafikken er liten sammenlignet med Østlandsregionen. [32]

Lokomotivet forsynes med elektrisk energi via strømvtageren. I Norge og en del andre land forsynes togene med 15 kV spenning og 16 2/3Hz frekvens. Om lag 20 % av energiforbruket går tapt i denne prosessen, hvor tre fjerdedeler er tap i omformerstasjonen og en fjerdedel er tap i kontaktledning/overføringsledninger.

For å gi sammenlignbare tall for 2016 og ulike framtidsscenarioer har vi estimert drivstofforbruket for trafikken i ruteplanen for 2016. Utgangspunktet for beregningene har vært

- Kjørelengde for hver toglinje
- Antall avganger per uke i begge retninger
- Primær materielltype per toglinje
- Oppgitt gjennomsnittlig drivstofforbruk for materiell, liter/km
- Antatt 50 uker med normaltrafikk per år.

Dette gir et samlet dieselforbruk på Trønder- og Nordlandsbanen på ca. 12,51 millioner liter/år.



Figur 5.15: Fordelingshjul for dieselforbruk på Nordlandsbanen

5.7 Togtyper (rullende materiell) på Nordlandsbanen

Til persontrafikk benyttes to typer rullende materiell; motorvognsett og lokomotiv med vogner. Motorvognsett har motor, førerrom og passasjer seter i samme enhet. Den samlede togvekten (uten last/passasjerer) er derfor konstant. For lokomotiver som trekker vogner vil den samlede togvekten variere avhengig av antall vogner og vognsammensetningen i togstammen. Energi- og drivstofforbruket for et lokomotiv vil derfor i mye større grad variere, avhengig av etterhengt vekt.

Siden Nordlandsbanen ikke er elektrifisert er materiellet som benyttes dieseldrevet. Motorvognsettene som benyttes på Saltenpendelen og Trønderbanen er av samme type som også benyttes på andre ikke-elektrifiserte strekninger i Norge.

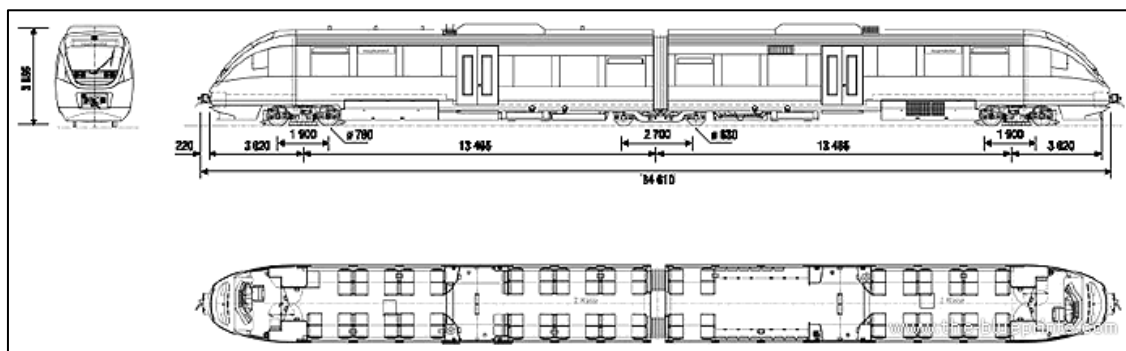
Fra Norske tog AS er det opplyst at forventet teknisk levetid for togmateriell er ca. 30 år. I dag brukes det til vanlig 10 Type 92, 6 Type 93, 3 Di4 og 8 CD312 tog på Nordlandsbanen, til vanlig 27 kjøretøy.

5.7.1 Motorvognsett type 93

Type 93 [33] er det mest moderne dieseldrevne motorvognsettet som operer i Norge. Det ble produsert 15 sett av denne materielltypen i perioden 2000-2002. Type 93 benyttes på:

- Raumabanen: Åndalsnes-Dombås
- Rørosbanen: Hamar-Røros-Trondheim
- Nordlandsbanen: Trondheim-Mo i Rana og Bodø-Mosjøen

Togsettet er utstyrt med to dieselmotorer av typen Cummins N14E-R som er koblet til drivboggiene via en hydromekanisk overføring. Settene er videre utstyrt med et aktivt krensesystem. Dette betyr at toget kan kjøre noe raskere enn øvrig materiell på strekninger med krappe kurver.



Figur 5.16: Typetegning av motorvognsett Type 93 (Kilde: www.jernbane.net)



Figur 5.17: Bilde av Type 93, individ 93.64 (Kilde: www.wikipedia.no)

Tabell 5.2: Data for motorvognsett type 93

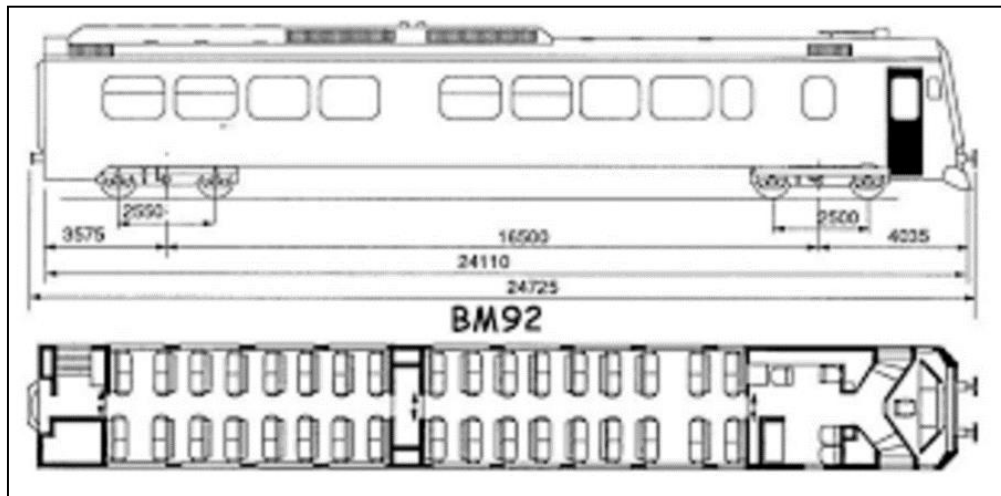
Type 93		
Produsent	Manufacturer	Bombardier / Talbot
Antall sett	No. of vehicles	15
Byggeår	Year build	2000-2002
Levetid (rest 2017)	Expected lifespan (remaining)	13 år
Antall seter	Seats	78
Toppfart	Max. speed	140 km/h
Vekt	Weight	77 t
Lengde	Length	38,21 m
Motor	Engine	2 x Cummins N14E-R
Effekt	Power	596 kW
Trekraft (start)	Traction effort (start)	90 kN
Rekkevidde (full tank)	Range	1700 km
Drivstofforbruk (gj.snitt)	Fuel consumption (avg.)	0,9 l/km

5.7.2 Motorvognsett type 92

Type 92 [34] er et eldre motorvognsett enn type 93. De 15 settene som ble produsert har vært i drift siden 1984-1985 og gjennomgikk en oppgradering i 2005-2006. Ett av de 15 settene ble ødelagt i Åstad-ulykken 4. januar 2000, hvor 19 mennesker omkom. Type 92 benyttes i dag på

- Rørosbanen: Hamar-Røros-Trondheim
- Nordlandsbanen: Melhus-Trondheim-Steinkjer
- Meråkerbanen: Trondheim-Östersund

Motorvogna er utstyrt med 2 dieselmotorer fra Daimler-Benz. Kraftoverføringen er dieselelektrisk (DE). De to motorene driver hver sin generator som produserer strøm til to traksjonsmotorer.



Figur 5.18 Typetegning av motorvognsett type 92 (Kilde: www.jernbane.net)



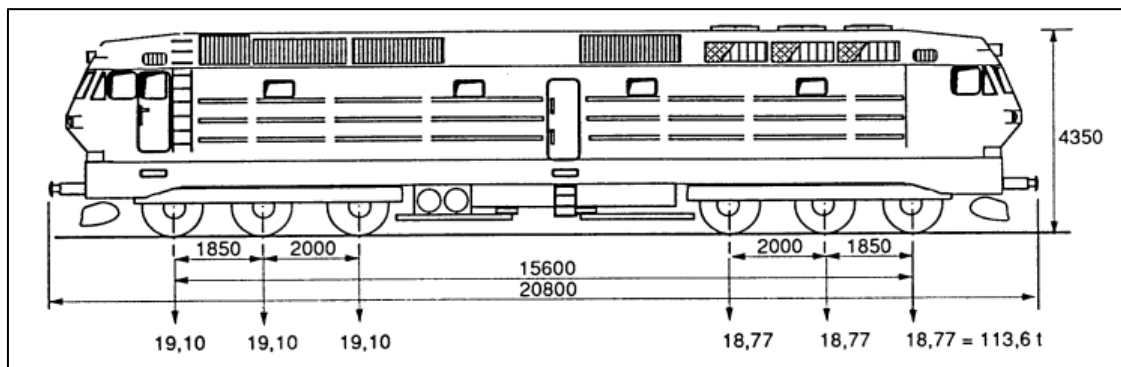
Figur 5.19: Bilde av motorvognsett type 92 (Kilde: www.wikipedia.no)

Tabell 5.3 Data for motorvognsett type 92

Type 92		
Produsent	Manufacturer	Duewag
Antall sett	No. of vehicles	14
Byggeår	Year build	1984-1985
Levetid (rest 2017)	Expected lifespan (remaining)	-3 år
Antall seter	Seats	136
Toppfart	Max. speed	140 km/h
Vekt	Weight	96,3 t
Lengde	Length	49,45 m
Motor	Engine	2× Daimler-Benz OM424A
Effekt	Power	714 kW ved 2100 RPM
Trekraft (start)	Traction effort (start)	100 kN
Rekkevidde (full tank)	Range	1100 km
Drivstofforbruk (gjn.snitt)	Fuel consumption (avg.)	1,3 l/km

5.7.3 Lokomotiv Di4

Fem Di4-lokomotiv ble bygget og levert av Henschel i 1980. Da NSB ble delt i et passasjerselskap og et godselskap (CargoNet AS) i 2002, ble alle Di4-lokene overført til NSB Persontog. Di4 brukes normalt kun til å trekke passasjertog på Nordlandsbanen.



Figur 5.20 Typetegning av Di4-lokomotiv (Kilde: www.jernbane.net)



Figur 5.21 Lokomotiv Di4 (Kilde: www.wikipedia.org)

Tabell 5.4 Data for lokomotiv Di4 [35]. Drivstoffet avhenger av hvor mange vogner det er i toget.

Di4		
Produsent	Manufacturer	Henschel / BBC
Antall sett	No. of vehicles	5
Byggeår	Year build	1980
Levetid (rest 2017)	Expected lifespan (remaining)	-7 år
Antall seter	Seats	-
Toppfart	Max. speed	140 km/h
Vekt	Weight	113,6 t
Lengde	Length	20,80 m
Motor	Engine	GM 16-645E3B
Effekt	Power	2450 kW
Trekraft (start)	Traction effort (start)	360 kN
Rekkevidde (full tank)	Range	1500 km
Drivstofforbruk (gjn.snitt)	Fuel consumption (avg.)	3,3 l/km

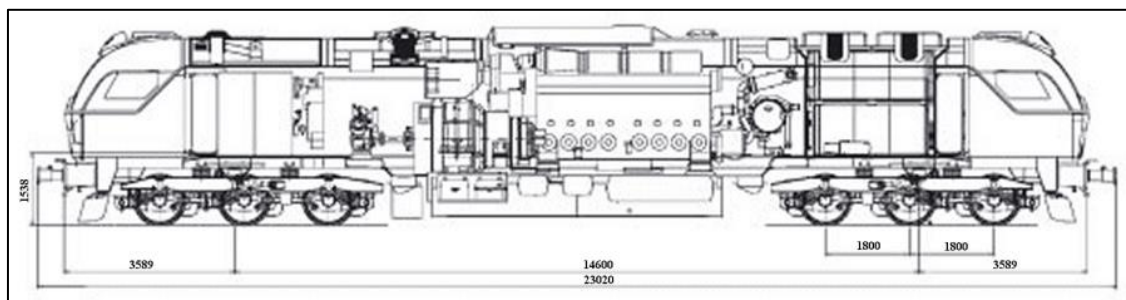
Dagtogene som trekkes av Di4 består av en restaurantvogn (FR5-1) og 4 til 5 passasjervogner (B5). Nattogene kjøres med totalt 7 vogner; en restaurantvogn, to sovevogner (WLAB2) og fire passasjervogner (B5).

Vogn	Type	Lengde	Vekt
FR5	Bistro, konduktørrom og godsrom	25,3 meter	42 tonn
B5	Passasjervogn	25,3 meter	42 tonn
WLAB2	Sovevogn	27,0 meter	48 tonn

Samlet vekt, dagtog: 365 tonn

Samlet vekt, nattog: 320 tonn

5.7.4 Lokomotiv CD312



Figur 5.22: Diesellokomotiv CD312. Brukes av CargoNet til godstrafikken på Nordlandsbanen.

Tabell 5.5: Data for lokomotiv CD312. Drivstoffet avhenger av hvor mange vogner det er i toget.

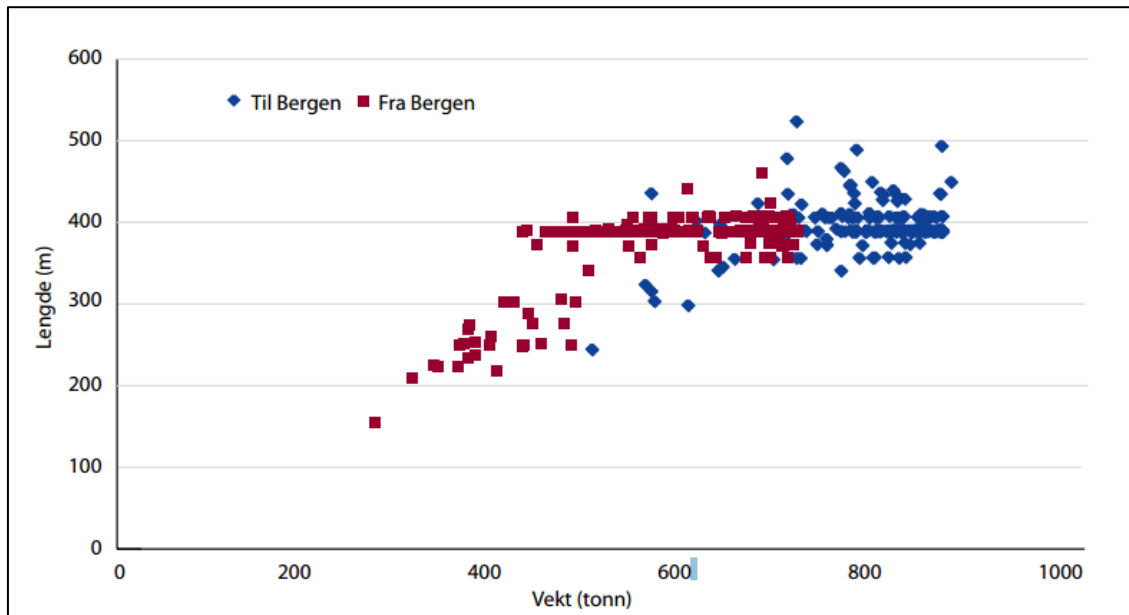
CD312		
Produsent	Manufacturer	Stadler Rail (Tidl. Vossloh España)
Antall sett	No. of vehicles	6
Byggeår	Year build	2010 -
Levetid (rest 2017)	Expected lifespan (remaining)	23 år
Antall seter	Seats	-
Toppfart	Max. speed	120 km/h
Vekt	Weight	123 t
Lengde	Length	23,02 m
Motor	Engine	EMD 16-710 G3C-U2
Effekt	Power	4250 kW
Trekraft (start)	Traction effort (start)	400 kN
Rekkevidde (full tank)	Range	1260 km
Drivstofforbruk (gjn.snitt)	Fuel consumption (avg.)	5,0 l/km
Tankvolum	Fuel tank volume	6300 l

Ny infrastruktur dimensjoneres for å kunne håndtere tog med lengde på 600 meter.

Godstog (600 m)		Lengde	Nettovekt	Bruttovekt (lastet)	Hastighet
Lok	1 * CD 312 Lok	23 m	123 t	123 t	100 km/h
Vogner	17 * vogner	577 m	510 t	1162 t	100 km/h
Totalt	Samlet	600 m	633 t	1244 t	100 km/h

Erfaringsmessig er vekten av et kombitog ca. 2 tonn pr meter

Figur 19 viser sammenheng mellom togvekter (etterhengt vekt dvs. vogner og last) og toglengthe (vogner og lokomotiv) for ca. 400 tog på Bergensbanen i perioden 1.1. 2007 til 15.3 2007. Grense for tilkoblet togvekt fra Oslo til Bergen er ca. 900 tonn og 700 tonn motsatt veg for El 14 og 16



Figur 5.23: Figuren viser toglengthe og vekt for godstog til og fra Bergen. Forholdene på Bergensbanen og Nordlandsbanen er ikke veldig ulike.

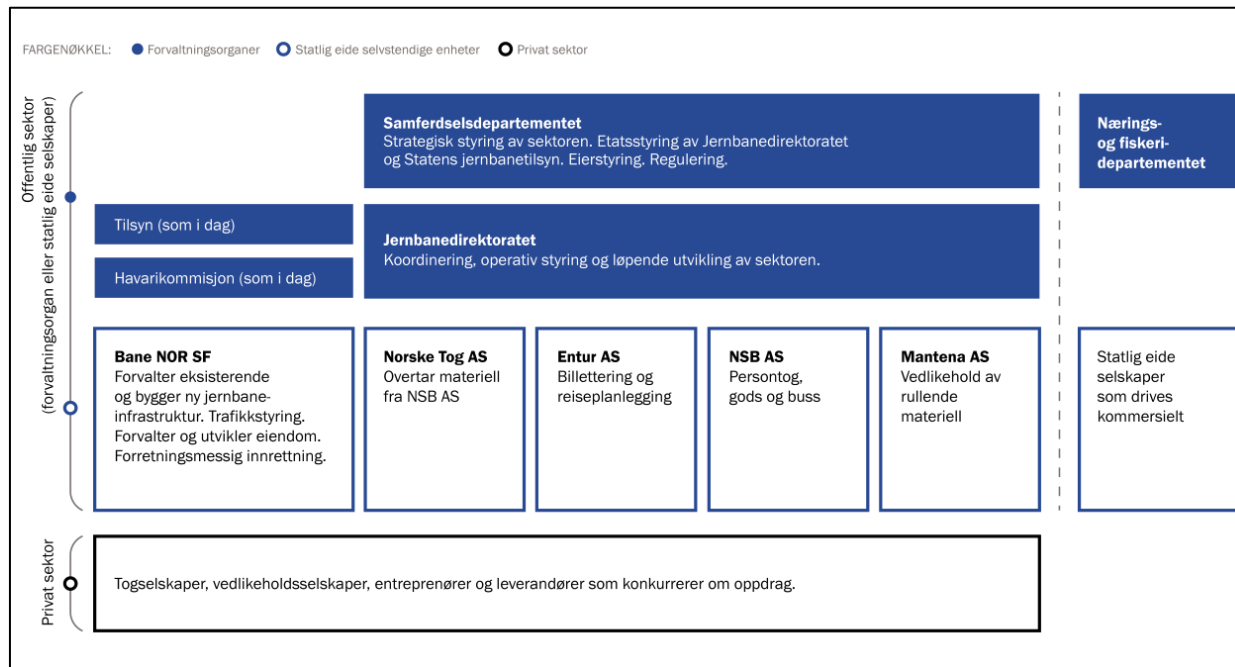
For strekningene som betjenes med diesellokomotiver (i hovedsak Rørosbanen, Solørbanen, Raumabanen, Nordlandsbanen og Meråkerbanen) vil togvekten i større grad være avhengig av ønsket fremføringshastighet.

5.7.5 Bimodale tog på dieselstrekninger

I følge Jernbanedirektoratets informasjonsblad "Jernbanemagasinet" legger Jernbanedirektoratet nå høsten 2017 siste hånd på en materiellstrategi for de jernbanestrekningene som ikke er elektrifisert. Der anbefales bruk av bimodale tog - dvs. standard elektrisk togmateriell (type Flirt) som suppleres med en dieselgenerator. Sentralt i argumentasjonen for denne løsningen er at mange av rutestrekningene som trafikkeres av dieselmateriell er kombinasjoner av diesel- og elektrisk strekning. I argumentasjonen legges det også vekt på at det foreslåtte togmateriellet er velprøvd teknologi fra leverandør der NSB har gode erfaringer både med leverandøren og materiellet. [36].

Dieselgeneratoren i midten av bimodale tog, kan byttes ut med en gassgenerator som kan gå på biogass.

5.8 Ny jernbanesektor



Figur 5.24: Den nye jernbanesektoren [29]

5.8.1 Jernbanereformen

Jernbanereformen er Solberg-regjeringens initiativ for effektivisering og kundeorientering av jernbanesektoren i Norge, lansert i Stortingsmelding 27 (2014-2015) og vedtatt av Stortinget sommeren 2015. Den innebærer betydelige organisatoriske og eiermessige endringer for de tidligere selskapene Jernbaneverket, NSB, Mantena og Flytoget. Et hovedprinsipp i reformen er konkurranse på like vilkår om å utføre togtransporten og vedlikeholdet av togmateriellet. Et annet er å lage et klart skille mellom bestillende og utførende enheter. (Samferdselsdepartementet, 2017)

5.8.2 NSB AS

NSB ble etablert i 1996 for å videreføre trafikkdelen av det tidligere Norges Statsbaner, mens Jernbaneverket ble opprettet for å ta hånd om infrastrukturdelen av det gamle NSB. I 2002 ble NSB gjort om til et aksjeselskap eid av staten ved Samferdselsdepartementet. Ut over NSBs persontrafikkdel har selskapet datterselskapene

- Nettbuss (Norges største busselskap)
- CargoNet (godstransportør)
- Mantena (verksted- og vedlikeholdstjenester - i all hovedsak for jernbanemateriell)
- NSB Gjøvikbanen og Svenska Tågkompaniet (persontog i Norge og Sverige)

Gjennom jernbanereformen rendyrkes NSB som et transportselskap, ved at Rom Eiendom er blitt overført til Bane NOR, og eierskapet til persontogmateriellet er blitt overført til Norske tog. Verk-

sted- og vedlikeholdsselskapet Mantena vil også skilles ut fra NSB (Samferdselsdepartementet, 2017).

5.8.3 CargoNet

CargoNet er Norges største godstransportør på jernbane, og er et heleid datterselskap av NSB. CargoNet ble opprettet i 2002 som en videreføring av NSB Gods. Selskapets hovedvirksomhet er containertransport, men det tilbys også egne godstog for større kunder. Togmateriellet er en kombinasjon av egne og innleide lokomotiver og skiftetraktorer og egne, innleide og til dels kunde-eide godsvogner. Gjennom datterselskapet RailCombi står de for driften av godsterminaler for jernbane i Norge.

5.8.4 Bane NOR SF

Bane NOR SF er det statlige foretaket som har ansvar for jernbaneinfrastrukturen i Norge. Det ble satt i drift 01.01.2017. Det skal forvalte eksisterende og bygge ny infrastruktur for jernbanen. Har i tillegg ansvar for trafikkstyring på jernbanenettet, og utvikling og forvaltning av eiendom i tilknytning til jernbanenettet (disse eiendommene er i all hovedsak overtatt fra Rom Eiendom, tidligere NSB Eiendom).

5.8.5 Jernbanedirektoratet

Jernbanedirektoratet er forvaltningsorganet under Samferdselsdepartementet som har ansvar for jernbanesektoren i Norge. Det «skal på vegne av staten ha et helhetlig ansvar for styring og koordinering av jernbanesektoren.» (Samferdselsdepartementet, 2016) Det «vil ha et totalansvar for å inngå avtaler om kjøp av jernbaneinfrastrukturtenester fra Jernbaneinfrastrukturforetaket, materieltjenester fra materiellselskapet og kjøp av persontransporttenester med tog fra togselskapene.»

5.8.6 Norske tog AS

Dette er det norske statseide selskapet som skal tilby utleie av rullende jernbanemateriell for persontrafikk på det norske jernbanenettet. Slik utleie skal tilbys på like vilkår til alle framtidige persontogselskaper. Selskapet ble etablert av NSB i juni 2016 som del av jernbanereformen, og persontogmateriellet ble overført til det nye selskapet 15. oktober samme år.

5.8.7 Materiellstrategi – gammelt dieselmateriell

Det har inntil nylig ikke foreligget noen strategi for utskifting av gammelt dieselmateriell. Mye av togmateriellet som er i bruk har vært i drift i mer en 30 år og det bør forventes at det blir behov for å anskaffe nytt materiell innen kort tid. Det er viktig at man på det tidspunktet har en tydelig strategi for hvilke energibærere man ønsker å satse på. De nylig publiserte artiklene nevnt i forrige avsnitt bærer bud om at dette er på trappene, men gir langt fra et endelig og utfyllende svar om framtidig materiellstrategi.

Generelt vil det være ønskelig med en mest mulig enhetlig materiellpark. Dette gir driftsmessige fordeler, både med tanke på fleksibel materiellturnering og med hensyn til vedlikehold og muligheten for sentrale delelager som kan betjene hele materiellparken.

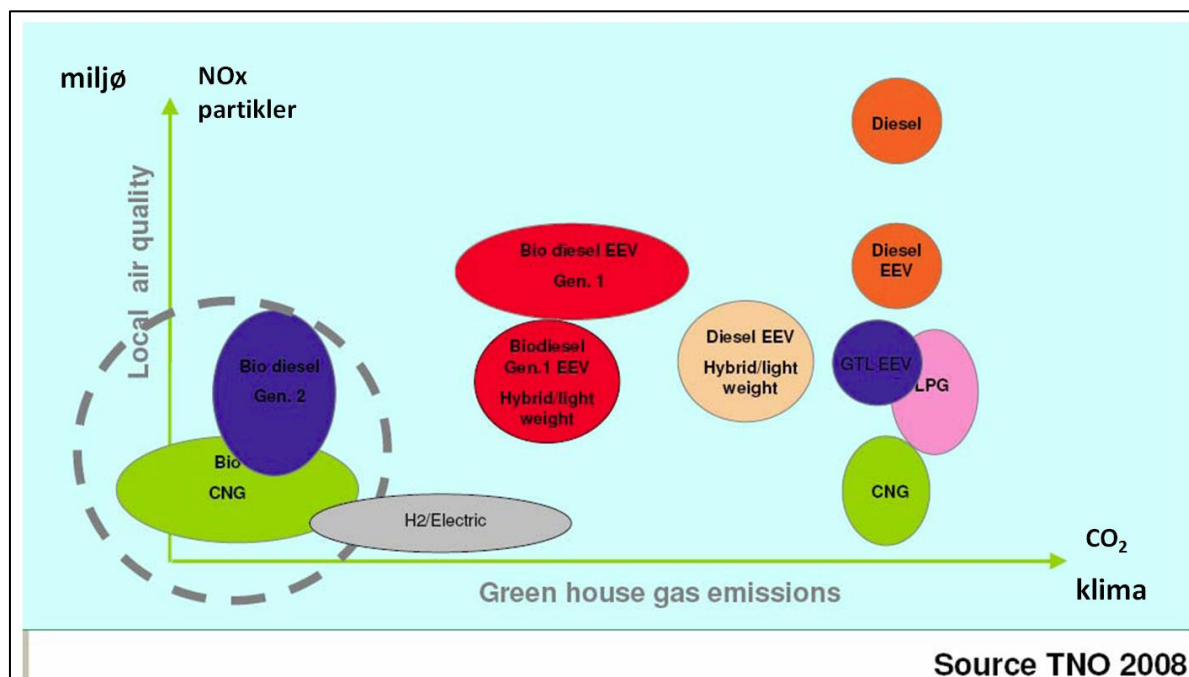
6. MILJØEFFEKTER

Klimagassutslipp er globale og det finnes ingen energibærere som ikke har noen utslipp forbundet ved seg, når man tar med alle faktorer som for eksempel produksjon og konstruksjon av anlegg.

Vi har derfor brukt Livsløpsvurdering (LCA) som er en anerkjent metode for å vurdere miljøpåvirkning av et produkt eller et system gjennom livsløpet. Ved hjelp av denne metoden tar man hensyn til utslipp som oppstår både i forhold til produksjon av drivstoff og bruken av denne. Vi har beregnet globale utslipp som CO₂ utslipp og lokale utslipp som NO_x.

Biogass som drivstoff vil kunne føre til en reduksjon i CO₂ utslipp på 77 %, eller 29 993 tonn per år, i et livsløpsperspektiv. Biogass fører også til en reduksjon i lokale utslipp av NO_x på 85 %, eller 503 tonn per år i forhold til både dagens diesel og en framtidig løsning med HVO biodiesel.

Drivstoffene har forskjellige konsekvenser for lokalmiljøet og for det globale klimaet. Dette anskueliggjorde TNO i Nederland i 2008, se Figur 6.1.



Figur 6.1: De forskjellige drivstoffenes påvirkning på miljø og klima, eller lokale og globale utslipp. Utviklingen de siste årene med renseteknologi for nye dieselmotorer har redusert utslippene av PM og NO_x. Fra TNO i 2008.

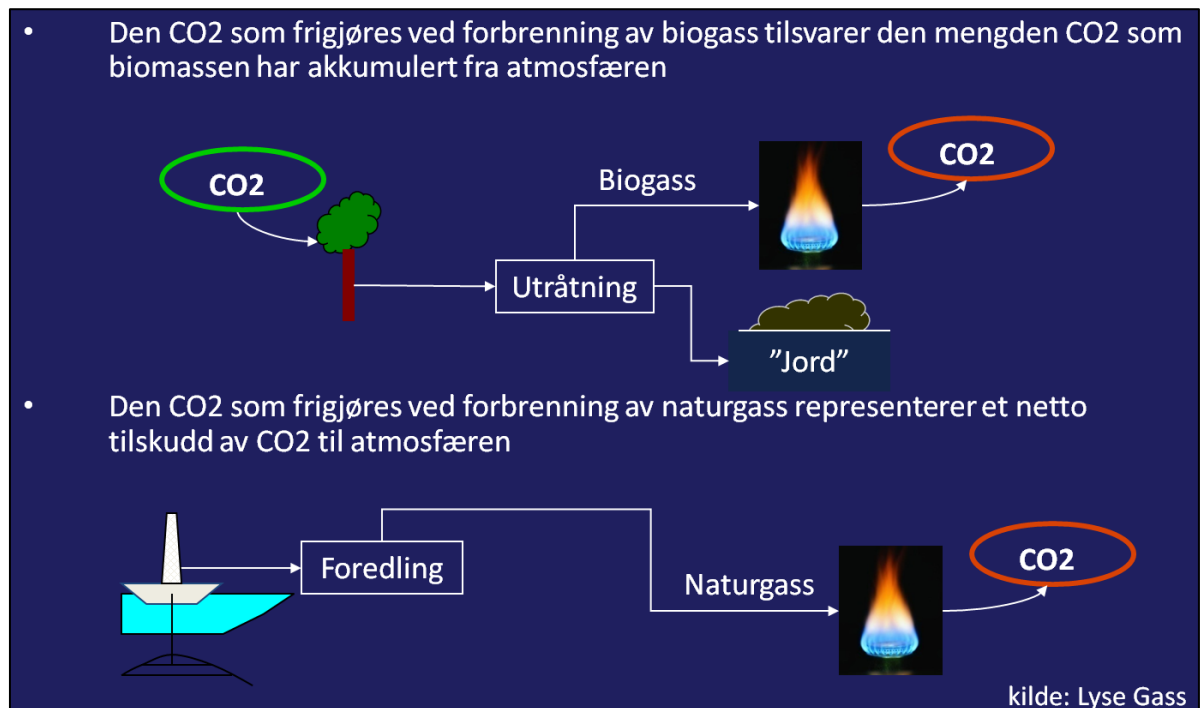
Livsløpsvurdering (LCA) er en anerkjent metode for å vurdere miljøpåvirkning av et produkt eller et system gjennom livsløpet, ofte såkalt «from well to wheel». Ved hjelp av denne metoden tar man hensyn til utslipp som oppstår både i forhold til produksjon av drivstoff og bruken av denne.

Globale utslipp kan være:

- Utslipp ved **bruk** av diesel, biodiesel og biogass i kjøretøy.
- Utslipp ved **strømproduksjon** for EL-kjøreledning, EL-batteri og hydrogen.
- Utslipp ved **konstruksjon og vedlikehold**. Strøm, stål, betong, transport, diesel, metan mm.

Lokale utslipp kan være:

- **Nullutslipp lokalt** for EL-kjøreledning, EL-batteri og hydrogen.
- NOx og partikler for biogass, diesel og biodiesel.
- **Betydelig reduksjon** av NOx og partikkel utslipp for biogass.
- Utslipp ved konstruksjon og vedlikehold av kjøreledning, tunneler. Skinnegang osv.



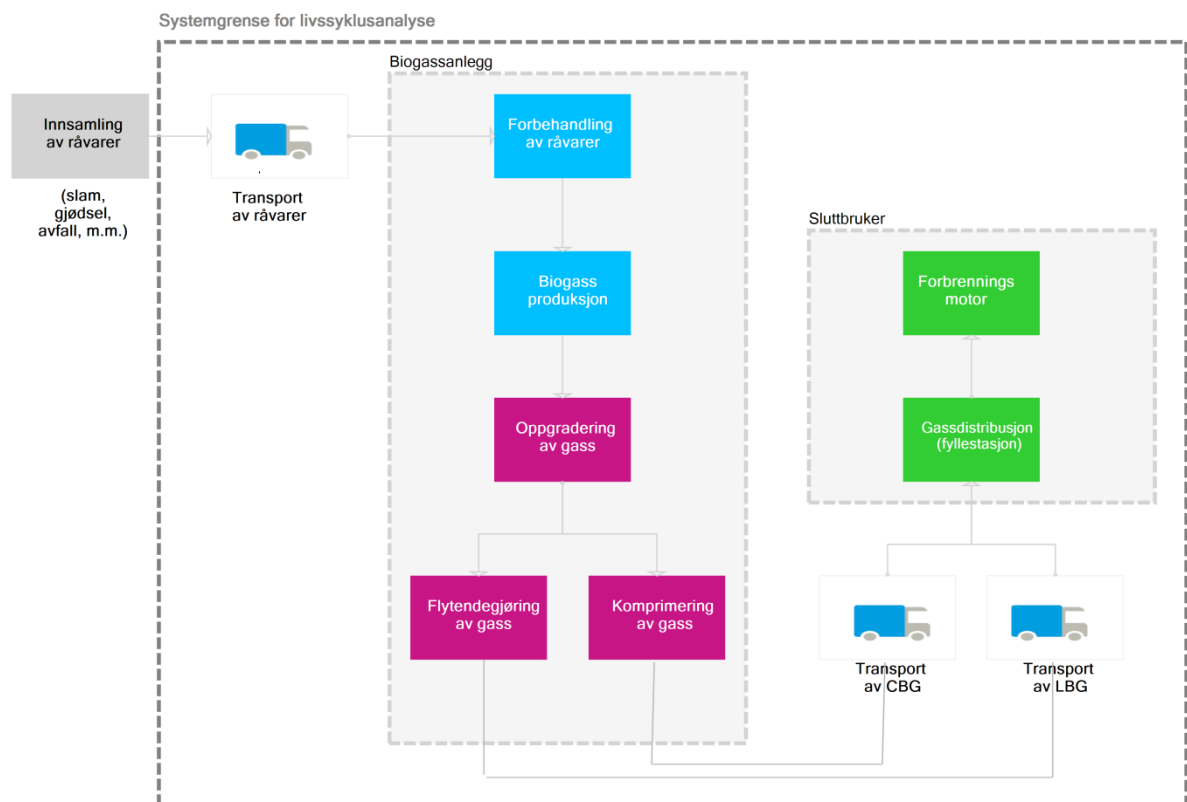
Figur 6.2: Biogass lages av organisk avfall. CO₂-utslipp fra forbrenning av biogass regnes ofte som klimanøytralt («biogent»). Kilde: Lyse

Dersom vi ser biogass sitt råstoff isolert, regnes det ofte som klimanøytralt, dette anskueliggjøres i Figur 6.2. I rapporten «Bærekraft og klimagassreduksjoner for norskprodusert biogass» [37] konkluderer Avfall Norge med negative CO₂-ekv utslipp for biogass, og de siterer svensk forskning som kommer til samme konklusjon. Østfoldforskning [38] konkluderer med at produksjon av både biogass og biogjødsel har til sammen negative CO₂-ekv utslipp, men allokterer ikke utslippene og fordelene mellom biogassen og biogjødselen. De negative CO₂-ekv utslippene kommer på grunn av erstatning av diesel som drivstoff, erstatning av kunstgjødsel med biogjødsel og mindre utslipp ved lagring av matavfall og husdyrgjødsel.

HVO, avansert biodiesel, fra animalsk avfallsolje har en god klimanytte, mens den er langt dårligere for HVO fra palmeolje. Biogass og biogjødsel er viktige deler av den norske sirkulærøkonomien og gir oss verdiskapning og arbeidsplasser, og samtidig gir den samlet produksjonen en svært god klimanytte.

Vi har i denne analysen fokusert på klimagassutslipp målt i CO₂-eq og NO_x utslipp, og analysen er gjennomført på tre ulike typer drivstoff, henholdsvis diesel, flytende biogass (LBG) og komprimert biogass (CBG).

Analysen forholder seg til en systemgrense, hvor utslipp forbundet med prosessene innenfor systemet inkluderes i analysen. Systemgrensen for biogass kan ses i Figur 6.3. For tog driftet på diesel er utslipp fra produksjon og transport av diesel, samt direkteutslipp inkludert i analysen. Det er benyttet utslippstall fra databasen Ecoinvent, ved bruk av softwaren Simapro. Dette er en anerkjent database og software for gjennomføring av LCA analyser.

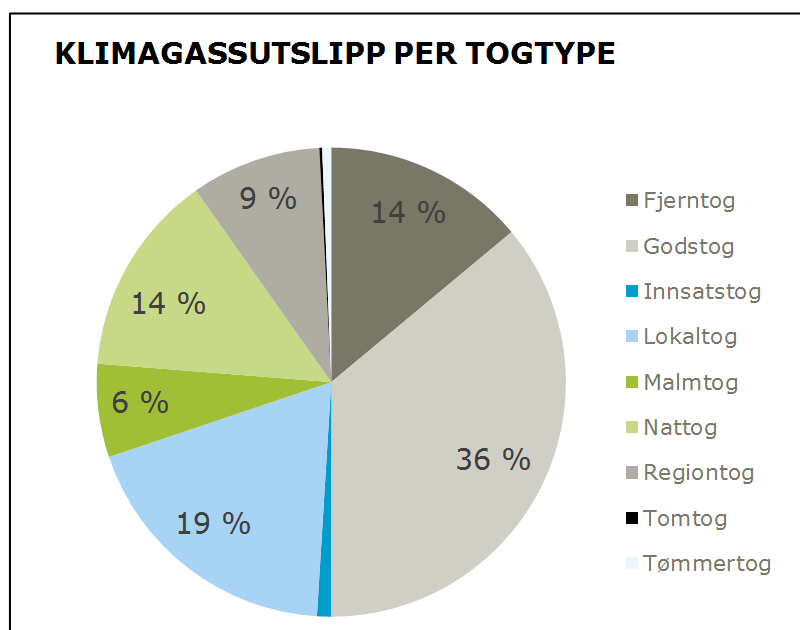


Figur 6.3: Systemgrense biogass

Beregningene baserer seg på kjent dieselforbruk per togtype og strekning på Nordlandsbanen og kjent antall km kjørt per strekning i løpet av ett år. Ut fra dette beregnes dieselforbruket per år. Godstog, malmtog og tømmerstog er regnet som godstog, med en gjennomsnittslastevekt på 600 tonn/tog. Resterende tog er kategorisert som persontog, med en gjennomsnittspassasjerrate på 78 personer pr tog.

6.1 Miljøbelastning dieseldrift

For å beregne miljøbelastningen for tog driftet på diesel har vi hentet utslippsdata fra Simapro på godstog og persontog. Utslippene er justert i forhold til kjent dieselforbruk. Utslippene er i Simapro gitt per personkm og tonnkm, dvs. utslipp knyttet til å frakte en person en km og ett tonn en km. Utslippene regnes så om til utslipp per liter drivstoff ut fra kjent drivstofforbruk. Klimagassutslipp for de ulike togtypene er gitt i Figur 6.4. Vi ser her at selv om godstog kun utgjør 17 % av kjørte km, vil klimagassbelastningen fra godstog (inkl. malmtog og tømmertog) utgjøre 43 % av den totale klimagassbelastningen, da utslipp per kjørte km er vesentlig høyere for godstog enn for persontog.



Figur 6.4: Klimagassutslipp dieseldrift per togtype, inkludert distribusjon av drivstoff (well to wheel).

Klimabelastningen for produksjon og vedlikehold av togmateriell og infrastruktur er ikke inkludert i beregningene. Disse utslippene regnes i denne analysen å være like ved bruk av ulike typer drivstoff. Total klimabelastning ved bruk av diesel er på 39 105 tonn CO₂-ekv., og NO_x utslippet er på 595 tonn.

6.2 Miljøbelastning biogass

For tog driftet på diesel finnes det en rekke kilder for utslippsdata. Det samme gjelder ikke for tog driftet på biogass. For å beregne klimabelastningen og NO_x utslippene for drift av godstog og persontog på biogass er det gjort beregninger ut fra følgende forutsetninger:

- Det er benyttet utslippstall for biogassproduksjon fra Produktforskriften på biogass produsert fra slam, organisk matavfall og gjødsel (1/3 fra hver).
- Flytendegjøring av biogass til LBG er inkludert med et energibehov på 1,1 kWh/m³
- Biogent CO₂ er ikke inkludert, dvs. at det ikke er direkteutslipp av CO₂ inkludert i utslippstallene ved bruk av biogass
- Det er anslått en transportavstand på 100 km fra råvareproduksjon til produksjonssted og fra produksjonssted til fyllplass. Dette er gjort ut fra en antagelse om ulik råvaretilgang i regionene og flere fyllplasser for drivstoff

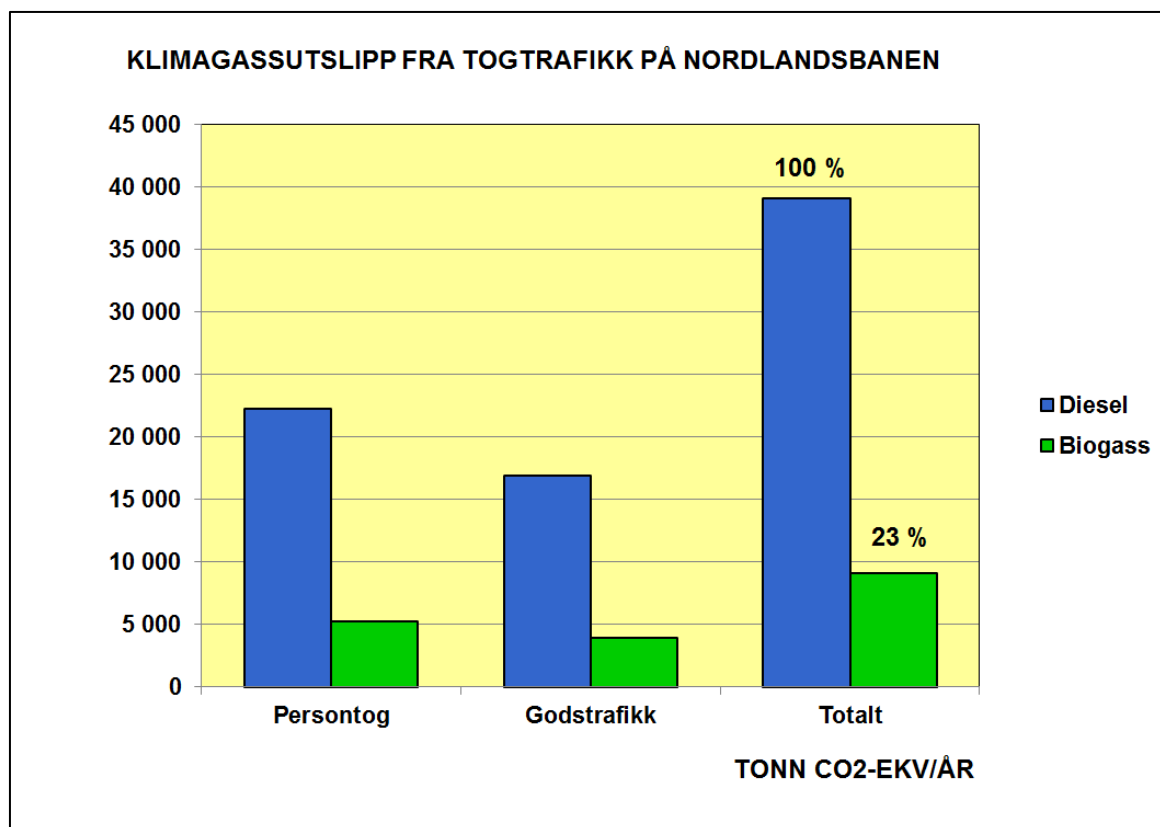
- Det er antatt at direkteutslipp av NOx er redusert med 90 % i forhold til dieseldrevet tog [39].
- NOx utslipp fra produksjon av biogass er ikke inkludert på grunn av mangel på data.
- Utslipp i forbindelse med utskifting eller tilpasning av tog for overgang til biogass er ikke hensyntatt.

Med disse forutsetningene får vi et totalt klimagassutslipp på 9112 tonn CO₂-eq per år for tog driftet på biogass og et NOx utslipp på 92 tonn per år. Det er gjennomført beregninger både for LBG og CBG. Utslipp forbundet med disse to drivstoffene er imidlertid svært like og resultatene vises derfor kun for LBG (men er også gjeldende for CBG).

NOx utslipp fra produksjon av biogass er ikke inkludert, på grunn av mangel på data. I tillegg er det ikke gjort noen vurderinger i forhold til behov for endring av togmateriell i forbindelse med overgang til bruk av biogass.

6.3 Miljøbelastning diesel vs. biogass

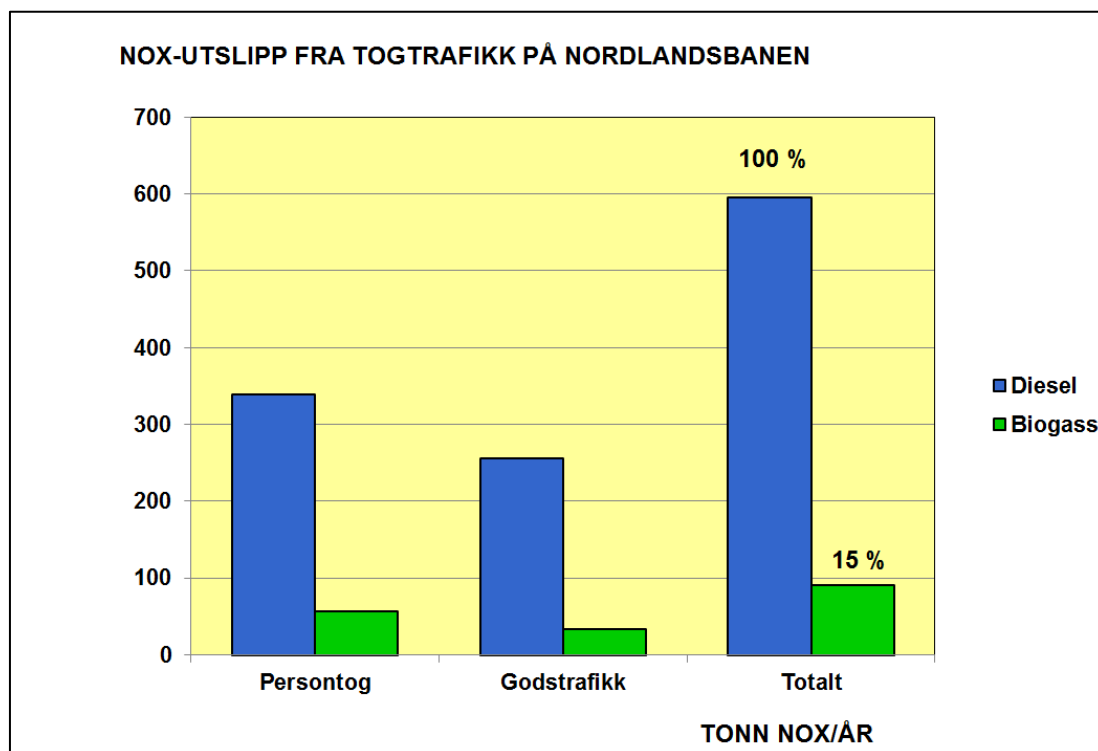
Overgang til biogass gir en betydelig reduksjon i klimagassutslipp. Klimagassutslippene reduseres med 77 % eller 29 993 tonn/år ved overgang fra diesel til biogass.



Figur 6.5: Klimagassutslipp for togtrafikk for henholdsvis diesel og biogass, inkludert distribusjon av drivstoff (well to wheel).

Nøyaktig hvor stor utslippsreduksjon biogass har i forhold til diesel er usikkert og enkelte studier opererer med en reduksjon på over 100 %, hvor biogass produksjonen og bruken til sammen faktisk sparer atmosfæren for CO₂ utslipp [37] [39]. Dette kan hverken elektrisitet eller hydrogen konkurrere mot, om biogassen er produsert på rett vis.

Også for NOx utslipp ser vi en betydelig reduksjon i utslipp for overgang til biogass med en samlet utslippsreduksjon på 85 % eller 503 tonn/år.



Figur 6.6: NOx utslipp for togtrafikk for henholdsvis diesel og biogass, inkludert distribusjon av drivstoff (well to wheel).

Reduksjon i utslipp kommer i hovedsak fra reduksjon i direkteutslipp. Metanlekkasjer vil imidlertid kunne påvirke resultatet for klimagassutslipp, da metan har en høy utslippsfaktor sammenlignet med CO₂, uavhengig om metan er biogen eller fossil. Forebygging av metanlekkasjer vil derfor være spesielt viktig ved en overgang til bruk av biogass som drivstoff. Under de forutsetninger som er benyttet i analysen ser vi dermed en betydelig miljøgevinst med tanke på klimagassutslipp og NOx utslipp ved overgang til biogass.

7. GASSDRIFT

Forutsetninger for en overgang fra dieseldrevne til gassdrevne tog omfatter blant annet at det finnes teknologi som kan tas i bruk. Videre må drivstoffgassen lagres på en sikker måte på toget. I dette kapitlet gjøres det en gjennomgang av aktuelle teknologier for gassdrift, erfaringer med gassdrift på tog, erfaring knyttet til investering i nytt togmateriell eller ombygging av eksisterende tog samt vurderinger knyttet til risiko og lagring av gass på tog.

Generelt så er gassmotoren en tilgjengelig og velprøvd teknologi, spesielt i andre transportsektorer. Det er mange, og et økende antall, gasstog i verden. En sammenligning av lagringsformer for biogass på tog viser at det er mulig å lagre nok biogass på lokomotivene som i dag kjører på Nordlandsbanen.

For enhver ny teknologi til fremdrift på jernbanen, vil det kreves en risikoanalyse etter gjeldende normer og regler. Regelverk relevante for gassdrift på tog listes opp i dette kapitlet. Prosjektgruppa avholdt en sikkerhetsworkshop, som er oppsummert i dette kapitlet, og som viser at det ikke er noen sikkerhetsmessige uoverkommelige barrierer for biogasstog på Nordlandsbanen.

Amanda var verdens første biogass tog. Det ble bygget om i Linkøping for 3 millioner svenske kroner, og opererte i fem år på lokalt produsert biogass.

Det er mange gasslokomotiv i verden i dag, men leverandørene av materiell til de europeiske jernbanene leverer i dag ikke gasslokomotiv. Det er ingen tekniske hindringer i veien for at produsentene kan levere gasslokomotiv.

Derfor anbefaler vi at Jernbanedirektoratet utlyser en konkurranse for å se på muligheter og kostnader for både ombygging av dagens tog og bygging av nye biogasstog i Norge.

7.1 Aktuelle teknologier for gassdrift

Biogass og naturgass er tilnærmet perfekte substitutter, det vil si at i begge tilfeller er det tilnærmet ren metan som er drivstoffet. Man kan derfor bruke både biogass og naturgass i gassmotorer og teknologien som diskuteres i dette kapitlet er egnet både for biogass og naturgass. Mye av erfaringen som beskrives er basert på drift med naturgass, men teknisk sett er dette direkte overførbart til biogass.

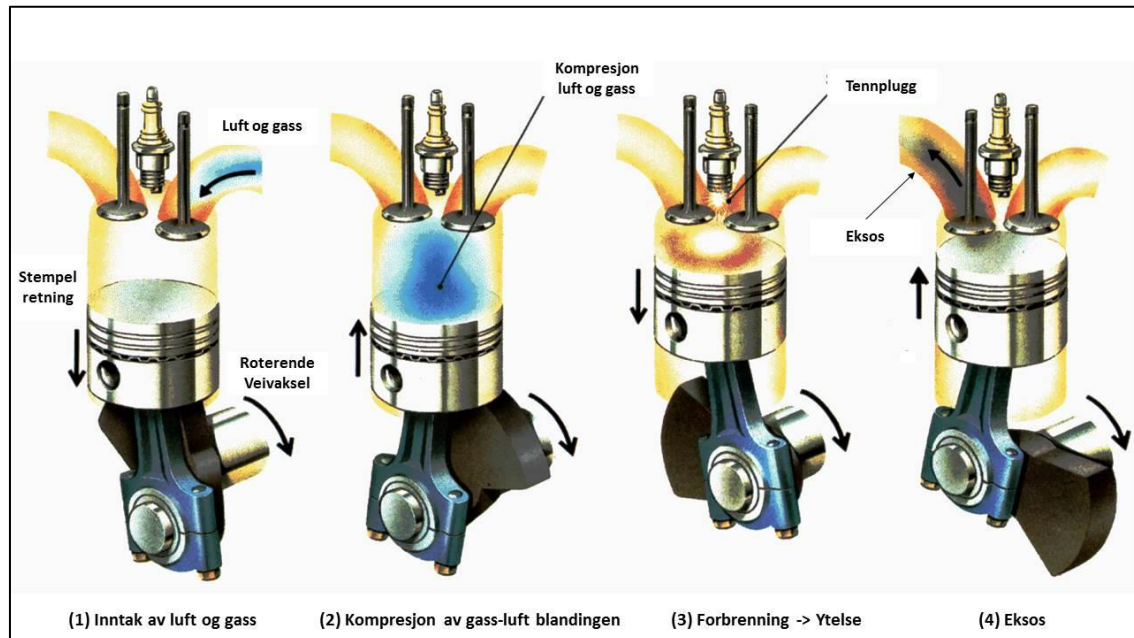
7.1.1 Gassmotor

En forbrenningsmotor konverterer den kjemiske energien i drivstoffet til mekanisk energi.

I dag benyttes dieselmotor på Nordlandsbanen. Motoren kjennetegnes ved at den yter høy effekt og dreiemoment i forhold til fysisk størrelse. Virkningsgraden er typisk mellom 40-45 % [40] [41]. Ulempen med dieselprosessen er en mindre ren forbrenning, som bidrar til mer utslipp av miljø- og helseskadelige stoffer. Eksempler på dette er utslipp av NO_x , SO_2 og partikler.

En gassmotor er basert på Otto-prinsippet, der drivstoffet antennes ved hjelp av en tennplugg. Sammenlignet med en dieselmotor er den stillegående og luktfri, men den har samtidig noe lavere effektivitet som gir et høyere drivstofforbruk. Virkningsgraden er typisk mellom 35-40 %. For å øke virkningsgraden kan gassmotoren utnytte seg av lean burn prinsippet, som gir en lavere forbrenningstemperatur. Det vil redusere NO_x utslipp, men fører samtidig til økt metanlekkasje. Dermed bør det forsøkes å finne en balanse mellom globale klimagassutslipp (CH_4) og lokale

miljøutslipp (NO_x) fra gassmotoren. En illustrasjon av forbrenningsprosessen til en firetakters gassmotor er vist i Figur 7.1.



Figur 7.1: Forbrenningsprosessen til en firetakters gassmotor. Kilde: <https://shaikmoin.wordpress.com/tag/four-stroke-engine/>

7.1.2 Pålitelighet

Norge er verdensledende på skip med flytende naturgass (LNG) som drivstoff [42]. Det er i dag mange offshore supply skip som går på LNG, enten ved rene gassmotorer eller med dual fuel motorer. For offshore supply skip er pålitelighet meget viktig for å redusere risiko for kollisjon med oljeplattformer i det skipet er i dynamisk posisjonering.

Det at gassmotorer brukes av offshore supply skip viser at teknologien kan være like pålitelig som dieselmotorer og at det ikke er noen tekniske hindringer for en tilsvarende grad av pålitelighet for gassvog som for dieseltog.

7.1.3 Metanlekkasje fra gassmotor

Tidligere var det et stort problem med metanlekkasje fra gassmotorer. Metan (CH₄, hovedkomponenten i biogass) er en sterk drivhusgass med ca. 25 ganger større drivhuseffekt enn karbon-dioksid (CO₂), noe som gjør at det er ønskelig å begrense utslipp av denne gassen. I løpet av de siste årene har det vært et betydelig fokus på å redusere metanlekkasjen. Til tross for en forbedring [43], så er dette fortsatt en utfordring i dag. Metanlekkasje oppstår når luft og gass komprimeres i sylindren før drivstoffet forbrennes. Det er i hovedsak to årsaker til metanlekkasje [44]:

1. En gassmotor består av flere sylindere. I hver sylinder er det dødvolume i form av sprekker o.l. Metanmolekylet er veldig stabilt og behøver en høy forbrenningstemperatur. Når gass-luft blandingen komprimeres vil mindre fraksjoner gjemme seg unna, slik at blandingen ikke forbrenner fullstendig. Årsaken er en lavere temperatur i dette området. Når stemplet eksplan-

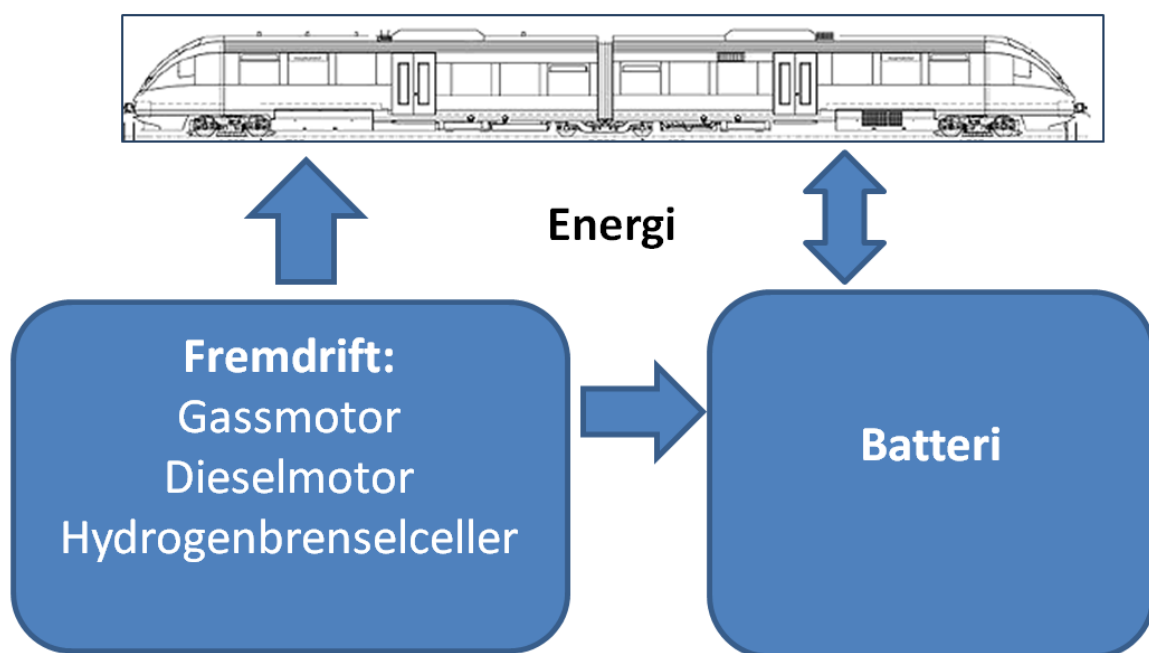
derer vil den uforbrente gassblandingen slippes ut i omgivelsene. Dødvolumet kan reduseres ved å redesigne motoren.

2. En annen årsak til metanlekkasje er ufullstendig forbrenning, i form av quenching/slukning i den kaldeste delen av forbrenningskammeret. Slukningen oppstår når gass-luft blandingen er for «fattig»/lean ved lavere temperatur. Dette vil hovedsakelig være et problem når motoren opererer ved lav-last. Metanutslippet kan reduseres ved å ha en rikere gass-luft blanding, som vil si at andelen gass per luft øker. Dette vil samtidig føre til økt NOx utslipp.

7.1.4 Hybrid-drift

Et biogasstog med batteri kalles et hybridtog og er en sammensetning av et fremdriftssystem og energilagring, se Figur 7.2. Et hybridtog kan da ha gassmotor, dieselmotor eller brenselceller på hydrogen som hovedkilde til energi og i tillegg et batteri som kan lagre og gi fra seg energi etter hva som passer til enhver tid. Til transport vil Li-ion batteri være det mest nærliggende valget som energilagringsskilde, på grunn av teknologimodenhet, effekttetthet og investeringskostnad.

Et batteri kan ta effekttoppene og lastvariasjonene, slik at forbrenningsmotoren kan operere mer effektivt på konstant turtall og last [45] [46]. Et eksempel på dette er ved akselerasjon/oppstart for et tog. Enkelte gassmotorer kan være mer følsomme for lastvariasjoner enn dieselmotorer. Dette gjør at tiltaket er spesielt egnet for et gassdrevet generatorsett. Ytelsen fra batteriet kan bidra til at effektbehovet fra et gass-/dieseldrevet generatorsett kan reduseres. Eventuelt kan ytelsen/kapasiteten overdimensjoneres, sammenlignet med dagens situasjon, for å gi toget høyere toppfart.



Figur 7.2: Hybridtog har en kombinasjon av batteri for energi lagring og motor med energi fra drivstoff.

Mange tog er såkalte diesel-elektriske, hvor en dieselmotor driver en generator, som lager strøm til å drive elektriske fremdriftsmotorer. Når et diesel-elektrisk fremdriftssystem brems vil den kinetiske energien fra bremsene gå tapt som varme. Denne energien kan lagres i et batteri ved regenerativ bremsing. Rundt 50 % av den regenererte bremseenergien kan gjenvinnes i et batteri [46]. Dette vil være fordelaktig for tog i et kupert terreng, samt en rute der toget stopper med stor hyppighet. Batteriene til hybridtog trenger ikke å være veldig store i mengde lagret energi, for å kunne gi gevinster i redusert drivstofforbruk og utslipp. Som et enkelt eksempel vil et

dagtog på Nordlandsbanen på 365 tonn, som skal bremse ned fra 80 km/t inn på en stasjon, kunne gjenvinne 12,5 kWh energi inn på et batteri. For hver 100 høydemeter dette toget kjører ned en bakke, kan det gjenvinne 50 kWh energi. Til sammenligning kan en personbil av typen Tesla model X, lagre 100 kWh energi i batteriet sitt.

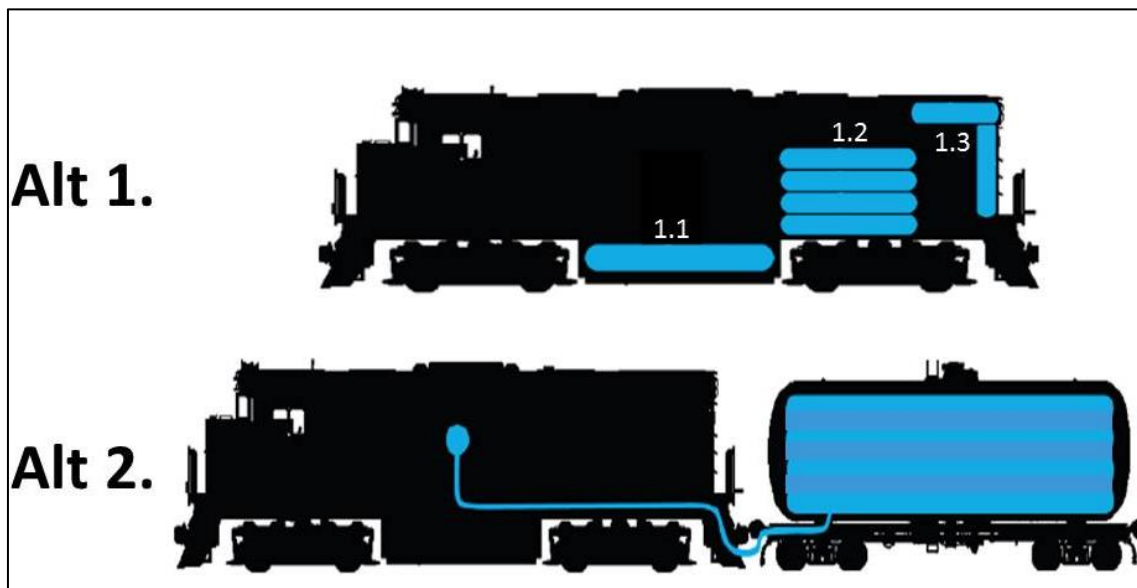
I transportsektoren øker bruken av hybride løsninger for å oppfylle krav om energieffektive og miljøvennlige fremdriftssystemer. Sammenlignet med et konvensjonelt diesel-elektrisk fremdriftssystem kan en hybrid redusere drivstofforbruket med ca. 20 % [47] [48]. For å nyttiggjøre seg av et hybridsystem i størst mulig grad er toget som benyttes og geografiske forhold av stor betydning. Nordlandsbanen består av et kupert landskap, som vil gjøre det gunstig å bruke hybridsystem med tanke på energibesparelsen det medfører.

Sammenlignet med kjøretøy på vei, er ikke bruk av hybrid-tog like utbredt. En viktig faktor, sett fra Norges perspektiv, er at den største andelen tog er koblet direkte til strømmettet. I et internasjonalt perspektiv kan årsaken være tekniske utfordringer og merkostnader et slikt system krever. En annen utfordring kan være plassbehov. Samtidig har batteriutviklingen de siste årene bidratt til å gjøre hybrid-tog til et mer realistisk alternativ, både teknisk og økonomisk sett. For øyeblikket er det flere selskaper som tester diesel-hybrid-tog, eksempelvis MTU, i samarbeid med Deutsche Bahn, og CSR Ziyang [49]. De hevder at deres hybridsystem kan redusere drivstofforbruket med hhv opptil 25 % og 40 %.

7.1.5 Lagring av gass på tog

Et gassdrevet tog vil ha en gassmotor som brenner biogass, og metanet, som biogassen hovedsakelig består av, kan lagres på to forskjellige måter; komprimert eller flytende form. Når biogassen kommer til forbrenningsmotoren er den i gassfase², som betyr at forskjellen mellom komprimert (CBG) og flytende biogass (LBG) er hvilken tilstand gassen er lagret i. CBG blir lagret i en eller flere sylindere, mens LBG blir lagret i vakuumisolert(e) sylindertank(er). Valg av tilstand er avhengig av tilgjengelig lagringsvolum, i kombinasjon med nødvendig energibehov. Gassen kan lagres i lokomotiv (Alternativ 1) og/eller i en tendervogn (Alternativ 2.). De illustrerte lagringskonseptene er brukt i tidligere prosjekter.

² Temperatur: 5-40°C og Trykk: 4.5-6 barg (Antall bar over atm)

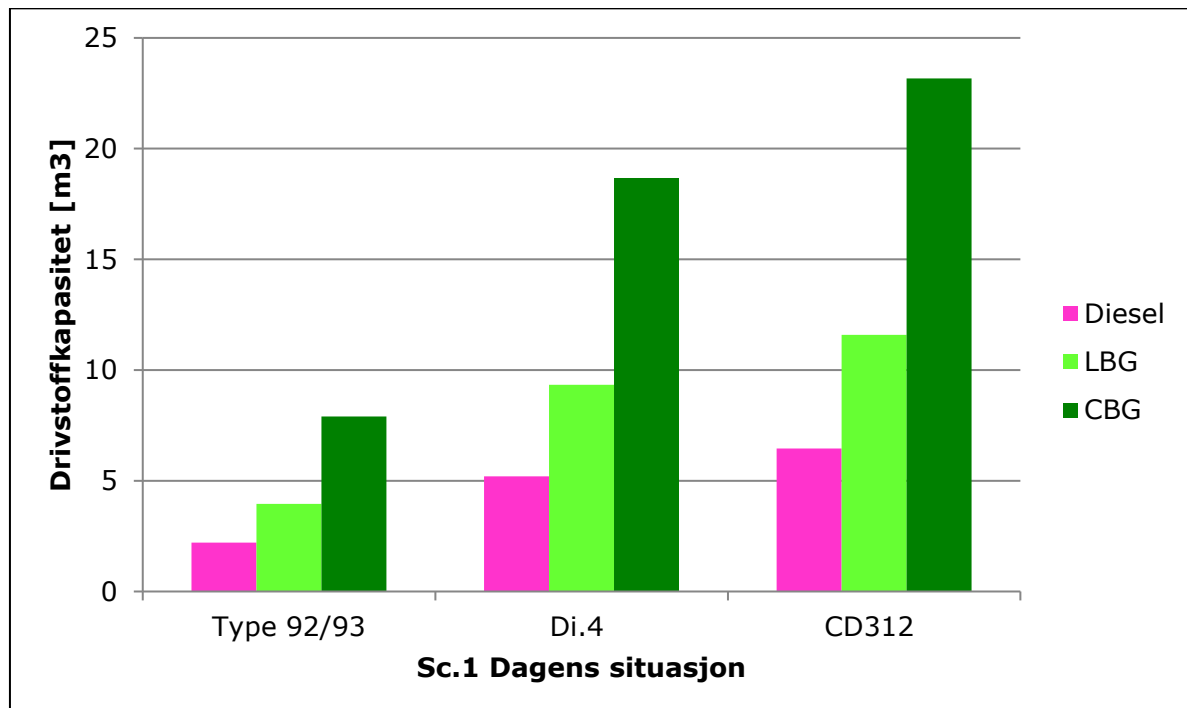


Figur 7.3: Lagring av CBG i lokomotiv (Alt 1.1, 1.2, 1.3) og lagring av LBG i tendervogn (Alt 2.).

For å vurdere volumet som kreves til lagring av biogass, enten flytende (LBG) eller komprimert (CBG), tas det utgangspunkt i dieselpasiteteten til dagens lokomotiver. For å beregne CBG- og LBG-drivstoffvolumet som kreves for å få samme energiinnhold som dagens dieselpasitet, er det antatt at virkningsgraden til en gassmotor og dieselmotor er lik. I utgangspunktet er virkningsgraden til en dieselmotor noe høyere. Dieselmotorene i dagens togpark er av eldre generasjon, og en overgang til ren gassdrift på Nordlandsbanen vil medføre investering i nye gassmotorer. Dette vil bidra til at ulikheten mellom virkningsgradene reduseres. Dette er med på å underbygge antagelsen om at virkningsgraden er tilnærmet lik. Dermed kan nødvendig volum CBG- og LBG beregnes ved å ta høyde for forskjellen i energi per volumenhet, i forhold til diesel. En sammenligning er vist i Figur 7.4.

Vi vurderer fire typer lokomotiv og motorvogner, beskrevet i kapittel 5.7, og sammenligner dagens lagringskapasitet for diesel med 1) like mye energi lagret i biogass, se Figur 7.4, 2) og med lavere sikkerhetsmargin med tanke på medbrakt drivstoff, se Figur 7.5:

- Type 92 og Type 93, passasjertog
- Di4, diesellokomotiv til passasjertrafikk
- CD312, diesellokomotiv til godstrafikk

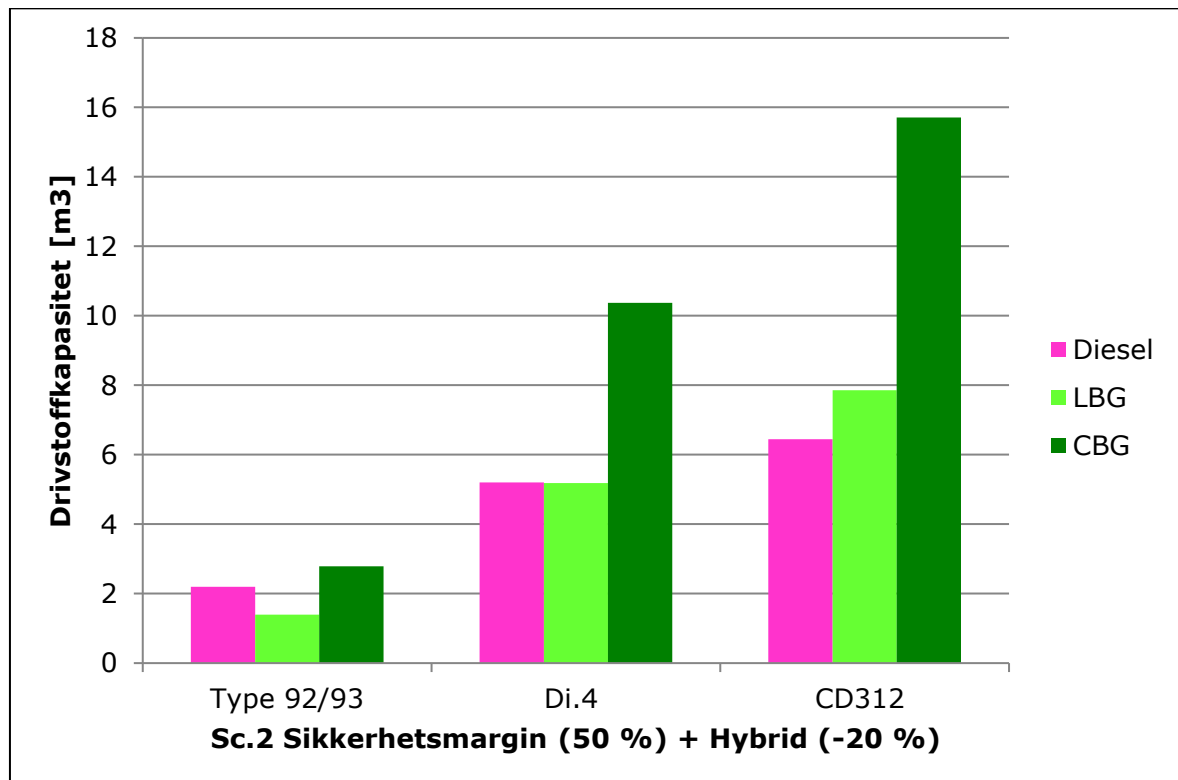


Figur 7.4: Sammenligning av drivstoffvolumet som kreves for CBG og LBG, med gitte betingelser, og dagens dieselskapasitet som referansebane.

Det er viktig å presisere at sammenligningen ikke nødvendigvis korrelerer med forskjellen i det fysiske lagringsvolumet. Både diesel og LBG blir ofte lagret i en stor tank, mens komprimert biogass blir lagret i flere og mindre sylindere. I tillegg er det større muligheter for å plassere diesel-lagringstanken flere steder i toget, da tanken kan designes etter behov, f.eks. kubisk. CBG og LBG blir lagret i sylinderformede lagringstanker.

Dagens drivstoffkapasitet (diesel) og gjennomsnittlig drivstofforbruk for togene blir brukt for å beregne maksimal transportdistanse. NSB type 92/93, Di.4 og CD312 kan kjøre hhv. 1700/2450 km, 1600 km og 1300 km. Den lengste distansen som CD312 og Di.4 kjører på Nordlandsbanen er 729 km (Trondheim-Bodø), mens NSB type 92/93 kjører 498 km (Trondheim – Mo i Rana). Dermed er drivstoffkapasiteten til togene betydelig overdimensjonert, sammenlignet med den maksimale transportdistansen togene kjører. Med dagens infrastruktur kan sikkerhetsmarginen reduseres til rundt 50 % ved uforutsette hendelser. En innføring av biogass som drivstoff for tog på Nordlandsbanen bør inkludere et hybridssystem med batterilagring, slik at drivstofforbruket kan reduseres med ca. 20 %.

Ved å ta utgangspunkt i de gitte betingelsene, sikkerhetsmargin på 50 % og 20 % reduksjon i drivstofforbruk ved hybrid, reduseres forskjellen mellom diesel, LBG og CBG, betraktelig. En sammenligning av dette scenarioet er vist i Figur 7.5.



Figur 7.5: Sammenligning av drivstoffvolumet som kreves for CBG og LBG, med gitte betingelser, og dagens dieselskapasitet som referansebane, det vil si at i denne figuren har diesel høyere sikkerhetsmargin. Figuren viser at det er teknisk mulig å lagre nok LBG i lokomotiver.

Beregningene som ligger til grunn for figuren over, viser at det er teknisk mulig å lagre nok flytende biogass (LBG) i lokomotivene som opererer på Nordlandsbanen.

7.1.6 Ombygging av tog

En ombygging av eksisterende tog innebærer at dieselmotoren må konverteres til en gassmotor. I tillegg vil konverteringsprosessen inkludere installasjon av blant annet Electronic Control Unit (ECU), rørforsyning (gass, luft, vann), sensorer (lekkasje, temperatur, trykk, motorbank), ventiler (trykk, strømning) og lagring av CBG/LBG [50] [51] [52]. Biogassen kan enten lagres internt i lokomotivet (ved plass) eller eksternt på en tendervogn. Ved bruk av tendervogn må gassforbindelsen mellom tender og lokomotiv sikres på en best mulig måte mot brudd og andre lekkasjer. I den forbindelse vil sensorer spille en viktig rolle for å bidra til forbedret sikkerhet.

Et tog har en levetid på ca. 30-40 år. Norske tog AS, et statseid selskap, har ansvaret for å tilby utleie av rullende materiell for persontrafikkoperatører. Det inkluderer motorvognene NSB 92 og NSB 93 samt linjelokomotivet Di.4 på Nordlandsbanen. Di.4 lokomotivet ble bygget i 1980, som gjør at toget begynner å bli utdatert og det er ikke ansett som hensiktsmessig å bygge om lokomotivet. I stedet vil det være mer hensiktsmessig å gå til innkjøp av et nytt gass-lokomotiv. NSB type 93 er fra 2001, og det kan være hensiktsmessig å bygge om dette. Alle kjøretøyene på Nordlandsbanen må enten erstattes eller bygges om for å kunne bruke ERTMS. Det er ikke sikkert at det er lønnsomt å gjøre dette med de eldste kjøretøyene.

CargoNet er godstransportør, og står for driften av CD312 og T68 lokomotivene på Nordlandsbanen. Disse lokomotivene er leaset gjennom to ulike selskaper, Beacon Rail og Railcare, der leieavtalen for to av lokomotivene går ut i 2018, mens for de resterende seks i 2019. CargoNet ut-

trykte på et arbeidsmøte et ønske om å benytte dette materiellet frem til 2025 med mindre annet materiell blir tilgjengelig.

Leasingavtalen innebærer ikke rettigheter for å bygge om lokomotivene, så hvis det blir aktuelt med ombygging må dagens leasingavtaler endres. I verstefall kan en slik endring føre til at CargoNet må betale for å få lokomotivet tilbake til opprinnelig tilstand. Derfor vil det være mindre hensiktsmessig å bygge om lokomotivene, og spesielt da leasingavtalene går ut i 2018 og 2019. Det vil være mer aktuelt å undersøke om nye leasingavtaler med gass-tog leverandører kan inngås. Eierskapsmodellen til CargoNet vil sånn sett være en økonomisk utfordring for hydrogen-tog, batteritog, bidomale tog og elektriske tog, ikke bare for biogasstog. Samtidig kan denne tidslinjen med et mulig bytte av tog i 2025 passe godt med modning av miljøvennlige alternativ til dieseltog.

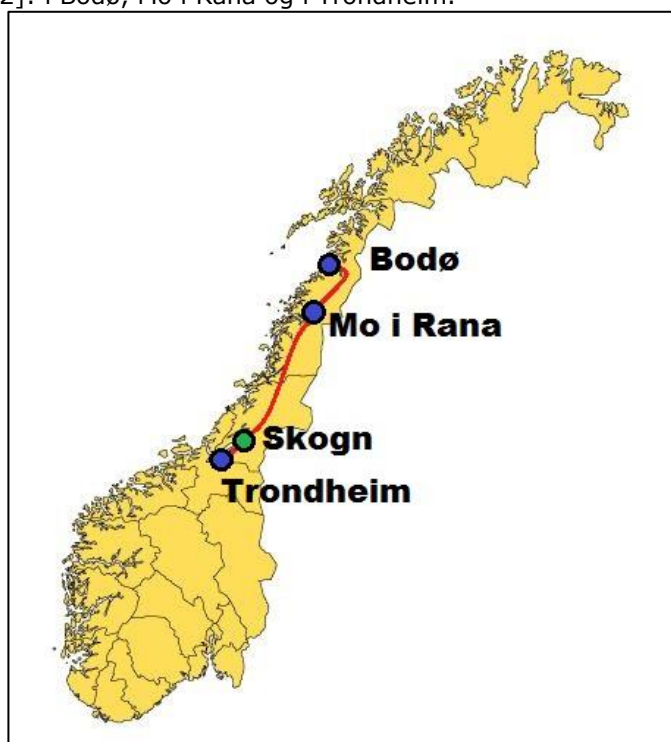
7.1.7 Gassdrift i arktisk klima

Det russiske TEM19 lokomotivet, som går på naturgass lagret flytende (LNG), hevdes av produsenten å ha gode egenskaper i kulde og skal bruke kortere tid på å starte enn et diesellokomotiv [53]. Det lages også fyllestasjoner for gass tilpasset arktiske forhold, for eksempel i Hammerfest [54].

7.1.8 Infrastruktur

Når strekningen Trondheim – Steinkjer blir ferdig elektrifisert (antatt 2023, men det var ikke midler til byggestart i årets statsbudsjett), må enten togene som skal gå videre nordover være bimodale eller så må det bli byttet lokomotiv i Steinkjer.

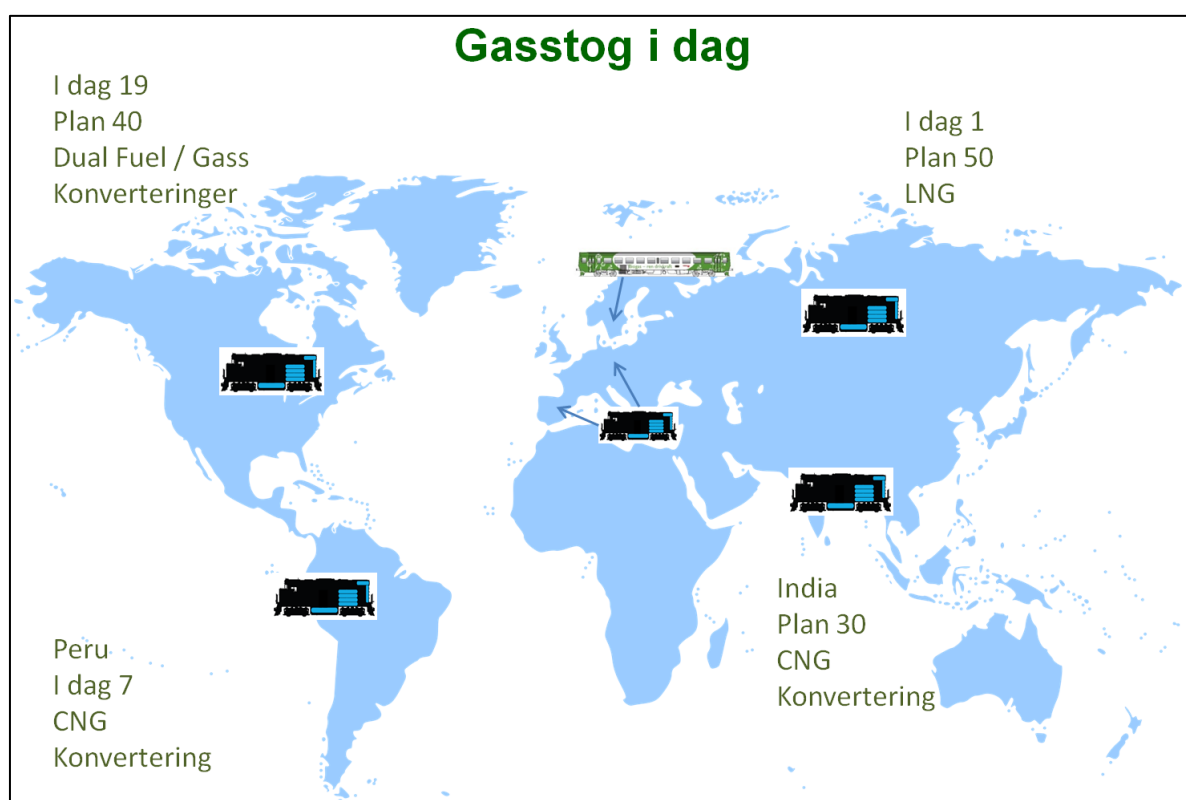
Togtilbudet for persontrafikk på Nordlandsbanen er vist i Figur 5.13. På bakgrunn av disse togrutene foreslås det tre fyllestasjoner for LBG som til sammen kan forsyne hele Nordlandsbanen med biogass [41] [52]: i Bodø, Mo i Rana og i Trondheim.



Figur 7.6: Tre foreslåtte fyllestasjoner med flytende biogass (LBG). I tillegg vises plasseringen av det kommende LBG anlegget i Skogn, som er et av flere anlegg som kan levere biogass til Nordlandsbanen.

7.2 Erfaringer med gassdrift

Årsaken til at flere selskaper ser på muligheten for å benytte gassløsninger for persontog og godstog er primært reduksjon i driftskostnader, forbedret miljøprestasjon og reduserte klimagassutslipp. I Nord-Amerika og Russland, der de fleste gassrelaterte prosjektene er utført, er naturgass billigere enn diesel, målt i kroner per dieselevivalent. Samtidig har fallende dieselpri- ser redusert interessen til å satse på gassdrift. Et annet usikkerhetsmoment er kostnadene for- bundet med drift og vedlikehold, samt kapitalintensiv konvertering fra diesel- til gassdrift. Per i dag er det ingen selskaper som har konvertert hele togparken til gass, fordi de avventer tilbake- meldinger fra egne og andres pilotprosjekter, samt regulatoriske krav og vilkår fra myndighetene [55].

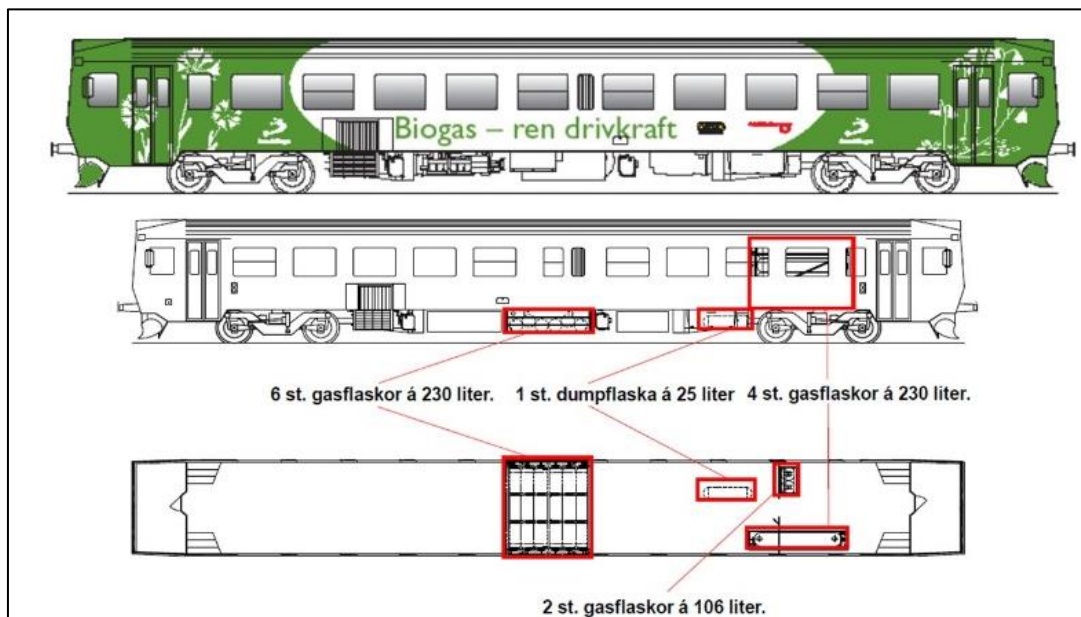


Figur 7.7: Gasstog i verden i dag. Europa er på etterskudd, bortsett fra Amandatoget som tidligere gikk i Sverige, på tross av et stort antall kilometer med ikke-elektrifiserte togbaner og stor biogassproduksjon i blant annet Tyskland.

7.2.1 Biogasstoget «AMANDA»

Svensk Biogas gjennomførte i perioden 2006 til 2010 på strekning Linköping–Kalmar et vellykket pilotprosjekt der et persontog ble konvertert fra diesel- til ren gassdrift.

Svensk Biogas iverksatte et pilotprosjekt i 2005, der et persontog ble konvertert fra diesel- til ren gassdrift. Dieselmotoren ble byttet ut med to gassmotorer fra Volvo. Biogassen ble lagret i komprimert form, fordelt på 12 gassylindere, og ga toget en rekkevidde på ca. 600 km. Biogasstoget, vist i Figur 7.8, var i drift mellom 2006-2010 på strekningen Linköping–Västervik (Tjustbanan) og Linköping–Kalmar (Stångådalsbanan).

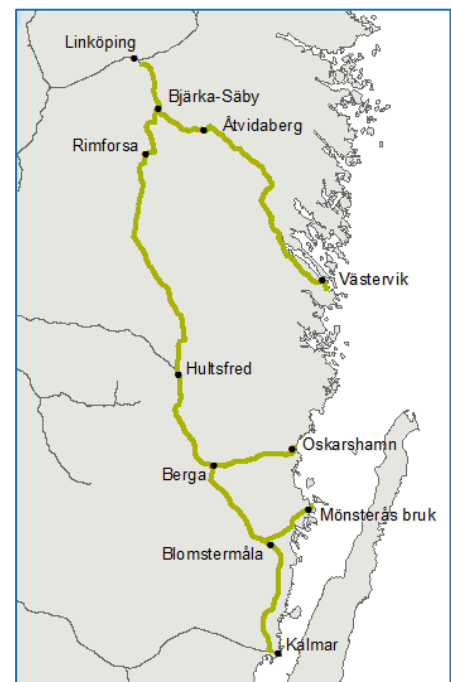


Figur 7.8: Designskisse av det Svenske biogasstoget Amanda.

Prosjektleder fra Rambøll og daglig leder fra Norsk Gassforum var på besøk hos Tekniska Verken i Linköping 31. August. I et møte med Bertil Carlson, som var prosjektleder for Amanda toget, fikk vi en innføring i hvordan de i 2005 kjøpte et lokomotiv og bygde det om til drift på biogass.

I perioden 2006 til 2010 ble et ombygget tog kjørt på biogass i Sverige [56]. Prosjektet var et samarbeid mellom Svensk Biogas (prosjektledelse), EuroMaint (ombygging av toget), Kalmar Länstrafik, Banverket (nå Trafikverket), ÖstgötaTrafiken, tre kommuner (Västervik, Åtvidaberg, Linköping), Östergötlands län, samt Regionförbundene i Kalmar og Östergötlands län.

Toget, et Y1-motorvognsett, ble kjøpt inn og bygget om i 2005. Fra 19. april 2006 trafikkerte toget strekning Linköping–Kalmar. Fra januar til juni 2010 trafikkerte det strekningen Linköping–Kalmar. Toget lagret biogassen i komprimert form, CBG, i tolv tanker om bord. Samlet tilbakela toget mer enn 154 000 km i ordinær drift. Toget ble tanket fra et mobilt gasslager i testperioden.

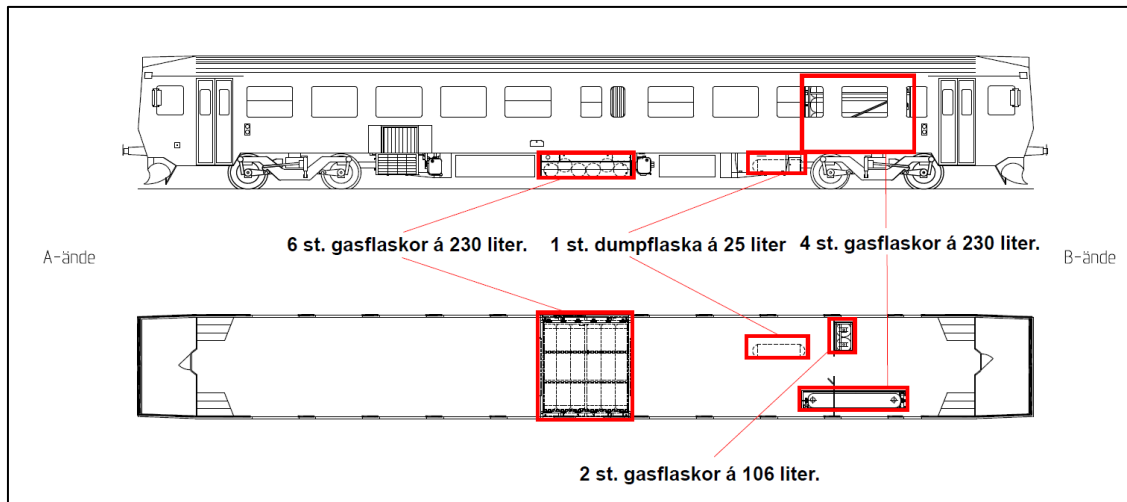


Figur 7.9: Strekningene biogasstoget Amanda kjørte på i Sverige.

Biogassen blir laget av Svensk Biogas i Linköping, som eies av Tekniska Verken. De har i dag et anlegg som produserer 120 GWh oppgradert biogass til transport i året, tilsvarende Nordlandsbanens årlige energibehov, fra lokalt søppel og slakteriavfall.

Tekniske spesifikasjoner:

- Type: Y1:a
- Motor: 2 Volvo GH10B gassmotorer
- Gasstanker: 12 stk CBG
- Rekkevidde: 600 km



Figur 7.10: Illustrasjon som viser plassering av gasstanker i biogastoget «Amanda»

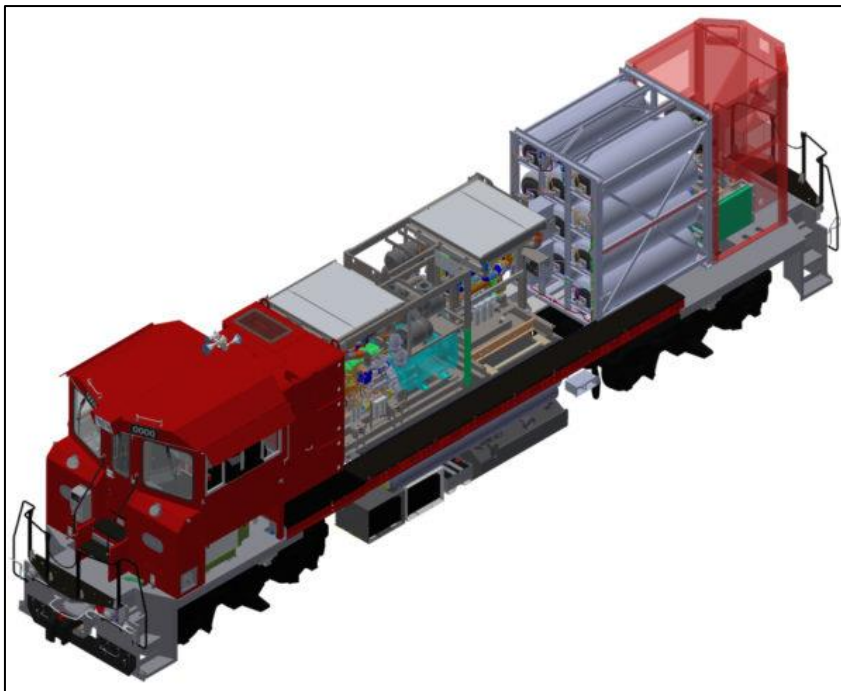
Tekniske verken opplyser at de ikke opplevde noen driftsproblemer på grunn av gassen. Samtidig opplyser de om at vedlikeholdskostnadene var på samme nivå som for dieselmotoren til Y1 toget. **Selve ombyggingen av dette ene toget kostet 3,7 millioner SEK.**

Tekniske Verken er av den oppfatning at Amanda toget var en suksess omdømmemessig for deres biogassatsning. Den Svenske kongen var med på en togtur og hele prosjektet ga mye nasjonal og internasjonal publisitet.

7.2.2 Nord-Amerika

Jernbaneoperatørene Indiana Harbor Belt Railroad (IHBR), Florida East Coast Railway (FECRWY), Canadian National (CN), Burlington Northern & Santa FE (BNSF) Railway, CSX Transportation, Union Pacific (UP) Railroad, Norfolk Southern (NS) Railway og Napa Valley Railroad (NVR), har testet eller planlagt testing av gassdrift for tog. Av disse er det IHBR og FECRWY som er storskalaprojekter. De andre prosjektene er piloter, der et eller to lokomotiver testes og utvikles. Pilotprosjektene til CSX (1 lok), NS (1 lok) og CN (2 lok), er ikke drift lenger. UP har ingen lokomotiv i drift per i dag, men planlagt idriftsettelse av to dual-fuel lokomotiv i løpet av kort tid.

IHBR er en amerikansk skiftoperatør med 46 lokomotiv i porteføljen. I samarbeid med US Department of Transportation (US DoE) skal de konvertere 31 lokomotiver fra diesel til dual-fuel-drift. 21 av lokomotivene er skiftelokomotiver, SW1500 (1,1 MW), som benyttes til enkle operasjoner av vogner på stasjoner. 10 av lokomotivene brukes til lengre transport av gods («Short-haul locomotives») og har en motorkapasitet på 2,2 MW. Lokomotivene vil bruke sylinderformede Type IV CNG-titan lagringstanker fra Hexagon Lincoln, vist i Figur 7.11, og dual-fuel motoren C-18 fra Caterpillar. Per i dag så er et av lokomotivene i drift, og det er forventet at resten vil være klar til idriftsettelse i løpet av mars 2021.



Figur 7.11: Designskeisse av lokomotivet til Indiana Harbor Belt Railroad (IHBR).
 Kilde: <http://www.fleetsandfuels.com/fuels/cng/2017/04/optifuel-for-ihbs-cng-locomotives/>

FECRWY er et amerikansk jernbaneselskap, som i 2016 begynte å konvertere GE-lokomotivene sine fra diesel til dual fuel drift. Etter godkjenning fra Federal Railroad Administration (FRA) har de intensivert konverteringen, og har planlagt at 24 lokomotiver skal konverteres i løpet av 2017. Per i dag er 14 av disse lokomotivene ferdigstilt. Naturgassen skal lagres som flytende (LNG) i tendervogner [57].

Et annet spennende gassprosjekt i USA er prototypeprosjektet til VeRail, med støtte fra California Energy Commission (CEC). Lokomotivet skal benytte en gassmotor og naturgassen blir lagret i komprimert form (CNG). Gassylindrene er plassert på samme sted som dieseltanken vanligvis lagres på tog. Dette prosjektet skiller seg ut fra andre piloter, da det er et hybrid-gasslokomotiv (med batteri). Det gjør det spesielt interessant for Nordlandsbanen, da de geografiske forholdene tilsier at et hybrid system er en fornuftig løsning med tanke på energibesparelsen det medfører.

7.2.3 Russland

I juni 2016 ble en samarbeidsavtale mellom det russiske olje- og gasselskapet Gazprom, Russian Railways og flere utstyrsleverandører, inngått for å øke andelen naturgass til jernbane og vei-transport. Miljøgevinst samt bruk og promotering av nasjonale energiresurser har vært avgjørende faktorer for denne avtalen [55].

Utviklingen av gasslokomotivet TEM19 startet i 2012, med påbegynt testing i løpet av 2013 [53]. Toget gjennomførte totalt 1,232 testtimer og ble godkjent av myndighetene i juni 2015, og deretter overlevert til jernbaneoperatøren Russian Railways. TEM19 inneholder blant annet førerhus, kjølesystem, LNG matesystem, avtakbar LNG tank, motor-generator sett, kompressor og elektrodynamiske bremses. Systemet har også et automatisk brann- og gassdeteksjonssystem. For øyeblikket er det planlagt å bygge totalt 50 slike lokomotiver, som skal brukes til skifteoperasjoner. De har i tillegg utviklet LNG-lokomotivet GT1h-002, se Figur 7.12, som skal brukes til å frakte gods. Pilotprosjektet startet testingen i mai 2016 på en 700 km lang strekning.



Figur 7.12: GT1h-002 lokomotivet til Russian Railway.

7.2.4 Europa

I Europa har det foreløpig vært få gassrelaterte prosjekter for jernbane. Det har vært, eller utføres for øyeblikket, pilotprosjekter i Sverige, Spania, Litauen og Tsjekkia. Samtidig bør det nevnes at hydrogentoget til Alstom testes for øyeblikket i Salzgitter, Tyskland.

Renfe, Gas Natural Fenosa og Enagàs samarbeider om et LNG-pilotprosjekt for persontog i Spania. Toget bruker en gassmotor og en dieselmotor, slik at driften fra disse kan sammenlignes. For øyeblikket er toget under bygging, og det er forventet idriftsettelse i løpet av 2017. Toget skal testes på en 20 kilometer lang strekning [58].

I Tsjekkia ble et diesel-elektrisk passasjerlokomotiv ombygd til å bruke CNG som drivstoff [59]. Fra januar-juni 2015 ble lokomotivet testet av Czech Railway. Pilotprosjektet var et samarbeid mellom ulike interessenter i Tsjekkia. Lokomotivet bruker to stk. 260 kW gassmotor fra Tedom (TG 250 AV), som benytter teknologi utviklet av Omnitek Engineering Corp. Det veier totalt 64 tonn med en maksimal hastighet på 80 km/h. Dieseltanken ble erstattet med CNG sylindere som hadde en total kapasitet på 3,430 liter (CNG ved 250 bar). Dette ga toget en rekkevidde på 510 km.

30. mars 2017 ble det signert en avtale mellom Lithuania Railways, laste- og losse selskapet Bega, olje- og gassterminaloperatøren Klaipėdos Nafta, Vilnius Gediminas Technical University og Klaipėda University, om å utvikle et LNG skiftelokomotiv [60]. Målet med prosjektet er å redusere driftskostnader og klimagassutslipp, sammenlignet med et diesellokomotiv.

7.2.5 Asia

I Asia er det gassprosjekter for tog i Kina, Indonesia [61] og India [55]. Av disse landene står India for den største andelen gass-lokomotiv [62]. Allikevel er det i dag ca. 5,000 diesellokomotiver og 4,500 elektriske lokomotiver i India [63]. Indian Ministry of Railways ønsker å redusere utslippene fra disse med 33 % innen 2030 [64]. De ønsker å oppnå reduksjonen ved og blant annet konvertere diesellokomotiver til CNG- eller LNG-drift. I tillegg er det et ønske om å redusere de årlige drivstoffkostnadene som er på omlag \$ 4.8 milliarder. Per i dag så har Indian Rail-

ways testprosjekter av både CNG- og LNG-tog. De har 19 lokomotiver som er designet for å subsidiere 20 % diesel med CNG. De arbeider for øyeblikket med å øke andelen CNG til 40 % på disse togene. I tillegg har Indian Railway bestilt konvertering av 30 nye motorvogner (DEMU³). Et annet interessant aspekt med disse lokomotivene er at de arbeider med å installere monokrystallinske solceller på taket.

7.3 Forventet tilgjengelighet for gassdrevet materiell

Ved å se på den planlagte økningen av gasslokomotiv verden over, kan man forvente at det vil bli en økt tilgjengelighet av gasstog, som da også kan gå på biogass.

En økt bruk av gass som drivstoff til jernbane i Nord-Amerika har ført til at flere leverandører, som Ve Rail, GFS Corp, GE og ECI, leverer tekniske løsninger for å konvertere fra diesel- til dual-fuel-drift. Tidligere har flere av prosjektene vært piloter, men det er en gjennomgående trend at flere selskaper ønsker å konvertere hele eller større deler av togflåten. Indiana Harbor Belt Railroad (31 lokomotiver) og Florida East Coast Railway (24 lokomotiver) er eksempler på dette. Det er betydelig færre konverteringsprosjekter fra diesel til ren gassdrift.

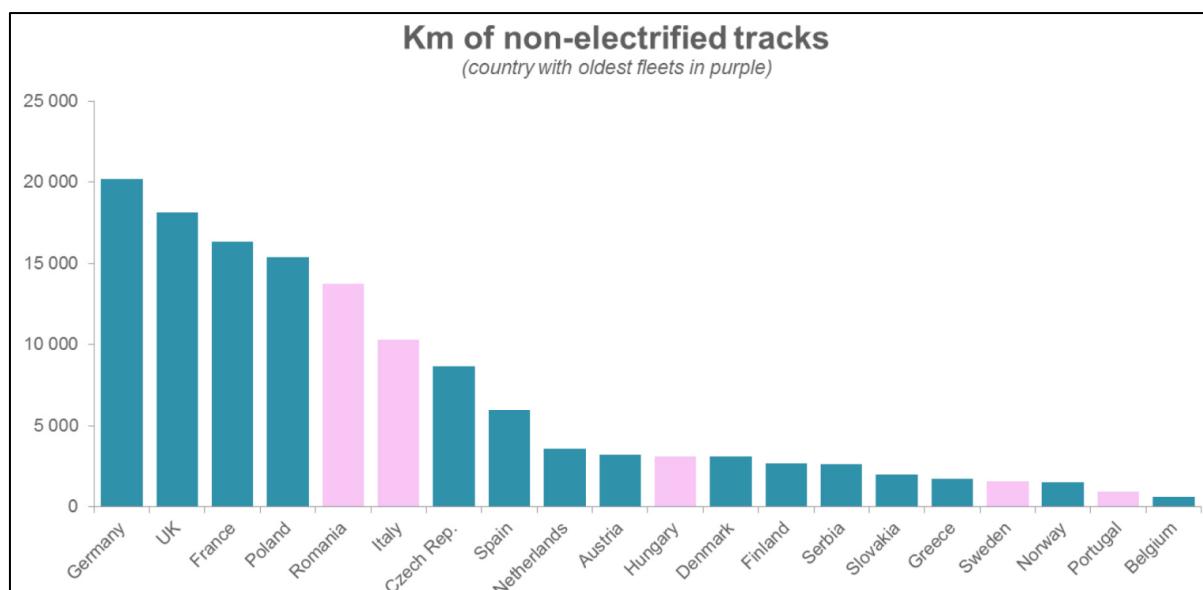
En økende interesse i gass som drivstoff for jernbane har ført til at det er flere produsenter som designer og bygger gassmotorer. MAN, Cummins, Liebherr, Caterpillar/EMD, Rolls Royce/MTU, Mitsubishi, Volvo og GE, er eksempler på dette.

Det er forventet en økning av bruk av gass til skip (LNG) i årene som kommer, ettersom det blir strenge krav i til lavere utslipp av svovel og NO_x i flere områder med mye shipping. Gassmotorer oppfyller disse kravene uten ekstra renseteknologi, og det er derfor forventet en økt mengde skip på LNG. Denne utviklingen vil sannsynligvis også øke tilgjengeligheten av gassmotorteknologi til bruk på tog.

7.4 Gassdrift i et internasjonalt perspektiv

Det er i dag rundt 100 000 dieseldrevne lokomotiver i verden. Det er et betydelig markedspotensial globalt for gasstog. Figur 7.13 viser antall kilometer med ikke-elektrifiserte jernbanelinjer i Europa. Det er klart at det er et stort potensial i Europa for nye drivstoff til tog. Tyskland er i tillegg det landet i Europa som produserer mest biogass, med en årlig produksjon på 7 200 GWh [39]. Det meste av Tysklands biogass føres inn i de eksisterende rørnettverkene for naturgass, framfor å brukes til transport. Tog på biogass vil kunne utgjøre et betydelig bidrag til å redusere Tyskland sine klimagassutslipp og utslipp av lokal forurensing.

³ Diesel Electric Multiple Unit (DEMU)



Figur 7.13: Det er et stort antall kilometer med ikke-elektrifiserte jernbanelinjer i Europa. Det er et stort potensial for nye drivstoff, blant annet biogass. Kilde Teknisk Ukeblad [65] .

7.5 Norge sin rolle som pådriver

Norge har vært en pådriver for flytende naturgass (LNG) via NOx-fondet og for elbiler via avgiftslettelser. Dette har bidratt til en sterk posisjon for Norsk industri med tanke på LNG drevne skip, produksjon, lagring og transport av LNG. Norge har nå en mulighet til å kombinere kunnskapen som finnes i Norge med LNG som drivstoff til skip, til å kunne være både en foregangsnasjon og en pådriver for bruk av flytende biogass (LBG) til jernbane, på en måte som også kan styrke Norsk industri.

Norge kan på den måten bli en pådriver for utvikling av ny teknologi som så kan tas i bruk i andre deler av verden for å redusere globale klimautslipp.

Sverige er kommet langt med utvikling av gassdrevne tog. Vi anbefaler et samarbeid mellom norske og svenske jernbanemyndigheter om videreutvikling av biogasstog.

8. SIKKERHET OG RISIKO

Hensikten med dette kapitlet er å gi prosjektet en oversikt over hvilke krav som gjelder i forbindelse med prosjektet Nordlandsbanen på Biogass.

- I et sikkerhetsperspektiv er det ikke gjort funn som skulle tilsi at forholdene på Nordlandsbanen umuliggjør bruk av LBG som drivstoff.
- Det anbefales at det som en del av videre undersøkelser og utredninger gjennomføres detaljerte risikovurderinger.

8.1 Sikkerhet

8.1.1 Lover og forskrifter

Jernbaneloven og Jernbanerelaterte forskrifter og standarder (

Referanse	Beskrivelse	Relevans
LOV-1993-06-11-100	Jernbaneloven	Diverse krav – godkjenning rullende materiell, vedlikehold o.l
FOR-2016-12-20-1771	Jernbaneforskriften	Krav til jernbaneforetak
FOR-2010-06-16-820	Samtrafikkforskriften	Krav - endring av kjøretøy (fornyelse eller oppgradering)
FOR-2008-02-29-240	Togframføringsforskriften	Krav til at togframføring, skifting og arbeid i spor skal gjennomføres sikkerhetsmessig forsvarlig
FOR-2011-04-11-389	Sikkerhetsstyringsforskriften	Krav til sikkerhetsstyring
FOR-2014-10-27-1344	Forskrift om felles sikkerhetsmetode for risikoevaluering og -vurdering (Common Safety Method on Risk Evaluation and Assessment; CSM RA-forskriften)	Krav - vesentlige endringer i Jernbanesystemet må dokumenteres.
FOR-2015-07-01-848	Forskrift om sikring på jernbane	Krav til å arbeide systematisk og proaktivt for å unngå tilsiktede uønskede handlinger og begrense konsekvensene av dem.
FOR-2016-12-19-1846	Forskrift om kjøretøy på jernbanenettet (kjøretøyforskriften)	Krav - Melding til Statens jernbanetilsyn med beskrivelse av prosjekt/kjøretøy risikovurdering

8.1.2 TSI-er (Tekniske Spesifikasjoner for Interoperabilitet)

I følge samtrafikkforskriften skal delsystemer utformes i henhold til TSI-er. Følgende TSI-er vil komme til anvendelse for prosjektet:

Referanse	Beskrivelse	Relevans
FOR-2015-07-23-913	TSI-rullende materiell – lokomotiver og rullende materiell for passasjertrafikk (TSI LOC & PAS-forskriften)	Krav til rullende materiell – lokomotiver og rullende materiell for passasjertrafikk
FOR-2015-11-12-1306	Forskrift om gjennomføring av den tekniske spesifikasjonen for samtrafikkveier som gjelder for delsystemet «rullende materiell - støy» (TSI-støy)	
FOR-2012-06-19-564	TSI-drift og trafikkstyring på det nasjonale jernbanenettet	Krav til drift og trafikkstyring
FOR-2015-06-16-685	TSI – Sikkerhet i jernbanetunneler (TSI SRT)	Krav til sikkerhet i jernbanetunneler

8.1.3 Lovpålagte standarder

Referanse	Beskrivelse	Relevans
NS-EN 12561-1:2011	Jernbane Tankvogner Del 1: Identifikasjonsskilt for tankvogner som frakter farlig gods	
NS-EN 12561-3:2011	Jernbane Tankvogner Del 3: Ventiler for bunnfylling og bunnømming av flytende gasser under trykk	
EN 50126	EN 50126: Railway applications – The specification and demonstration of Reliability, Availability, Maintainability and Safety (RAMS)	

8.1.4 Andre lover og forskrifter

Referanse	Beskrivelse	Relevans
FOR-2009-06-08-602	Forskrift om håndtering av brannfarlig, reaksjonsfarlig og trykksatt stoff samt utstyr og anlegg som benyttes ved håndteringen	Forskriften regulerer håndtering av farlig stoff og utstyr og anlegg, herunder rørledninger med tilhørende systemer, som benyttes ved håndtering av farlig stoff. Forskriften regulerer prosjektering, konstruksjon, produksjon, omsetning, installasjon, drift, endring, reparasjon, vedlikehold og kontroll av utstyr og anlegg som benyttes ved håndtering av farlig stoff.
FOR-2009-04-01-384	Forskrift om landtransport av farlig gods	Krav til å verne liv, helse, miljø og materielle verdier mot uhell, ulykker og uønskede tilsiktede hendelser ved landtransport av farlig gods.
FOR-2016-06-03-569	Forskrift om tiltak for å forebygge og begrense konsekvensene av storulykker i virksomheter der farlige kjemikalier forekommer (storulykkeforskriften)	Formålet med forskriften er å forebygge storulykker der farlige kjemikalier inngår og å begrense konsekvensene slike ulykker kan få for mennesker, miljø og materielle verdier.
LOV-2002-06-14-20	Brann- og eksplosjonsvernloven	

8.1.5 Øvrige standarder, normer og håndbøker

8.1.5.1 Håndbøker/ veiledere til DSB

Direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap har utarbeidet håndbøker og veiledere som omhandler farlige stoffer.

Referanse	Beskrivelse	Relevans
Veileder 978-82-7768-403-1 (DSB)	Veileder for saksbehandling og ivaretagelse av brann- og elsikkerhet i jernbane- og banetunneler	Se til at krav gitt med hjemmel i brann- og eksplosjonsvernloven, el-tilsynsloven, jernbaneloven og plan- og bygningsloven blir etterkommet.
Håndbok ISBN-nummer 978-82-450-1984-1	ADR/RID Forskrift om landtransport av farlig gods 2017	Landtransport av farlig gods reguleres av forskrift 1. april 2009 nr. 384 om landtransport av farlig gods (landtransportforskriften), som inkorporerer den norske oversettelsen av vedleggene til den europeiske avtalen om internasjonal veitransport av farlig gods (ADR) og det internasjonale reglementet for transport av farlig gods på jernbane (RID).

8.1.5.2 Øvrige standarder

Referanse	Beskrivelse	Relevans
EN45535	Railway standards on fire safety on rolling stock	
EN45545	Railway applications. Fire protection on railway vehicles.	

Referanse	Beskrivelse	Relevans
EN45535	Railway standards on fire safety on rolling stock	
EN45545	Railway applications. Fire protection on railway vehicles.	

8.2 Risiko

Sikkerhetsvurdering – Bruk av flytende metan som drivstoff på Nordlandsbanen

Bakgrunn og formål

Denne sikkerhetsvurderingen ble gjennomført i forbindelse med Norsk Gassforums initiativ til en studie som skal belyse miljø-, klimamessige og økonomiske konsekvensene av å legge om til biogass (flytende metan; LBG) som drivstoff for tog på ikke elektrifiserte jernbanestrekninger. Det foregår allerede frakt av både LBG og propan på norsk jernbane (Bergen – Alnabru Trondheim), men som drivstoff i tog har LBG ennå ikke blitt benyttet.

Formålet med sikkerhetsvurderingen var en analyse av sikkerhet knyttet dieseldrift (nåsituasjon) i motsetning til LBG-drift (fremtidig situasjon). Sikkerhetsvurderingen er overordnet og skal besvare spørsmål om sikkerheten ved fremtidig situasjon gitt dagens kunnskap kan betegnes som tilfredsstillende, slik at mer detaljerte undersøkelser og utredninger kan gjennomføres.

Avgrensninger

Følgende avgrensninger er gjort mht. vurderingen:

- Banestrekning Nordlandsbanen.
- Fokus på tunnel, men ikke avgrenset til tunnel. Da Ilhulla tunnel har karakteristika som vurderes som spesielt utfordrende (vertikalgeometri og lengde) benyttes denne tunnelen som dimensjonerende case.
- Vurderingen baseres på et tenkt «verste-fall-scenario» - brann/eksplosjon i tunnel.
- Fremtidig situasjon vurderes i forhold til nåsituasjonen.

Forutsetninger

- Togdrivstoff: Biogass (flytende metan; LBG).
- Drivstofftank er integrert i lokomotivet.
- Drivstofftank og rørarrangementer er utstyrt med trykkløser og deteksjonssystemer.
- Tunneltverrsnitt er likt nåsituasjonen.

Sikkerhetsworkshop

For å besvare ovennevnte spørsmål har det blitt avholdt en sikkerhetsworkshop 20.06.2017.

Deltakerne på workshopen er listet opp i tabellen nedenfor.

Navn	Rolle	Virksomhet
Per Kragseth	Daglig leder	Norsk Gassforum
Trude Gullaksen	Kommersiell sjef	Gasnor
Geirmund Vislie	EVP Global Consulting	Gexcon
Eva Aandahl	Senior Engineering LNG	Gexcon
Lars Tveitan Østvold	Sales Manager Clean Energy	AGA
Hans Einar Lundli	Seniorrådgiver	Jernbanedirektoratet
Bjørn Bryne	Seniorrådgiver	Jernbanedirektoratet
Eirik Ovrum	Prosjektleder, Fagspesialist energi til transport, Ph.D.	Rambøll Norge
Jonas Myklebost	Rådgiver	Rambøll Norge
Johan Narvestad Fatnes	Fagansvarlig jernbaneteknikk	Rambøll Norge
Sana Kahn	Prosessleder og sikkerhetsrådgiver	Rambøll Norge
Håvard Gilja	Sikkerhetsrådgiver	Rambøll Norge

Scenariobeskrivelse

Tog med metanlekkasje kjører inn i tunnel og må stoppe. Tunnelen har et høybrett og er uten vifter. En gassansamling oppstår, og denne antennes med påfølgende brann eller eksplosjon.

Resultater

Resultatene fra sikkerhetsvurderingen presenteres i det følgende som en grov opplisting av sentrale forutsetninger som må være stede for at scenarioet brann eller eksplosjon i tunnel skal inntreffe.

Følgende fire overordnede forutsetninger må være tilstede:

1. Gasslekkasje.
2. Gasslekkasjen detekteres ikke.
3. Gassansamling oppstår i tunnelen.
4. En tenkildende antenne gassansamlingen.

Forutsetninger for lekkasje:

- Skade på tank. Tankene har dobbelt skall (vakuum).
- Skade på rørarrangement.

For at en av de to ovennevnte hendelsene skal inntreffe krever det at tank eller rørarrangement utsettes for påkjenninger, enten akutt eller over tid. Møtekollisjon, avsporing og steinsprang kan gi akutte lekkasjer, men det vurderes som lite sannsynlig at disse skal inntreffe i en tunnel med lekkasje som konsekvens. Pga. sikkerhetssystemer er møtekollisjoner er en hendelse med lav sannsynlig generelt i Norge og også på Nordlandsbanen. Automatisk deteksjonssystem mht. tog på kollisjonskurs er ikke installert på Nordlandsbanen, men togbevegelser overvåkes fra togledersentralen i Bodø.

Denne delen av Nordlandsbanen har lav trafikk sammenlignet med mange andre jernbanestrekninger i Norge. En møtekollisjon vil være svært alvorlig for både dieseldrevne tog og tog som er drevet av LBG. Det er ikke gjort nærmere vurdering av hvilken av disse scenarioene som vil gi den mest alvorlige konsekvensen. Avsporing i tunnel trolig ikke gi lekkasje da tunnelenes tverrsnitt er såpass smalt at toget ikke vil velte. To ulykker på veg (inkl. roll-over/velt) i Norge i forbindelse med frakt av biogass de senere år har ikke ført til lekkasje.

Skade på tank eller rørarrangement som oppstår som følge av påkjenninger over tid vil kunne oppdages og repareres gjennom vedlikeholdsprogram.

Forutsetninger for at lekkasje ikke oppdages:

- Lekkasjedetektorer i tank eller rørsystem er ute av funksjon.
- Det er ikke installert detektorer i tunnelen eller at installerte detektorer i tunnelen er ute av funksjon.

Tank og rørarrangement vil ha deteksjonssystemer. Deteksjonssystemer i tunnel kan installeres dersom dette vurderes som nødvendig.

Forutsetninger for en betydelig gassansamling tunnel:

- Det er et høybrekk i tunnelen. Metan er lettere enn luft, stiger opp og kan ansamles i høybrekk.

- Det er liten eller ingen naturlig ventilasjon.
- Tog med en større uoppdaget lekkasje kjører inn i tunnelen eller en større lekkasje oppstår i tunnelen.
- Lekkasjen pågår over lengre tid.
- Toget må stoppe og blir stående i tunnelen (bevegelse i toget vil sannsynligvis tynne ut gassen så mye at den ikke vil kunne antennes).

Forutsetninger for at gassansamling skal føre til brann eller eksplosjon:

- Tennkilde(r). Det er få tennkilder i et tog som står stille. For et tog i bevegelse vil en potensiell tennkilde være gnister fra skinnene i forbindelse med bremsing e.l., men i og med at metan stiger opp og luften er i bevegelse er det lite trolig at gassen antennes. Ved avsporing i tunnel vil gnister kunne oppstå som følge av friksjonen mellom lokomotiv eller vogner og bergveggen, men dette fordrer at det allerede er en større lekkasje og gassansamling i tunnel. Dvs. at de ovennevnte forutsetningene er tilstede.

Et scenario som ble gjennomgått i sikkerhetsworkshopen var persontog som kjører inn i tunnel med større gassansamling etter lekkasje fra et annet tog. Pga. manglende oksygen kan motoren kveles, og eksplosjon inntreffer pga. gnister i forbindelse med forsøk på å restarte motoren. Da ovennevnte forutsetninger må være tilstede, vurderes dette scenarioet som mindre sannsynlig. Samtidig foregår det allerede frakt av LBG på norsk jernbane. Om en evt. gasslekkasje stammer fra lokomotivet eller en vogn vurderes ikke å utgjøre noen forskjell.

Konsekvenser ved brann:

- Brann i tog i tunnel vil være alvorlig kunne føre til flere dødsfall.

Konsekvenser ved eksplosjon:

- En eksplosjon vil være svært alvorlig og sannsynligvis føre til flere dødsfall.

Konsekvenser ved både brann og eksplosjon vil kunne forsterkes av begrensninger i tunnelenes sikkerhetsutrustning (lite tverrsnitt, manglende gangbaner, manglende ledelys og manglende retningsgivende skilter). Disse forholdene er potensielle konsekvensforsterkere også i nåsituasjonen med dieseldrift.

Konklusjon og anbefalinger

Ut i fra denne overordnede sikkerhetsvurderingen antas det at faren knyttet til å benytte LBG som drivstoff i tog på Nordlandsbanen vil være lik eller redusert sammenliknet med nåsituasjonen. I et sikkerhetsperspektiv er det ikke gjort funn som skulle tilsi at forholdene på Nordlandsbanen umuliggjør bruk av LBG som drivstoff.

Sikkerhetsvurderingen tilsier dermed at det er mulig å gå videre med mer detaljerte undersøkelser og utredninger.

Anbefalinger basert den overordnede sikkerhetsvurderingen:

- Som en del av videre undersøkelser og utredninger, gjennomføre detaljert(e) risikovurdering(er).

9. ØKONOMI

I dette kapitlet diskuteres overordnede tall for økonomien for en Nordlandsbane på biogass. For å få et godt grunnlag til å vurdere drivstoff tas det også med enkelte tall for drift på biodiesel, estimerer for hydrogendrift og kostnader for elektrifisering med kjøreledning.

Tabellen under viser hovedtall for investering og drift for de tre alternativene:

Type	Investering i kr	Driftskostnader på år i kr
Biogass	606 000 000	124 600 000
HVO	326 000 000	174 000 000
EL	8 000 000 000	

Investeringene for biogass er

Del	MNOK
Fyllestasjon for LBG i Bodø, Mo-i-Rana og Trondheim	33
Ombygging av eksisterende dieseltog til gassdrift	149
Nye gasslokomotiv	424
Sum	606

Investering for biodiesel (HVO) er

Del	MNOK
Nye diesellokomotiv	326

Dagens årlige dieselkostnader er: 81,3 MNOK

Elektrifisering av hele Nordlandsbanen estimert til mer enn: 8 000 MNOK

Til slutt i dette kapitlet sammenlignes hovedkostnadene ved to økonomiske scenarier

- 1) Nordlandsbanen på biodiesel (HVO)
- 2) Nordlandsbanen på biogass (LBG)

I dette caset gir Nordlandsbanen på biogass en høyere nåverdi enn bruk av biodiesel (HVO), og det viser at biogass er konkurransedyktig med biodiesel (HVO) og kan lønne seg rent bedriftsøkonomisk.

Samfunnsøkonomisk vil en Nordlandsbane på biogass bidra til en verdiskapning på 249 MNOK og 212 årsverk årlig [66], i tillegg til å være lokal sirkulærøkonomi i praksis, hvor et avfallsproblem løses og næringsstoffer til jordbruket gjenvinnes.

9.1 Økonomi ved biogass – bedriftsøkonomiske betraktninger

For å vurdere hvilket teknologivalg som er riktig for en lavutslipps Nordlandsbane må man også kunne vurdere kostnadene ved de forskjellige valgene.

9.1.1 Fyllestasjoner for biogass

Togtilbudet for persontrafikk på Nordlandsbanen er vist i Figur 5.13. På bakgrunn av disse togrutene foreslås det tre fyllestasjoner for LBG som til sammen kan forsyne hele Nordlandsbanen med biogass: i Bodø, Mo i Rana og i Trondheim. AGA opplyser om at fyllestasjoner for LBG i den størrelsen som er aktuelt for Nordlandsbanen ligger på 10 – 12 MNOK. Det vil da totalt bli en kostnad på 33 MNOK for LBG fyllestasjoner til Nordlandsbanen.

9.1.2 Ombygging av eksisterende dieseltog til gassdrift

Fra møter med selskapet Hexagon [67] som har hatt flere prosjekter med ombygging av eksisterende diesellokomotiver til både rein gassdrift og til dual-fuel motorer, har vi dette prisestimatet.

Tabell 9.1: Kostnad ved å bygge om et dieseldrevet lokomotiv til et gassdrevet lokomotiv.

Konverteringstype, fra diesel til	Kostnad per lokomotiv [MNOK]
Gassdrift	10,6

Her har vi tatt utgangspunkt i prisestimatene fra Hexagon for amerikanske lokomotiv og priser for diesellokomotiv i Jernbaneverkets metodehåndbok [68], og antatt at kostnadene ved ombygging er proporsjonale med prisen for lokomotivet.

9.1.3 Nye gasstog

Fra Hexagon og Rambøll Finland har vi fått estimerer på at et gasslokomotiv vil koste 20-30 % mer enn et tilsvarende diesellokomotiv. Vi har valgt å bruke 30 % merkostnad som et estimat. Ved å hente diesellokomotivpriser fra Jernbaneverkets metodehåndbok [68] får vi da priser for diesel- og gasslokomotiv som vi bruker i de økonomiske analysene.

Tabell 9.2: Pris for nytt diesellokomotiv er hentet fra Jernbaneverkets metodehåndbok [68]. Pris for nytt gasslokomotiv er estimert til å være 30 % høyere.

Lokomotivtype	Pris [MNOK]
Diesel	25,1
Gass	32,6
EL – kjøreledning	34,9

9.1.4 Årlig drivstoffkostnader

I kapittel 5.6.4 er det årlige dieselforbruket på Nordlandsbanen estimert til 12,51 millioner liter. Skulle hele Nordlandsbanen gått på HVO i stedet, ville det tilsvare et forbruk på 12,89 millioner liter, på grunn av forskjeller i tetthet og brennverdi på HVO [69] og fossil diesel [70]. Den tilsvarende energimengden fås i 9176 tonn LBG [71].

For diesel er prisanslaget på 6-7 kr/l hentet fra [41]. For biodiesel (HVO) er prisestimer svært usikre på grunn av nye innblandingskrav samt en ventet stor etterspørsel. Til beregningene våre bruker vi et prisestimat på 13,5 kr/l for HVO, som er et anslag oppgitt av en leverandør. Prises-

timater for biogass (LBG) er også svært usikre, se kapittel 4.5, og vi bruker et estimat fra en leverandør på 1 kr/kWh for LBG.

Tabell 9.3: Estimerte priser med tilhørende total årlig drivstoffutgift for Nordlandsbanen, for diesel, biodiesel (HVO) og flytende biogass (LBG). Prisene på HVO og LBG er forbundet med stor usikkerhet.

Drivstoff	Estimert pris	Årlig utgift [MNOK]
Diesel	6,5 kr/l	81,3
HVO	13,5 kr/l	174,0
LBG	1 kr/kWh	124,6

9.1.5 Elektrifisering med kjøreledning

Den vanligste energibæreren for jernbane i Norge er elektrisitet via kjøreledning. Som nevnt i kapittel 5.5 er det satt av rundt 3,5 milliarder kroner til elektrifisering av Meråkerbanen og Trønderbanen. I en Sintef rapport fra 2015 [46] er det antatt av elektrifisering av den gjenstående delen av Nordlandsbanen vil koste minst 8 milliarder kroner.

Kostnadene ved å bygge kjøreledning til hele Nordlandsbanen har lenge vært vurdert til å være for høye, særlig med tanke på at tunnelene på banen måtte ha blitt utvidet for å få plass til kjøreledning. Infrastrukturkostnadene ved å bygge kjøreledning langs hele banen, samt kjøpe nye elektriske tog og lokomotiv, er en størrelsesorden større enn kostnadene ved å bygge LBG fyllestasjoner og ved å kjøpe nye biogasstog.

Tabell 9.4: Overordnet sammenligning av elektrifisering av hele Nordlandsbanen og Nordlandsbanen på biogass. Elektrifisering av resten av Nordlandsbanen vil ha vesentlig høyere investeringskostnader enn Nordlandsbanen på biogass.

Tiltak	Biogass	Elektrifisering
Nye tog	Ja	Ja
Nye lokomotiv	Ja	Ja
Ombygging lokomotiv	Ja	Ja
Fyllestasjoner biogass	33 MNOK	0
Elektrifisering	0	> 8000 MNOK

9.1.6 Sammenligning med hydrogen

Alstom bygger hydrogentog og presenterte dette på Jernbanedirektoratets internseminar september 2017, men en dato for når man kunne bestille togene ble ikke gitt. Teknologien bak hydrogentog og hydrogenproduksjon fra strøm ved elektrolyse er kjent, men de store økonomiske usikkerhetsmomentene er levetiden til brenselcellene om bord på lokomotivet og levetiden til cellene i elektrolysørene.

Brenselceller er en teknologi for å konvertere kjemisk energi til elektrisk energi, svært likt batterier. Brenselceller har høyere effektivitet enn forbrenningsmotorer og utnytter energien i drivstoffet bedre til blant annet transport. Brenselceller kan gå på flere drivstoff, blant annet hydrogen og biogass.

I Sintef rapporten fra 2015 [46] ble det konkludert med at hydrogen var det billigste alternativet, mens i den nyere NTNU-oppgaven [41] ble hydrogen vurdert til å være klart dyrere enn HVO og biogass. Bakgrunnen for de avvikende resultatene er forskjellige antakelser om prisutvikling og levetid for brenselceller.

Hydrogen kan være en god løsning i fremtiden, med potensielt billigere drivstoff enn biodiesel og biogass og lavere infrastrukturkostnader enn kjøreledning, men teknologien er fremdeles dyr med tanke på brenselcellenes pris og deres levetid. Det har så langt ikke vært et stort gjennombrudd for brenselceller i bilindustrien, noe som virkelig kunne ha økt produksjonsvolumet, senket enhetsprisene og bidratt til mere forskning som kunne ha økt levetiden.

9.1.7 Case – sammenligning av HVO og biogass

Det økonomiske scenariet vi vurderer er ombygging av 14 dieseltog til biogass og innkjøp av 13 nye biogasstog, vurdert mot kun innkjøp av 14 nye biodieseltog.

Det er mange mulige scenarier for en mer miljøvennlig Nordlandsbane i fremtiden. Det er flere forskjellige drivstoffmuligheter: biogass, biodiesel, hydrogen, batteri-elektrisk og elektrisk med kjøreledning. Med den delvise elektrifiseringen av Nordlandsbanen fra Trondheim til Steinkjer får man muligheten til å bruke bimodale tog, som både går på elektrisitet fra kjøreledning, og så et annet drivstoff på resten av banen.

For å komplisere bildet ytterligere, så er det forskjellige resterende levetid på dagens tog, hvor Type 92 og Di4 er modne for utbytting, mens Type 93 og CD312 har flere års levetid igjen.

Eierskapsmodellen til CargoNet, hvor de leaser tog, skaper økonomiske utfordringer, men samtidig muligheter for alle de miljøvennlige løsningene bortsett fra for biodiesel. CargoNet har gitt uttrykk for at de ikke ønsker å bygge om diesellokomotivene sine på grunn av leasingavtalen. Vi velger likevel å ta med ombygging av lokomotivene til godstrafikken i caset vårt, siden vi ønsker å illustrere hvordan Nordlandsbanen kan gå helt bort fra fossile og over til fornybare og miljøvennlige drivstoff.

For å illustrere økonomien ved en Nordlandsbane på biogass, har vi valgt å se på et scenario hvor vi sammenligner en fremtidig Nordlandsbane på HVO (avansert biodiesel) og på biogass. Vi må gjøre flere antakelser for å komme fram til et entydig scenario, og de er beskrevet under. Ved å se på forskjellene i investeringskostnader og drivstoffutgifter i en netto nåverdi beregning fra 2021 til 2040, kan vi si noe om kostnadene ved biogass framfor HVO. Investeringene i personvogn er antas like, og vi ser derfor bare på lokomotivkostnader når vi vurderer investeringene for tog.

Det er store usikkerheter forbundet med prisen til både LBG og HVO, og leverandørene er ikke villige til å komme med sikre tall. Det vi har fått i samtaler med leverandørene er omtrentlig anslag på 13,5 kr/l for HVO (noe som tilsvarer 1,42 kr/kWh energi) og 1,0 kr/kWh for LBG. Tabell 9.5 viser at biogass, med disse forutsetningene, lønner seg framfor biodiesel.

I Tabell 9.5 oppsummeres antagelsene som går inn i beregningene til det økonomiske caset. Vi antar 10 nye tog som erstatter Type 92 og 3 nye tog som erstatter Di4. Her blir det da investeringskostnader både for biogasstilfellet og for biodiesel tilfellet, men biogasstogene koster 30 % mer. I tillegg til nye tog, så må man også oppgradere tog til biogass, og vi antar da at 6 Type 93 og 8 CD312 oppgraderes til biogassdrift. I tillegg er det investeringskostnader for LBG fyllestasjoner for biogass.

Det er til sammen en ekstrainvestering for biogass i forhold til biodiesel (HVO) på 280 MNOK. Men på grunn av at biogassen i dette caset har lavere kostnad enn biodieselen (HVO), med en årlig drivstoffutgift på 125 MNOK for biogass og 174 MNOK for HVO, så vil det over en periode på 20 år være en netto nåverdigevinst på 401 MNOK ved å gå for biogass framfor biodiesel (HVO).

Tabell 9.5: Økonomisk case - netto nåverdi beregning av å gå for biogass framfor HVO. Antakelsene og resultatene vises i tabellen under. Antall tog av hver type (se tabellteksten) er tatt fra vanlig bruk på Nordlandsbanen.

Tiltak	
Nyinnkjøp av erstatning for 10 Type 92, med gassmotor framfor dieselmotor	75,3 MNOK
Nyinnkjøp av erstatning for 3 Di4, med gassmotor framfor dieselmotor	22,6 MNOK
3 fyllestasjoner LBG	33 MNOK
Konvertering 8 CD312 til gassmotor	85MNOK
Konvertering 6 Type 93 til gassmotor	63,7 MNOK
Levetid tog og fyllestasjoner	25 år
Kalkulasjonsrente	4 %
Pris HVO	13,5 kr/l (~1,42 kr/kWh)
Pris LBG	1,0 kr/kWh
Drivstoffutgift årlig HVO	174,0 MNOK
Drivstoffutgift årlig LBG	124,6 MNOK
Netto nåverdi (2021-2040) biogass (LBG) minus netto nåverdi for biodiesel (HVO)	401 MNOK

I beregningene er det ikke tatt med eventuelle støttetiltak fra NOx-fondet ved å gå over til biogass. Det er heller ikke tatt med eventuelle støttemidler fra Enova.

Som en forenklet sensitivitetsanalyse kan det sies at netto nåverdien i dette caset er null, det vil si at LBG og HVO vil være like bedriftsøkonomisk lønnsomt med priser på 11,1 kr/l for HVO og 1,0 kr/kWh for LBG. En annen variasjon av parameterne kan gjøres ved å anta at drivstofforbruket reduseres med 40 %. Da vil netto nåverdien, med de andre parameterne like, være 141 MNOK. Det er i hvert fall klart at biogass er konkurransedyktig med biodiesel (HVO), og at det endelige regnestykket på hva som lønner seg rent bedriftsøkonomisk, er svært avhengig av hvordan prisene på HVO og LBG utvikler seg.

Med forskjellige verdier på parameterne kan man få forskjellige utfall av sammenligningen mellom HVO og biogass. Dette caset gir ikke en fasit på den endelige verdien av avgjørelsene, men viser at biogass kan konkurrere med HVO på pris.

9.2 Insentiver og støtte

Insentiver og støtteordninger har vært brukt for å hjelpe til med raskere innføring av andre miljøvennlige teknologier. NOx-fondet har vært en viktig pådriver for å både redusere lokale utslipp av NOx i Norge, men det har også vært en viktig hjelp for Norsk industri til å utvikle seg til å bli verdensledende på naturgass (LNG) drift på skip.

Den Norske elbilsatsingen, med fritak fra avgifter, bompenger og ferjebilletter, samt andre fordeler som lavere årsavgift og mulighet for å kjøre i kollektivfeltet, har i stor grad oppnådd det som var ønsket, nemlig å få raskere innføring av lavutslippsteknologi for biler.

Disse støtteordningene har bidratt til å innføre ny teknologi og til å redusere utslipp i Norge. Støtteordningene for biogass kan forhåpentligvis oppnå like stor grad av suksess.

En mulig insentivmodell, som ville ha hjulpet biogass inn i markedet, ville vært et CO₂-fond modellert etter NOx-fondet. Hvor man betaler inn etter hvor mye man slipper ut, og fondet deler ut midlene i støtte til tiltak som reduserer totale CO₂ utslipp.

9.2.1 NOx-fondet

NOx-fondet kan gi støtte til konkrete tiltak som reduserer lokale utslipp av NOx. NOx-fondet gir ikke støtte til tiltak som er utløst av myndighetspålagte krav [72]. Det vil si at hvis myndighetene krever at Nordlandsbanen skal være elektrifisert med kjøreledning, elektrifisert med batterier eller gå på hydrogen, så vil ikke NOx-fondet kunne gi støtte.

NOx-fondet gir heller ikke støtte til tiltak som er helt eller delvis finansiert med statlige tilskudd, for eksempel fra ENOVA.

9.2.2 CO₂-avgift

For biogass og biodiesel er det ingen CO₂-avgift, men i Nasjonal transportplan [19] er det bestemt CO₂-avgift på fossile drivstoff, se Tabell 9.6. Naturgass er i siste nasjonale transportplan også fritatt fra vegbruksavgift, på lik linje med biodiesel og biogass.

Tabell 9.6: CO₂-avgift på fossile drivstoff. Sm³ er standard kubikkmeter gass, og har samme energiinnhold som 1,14 l diesel.

Drivstoff	CO ₂ -avgift
Diesel	1,20 kr/l
Bensin	1,04 kr/l
Naturgass	0,90 kr/Sm ³
Biodiesel	0
Biogass	0

9.2.3 Enova

Enova forvalter midler i Energifondet og eies av Olje- og energidepartementet, og satser sterkt på å støtte bedrifters tiltak for å redusere klimagassutslipp.

Enova har flere forskjellige støttemodeller som kan være aktuelle å søke for et biogassprosjekt for Nordlandsbanen.

Programmet «Fullskala innovativ energi- og climateknologi» [73] under paraplyen «Ny teknologi til transport» gir støtte til bedrifter som vil ta i bruk innovativ energi- og climateknologi.

Et kriterie er at «Teknologien eller løsningen som støttes må være ny og vesentlig forbedret sammenlignet med den beste teknologi som er tatt i bruk i markedet».

Samtidig så sies det at de kan gi støtte til teknologi som gir reduserte klimagassutslipp som følge av bytte fra fossile til fornybare innsatsfaktorer.

Det nevnes og at «Støtteprogrammet skal gjøre det mulig å realisere foregangsprosjekter som ikke blir lønnsomme uten investeringsstøtte». Det vil si at tiltak som en bedrift tjener penger på ikke vil bli gitt støtte.

9.2.4 Klimasats

Fylkeskommuner og kommunale foretak kan søke om støtte til tiltak som reduserer klimautslipp via ordningen Klimasats [74]. Fylkeskommunene langs Nordlandsbanen kan søke om støtte fra klimasats hvis de er en aktiv deltaker i et samarbeid med et eller flere av selskapene som drifter Nordlandsbanen.

9.3 Samfunnsøkonomiske betraktninger

Biogass til transport er en del av en regional sirkulærøkonomi, som både gir miljøvennlig transport og er en del av å løse flere samfunnsproblemer.

- Biogass til Nordlandsbanen vil føre til økt regional verdiskapning på 249,3 MNOK årlig og 211,9 årsverk [66]
- Ved samfunnsøkonomiske analyser i forrige rapport, ble det beregnet til gevinster på om lag MNOK 10 basert på overgang til LNG og om lag MNOK 65 ved overgang til Biogass for gods- trafikken.
- Bruk av biogass til transport er med på å løse et av samfunnets avfallsproblem
- Biogjødsel fra biogassproduksjon tar vare på viktige næringsstoffer til jordbruket
- Reduserte lokale utslipp ved bruk av biogass framfor biodiesel vil gi helsegevinster lokalt
- Norge er verdensledende på LNG (flytende naturgass) til skip og har nå en mulighet til å bli en internasjonal pådriver for LBG (flytende biogass) til transport.

9.3.1 Lokal verdiskapning

Det er tidligere gjort studier som har vurdert verdiskapningen for hele verdikjeden til biogassproduksjon, med oppgaver som

- innsamling og behandling av råstoff
- drift av produksjonsanlegg
- oppgradering til drivstoffkvalitet

- distribusjon av biogassen
- leverandører av utstyr
- utviklingsarbeid

I en rapport fra 2016 [66] estimeres det at for hver GWh produsert biogass, er det en verdiskapning på 2,0 MNOK og det er en sysselsetting på 1,7 årsverk. For Nordlandsbanen på biogass, med et årlig estimert forbruk på 124,6 GWh, tilsvarer det en regional verdiskapning på 249,3 MNOK og 211,9 årsverk.

9.3.2 Biogass og sirkulærøkonomi

Deponering av avfall bidrar til store metanutslipp og biogassproduksjon er med på å løse dette avfallsproblem for samfunnet. Samtidig så kan restene fra visse typer biogassproduksjon brukes som biogjødsel, hvor man tar vare på næringsstoffer fra avfall som trengs i jordbruket. Enkelte næringsstoffer, som fosfor, er ikke fornybare og det er en viktig samfunnsoppgave å innføre disse næringsstoffene i jordbruket igjen. En måte å oppnå dette målet på er å produsere biogass med tilhørende biogjødsel, framfor forbrenning av avfallet [39].

9.3.3 Helse- og miljøgevinster ved reduserte lokale utslipp

Biogass som drivstoff vil medføre en betydelig reduksjon av helse- og miljøskadelige lokale utslipp som NOx og partikler, sammenlignet med dagens tog på Nordlandsbanen. Nye dieselmotorer oppnår stor reduksjon av lokale utslipp (det vil si NOx og partikler) ved å ta i bruk renseteknologi, men for å oppnå disse reduserte utslippene ved bruk av biodiesel på Nordlandsbanen, må man investere i nye diesellokomotiver eller ombygging av de eksisterende.

9.3.4 LNG og NOx-fondet

Norge er i dag verdensledende på å bruke flytende naturgass (LNG, fossilt metan) som drivstoff til skip. Dette er mye takket være Næringslivets NOx-fond, som har gitt støtte til tiltak som reduserer NOx-utslipp i en årrekke. Det er mange bedrifter som sitter på kunnskap og kompetanse om flytendegjøring av metan, biogass (LBG) eller naturgass (LNG), og til transport og bruk av flytende naturgass. Siden flytende naturgass er kjemisk likt som flytende biogass, kan denne kompetansen bidra til å innføringen av flytende biogass som drivstoff i Norge.

Norge har nå en mulighet til å ta en ledende rolle i bruken av LBG til transport. Ved å bruke flytende biogass som drivstoff til Nordlandsbanen, kan Norge bli en internasjonal pådriver for LBG, på samme måte som Norge er det i dag for LNG.

9.3.5 Samfunnsøkonomiske gevinster

Den første rapporten fra COWI gjorde også samfunnsøkonomiske beregninger, hvor man brukte nøkkeltall fra Jernbaneverket og nasjonal godsmodell for samfunnsmessige kostnader ved CO₂- og NOx-utslipp. I sammendraget til rapporten står det, angående utslipp fra godstransport: «I tillegg til bedriftsøkonomiske besparelsen kommer beregnede samfunnsøkonomiske gevinster. I et 10 års perspektiv, med en økende CO₂ kostnad pr. tonn over tid, er disse gevinstene beregnet til om lag MNOK 10 basert på overgang til LNG og om lag MNOK 65 ved overgang til Biogass. Velger vi å se virkningen i et lenger perspektiv, basert på et varig skifte, vil gevinsten øke ytterligere.»

10. OPPSUMMERING OG DRØFTING

Det er flere lavutslippsalternativer for Nordlandsbanen som vi ikke har diskutert i detalj i denne rapporten. På Jernbanedirektoratets seminar september 2017 fikk vi presentert biogass-, hydrogen- og batteritog som mulige alternativ til elektrifisering med kjøreledning for å redusere klimagassutslippene fra de dieseldrevne banene i Norge.

Alle de foreslåtte alternativene til elektrifisering med kjøreledning har gode sider og alle har kostnader og utslipp av klimagasser forbundet ved enten operasjon eller konstruksjon. For eksempel er det CO₂ utslipp forbundet ved Norsk strøm, både ved at vi delvis importerer strøm og at det er utslipp forbundet ved konstruksjon og vedlikehold av vannkraftverk og strømnnett. Hydrogentog er på vei, Stadler utvikler det nå, og det vil være et aktuelt alternativ om noen år. Bombardier utvikler batteritog, som ikke kan gå hele Nordlandsbanen uten å lade, men som kan gå hele strekningen hvis deler av linjen har kjøreledning som lader batteriene underveis.

Et kriterie for å velge togtype, som er av avgjørende viktighet for jernbanen, er teknologiens modenhet og tilgjengelighet. Det er klart at av de lavutslipps-alternativene som finnes for Norske baner, så er elektriske tog med kjøreledning og dieseldrevne tog som kan kjøre på HVO (biodiesel) de mest tilgjengelige i dag. Hydrogentog er per i dag ikke tilgjengelig til å kjøpe inn og er heller ikke satt i kommersiell drift. Det er derfor å vente at det kan ta noe tid før produsentene kan vise til tilstrekkelig pålitelighet.

Gasstog er ikke hyllevare for Norske baner i dag, men teknologien er i bruk andre steder og er moden og brukt til blant annet offshore supply skip i Nordsjøen, hvor pålitelighet og sikkerhet er de aller viktigste kriteriene for valg av motorteknologi. Gasstog er en teknologi som i dag er mer moden enn hydrogen og batteri, og muligheten for å gå til anskaffelse av gasstog i Vest-Europa ser i dag ut til å kun være et spørsmål om å få en togprodusent til å lage det.

Biogass har noen særtrekk i forhold til de andre lavutslippsløsningene. Biogass er lokal sirkulærøkonomi i praksis, hvor avfallsproblemer løses ved å lage miljøvennlig drivstoff og biogjødsel leveres tilbake til jordbruket og i tillegg bidrar til lokal verdiskapning.

En sammenligning av økonomien ved en løsning med Nordlandsbanen på biodiesel (HVO) og på biogass viser at Nordlandsbanen på biogass er konkurransedyktig på pris med HVO.

Anbefalinger:

Biogasstog på Nordlandsbanen vil være et godt alternativ fordi ny kortreist biogassproduksjon i Trøndelag og Nordland, blant annet med lokale avfall fra skogsavfall og oppdrettsnæringen som råstoff kan drive Nordlandsbanen og drastisk redusere klimagassutslippene og helseskadelige utslipp fra togtrafikken vi anbefaler derfor at:

1. Det settes i gang en prosess som har som mål å få leverandører til å tilby biogasstog til Nordlandsbanen.
2. Sverige er kommet langt med utvikling av gassdrevne tog. Vi anbefaler at Jernbanedirektoratet starter et samarbeid mellom norske og svenske jernbanemyndigheter om videreutvikling av biogasstog.
3. Det er en utfordring at det ikke eksisterer et regelverk for biogasstog eller produseres rene biogasstog i Europa. Norske myndigheter oppfordres til å ta kontakt med EU for å få utviklet biogasstog for Europa.

HENVISNINGER

- [1] «regjeringen.no,» 2017. [Internett]. Available: <https://www.regjeringen.no/no/aktuelt/jernbanereformen-med-mange-milepaler-i-2017/id2522928/> .
- [2] «regjeringen.no,» 2017. [Internett]. Available: <https://www.regjeringen.no/contentassets/7c52fd2938ca42209e4286fe86bb28bd/no/pdfs/stm201620170033000dddpdfs.pdf>.
- [3] «jernbanedirektoratet.no,» 2016. [Internett]. Available: <https://www.jernbanedirektoratet.no/no/togkonkurranse/aktuelle-konkurranser/> .
- [4] «regjeringen.no,» 2015. [Internett]. Available: <https://www.regjeringen.no/contentassets/7c52fd2938ca42209e4286fe86bb28bd/no/pdfs/stm201620170033000dddpdfs.pdf>.
- [5] Bane NOR, «Ruteblad nr. 15, BODØ - GRONG,» 10 Oktober 2016. [Internett]. Available: <http://www.banenor.no/globalassets/kundeportal/dokumenter/grafiske-togruter-r17/blad-nr.-15-bodo---grong.pdf>.
- [6] Bane NOR, «Banene,» Juni 2017. [Internett]. Available: <http://www.banenor.no/Jernbanen/Banene/Nordlandsbanen/>.
- [7] Wikipedia, «Nordlandsbanen,» Mai 2017. [Internett]. Available: <http://www.banenor.no/Jernbanen/Banene/Nordlandsbanen/>.
- [8] NSB, «Trønderbanen,» Juni 2017. [Internett]. Available: <https://www.nsb.no/reisemal/regionstrekninger/tronderbanen-lokaltog-i-trondheim-og-trondelag>.
- [9] Bane NOR, «Merakerbanen,» Juni 2017. [Internett]. Available: <http://www.banenor.no/Jernbanen/Banene/Merakerbanen/>.
- [10] Bane NOR, «Dovrebanen,» Juni 2017. [Internett]. Available: <http://www.banenor.no/Jernbanen/Banene/Dovrebanen/>.
- [11] Wikipedia, «Dovrebanen,» Juni 2017. [Internett]. Available: <https://no.wikipedia.org/wiki/Dovrebanen>.
- [12] Wikipedia, «Rørosbanen,» Juni 2017. [Internett]. Available: <https://no.wikipedia.org/wiki/R%C3%B8rosbanen>.
- [13] Bane NOR, «Rørosbanen,» Juni 2017. [Internett]. Available: <http://www.banenor.no/Jernbanen/Banene/Rorosbanen/>.
- [14] Bane NOR, «Raumabanen,» Juni 2017. [Internett]. Available: <http://www.banenor.no/Jernbanen/Banene/Raumabanen/>.
- [15] Jernbanedirektoratet, «Vil styrke grunnlaget for godstrafikken på Raumabanen,» 5 Mail 2017. [Internett]. Available: <https://www.jernbanedirektoratet.no/no/aktualiteter/2017/raumbanen--godsinitativ/>.
- [16] Bane NOR, «Aksellast,» 21 Juni 2017. [Internett]. Available: <http://networkstatement.jbv.no/doku.php?id=vedlegg:akselast>.
- [17] «Jernbaneverket,» [Internett]. Available: <http://orv.jbv.no/sjn/doku.php?id=tunneler:nordlandsbanen>.
- [18] Salten Regionråd, «NTP 2018-2029 - Hva betyr dette for Salten?,» 2017. [Internett]. Available: <http://salten.no/forside/?News=112>.

- [19] Samferdselsdepartementet, «Nasjonal transportplan 2018-2029,» 2017. [Internett]. Available: <https://www.regjeringen.no/contentassets/7c52fd2938ca42209e4286fe86bb28bd/no/pdfs/stm201620170033000dddpdfs.pdf>.
- [20] Bane NOR, «Nasjonal signalplan,» November 2015. [Internett]. Available: <http://www.banenor.no/globalassets/documents/ertms/nasjonal-signalplan.pdf>.
- [21] T. Nicolaisen, «Jenbanen - ambisjoner i Nord?,» 2014.
- [22] «adressa.no,» 2017. [Internett]. Available: <http://www.adressa.no/nyheter/okonomi/2017/10/12/Ikke-penger-til-elektrifisering-av-Tr%C3%B8nderbanen-i-budsjettet-15441440.ece>.
- [23] Bane NOR, «Dobbelspor Trondheim-Stjørdalen til 10 milliarder,» 15 November 2016. [Internett]. Available: <http://www.banenor.no/Prosjekter/prosjekter/dobbelspor-trondheim-stjordan/innhold/2016/dobbelspor-trondheim--stjordan-til-10-milliarder/>.
- [24] Bane NOR, «Hell-Værnes,» Juni 2017. [Internett]. Available: <http://www.banenor.no/Prosjekter/prosjekter/hell-varnes/>.
- [25] Sweco, «Sikrer betydelig kontrakt med JBV,» 8 August 2016. [Internett]. Available: <https://www.sweco.no/nyheter/nyhetsartikler/2016/sweco-sikrer-betydelige-kontrakter-med-jernbaneverket/>.
- [26] Bane NOR, «Oteråga stasjon,» Juni 2017. [Internett]. Available: <http://www.banenor.no/Nyheter/Nyhetsarkiv/2014/Ekstra-millioner-til-jernbanen-i-nord/>.
- [27] Jernbanedirektoratet, 6 Desember 2016. [Internett]. Available: <https://www.jernbanedirektoratet.no/no/strategier-og-utredninger/utredninger/rutemodell-2027/>.
- [28] Regjeringen, «Jernbanereformen,» 21 Februar 2017. [Internett]. Available: https://www.regjeringen.no/no/tema/transport-og-kommunikasjon/jernbane_og_jernbanetransport/reform-av-jernbanereformen/id2344653/.
- [29] Jernbanedirektoratet, «Den nye sammensetningen av jernbane i Norge,» Juni 2017. [Internett]. Available: <https://www.jernbanedirektoratet.no/no/jernbanesektoren/>.
- [30] Regjeringen, «Mer gods på bane,» 17 November 2015. [Internett]. Available: https://www.regjeringen.no/no/tema/transport-og-kommunikasjon/jernbane_og_jernbanetransport/gods-pa-bane/id2344802/.
- [31] Bane NOR, «Gods må løftes,» 17 Februar 2015. [Internett]. Available: <http://www.banenor.no/Nyheter/Nyhetsarkiv/2015/Gods-ma-loftes/>.
- [32] Bane NOR, «Energiforbruk til togfremføring,» 10 August 2015. [Internett]. Available: <http://www.banenor.no/Jernbanen/Miljo/Miljopavirkning/Energiforbruk/>.
- [33] Wikipedia, «NSB type 93,» 27 Juni 2017. [Internett]. Available: https://no.wikipedia.org/wiki/NSB_type_93.
- [34] Wikipedia, «NSB type 92,» 8 Juni 2017. [Internett]. Available: https://no.wikipedia.org/wiki/NSB_type_92.
- [35] K. Johnsen, «Di 4,» 2017. [Internett]. Available: <http://www.johnsen.com/materiell/index.htm>.
- [36] Jernbanedirektoratet, «Jernbanemagasinet,» 2017. [Internett]. Available: <http://jernbanemagasinet.no/artiklar/bimodale-tog-snart-pa-norske-spor/>.
- [37] A. Pederstad og e. al., «Bærekraft og klimagassreduksjoner for norskprodusert biogass,» Avfall Norge, 2017.
- [38] I. S. M. e. al., «Biogassproduksjon fra matavfall og møkk fra ku, gris og fjørfe. Status 2016 (fase IV) for miljønytte for den norske biogassmodellen BioValueChain,» Østfoldforskning, 2016.

- [39] Sund, «Muligheter og barrierer for økt bruk av biogass til transport i Norge,» Sund Energy, 2017.
- [40] Rambøll, «Biogass til transport i Midt-Norge Markedsstudie,» 2014.
- [41] J. Myklebost, R. L. Bakken og V. L. Yttersian, «Nordlandsbanen på fornybare energikilder,» NTNU, 2017.
- [42] «DNV GL,» [Internett]. Available: <https://www.dnvgl.com/maritime/lng/index.html>.
- [43] Sintef, «GHG and NOx emissions from gas fuelled engines,» 2017.
- [44] «Wärtsilä,» [Internett]. Available: <https://www.wartsila.com/twentyfour7/gas/lng-comes-of-age>.
- [45] SVV, «Energieffektiv og klimavennlig ferjedrift,» Statens vegvesen, 2016.
- [46] S. Møller-Holst, «Analyse av alternative driftsformer for ikke-elektrifiserte baner,» Sintef, 2015.
- [47] «MTU and Deutsche Bahn test hybrid train,» [Internett]. Available: https://mtu-online-shop.com/print/3082571_MTU_Rail_CaseStudy_HybridPowerpack.pdf.
- [48] A. Brecher og M. Shurland, «Joint Rail Conference 2015,» [Internett]. Available: https://ntl.bts.gov/lib/54000/54800/54898/JRC2015_Rail_E2_strategies.pdf.
- [49] «Railwaygazette,» [Internett]. Available: <http://www.railwaygazette.com/news/traction-rolling-stock/single-view/view/battery-diesel-and-dual-fuel-locos-roll-out.html>.
- [50] «The ECI dual-fuel sourcebook,» Energy Conversions Inc..
- [51] «Economizer dual-fuel conversion system,» Energy Conversions Inc..
- [52] «Gass som drivstoff for jernbane,» Cowi, 2015.
- [53] «tmholding.ru,» 2014. [Internett]. Available: https://tmholding.ru/journal/Transmashholding01_2014_eng_site.pdf.
- [54] «Nærenergi,» [Internett]. Available: <https://www.narenergi.no/naering/produkter-og-loesninger/cngcbg/>.
- [55] Rambøll, «Finland - LNG Rail,» 2017.
- [56] B. Carlson, «Erfarenheter från trafik med Biogaståget Amanda,» 4 April 2016. [Internett]. Available: <https://www.klt.se/PageFiles/8146/Biogast%C3%A5get%20Amanda%20Jkpg%20Bertil%20Carlson%20160404.pdf>.
- [57] «hhpsummit.com,» [Internett]. Available: <http://www.hhpsummit.com/rail>. [Funnet 2017].
- [58] «Ingworldnews,» 2016. [Internett]. Available: <http://www.ingworldnews.com/spanish-companies-ready-lng-fueled-locomotive-pilot-project/>.
- [59] «Railwaygazette,» 2015. [Internett]. Available: <http://www.railwaygazette.com/news/traction-rolling-stock/single-view/view/gas-fuelled-locomotive-enters-passenger-service.html>.
- [60] «Railwaygazette,» 2017. [Internett]. Available: <http://www.railwaygazette.com/news/traction-rolling-stock/single-view/view/lng-locomotive-agreement.html>.
- [61] «ngvglobal,» [Internett]. Available: <http://www.ngvglobal.com/blog/indonesia-explores-lng-for-rail-1014>.
- [62] «ngvglobal,» [Internett]. Available: <http://www.ngvglobal.com/blog/indian-railways-advances-natural-gas-locomotives-0521>.
- [63] «railnews.in,» [Internett]. Available: <http://www.railnews.in/ir-working-on-technologies-to-enable-40-substitution-of-diesel-by-cng-in-locos-and-nine-zoned-solar-panels-on-demos/>.

- [64] «railwaygazette,» [Internett]. Available: <http://www.railwaygazette.com/news/traction-rolling-stock/single-view/view/battery-diesel-and-dual-fuel-locos-roll-out.html>.
- [65] «Teknisk ukeblad,» [Internett]. Available: <https://www.tu.no/artikler/na-ruller-hydrogentoget-pa-tyske-skiner/378109>.
- [66] THEMA, «Verdiskapning fra produksjon av biogass på Østlandet,» 2016.
- [67] «Hexagon,» [Internett]. Available: <http://www.hexagonlincoln.com/>.
- [68] Jernbaneverket, «Metodehåndbok,» 2015.
- [69] «f3 Fact sheet,» [Internett]. Available: http://www.f3centre.se/sites/default/files/fuels_fact_sheet_5_hefa_hvo_160810_final_0.pdf.
- [70] «Wikipedia,» [Internett]. Available: <https://no.wikipedia.org/wiki/Diesel>.
- [71] «elgas,» [Internett]. Available: <http://lng.elgas.com.au/energy-content-lng>.
- [72] «NOx-fondet søkerveiledning,» 2017. [Internett]. Available: <https://www.nho.no/siteassets/nhos-filer-og-bilder/filer-og-dokumenter/nox-fondet/slik-soker-du-stotte/veiledning-12.09.17-versjon-7.5.pdf>.
- [73] «Enova - transport - innovativ teknologi,» October 2017. [Internett]. Available: <https://www.enova.no/bedrift/transport/ny-teknologi-i-transport/fullskala-innovativ-energi--og-klimateknologi/>.
- [74] «Klimasats,» [Internett]. Available: <http://www.miljokommune.no/Temaoversikt/Klima/Klimasats---stotte-til-klimasatsing-i-kommunene/>.

