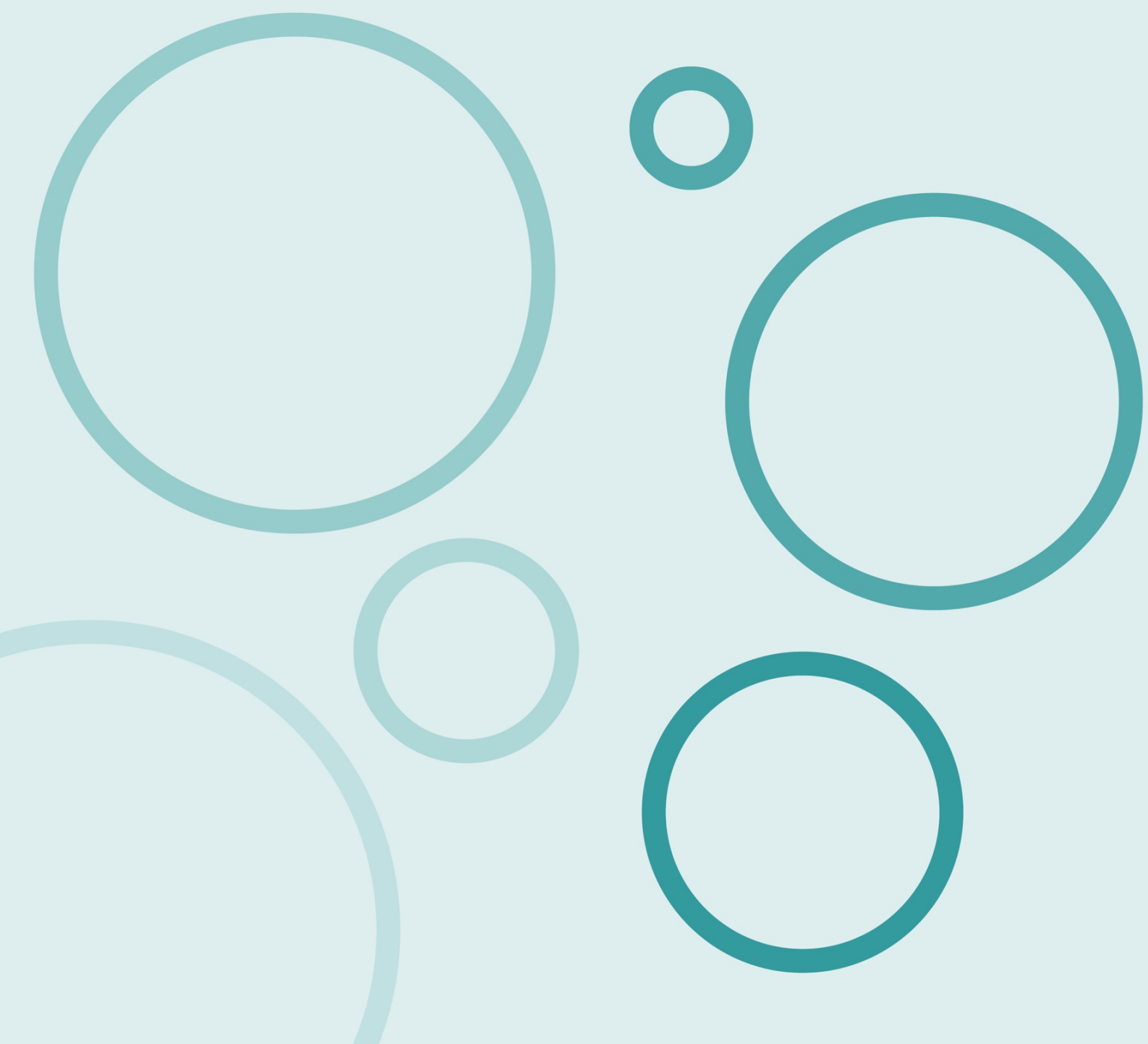




BIOGASS
OSLOFJORD

Tilpasning av tyngre kjøretøy og anleggsmaskiner for drift med biogass

Østfoldforskning for Biogasss Oslofjord



Biogass Oslofjord er et samarbeid mellom fylkene rundt Oslofjorden for å fremme bruk av biogass, særlig i transportsektoren.

I den forbindelse har vi undersøkt tilgjengelige biler og bedt Østfoldforskning bistå med analyse av muligheter for ombygging av eksisterende kjøretøy. Østfold Fylkeskommune har deltatt i arbeidet, og flere aktører har bidratt med opplysninger.

Biogass Oslofjord ønsker at rapporten skal være tilgjengelig for alle potensielle brukere, og minner om at bruk av biogass kan være økonomisk, redusere transportutslipp og i tillegg kunne bidra til å redusere metanutslipp fra kildene til biogassproduksjon.



BIOGASS
OSLOFJORD

Rapport

SUSTAINABLE INNOVATION

Forfatter(e): Simon A. Saxegård, Fredrik M. Johnsen, Aina Stensgård (Østfoldforskning), og Gabriel Wergeland Krog (Østfold fylkeskommune)

Rapportnr.: OR.07.19

ISBN: 978-82-7520-804-8

ISBN: 978-82-7520-804-8



Bilder fra/av: Oppe til venstre: Iveco Stralis NP, Oppe til høyre: Volvo FH LNG, Nede til venstre: Dual-fuel-kit 785C Gruve dumper Catepillar, Nede til høyre: Mercedes Bens Econic NGT.

Rapportnr.: OR.07.19 **ISBN nr.:** 978-82-7520-804-8 **Rapporttype:**
ISBN nr.: 978-82-7520-804-8 Oppdragsrapport
ISSN nr.: 0803-6659

Rapporttittel:

Tilpasning av tyngre kjøretøy og anleggsmaskiner for drift med biogass

Aktører og kostnader

Forfattere: Simon A. Saxegård, Fredrik M. Johnsen, Aina Stensgård (Østfoldforskning) og Gabriel Wergeland Krog (Østfold fylkeskommune)

Prosjektnummer: 1935 **Prosjekttittel:** Tilpasning av tyngre kjøretøy og anleggsmaskiner for drift med biogass.

Oppdragsgivere: Biogass Oslofjord
Oppdragsgivers referanse: Karen Sund

Emneord:	Tilgjengelighet:	Antall sider inkl. bilag:
•Kartlegging •Ombygging •Økonomi •Anleggsmaskiner •Tyngre kjøretøy	Åpen	53

Godkjent:
Dato: 08.03.2019

Prosjektleder
Simon A. Saxegård

Forskningsleder
Hanne L. Raadal

Innholdsfortegnelse

Sammendrag	3
1 Innledning	3
1.1 Prosjektets mål	3
1.2 Gjennomføring	3
2 Metode	4
2.1 Spørreundersøkelse og telefonintervju	4
2.2 Spørreskjema	4
2.3 Intervju	4
2.4 Bedriftsbesøk	5
2.5 Litteratur	5
2.6 Systemgrenser	5
3 Juridiske rammeverk	6
3.1 Globalt	6
3.2 Europa	6
3.3 Norden	7
3.4 Norge	7
3.4.1 Eksisterende tilskuddsordninger for biogasskjøretøy og anleggsmaskiner	7
4 Gass som drivstoff	8
4.1 Terminologi	8
4.1.1 Drivstoff	8
4.2 Tilpassing / ombygging til gass	8
4.3 Teknologier	9
4.3.1 Bi-fuel / tri-fuel	9
4.3.2 Dual-fuel	9
4.3.3 Gassmotor	10
4.3.4 Stasjonære gassmotorer	10
4.3.5 Gassturbin	11
4.4 Biogass og naturgass som miljøvennlige drivstoff	11
4.5 Aktører	12
4.5.1 Kartlagte anvendte og eksisterende gassmotorteknologier	12
4.6 Lagring av gass	13
5 Kartlegging av aktører	14
5.1 Oversikt	14
5.2 Kartlagte aktører i Norge	14
5.2.1 Diskusjon for tilpasning av personkjøretøy i Norge til LPG eller CNG/LBG	15
5.3 Norden, Europa og verden	15
5.4 Tilpasning av tyngre kjøretøy og anleggsmaskiner	17
5.4.1 Prosessen	17
5.4.2 Virkningsgrader	17
5.4.3 Ulike typer kjøretøy og anleggsmaskiner	18
5.4.4 Eksisterende ikke-fossile maskiner	19
5.5 Fyllestasjoner og tilgang på biogass som drivstoff	20
5.5.1 Stasjonære fyllestasjoner	20
6 Kostnader	24
6.1 Ombygging av tyngre dieselmaskiner	24
6.2 Drivstoffpriser	24
6.3 Energipriser	25
6.4 Resultater Økonomianalyse	25

7	Oppsummering og diskusjon	28
8	Konklusjon	30
9	Videre forskning.....	31
10	Referanser	32
Vedlegg 1	Datainnsamlings skjema	36
Vedlegg 2	Beregninger egenskaper basert på sammensetning CBG og CNG	38
Vedlegg 3	Dagens drivstoffsammensetning for flytende drivstoff, ekskl. LBG og LNG	39
Vedlegg 4	Beregningsmatrise for pris per kWh.....	40
Vedlegg 5	Økonomiscenarier	41

Tabeller

Tabell 1	ENOVAs støttesatser for merkostnader knytte til ombygging eller introduksjon av nye kjøretøy og anleggsmaskiner.....	7
Tabell 2:	Gassmotor teknologier og kombinasjoner	12
Tabell 3:	Norske foretak som tilpasser kjøretøy til å anvende gass	14
Tabell 4:	Identifiserte aktører som tilpasser kjøretøy til å anvende gass som drivstoff	15
Tabell 5:	Aktører som produserer originalmotorer for bruk av gass som drivstoff	17
Tabell 6:	Virkningsgrad i de aktuelle drivstofftypemotorene	18
Tabell 7:	Drivstoffpriser fordelt på type og år.....	24
Tabell 8:	Drivstoff priser etter produksjon- og distribusjonskostnader	25
Tabell 9:	Drivstoffpriser basert på solgt energivare.	25
Tabell 10:	Økonomieresultater.....	26
Tabell 11:	Forutsetninger, økonomiscenario, CBG dual-fuel.....	41
Tabell 12:	Forutsetninger, økonomiscenario 2, ingen støtte, 600 000 i investering	42
Tabell 13:	Forutsetninger, økonomiscenario 3, CBG dual-fuel (85% CBG)	43
Tabell 14:	Forutsetninger, økonomiscenario 4, CBG gassmotor, 87% relativ gassmotorvirkningsgrad.....	44
Tabell 15:	Forutsetninger, økonomiscenario 5, CBG gassmotor, 93% relativ gassmotorvirkningsgrad.....	45
Tabell 16:	Forutsetninger, økonomiscenario 6, CNG gassmotor, 87% relativ gassmotorvirkningsgrad.....	46

Sammendrag

I denne studien er det kartlagt en rekke aktører som tilbyr ombygging av tyngre kjøretøy og anleggsmaskiner. Mange av biogasskjøretøyene i Norge i dag er rene gasskjøretøy som kommer ferdig bygget fra produsent, og det lille som finnes av tilpasning til gasskjøretøy i Norge er hovedsakelig innrettet mot personbilsegmentet for LPG og bio-LPG. I Europa og på verdensbasis derimot, er et bredere tilbud for tilpasning til biogass og det finnes aktører som bygger om eller tilbyr gasskjøretøy i de fleste transportsegmentene. Det er likevel en del anleggsmaskiner og en rekke mindre maskiner som det ikke finnes mange biogassløsninger for. Noe av dette skyldes den pågående elektrifiseringen, men også fordi mindre kjøretøy har plassmangel som gir utfordringer med hensyn til plassering av de relativt store gasstankene for CBG eller LBG. Plassmangel er ikke et problem på de fleste større maskiner, med unntak av hjullastere og gravemaskiner. En annen utfordring for anleggsmaskiner, spesielt de som brukes på semi-permanente eller kontinuerlig bevegelige anleggsplasser er tilgangen på CBG/LBG. En mulig løsning for å øke CBG/LBG tilgjengeligheten til semi-permanente anleggsplasser er mobile fyllestasjoner, men for CBG vil det medføre en eksplosjonsfare og at en tung konstruksjon må transporteres. LBG som lagringsform kan eliminere eksplosjonsfaren og samtidig føre til mer effektiv transport av drivstoffet.

Økonomisk sett kan biogass med dagens prisbilde, selv uten Enova-støtte, gi inntjening i løpet av levetiden til kjøretøyet eller maskinen. Drivstoffpris og motorens virkningsgrad ble identifisert til å være de to mest sensitive parameterne for lønnsomheten til biogass som drivstoff sammenlignet med diesel. Det er ikke gjort økonomianalyser for LBG eller LNG, men det er nærliggende å anta at tilsvarende resultater er mulig der. LBG er generelt billigere per energienhet sammenliknet med CBG, men installasjon av tanker er dyrere. Det er imidlertid slik at installasjonskostnadene har lite å si for lønnsomheten til biogass som drivstoff.

Konklusjonen er at biogass som drivstoff ikke bare er miljømessig lønnsomt, men også økonomisk. Ved bruk av biogass kan en spare omtrent 10% av drivstoffkostnadene. Innsparingspotensialet er noe høyere for CNG som kan gi besparelser på omtrent 26% av drivstoffutgiftene. På grunn av at det er få fyllestasjoner for CNG/LNG, anses det som lite sannsynlig at en overveiende stor andel av gasskjøretøy i Norge kommer til å kjøre på fossil gass.

1 Innledning

1.1 Prosjektets mål

Prosjektet ble initiert av Østfold Fylkeskommune igjennom Biogass Oslofjord v/Per Wennerberg. Prosjektet skulle kartlegge hvilke aktører som i dag bygger om anleggsmaskiner og tyngre kjøretøy til å benytte biogass, CBG eller LBG, undersøke kostnadene forbundet med en slik ombyggingsprosess og differansekostnadene knyttet til å anskaffe og ta i bruk anleggsmaskiner som nyttiggjør biogass drivstoff sammenliknet med diesel.

1.2 Gjennomføring

Prosjektet startet opp høsten 2018, og i første fase av prosjektet ble kartleggingen av aktørene som bygger om anleggsmaskiner gjennomført. Kartleggingen var avgrenset til aktører som kan være aktuelle mot det norske markedet. Etter at aktørene var kartlagt, ble det gjennomført en rekke telefonintervjuer med aktørene i Europa, hovedsakelig Nord-Europa. I tillegg til telefonintervjuene ble det sendt ut en spørreundersøkelse til aktørene gjennom verktøyet SurveyXact. Spørreundersøkelsen er vist i Vedlegg 1, og ble sendt til 12 respondenter hvorav 8 svarte. For å komplementere intervjuene og spørreskjema ble det også gjennomført omfattende litteratursøk, både i vitenskapelige publikasjoner, produktdatablad for kjøretøy, informasjon fra bransjetidsskrift og kjøretøyprodusenters hjemmesider. Til slutt ble det i 2019 avlagt bedriftsbesøk hos Volvo Construction Equipment i Arvika, BRC AB i Trollhättan og Volvo Trucks i Göteborg.

2 Metode

2.1 Spørreundersøkelse og telefonintervju

Dette prosjektet ble gjennomført i to deler. I del en, kartleggingsdelen, ble det gjort en rekke litteratursøk, utstedt et spørreskjema, se vedlegg 1, samt gjennomført kvalitative telefonintervju av enkelte aktører. I del to, bedriftsbesøk, ble det gjennomført intervju og bedriftsvisning hos Volvo Construction Equipment (Arvika), BRC (Trollhättan), og Volvo Trucks (Gøteborg) samt et kvalitativt telefonintervju med PON-CAT Norge.

2.2 Spørreskjema

Tidlig i prosjektperioden ble det utformet et spørreskjema for å få en oversikt over hva de kartlagte aktørene tilbyr av ombygging/tilpasningsmuligheter, kostnader knyttet til ombygging/tilpasning samt hvilke barrierer intervjuobjektene så på som de viktigste for sitt markedsområde.

Spørreundersøkelsen er fremvist i Vedlegg 1. Svarene fra studien er ikke listet opp, men inngår som bakgrunnsmateriale i studien for å sikre anonymitet der dette er viktig. Spørreundersøkelsen i seg selv var anonym. Det ble utstedt spørreskjema til 12 aktører, hvor av 8 respondenter kunne tilby ombygging/ tilpasning til biogass som drivstoff og med det besvarte spørreundersøkelsen.

2.3 Intervju

Intervjuene ble lagt opp som en samtale rund ombygging/ tilpasning av tyngre kjøretøy og anleggsmaskiner til å nytte biogass som drivstoff. I hvert intervju ble det stilt en rekke spørsmål som skulle gi svar på hvilke segment de kan tilby ombygging til, hvilke(n) teknologi de bruker, motortekniske egenskaper, kostnader knyttet til ombygging/tilpasning samt hvilke barrierer intervjuobjektene så på som de viktigste for sitt markedsområde. Spørsmålene er som følger:

- Tilbyr dere ombygging/ tilpasning til eller leveranse av gasskjøretøy?
 - Hvis nei:
 - Hvilke alternative drivstoffmarkeder satser dere på istedenfor?
 - Hvilke barrierer begrenser / hindrer at dere satser på biogass som drivstoff?
 - Hvis ja:
 - Hvilke segmenter (kjøretøy og maskiner) tilbyr dere dette for?
 - Hvis tilfelle, hvilke barrierer begrenser deres satsning på biogass som drivstoff?
 - Hvilke barrierer begrenser / hindrer at dere satser på biogass som drivstoff for andre segmenter?
 - Hvilket kostnadsanslag kan en forvente ved ombygging/ tilpasning av de segmentene dere tilbyr?
 - Hvilke aktører leverer ombyggings/ tilpasningsutstyr til deres virke?
- Hvilke andre aktører tilbyr ombygging/ tilpasning av tyngre kjøretøy og anleggsmaskiner?
 - Samarbeider dere?
 - Er dere konkurrenter?
- Kan du generelt beskrive markedet dere er en del av og deres fremtidige satsning på miljøvennlige kjøretøy og maskiner?

Spørsmålene ble ikke stilt i samme rekkefølge som nevnt over, men inngikk som del av en samtale. Svarene er ikke listet opp, men brukt som bakgrunnsmaterieell i studien. De fleste intervjuene ble gjort over telefon, men tre bedriftsbesøk med direkte intervjuer hos henholdsvis Volvo Construction Equipment i Arvika, BRC AB i Trollhättan og Volvo Trucks i Gøteborg ble gjennomført januar – februar 2019.

For å sikre anonymitet er henvisninger fra et eller flere intervjuobjekt referert til som *personintervju 2018 og 2019*. Dette gjelder informasjon fra bedriftsbesøk, telefonintervju og informasjon fra spørreundersøkelsen.

2.4 Bedriftsbesøk

Bedriftsbesøkene ble lagt til prosjektet for å få utvidet forståelse av produksjonsprosessen av anleggsmaskiner (Volvo Construction Equipment), ombygging/tilpasning til biogass (BRC AB) og tyngre kjøretøy (Volvo Trucks). På hos Volvo Costruction Equipment og BRC AB ble det også gjennomført befarig av produksjonsprosessen i tillegg til kvalitative intervju.

2.5 Litteratur

Litteraturstudiet er basert på maskinprodusentenes hjemmesider, produktatablader for maskiner og motorer, vitenskapelige artikler, populærvitenskapelige artikler samt bransjeblader. Litteraturstudiet er benyttet til å fremskaffe informasjon om nye teknologier, virkningene av de aktuelle teknologiene, identifisere aktører som tilbyr ombygging/ tilpasning til å nytte biogass som drivstoff samt kvalitetssjekke informasjon fra flere kilder, spørreskjema samt intervju.

2.6 Systemgrenser

Ett av studiens mål har vært å kartlegge aktører som tilbyr tunge gasskjøretøy, enten originaldesignede eller konverterte kjøretøy samt identifisere generelle kostnadsanslag. Det er fokusert på å kartlegge de aktørene som ligger nært det norske markedet, da hovedsakelig Norden og Europa. Det er likevel kartlagt globale aktører for enkelte segmenter som ikke spesifikt kunne knyttes til Norden eller Europa.

Hovedfokus for studien var å kartlegge tilpasning/ombygging av tyngre kjøretøy og anleggsmaskiner og derfor er lette lastebiler og personbiler utelukket samt identifisere tilbydere av nye gassdrevne tyngre kjøretøy og maskiner.

Det lagt vekt på å anvende nyere litteratur vedrørende driftskostnader som bla. drivstoffkostnader i tillegg til grunnlag for støtteordninger samt generell teknisk informasjon om eksisterende gassdrevne kjøretøy og mulighet for tilpasning/ombygging.

3 Juridiske rammeverk

3.1 Globalt

FNs økonomiske kommisjon for Europa (UNECE) består av 56 land i og utenfor Europa, og regulerer ulike forhold ved LNG- og CNG-kjøretøy i en avtale som opprinnelig ble utformet i 1958, *Agreement concerning the Adoption of Harmonized Technical United Nations Regulations for Wheeled Vehicles, Equipment and Parts which can be Fitted and/or be Used on Wheeled Vehicles and the Conditions for Reciprocal Recognition of Approvals Granted on the Basis of these United Nations Regulations* (UNECE 2018-1). Denne har siden blitt revidert flere ganger, og ble først innført i Norge i 1975. Siste oppdatering for avtalen er i skrivende stund kalt ECE/TRANS/WP.29/343/Rev.26, og fortløpende status kan følges på en nettside hos UNECE:

<http://www.unece.org/trans/main/wp29/wp29wgs/wp29gen/wp29docstts.html>

Det antas at lovgivning som regulerer LNG- og CNG-kjøretøy også kan være relevant for kjøretøy som går på biogass, og i noen grad også for stasjonære maskiner. De følgende dokumentene er av særlig interesse:

- ECE R110 – gjelder CNG (UNECE 2018-2)
- ECE R115 – gjelder LPG og CNG for motorvogn, retrofit (UNECE 2012)

I tillegg finnes blant annet følgende kvalitetskriteriene:

- ISO 15403-1:2006 (ISO 2006) – gjelder naturgass-kjøretøy
- ISO 11439:2013 (ISO 2013) – gjelder gassylindre for lagring av naturgass som drivstoff (vil bli revidert i 2018)
- ISO 15500-1:2015 (ISO 2015) – gjelder CNG-kjøretøy
- Konvegas' hjemmeside nevner dessuten TÜV-sertifikat

ECE R110 og ISO 11439 er ikke godt harmonisert, ettersom anneks 3A i ECE R110 er basert på et 1998-utkast av ISO/DIS 11439 og dermed avviker fra ISO 11439 på noen punkter (Webster 2014). Dette gjør at krav fra begge dokumentene typisk legges til grunn. Ifølge Webster (2014) er avviket ikke tilstrekkelig avklart med eksperter, og Webster anbefalte derfor opprinnelig at kun kravene i ISO 11439 bør følges i fremtiden, og at ECE R110 Annex 3 endres slik at den kun refererer til ISO-standard. Målet om total harmonisering mellom standardene viste seg imidlertid å ikke være gjennomførbart, og begge dokumentene bør dermed konsulteres (Webster 2017).

3.2 Europa

UNECE ECE R110 og ECE R115 er implementert i EUs lovgivning (Official Journal of the European Union 2011; Eur-Lex 2014). Forholdet mellom FN- og EU-regelverket er i EU-dokumentet beskrevet som følger:

Only the original UN/ECE texts have legal effect under international public law. The status and date of entry into force of this Regulation should be checked in the latest version of the UN/ECE status document TRANS/WP.29/343, available at:

<http://www.unece.org/trans/main/wp29/wp29wgs/wp29gen/wp29docstts.html>

3.3 Norden

Nordisk råd har gitt ut en kartleggingsstudie av biogassproduksjon i Norden (Nordic Council of Ministers 2018). Det er ikke identifisert noe relevant juridisk rammeverk på nordisk nivå.

3.4 Norge

Regjeringen har utarbeidet en nasjonal tverrsektoriell biogasstrategi (Klima- og miljødepartementet 2014). Biogass har i dag fritak for særavgiftene veibruksavgift og CO₂-avgift i likhet med elektriske kjøretøy, men har få avgiftsmessige fordeler utover dette (Berg 2018).

3.4.1 Eksisterende tilskuddsordninger for biogasskjøretøy og anleggsmaskiner

I dag kan tilskuddsordninger som skal stimulere til forbruk av biogass i tyngre kjøretøy deles inn i to kategorier; 1) ordninger som påvirker produksjon av biogass og 2) ordninger som påvirker etterspørsel (Berg 2018). I denne rapporten er det kun sett på tiltak som faller inn under kategori 2, ettersom analysen er avgrenset til bruksfasen for biogass (i tillegg til tilvirkning av kjøretøy).

Berg (2018) nevner Enovas NOx-fond som eneste etterspørselsordning, med støtte fra to ulike sider, markedsintroduksjon og markedsutvikling. Markedsintroduksjon kan deles inn i to grupper: i) ombygging av eksisterende kjøretøy, og ii) støtte til kjøp av nullutslippskjøretøy og gasskjøretøy (ENOVA 2018b).

Tabell 1 ENOVAs støttesatser for merknader knytte til ombygging eller introduksjon av nye kjøretøy og anleggsmaskiner

Bedriftskategori / støttekategori	Ombygging	Nye kjøretøy
Små	50%	50%
Mellomstore	40%	50%
Store	30%	40%

Innvesteringsen må kunne vise til miljøgevinst samt medføre en merknad knyttet til å ta i bruk den miljøvennlige løsningen sammenlignet med alternativ investering (ENOVA 2018a). Tiltaket må gi energireduksjon på 10% og 100 000 kWh for å kvalifisere til støtte. For gasskjøretøy og anleggsmaskiner må søker forplikte seg til at minst 50% av kjøretøyets energiforbruk er biogass (ENOVA 2018b).

4 Gass som drivstoff

I dette kapittelet presenteres eksisterende aktører som vi har fått bekreftet at biogasskjøretøy eller bygger om eksisterende kjøretøy til biogass.

4.1 Terminologi

4.1.1 Drivstoff

Det er i dag mange typer drivstoff som kan nyttes til motorisert fremkomst. Disse drivstoffene har ulike egenskaper, kommer i ulike faser (flytende eller gass) og effektivitet og kostnad per km kjørt eller time brukt. I denne studien har vi kun tatt utgangspunkt i aktuelle gassdrivstoff og de mest vanlige drivstofftypene på markedet (sammenlikningsgrunnlag). De ulike drivstofftypene, deres forkortelser og overordnede fysiske egenskaper er oppsummert under:

- Komprimert naturgass - CNG - Fossil naturgass lagret ved 200 – 230 bar.
- Komprimert biogass - CBG - Biologisk metangass, 200 – 230 bar, >97,5% metan.
- Flytende naturgass - LNG - Fossil naturgass gjort flytende, -173C.
- Flytende biogass - LBG - Biologisk naturgass gjort flytende, -173C.
- Flytende petroleumsgasser - LPG, Fossile gasser lagret på lavtrykk rundt 5 bar.
- Bensin drivstoff - 96% fossil bensin, 4% bio-etanol (Lovdata.no)
- Diesel drivstoff - hvorav 93% fossil diesel og 7% biodiesel (Circle K 2018).
- Elektrisitet - nasjonalt strømnnett etter innkjøp og salg.

Disse drivstoffene kan tilpasses eksisterende motorer. Det er imidlertid forskjell på inngrepet og vi bruker her to ulike definisjoner: Tilpassing / ombygging til gass.

4.2 Tilpassing / ombygging til gass

Det er identifisert to typer for endring av motor til å nytte gass:

- Tilpassing: - Modifikasjon og tilpassing av ottomotor til å benytte gassdrivstoff.
Ombygging: - Modifikasjon og tilpassing av originalbygget dieselmotorer til å bruke en blanding av diesel og gass.

En ottomotor, eller tradisjonell bensinmotor, antenner drivstoffet i gassfase ved å bruke en tennplugg. Utforming av forbrenningsrom, innsprøytningsstidspunkt og tenningstidspunkt er avgjørende for å oppnå god virkningsgrad og redusere utslipp som partikler, NOx osv. Ettersom motoren allerede bruker hydrokarboner i gassform ved tenning, er det kun nødvendig med mindre endringer som tanke-systemet, innmatings-systemet, noen koblinger og tuning av kontrollsystemet. Dette kan en lese mer om på hjemmesidene til bedriftene presentert i Tabell 3 og Tabell 4.

Ombygging av dieselmotorer er vesentlig mer krevende enn tilpassing av en bensinmotor (ottomotor) og derfor vesentlig dyrere. En brukt dieselmotor ombygget til å nytte gass/biogass som drivstoff vil avhengig av euroklasse erstatte fra 20 – 30% til maksimalt 40% diesel ved vanlig drift (personintervju 2018 og 2019). Dette gjelder kun for tilpassing/ ombygging av brukte motorer uten tett samarbeid med motor og kjøretøyprodusent. Dette skyldes at det trengs flere fysiske endringer for å endre

innmating til en dieselmotor til å være gasskompatibel. I tillegg er det nødvendig med diesel både som tennstoff, men også for å smøre motoren.

4.3 Teknologier

I dag benyttes hovedsakelig to ulike former for tilpasning av gass til eksisterende kjøretøy. Disse er bi-fuel og dual-fuel i tillegg kan det på enkelte maskiner nyttes-kombinert motor.

4.3.1 Bi-fuel / tri-fuel

En bi-fuel motor utnytter at bensin er lett antennelig og at den kjøler ventilene og stemplene, noe som kan føre til at ombyggede bensinmotorer blir fort varme. Etter at motoren har gått noen sekunder er temperaturen høy nok til at gass også antenner lett og motoren skifter automatisk over til nesten 100% gass. Dette reguleres automatisk i motoren. Ved spesielt krevende kjøring kan bensininnmatingen øke litt for å sikre jevn drift og kjøle motoren (Westport 2019, personintervju 2018 og 2019). Virkningsgraden i en tilpasset ottomotor vil være så å si den samme som for en original motor, men dette krever godt håndverk på verkstedet (personintervju 2018 og 2019). Bi-fuel er egentlig ikke begrenset til kun to drivstoff men kan nytte alle lett antennelige gasser som motoren er forhåndstunet til å takle. En motor kan altså tunes til å gå på bensin, CBG og hydrogen-gass og kan i sådan omtales som en tri-fuel. Det er imidlertid en begrensning ved at det kun er to drivstoff som kan brukes parallelt, hvor bensin alltid er det nødvendige tilleggsdrivstoffet (personintervju 2018 og 2019).

4.3.2 Dual-fuel

Dual-fuel motorer utnytter at diesel selvantenner under trykk som gjør at motoren alltid tenner optimalt. De fleste, men ikke alle, dual-fuel motorer kan benytte 100% diesel ved behov som ved oppstart og gå over til en høy andel gass når motoren er i gang. En Dual-fuel motor kan aldri gå på 100% gass slik som en bi-fuel motor kan (personintervju 2018 og 2019, Dual fuel organisation 2016). Innmating av gass må tilpasses dette. Eldre dieselmotorer er enklere å bygge om til dual-fuel. Dette skyldes at de er av en enklere konstruksjon og er mindre teknologistyrt (personintervju 2018 og 2019). Derfor kan det være mulig å bygge om de eldre diesel motorene til å nytte opp til 30% - 40% gass, mens ombyggede nyere, spesielt EURO 6 motorer, kan nytte 20 – 30% gass.

Ombygging eller ny-tilpassing av motorer i tett samarbeid med motor- og/eller kjøretøyprodusent kan oppnå vesentlig høyere gass innblanding (personintervju 2018 og 2019), Westport AB 2019, Volvo Trucks 2019).

Volvos nye generasjon LNG/LBG kjøretøy kan kjøre på dieselmengder helt ned til 5% (personintervju 2018 og 2019, Westport AB 2019, Volvo Trucks 2019). Til sammenligning bruker disse 15% – 20% mindre drivstoff enn de tidligere gasskjøretøyene til Volvo (Volvo Trucks 2019). Disse motorene er originalbygget for dual-fuel og kan derfor ikke kjøre langt kun på diesel (personintervju 2018 og 2019).

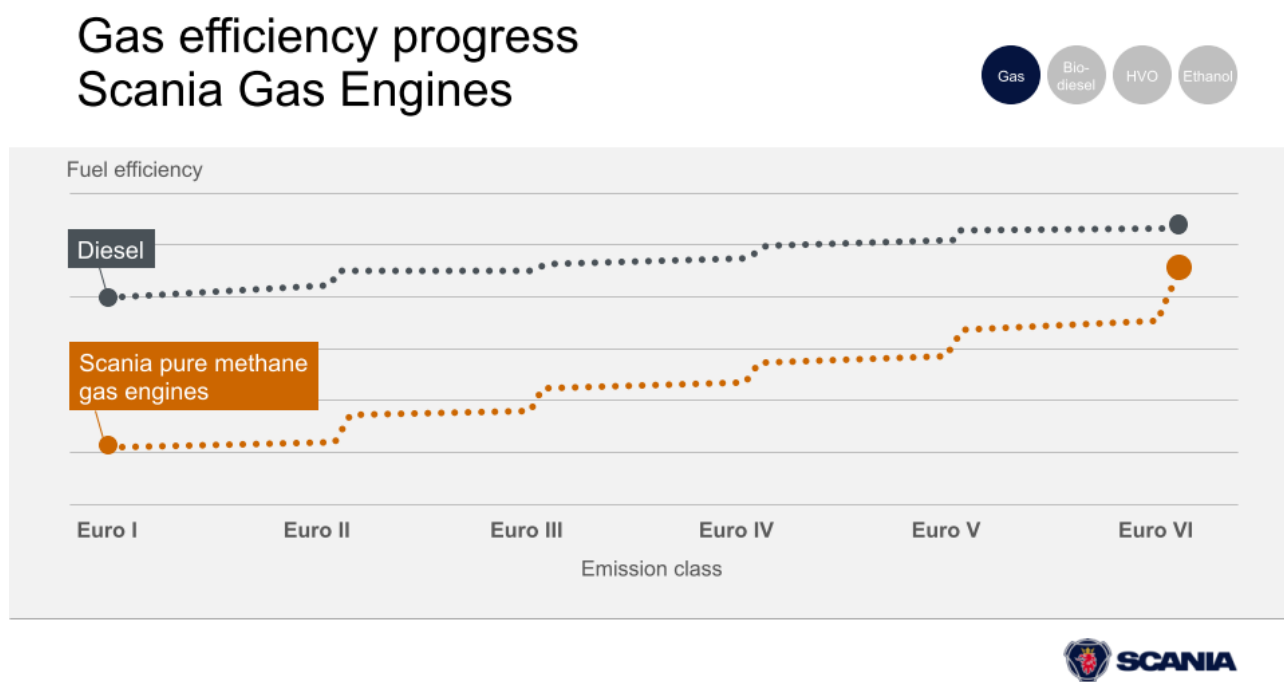
Catepillars dual-fuel retrofit-kit DGB (Dynamic gas blend) kan erstatte opp til 85% diesel under kjøring (Catepillar 2017; NGV 2018). Dette systemet tilpasses en gammel eller ny motor og tilfører LBG dynamisk etter hva motoren trenger av drivstoff, smurning og andre viktige drift parameter. En dual-

fuel konvertert dumper med dette kittet kan spare 20% - 40% av drivstoffkostnadene sammenlignet med dumper med vanlig dieselmotor (Catepillar (2017)).

Dual-fuel motorer kan også tilpasses for skip. I februar 2019 kom MAN Energy Solutions ut med nyheten om de nye motorene i TCT serien (6 – 24 MW) som de formidler kan gi en virkningsgrad på opptil 80% MAN-ES (2019), NGV (2019). MAN har også bygget om skip og båter, og tilbyr løsninger for dette NGV (2018).

4.3.3 Gassmotor

En del aktører innen tyngre kjøretøy, anleggsmaskiner og busser tilbyr i dag fullverdige gassmotorer. Disse er ikke bygget om, men original bygget for gass. Dette er en vanlig teknologi i en rekke kjøretøy som, lastebiler, busser og renovasjonsbiler og utviklingen går raskt (personintervju 2018 og 2019, Mercedes 2019, Iveco 2019). Virkningsgrad i en gassmotor vil variere en del, men et område mellom 32% - 40% skal være mulig. I følge Scania kan deres nye Euro 6 motor gi en motorvirkningsgrad på 40% sammenlignet med 43% i en sammenlignbar dieselmotor (Oliver n.d) og Iveco New Stralis NP (2019b) oppgir samme virkningsgrad for deres rene gasskjøretøy.



Figur 1: Utvikling i virkningsgrad for Scanias rene metankjøretøy.

Figur 1 er hentet fra presentasjonen til Wästljung (2016).

4.3.4 Stasjonære gassmotorer

Gassmotorer brukes ofte i energiproduksjon og kan sådan nyttes til lokal energi, enten til nettet eller i tilknytning til en anleggsplass. I følge Diesel & Gas Turbine World Wide (2017) kom Siemens ut med en 2MW gassmotor med mekanisk virkningsgrad på 47% og elektrisk virkningsgrad på 45,4% og kan i tillegg levere varme energi og på den måten sikre en vesentlig høyere utnyttelse av energien. Slike motorer kan være interessante for lokal elektrisitets produksjon eller om bord i skip.

4.3.5 Gassturbin

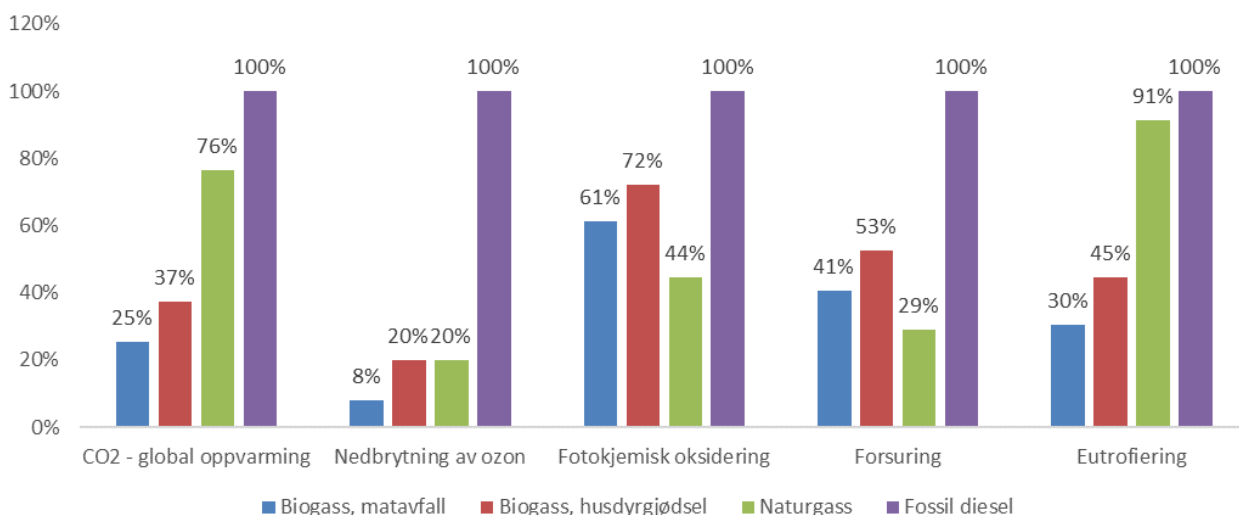
Gassturbiner er en mye anvendt teknologi for energiproduksjon og som flymotorer. De har få bevegelige deler og gir mekanisk virkningsgrad fra 25% - 35% for de beste turbinene. For stasjonære gasskraftverk eller som skipsmotor kan også eksosen utnyttes til ytterligere elektrisitetsproduksjon i eksempelvis en dampturbin eller til varmeproduksjon. I tillegg kan enkelte gassturbinmotorer bruke nærsagt alle typer for gassdrivstoff med metaninnhold ned til 5%, eller 100% propan og takler godt urenheter i drivstoffgassen som benyttes Siemens (2019). Ulempen med gassturbiner er at de ikke har fleksible turtall som er nødvendig i motoriserte kjøretøy på vei eller i anlegg så fremt det ikke finnes muligheter for å kompensere for denne ulempen. En annen ulempe er at en gassturbin fører til vesentlig høyere støy enn en ottomotor eller dieselmotor.

4.4 Biogass og naturgass som miljøvennlige drivstoff

Gass som drivstoff er et miljømessig godt alternativ til bensin og diesel. Ved bruk av CNG/LNG, som er det fossile gassalternativer kan de direkte klimagassutslippene reduseres med 10%-20%, partikkelutslippene med 95% - 99%, NOx 60% (Iveco New Stralis 2019a, Volvo 2018).

Biogass har mange av de samme fordelene og er i tillegg klimanøytral og bidrar derfor ikke til global oppvarming. I Norge er biogass et gjenvunnet produkt fra håndtering av organiske avfallskilder som matavfall, fiskeslam, husdyrgjødsel, organisk industriavfall og kloakk som det også kan produseres biogjødsel i fra (Modahl et al. 2016; Saxegård & Baxter 2016; Lyng & Brekke 2019). Biogass som drivstoff er et sirkulærøkonomisk produkt som bidrar til store klimagassbesparelser knyttet til avfallshåndtering, drivstoff, bio-CO₂ og gjødselvarer. I tillegg til å være et resirkulert fornybart produkt vil bruk av biogass bidra til reduksjon av utslipp for en rekke miljøindikatorer sett i forhold til diesel i et livsløpsperspektiv. Biogass vil også gi store miljøbesparelser i forhold til naturgass, men naturgass i seg selv gir også store miljøbesparelser. Det er kun for miljøindikatoren forsuring at naturgass gir lavere livsløpsutslipp enn biogass, men begge gassalternativene gir vesentlig mindre forsuring enn diesel (Lyng & Brekke 2019), se Figur 1.

Biogass og naturgass er derfor miljømessig gode alternativ til diesel i tyngre kjøretøy og anleggsmaskiner. Disse maskinene bruker store mengder dieselsom gjør at selv en liten andel gass i dieselen vil kunne bidra til store miljøbesparelser sammenlignet med rene biogassmotorer. Et forsøk gjort i denne studien viste blant annet at en ren gassmotor på biogass kan ha en virkningsgrad ned til 22% sammenligningen med en dieselmotor med 46% virkningsgrad og fortsatt gi klimagevinst.



Figur 2: Sammenligning miljøutslipp pr km kjørt med enten biogass og naturgass relativt til diesel.

Figur basert på resultater fra den vitenskapelige artikkelen Lyng & Brekke (2019).

4.5 Aktører

I kartleggingsfasen av prosjektet ble det identifisert en rekke aktuelle aktører i Norge, Nord-Europa og Vest-Europa som kunne tilby motortilpasning for biogass som drivstoff. Disse ble kontaktet per telefon og spurt om de ønsket å bidra med kunnskap inn i prosjektet ved å besvare et spørreskjema vedrørende biogasskjøretøy og ombygging, se vedlegg 1. Spørreskjemaet ble utstedt til 12 respondenter, hvorav 8 svarte.

4.5.1 Kartlagte anvendte og eksisterende gassmotorteknologier

Det er identifisert en rekke eksisterende og teoretiske motorsystemer for bruk av biogass i tyngre kjøretøy og anleggsmaskiner, presentert i Tabell 2. Det er kun gassmotorteknologier som er *kommersielt tilgjengelige i dag* som har blitt undersøkt nærmere i denne studien.

Tabell 2: Gassmotor teknologier og kombinasjoner

Gassmotorløsninger for tungtransport og/ eller anleggsmaskiner	Kommersielt tilgjengelig i dag	Eksisterende ikke anvendte løsninger	Mulige fremtidige løsninger
Gass motor (ottomotor)	X		
Gass turbin motor		X	
Diesel-Gas «Dual-Fuel»	X		
«Dynamic Dual fuel»	X		
Gass-elektrisk			X
Gass-elektrisk med «trolley assist»			X
Hydrogen brenselceller, hydrogen fra biogass		X	
Biogass brenselceller		X	
Elektriskdrivlinje og batteri, med lokal biogasskraftverk for elektrisitetsproduksjon			X

I dag er det hovedsakelig tre anvendte gass-motor løsninger, slik det fremkommer av Tabell 2. En gassmotor driftes som en ottomotor med tennplugger. Mekanisk virkningsgrad varierer mye, men for større kjøretøy ligger dette på rundt 32% - 40% virkningsgrad (personintervju 2018 og 2019), Scania 2018, Siemens 2019a). Ved motordrift til kjøring varierer virkningsgraden mye etter operasjonelt turtall (personintervju 2018 og 2019), men for anleggsmaskiner er ikke turtallvariasjonen like stor (personintervju 2018 og 2019).

4.6 Lagring av gass

Lagring av gass skjer i to til tre trinn. Trinn 1 er lagring på biogassanlegget, trinn 2, lagring ved fyllestasjon og trinn 3, lagring i kjøretøy. CNG/CBG lagres under trykk rundt 200 – 230 bar. Lagring av brennbare stoffer under trykk medfører eksplosjon fare. Grunnet brann- og eksplosjonsfare skal derfor alle kjøretøy med gassdrift være godkjent av Statens vegvesen (Vegvesen.no 2018). Dette er viktig å tenke på ved distribusjon av gass til temporære anleggsområder. Behovet for flyttbare fyllestasjoner vil være aktuelt for anleggsmaskiner ettersom mange anleggsmaskinene selv ikke lar seg flytte over store områder. For lastebiler og busser er ikke dette et problem (personintervju 2018 og 2019). Gass fraktes ofte på flak (ståltanker) som har en relativ høy egenvekt. Ved å levere bl.a. biogass til et lokalt gassnett kan en unngå frakt av gass på vei eller bane (personintervju 2018 og 2019).

Flytende gass medfører ikke den samme eksplosjonsfaren ettersom den ikke lagres under trykk og at gassen ikke antenner lett når den ennå har en temperatur på rundt -170C. Den relativt høye tettheten til LBG sammenlignet med CBG gjør at rekkevidden til kjøretøyene ofte er lenger. Typisk rekkevidde for LNG/LBG tungtransport lastebiler varierer mellom 1000km til 1600km litt avhengig om de er utstyrt med en eller to tanker, (Iveco New Stralis NP 2019a, personintervju 2018 og 2019, Mercedes 2019, Mark Oliver n.d). Lagring av LNG/LBG i kjøretøy forutsetter at kjøretøyene er mye i bruk. Tankene holdes ikke kjølig, men er isolerte og holder lenge på den opprinnelige lagringstemperaturen. Ettersom LNG/LBG varmes opp vil den gå over til gass og utvide seg betraktelig. For å unngå uønsket høyt trykk er LNG/LBG tankene utstyrt med en overtrykksventil som slipper ut litt gass for å holde trykket jevnt. Det er snakk om små mengder for kjøretøy som er i bruk, men hvis maskinene blir stående over lang tid er det fare for betydelig utslipp av metan. Derfor er det nødvendig å se an formålet til kjøretøyet.

LBG/LNG egner seg spesielt godt for langtransport grunnet lang rekkevidde per tank. Flere produsenter har derfor satset på LBG/LNG til både tungtransport og skip. I skip kan også gassen holdes kjølig i større grad enn på en lastebliid. CNG/CBG har i motsetning til LBG/CBG ingen overtrykksventil og eventuelle utslipp knyttet til fylling er antatt neglisjerbare. CNG/CBG egner seg derfor mer til kjøretøy som også har lengre perioder med stillestående som renovasjonskjøretøy, busser, personbiler og mindre båter.

5 Kartlegging av aktører

5.1 Oversikt

Det er ingen aktører på markedet i dag som kun tilbyr biogassdrift for kjøretøy enten ved tilpasning eller produksjon av nye kjøretøy. Det fins ingen lastebil- eller maskinprodusenter som bygger om til biogass selv, i stedet benytter de underleverandører eller produserer gassmotorer uten ombygging. Tilpasningsaktørene er presentert i Tabell 3 og Tabell 4.

De fleste aktørene bygger om til eller tilbyr CNG/LNG drift for noen av kjøretøyene de tilbyr. Fordelen med CBG er at det kan brukes på lik linje med fossile drivstoff, selv om energiinnholdet er litt lavere. Det her heller ikke en stor utfordring å benytte LNG/LBG, men det trengs andre typer termotanker og innmating systemet må tunes til å håndtere faseovergangen fra flytende til gassform (Catepillar 2019, Iveco New Stralis NP 2019b, personintervju 2018 og 2019).

5.2 Kartlagte aktører i Norge

Det ble identifisert tre verksteder i Norge, presentert i Tabell 3, som tilpasser eller konverterer bensinmotorer til å anvende gass. Ingen av foretakene tilbyr ombygging av dieselmotorer og derfor heller ikke ombygging av tyngre kjøretøy eller anleggsmaskiner.

Tabell 3: Norske foretak som tilpasser kjøretøy til å anvende gass

Verksted / aktør	Personbiler	Tyngre kjøretøy / anleggsmaskiner
GT Bilgass (Førde)	LPG, tidligere CNG/CBG	Ikke aktuelt
Gasservice (Bergen)	LPG, Propan	Ikke aktuelt
GassPro (Oslo)	LPG	Ikke aktuelt

Av de tre er det kun GT bilgass som tidligere har tilpasset og konvertert kjøretøy til CNG. Dette har/ skal de gi seg med ettersom det er en kostnadskrevende prosess og at etterspørselen har falt etter at det ble innført CO₂ avgift på naturgass (Storøy 2018). Som det fremkommer av Tabell 3 er det kun personbilsegmentet som tilpasses i Norge, hovedsakelig til LPG. GasPro viser på sine hjemmesider, Gaspro.no, at LPG som drivstoff kan gi reduserte utslipp av CO₂ og partikkelutslipp med henholdsvis 15% og 95% sammenlignet med bensin drift. I 2016 utgjorde bensinbiler 48,7% av Norges bilpark, hvorav 67,9% av dette var 2007-modell, eller eldre (Brekke et al. 2018, tabell 14 s. 59). Dette betyr at en stor andel av bensinbilflåten er av EURO 4 klasse og lavere som har vesentlig høyere partikkelutslipp enn dagens EURO 6 klasse. I kjørte kjøretøykilometer utgjorde bensinbilene 36,8% (Brekke et al. 2018, tabell 15 s. 59). Personbilsegmentet for diesel utgjorde til sammenligning 59,6% av kjøretøykilometerne, og dieselpersonbiler (15 054 km) kjørte i gjennomsnitt vesentlig lenger enn bensinbilene (9 142 km) per kjøretøy og år, SSB (2019c).

Årsakene til at de norske aktørene ikke tilpasser kjøretøy til CBG og LBG i dag skyldes i stor grad mangel på politisk vilje og økonomiske incentiver for ombygging/tilpasning av kjøretøy. Det er blant annet ikke tilpasningsstøtte til personbilsegmentet, slik det er i bl.a. Sverige, og ombygging til CNG/CBG og LNG/LBG medfører en stor merkostnad i forbindelse med de dyrere tankene, spesielt for LBG. LPG kan i større grad benytte billigere lavtrykksbeholdere og motortilpasningen er mindre krevende. Ved å installere 200bars ståltanker som gassbeholdere øker vekten for en personbil relativt

mye og kan medføre at kjøretøyet går opp en avgiftsklasse. I tillegg til dette vil en tilpasning av kjøretøy fjerne garantien på bilen (personintervju 2018 og 2019).

Kostnaden knyttet til tilpasning av bensinbiler til CNG/CBG avhenger i stor grad av etterspørsel. En vanlig antagelse er at det må være marked for tilpasning av minst 50 kjøretøy for at kostnaden skal bli hensiktsmessig (personintervju 2018 og 2019). Kostnaden for personbil bi-fuel-tilpasning kan variere fra mellom 25'000 – 40'000 (personintervju 2018 og 2019), men kan også være dyrere hvis det ikke er et flåtemarked på over 50 kjøretøy.

5.2.1 Diskusjon for tilpasning av personkjøretøy i Norge til LPG eller CNG/LBG

Eventuelle tiltak for å tilpasse eksisterende bensinbilpark til LPG kan basert på informasjonen til Gaspro.no og gasservice.no gi relativt stor miljøhytte til en relativ liten kostnad (25 – 40 000) for kjøretøyeier sammenliknet med å kjøpe et nytt kjøretøy. Ved ombygging til biogass vil miljønyttene være større fordi karbondioksidet som slippes ut er biogent (Modahl et al. 2016). For dieselmotorer kan en ombygging redusere opptil 30% av dieselforbruket i personbilparken basert på gass andelen som motoren kan takle. Biogass sammen med diesel kan derfor øke andel biodrivstoff i dagens dieselmotorer som i dag bruker minst 7% biodiesel (Circle K, Brekke et al. 2018) uten å ta i bruk uønskede bioressurser som palmeolje eller erstatte matjord for biodieselproduksjon. Palmeolje utgjorde i 51% av Norges biodiesel forbruk i 2018, (Miljødirektoratet 2018; Brekke et al. 2018) og med 20% biodiesel innblanding som krav innen 2020 (Lovdata 2019), vil trolig forbruk av palmeolje øke ytterligere. Med utgangspunkt i beste oppnåelige dual-fuel gassinjeksjon (40%) for ombyggede personbiler og kravene om 20% biodiesel innblanding i 2020, kan en oppnå 60% biodrivstoff istedenfor 20% i ombyggede gassmotorer. Som vi skal se senere benytter større og nyere dual-fuel-motorer en vesentlig høyere andel biogass sammenliknet med personbiler.

Ser en på potensialet til biogass som drivstoff, har det heller ikke mulighet til å erstatte dagens energiforbruk i transportsektoren alene (Brekke et al. 2017). En kombinasjon av nye elbiler, biogass tilpassede ottomotorer samt dual-fuel (biogass/diesel) kan derfor vise seg å være en god løsning for biogass som drivstoff. Som vist i Tabell 6 foreligger det en energifordel i å utnytte biogass sammen med diesel ettersom motorvirkningsgraden ikke reduseres nevneverdig.

Ettersom hovedfokus i dette oppdraget er å kartlegge tilpassing av tyngre kjøretøy og anleggsmaskiner til biogassdrift er hverken ombygging av personbilsegmentet eller LPG som drivstoff undersøkt nærmere.

5.3 Norden, Europa og verden

Det ble kartlagt en rekke virksomheter som i dag tilpasser eller konverterer bensin- og dieselmotorer til å nytte gass.

Tabell 4: Identifiserte aktører som tilpasser kjøretøy til å anvende gass som drivstoff

Aktører	Tilholdssteder / nasjoner	Marked	Segment	Tilpasning til drivstofftyper	Status kjøretøy
---------	------------------------------	--------	---------	----------------------------------	--------------------

Tilpasning av tyngre kjøretøy og anleggsmaskiner for drift med biogass

BN motor	Finland	Finland / Sverige	Personbiler, traktorer	100% gass, bensin til start	Brukte
Terragas	Finland	Finland / Sverige	Lette arbeidsbiler og lastebiler	CNG / CBG / Dual fuel CNG or CBG and diesel	Brukte
Prins Alternative Fuel systems – Westport Fuels Systems	Nederland, England, World Wide	Finland / Sverige	Lastebiler, busser	Originalproduserte motorer for: DME - and LPG/Bio-LPG, Hydrogen	Nye / brukte (Også leverandør av utstyr, bl.a. fra Westport).
Westport AB	Sverige, Canada, m.fl.	Globalt	Personbiler, busser, lastebiler, tog. Original Equipment Manufacturers: Volvo AB, Volvo Cars, Ford, Kia, Wolkswagen, Porsche, Skoda, Fiat, Seat, Peugeot, Great wall, Nissan, Hundai, Man, Dacia, Toyota eks.	Original- produserte motorer for: LNG / CNG / CBG / LBG / Dual fuel CNG or CBG and diesel / Dual fuel LNG or LBG and diesel / Dual fuel CNG or CBG and gasoline	Nye (Også leverandør av utsyr til mange aktører).
BRC Sweden AB	Sverige	Hovedsakelig Sverige, men kan samarbeide med aktører i Globalt.	Personbiler, brøytemaskiner, anleggsmaskiner, lastebiler. Volvo, Original Equipment Manufacturers	Tri-fuel, bi-fuel, dual-fuel.	Nye
Konvegas	Sverige, Belgia, Italia	Ukjent.	Personbiler, lastebiler, busser	Biogass	Brukte
NGM	Nederland	Ukjent.	Lastebiler, personbiler, busser.	Hydrogen and are investigating the use of formic acid as hydrogen carrier	Nye / brukte
MAN	Globalt	Globalt	Skip	Dual-Fuel MGO/LNG	Nye / brukte
PON-CAT	Globalt	Globalt	Anleggsmaskiner (dumpere)	DGB dual-fuel retrofit kit.	Brukte
GFS Corp	Ukjent	Ukjent	Lastebiler, store gruve dumpere m.m	LNG	Brukte
Alternatech	UK	UK	Alle kjøretøy eller skip.	Dual-Fuel, dual-fuel-hybrid	Brukte
EcoProTech	Finland	Globalt	Personbiler, lastebiler m.m samt biogassanlegg	Bi-fuel	Leverandør av utstyr

Det ble også funnet at de fleste store maskinaktørene ofte tilbyr både rene gasskjøretøy og dual-fuel løsninger. En liste over identifiserte aktører er vist i Tabell 5. Det er sannsynlig at det fins andre aktører som også kan være relevante på verdensbasis.

Tabell 5: Aktører som produserer originalmotorer for bruk av gass som drivstoff

Aktører	Tilholdssteder / nasjoner	Marked	Segment	Originalprodusert motor
Volvo Trucks	Sverige	Globalt	Lastebiler	Dual-Fuel 5% diesel, 95% LBG/LNG. Rene gassmotorer på renovasjonskjøretøy o.l.
MAN	Globalt	Globalt	Skip, lastebiler, busser	Rene gassmotorer til buss og lastebiler. Dual-fuel til skip.
IVECO	World wide, motorene produseres i Spania	Globalt	Tyngre og lettere kjøretøy	Originalprodusert gassmotor, ingen konvertering nødvendig
Scania	World wide	Globalt	Lastebiler, busser	Originalprodusert gassmotor, ingen konvertering nødvendig
Mercedes	World wide	Globalt	Lastebiler busser	Originalprodusert gassmotor, ingen konvertering nødvendig
Volkswagen	Tyskland	Globalt	Personbiler, lette arbeidsbiler	Original produsert gassmotor, ingen konvertering nødvendig

5.4 Tilpasning av tyngre kjøretøy og anleggsmaskiner

Dette kapittelet baserer seg hovedsakelig på kunnskap og informasjon innhentet i telefonintervju og bedriftsbesøk samt supplert og kvalitetssikret med informasjon fra produktdatablad og bransjeblader.

5.4.1 Prosessen

Tilpasning av dieselmotorer, som de aller fleste tyngre maskiner bruker, går i hovedsak ut på å endre innmatingsystemet fra flytende- til gassdrivstoff (personintervju 2018 og 2019). Dette medfører endringer i motorens fysiske utforming samt egenskaper, og det er derfor en stor oppgave som krever god tuning i etterkant (personintervju 2018 og 2019). I tillegg må tanker og tilleggsutstyr ettermonteres, noe som kan være utfordrende og tidkrevende å få til på en god måte. Når det kommer til tilbydere for ombygging av dieselmotorer er det flere aktører som kun tilbyr ombygging av nye kjøretøy i tett samarbeid med kjøretøyprodusent (personintervju 2018 og 2019). På denne måten sikres garantien på kjøretøyet og det tette samarbeidet fører også til at motorene kan bruke en større andel gass samt god motordrift (personintervju 2018 og 2019).

5.4.2 Virkningsgrader

Motorvirkningsgrad og drivstofforbruk er viktige parameter for transportør, anleggsfirma eller annet foretak som bruker tyngre maskiner. Vi har derfor kartlagt anslagsvise virkningsgrader for de ulike drivstoffkombinasjonene. Rene dieselmotorer er i dag de som gir høyest virkningsgrad¹ slik det

¹ Med virkningsgrad menes levert arbeid i en energi sammenlignet med enere levert til motor i drivstoff ($E_{\text{drivstoff}} / E_{\text{arbeid}}$) = virkningsgrad.

fremkommer i Tabell 6. Det har den senere tid vært en rivende utvikling i virkningsgrader, og flere kjøretøyprodusenter kan opplyse om at deres nye kjøretøy ligger i det øvre virkningsgradssjiktet.

Tabell 6: Virkningsgrad i de aktuelle drivstofftypemotorene

	Virkningsgrad	Beste oppgitte virkningsgrad
Diesel motor	42% ^a	46% ^c
Gassmotor (i kjøretøy)	32%	40% ^{a, b}
Dual-Fuel	35%	44% ^c

^a Mark Oliver n.d, ^bIveco New Stralis NP (2019a) Iveco, ^c personintervju 2018 og 2019,

Basert på opplysninger fra telefonintervju og bedriftsbesøk har vi valgt å anse alle andre transportparameter som like for de ulike drivstoffkjøretøyene. Dette gjelder vindmotstand, kjøremønster etc. Endring i vekt er ansett som neglisjerbart ettersom økt vekt vil ligge til maks 200 kg, som for en maskin på flere tonn er relativt lite. Våre antagelser medfører økt usikkerhet knyttet til resultatene, men kan bli kartlagt nærmere i en oppfølgende studie.

Virkningsgrad i motor vil i stor grad avhenge av kjøremønster, operasjonelt turtall og kvalitet på drivstoffet som anvendes (personintervju 2018 og 2019). Dette er ikke tatt hensyn til i denne studien hvor vi har sett på oppgitte motorvirkningsgrader. Fra personintervju 2018 og 2019 er det sagt at kursing i effektiv kjøring kan redusere drivstofforbruket med opptil 10%. Det samme ble sagt for valg av riktige dekk og kvalitet som kan slå ut mellom 6% - 10% på drivstofforbruket. Disse tiltakene øker ikke motorens virkningsgrad, men øker virkningsgraden for levert mekanisk energi fra motor til kinetisk energi i fremdrift. Som et eksempel har de beste girsystemene i dag en mekanisk virkningsgrad på 99,7% som betyr at kun 0,3% av levert energi fra motor tapes i girsystemet (Iveco New Stralis NP 2019b).

5.4.3 Ulike typer kjøretøy og anleggsmaskiner

Lastebilsegmentet kan deles inn i langtransport og annen transport. For de tyngre kjøretøyene, altså langtransport, er det større fokus på å bruke LNG/LBG ettersom energitettheten i drivstoffet vil gi foretrukken rekkevidde (personintervju 2018 og 2019). For mindre lastebiler, spesielt de som kan risikere å stå stille i perioder er CNG foretrukket (personintervju 2018 og 2019). Dette er fordi LNG/LBG tankene vil gi økt overtykkslipp for stillestående kjøretøy hvor drivstoffet blir lenge i tankene. De mindre kjøretøyene sirkulerer i større grad på et gitt område og kan fylle oftere. De er da i større grad avhengige av at det er fyllestasjoner tilgjengelig der de er (personintervju 2018 og 2019).

Innstallering av tanker på lastebiler er ikke et problem ettersom det er nok lagringsplass på kjøretøyet. Dette gjør det lettere å tilpasse kjøretøyet til gass drivstoff, enten det er for LNG/LBG eller CBG/CNG (personintervju 2018 og 2019).

Kostnadmessig er det identifisert at et nytt dual-fuel langtransport kjøretøy har en merkostnad et sted mellom 450'000 – 500'000 nok (personintervju 2018 og 2019).

Brøytemaskiner

Det finnes i dag brøytemaskiner i Sverige som benytter gass. Brøytemaskiner som brøyter rullebaner på flyplasser har stor plass til å installere tankesystem. Kjøretøyene har to motorer, en for fremdrift og en for tilleggsutstyret. En tilpasning kan gjøres for en av motorene eller begge. Swedavia anskaffet

de første brøytemaskinene på biogass i 2014, et samarbeid mellom Aebi Schmidt og Volvo (Swedavia 2014).

Anleggsmaskiner

I denne gruppen har vi definert gravemaskiner, hjullaster og dumpere. Det er stor forskjell når det kommer til ombygging/ tilpasning til gass for disse kjøretøyene. For dumpere er det allerede marked for dual-fuel kjøretøy (PON-CAT, GFS Group, Komatsu m.fl.). Store dumpere har en fordel i og med at de har rikelig med plass til tanker.

Dumpere kan, avhengig av bruksområde, også tilpasses andre drivstoff som elektrisitet slik Komatsu har gjort for sin 700kWh dumper i Sveits (Electrek 2017). Det forutsetter imidlertid at kalkuttaket ligger høyere enn omlastingsområdet og at energiforskjellen er positiv. PON-CAT utvikler i dag «Trolley assist», en diesel-elektrisk hybrid løsning som går på diesel-elektrisk kraft i gruvene, men som har el-tilkobling (slik som på et tog) som kobles på et strømsystem fra utgangen av gruva til omlastings område. Et slik system er implementert i kobbergruvene Aitik i Sverige (in-mining 2018). En videreutvikling av dette systemet, ved bl.a. bruk av PON-CATs DGB kit vil kunne løse en del utfordringer med luftkvalitet og støy inne i gruvene i tillegg til de store miljøbesparelsene.

Merkostnader knyttet til ombygging av nye dumpere er anslått til et sted mellom 400' - 500'000 NOK uavhengig av innkjøpskostnaden (personintervju 2018 og 2019). For maskiner som allerede er bygget og tatt i bruk vil det medføre merkostnader i forbindelse med demontering av gammelt utstyr, spesialtilpassing m.m. (personintervju 2018 og 2019). Grovt regnet kan en ombygging for en stor dumper dermed koste rundt 550'000 til 650'000 kr (personintervju 2018 og 2019). Hvor økonomisk lønnsomt ombyggingen er vil på lik linje med personbiler og lastebiler avhenge av antall maskiner som skal bygges om til dual-fuel. Det vil også avhenge av typen maskin som skal bygges om, og kostnadene kan derfor være det dobbelte av det som er blitt oppgitt over (personintervju 2018 og 2019).

Ombygging av hjullastere ble undersøkt i forbindelse med bedriftsbesøket hos Volvo Construcion Equipment i Avika, men det ble konkludert med at tilpasning av tankesystemet på dagens hjullastere kan være utfordrende (personintervju 2018 og 2019). Det er likevel mulig å se på mulige løsninger, men dette ble ikke gjort i denne studien. For hjullastere er det derfor hovedsakelig nyere maskiner som kan designes for bruk av gass som drivstoff, enten dual-fuel eller rene gassmotorer.

Andre maskiner

Denne gruppen er en åpen gruppe maskiner som kraner, lokale-generatorer, boremaskiner osv. Disse har ikke blitt undersøkt i denne studien, men ombygging av dieselmotorer vil følge samme prinsipp som for øvrige maskiner og de samme forutsetningene kan legges til grunn. For gassgeneratorer eller dual-duel generatorer er det en rekke produsenter som tilbyr spesiallagde motorsystemer for dette (EcoProTech 2019, Siemens 2019, mfl.).

5.4.4 Eksisterende ikke-fossile maskiner

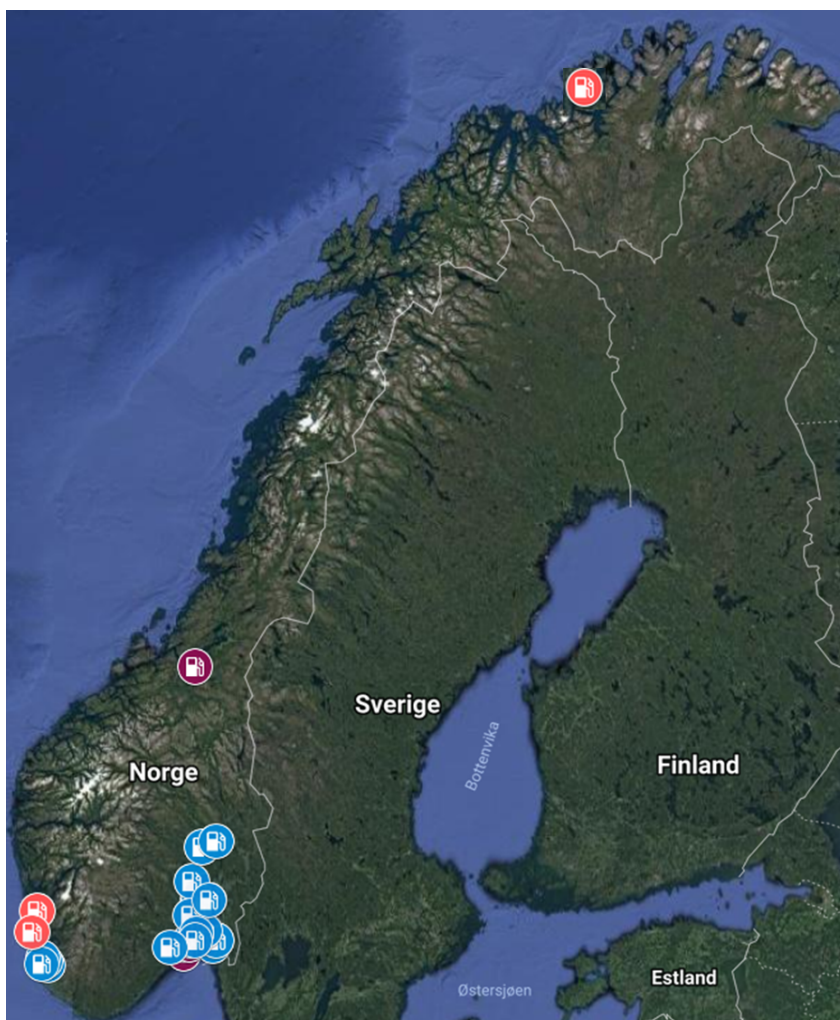
Det finnes i dag en rekke ikke-fossile maskiner hovedsakelig på langtransport og andre lastebiler, men også for gårds- og anleggsmaskiner, disse er kartlagt i oversikten «Fossilfrie Maskiner» (Solberg 2017).

5.5 Fyllestasjoner og tilgang på biogass som drivstoff.

I dette kapittelet presenteres tilgjengelige fyllestasjoner for biogass samt mulige tiltak for å tilgjengeliggjøre biogass i anleggssektoren.

5.5.1 Stasjonære fyllestasjoner

Biogass Oslofjord har kartlagt fyllestasjoner for biogass og dette kapittelet er en sammenstilling av informasjon om eksisterende og planlagte fyllestasjoner på nettsidene til Biogass Oslofjord. I tillegg er kapitelet supplert med kunnskap fra aktørene i bransjen (telefonintervjuer), nøkkelpersoner som Per Wennerberg (tidligere prosjektleder Biogass Oslofjord) og Karen Sund (ny prosjektleder i Biogass Oslofjord). Det er per i dag ca. 20 kommersielle fyllestasjoner for biogass (CBG/LBG), hvorav én distribuerer både LBG samt CBG. De resterende 19 distribuerer 100% CBG eller en kombinasjon/ blanding av CBG og CNG. Det er kartlagt kun tre fyllestasjoner for CNG hvor to ligger i Rogaland og en i Finnmark. CBG og CNG gass leveres ved et trykk på 230 bar, mens LBG leveres på 3-4 bar med en temperatur på omtrent -172 °C. Metaninnholdet i LBG ligger på omtrent 99,8%, mens for CBG er dette omtrent 97,5% til 98,5%.

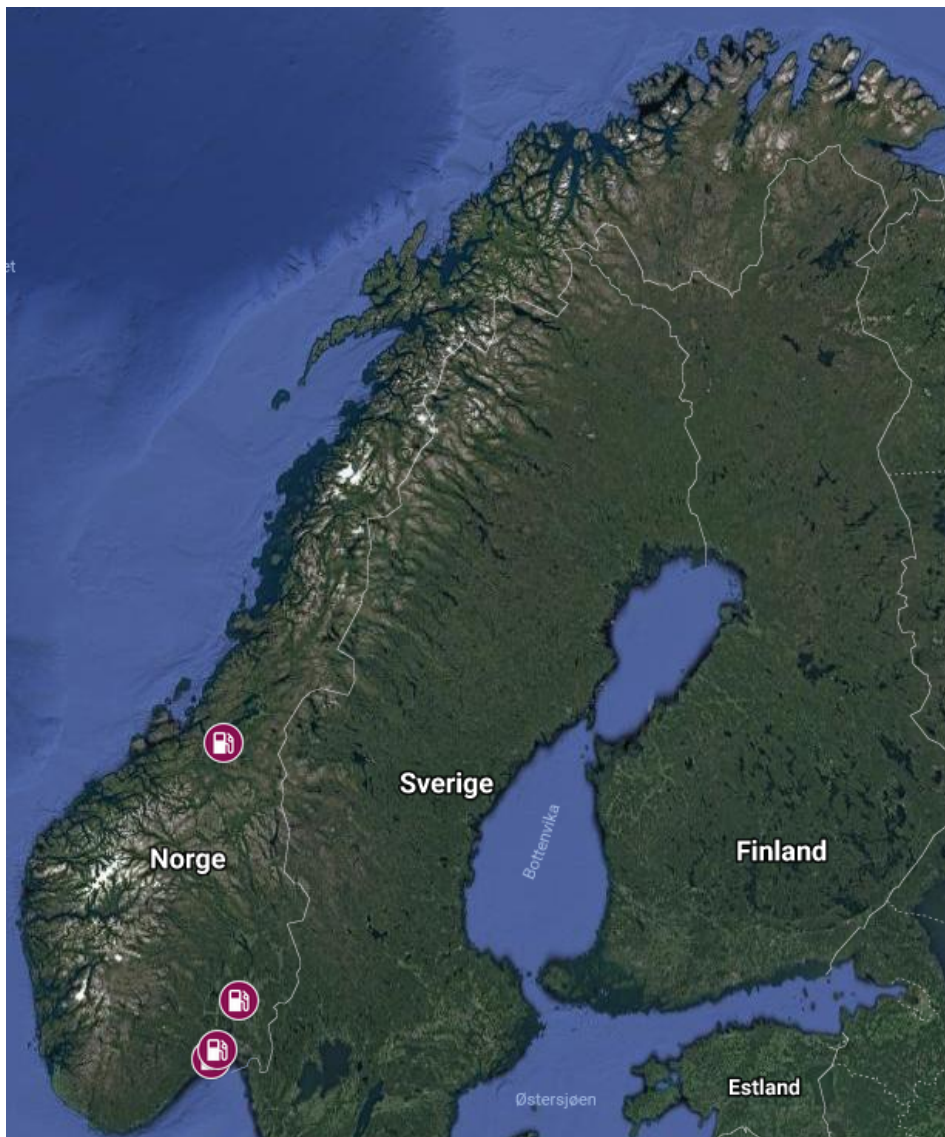


Figur 3: Fyllestasjoner for CBG, LBG og CBG i Norge i dag

Figur hentet fra biogassoslofjord.no/fyllestasjoner.

Figur 3 viser lokasjonene til eksisterende fyllestasjoner for CBG (blå), CNG (oransje) og planlagte fyllestasjoner for CBG/LBG (lilla). Eksisterende CBG stasjoner finnes i fylkene Rogaland (Stor-

Stavanger), Telemark (Grenland), Vestfold, Buskerud (Drammen og Jevnaker), Østfold (Ytre-Østfold), Akershus (Sandvika og Bærum), Oslo, Oppland (Gjøvik) og Hedmark (Hamar). Således dekkes omtrent 46,9% av Norges befolkning med fyllestasjoner for biogass gitt per fylke.. Det er likevel ikke å forvente at en stasjon i Gjøvik eller Hamar er dekkende for befolkningen i de to fylkene. Det samme ansees som gjeldende for befolkningene i Rogaland utenom Stavanger, Øvre-Telemark, Akershus øst for Oslo, Øvre-Buskerud og Indre-Østfold. Tilgangen på kommersielle CNG fyllestasjoner er begrenset til Haugesund, Lervik i Hordaland og Hammerfest. Slik CNG stasjonene er satt opp i dag er det derfor kun i ytre Rogaland og sørlige del av ytre Hordaland at CNG egner seg som tilleggsdrivstoff i et biogasskjøretøy uten at det nyttes biogass.



Figur 4: Planlagte fyllestasjoner for LBG og CBG i Norge i dag

Figur hentet fra biogassoslofjord.no/fyllestasjoner

5. desember 2018 ble Norges første fyllestasjon for LBG etablert (lilla merke i Oslo) og det er planlagt en til i Trondheim. 31.januar 2019 ble det annonsert at det også kommer en LBG tank tilkoblet en CBG fyllestasjon på industriområdet Øra i Fredrikstad (ikke markert på kartet over). Ytterligere en fyllestasjon for CBG er planlagt ferdigstilt april 2019 i Halden, og en planlagt fyllestasjonen i Stokke (Vestfold), som skal være ferdigstilt ved årsskiftet 2018/2019, skal levere en kombinasjon av CBG og LBG.

Av de seks planlagte eller nyere ferdigstilte fyllestasjonene (medberegnet de planlagte fyllestasjonene i Fredrikstad og Halden) er fem planlagt i Sørøst-Norge og vil hovedsakelig føre til økt dekning i Oslofjordområdet i tilkobling til E6 og E18.



Figur 5: Ikke offentlige fyllestasjoner for CBG (gule) og CNG (grønne) i Sør-Norge

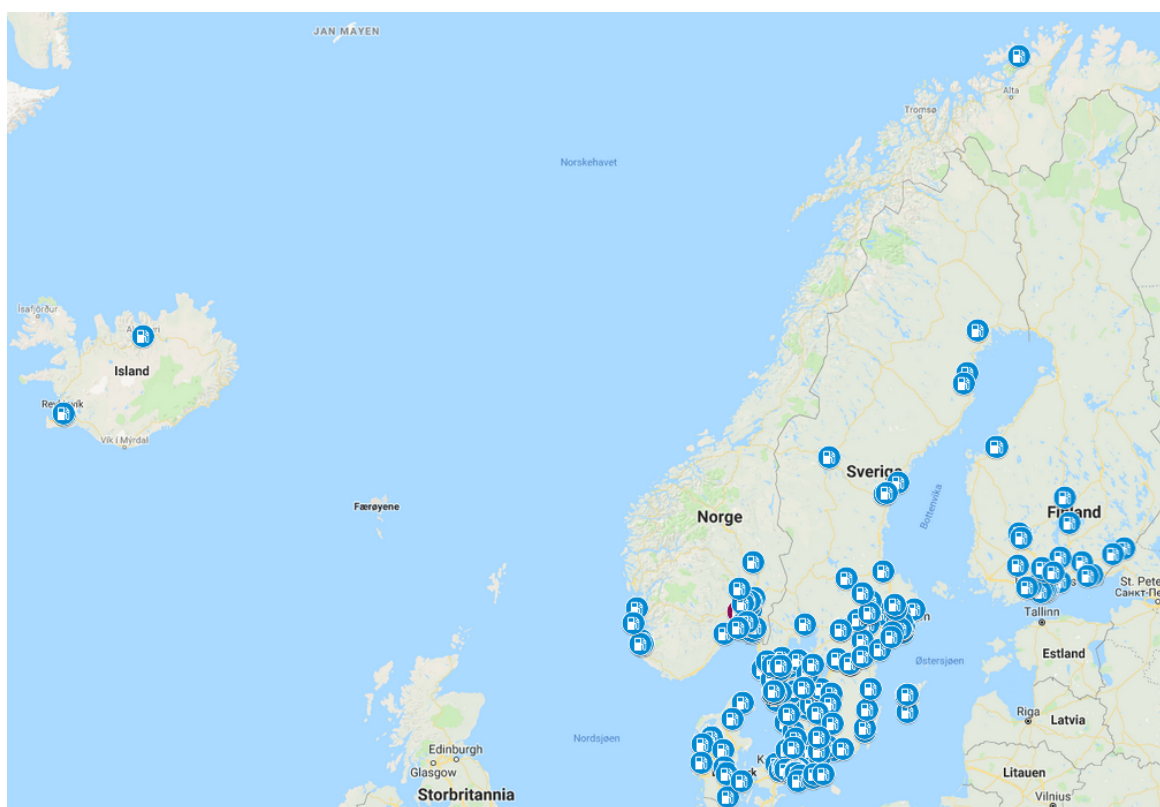
Figur hentet fra biogassoslofjord.no/fyllestasjoner

I tillegg til kommersielle fyllestasjoner for gass finnes det i dag flere fyllestasjoner som ikke er i kommersiell drift og som hovedsakelig benyttes av regionale buss- og renovasjonsselskaper. Disse er primært lokalisert i Oslofjordområdet. I Bergen finnes to LNG / CNG-stasjoner som leverer naturgass til det lokale busselskapet, men som ikke er kommersielle. En økt kommersialisering av fyllestasjoner vil føre til økt tilgjengelighet av fyllestasjoner for CBG i Skien/Prosgrunn, Tønsberg og Akershusområdene nordøst og sørøst for Oslo. Det kan likevel hende at disse ikke kan kommersialiseres fordi de hovedsakelig skal sikre biogass til busser og renovasjon og at en eventuell kommersialisering kan føre til mangel på biogass. Dette er ikke undersøkt nærmere i denne studien.

I 2017 var det i Norge rundt 40 kommersielle og ikke-kommersielle fyllestasjoner for CNG, LNG, CBG og LBG, hvorav tre leverte flytende gass (Sund et al. 2017). LBG-stasjoner er nå økt til fire, inkludert LBG stasjonen i Oslo. Dette blir snart fem når Larvik får sin LBG/CBG-fyllestasjon.

Plasseringene av fyllestasjoner for biogass bærer preg av at lokal drift av busser og renovasjonskjøretøy i de store byene og omegn med tilgang på store biogassanlegg har vært prioritert. Denne trenden kan til dels sees som en konsekvens av at regjeringen har prioritert å støtte biogass til kollektiv- og renovasjonsformål ved blant annet en tilleggsbevilgning på 20 millioner kroner som ble foreslått i 2015 av daværende samferdselsminister Ketil Solvik-Olsen (Regjeringen 2015). Aktuelle biogassanlegg er Den Magiske Fabrikken (Tønsberg), FREVAR (Fredrikstad), Romerike biogassanlegg (Vormsund), HRA (Jevnaker), IVAR (Grødaland), Lindum (Drammen), Biokraft (Skogn) og EcoPro (Verdal). Det finnes flere andre store biogassanlegg som behandler organisk avfall og/eller kloakkslam, men disse produserer per i dag ikke biogass til drivstoffformål i stor skala.

Under åpningen av Norges første kommersielle LBG stasjon kunne miljøministeren Ola Elvestuen forsikre om at biogass til tungtransport ikke var en overgangsteknologi, men en teknologi som Norge skal bruke i fremtiden (AGA 2018). Satsning på biogass til tungtransport synliggjøres også gjennom rammebetingelsene for å motta støtte fra Enova, som kan gi støtte til innkjøp av nullutslippskjøretøy, tyngre biogassdrevne kjøretøy og anleggsmaskiner, gitt at tiltaket erstatter minst 10 000 liter fossilt drivstoff/år (Enova 2018). Dette betyr at en dieselbil med et forbruk på omtrent 0,5L per mil kjøre omtrent 200 000 km pr år for å kvalifisere til støtte fra Enova.



Figur 6: Fyllestasjoner for gassdrivstoff i Norden

Figur hentet fra biogassoslofjord.no/fyllestasjoner

6 Kostnader

Som del av prosjektets fase II ble kostnader knyttet til tilpasning og ombygging av anleggsmaskiner og kjøretøy kartlagt.

6.1 Ombygging av tyngre dieselmaskiner

I beskrivelsen av de ulike kjøretøysegmentene er det dokumentert en rekke ombygningskostnader som er å tolke som veiledende anslag (personintervju 2018 og 2019). Likevel er det gjennom telefonintervju, spørreundersøkelser og bedriftsbesøk identifisert et overensstemt kostnadsområde for ombygging av nye og brukte maskiner:

Nye maskiner: 450 000 – 550 000 NOK

Brukte maskiner: 550 000 – 650 000 NOK

Disse ombyggingskostnadene vil være mer eller mindre de samme uavhengig av prisen på selve kjøretøyet (personintervju 2018 og 2019). Det som spiller størst rolle er ombygningskvantum for gitt maskintype og tilgjengelig plass på kjøretøyet til nødvendige komponenter (personintervju 2018 og 2019).

6.2 Drivstoffpriser

Tabell 7: Drivstoffpriser fordelt på type og år

	2016	2017	2018	2019	Enhet
Diesel ^a	11,7	13,4	14,7		kr / L
Avgiftsfri diesel	8,6 ^f	9,9 ^e	10,8 ^f		Kr / L
Bensin ^a	13,6	14,6	15,5		kr / L
CNG		7,3 ^d - 9,76 ^d - 12,39 ^d		7,3 ^b - 9,76 ^b - 12,39 ^b	kr / kg
LNG					kr / kg
CBG		5,18 ^e – 13,41 ^e		16,99 ^c - 17,5 ^b – 17,76 ^g – 19,29 ^g	kr / kg
LBG		0,56 - 1,341 ^e			kr / kWh

^a SSB (2019b), ^b CNGprices (2019), ^c Biogass Oslofjord (2019), ^d Sund et al. (2017), ^e basert på Tabell 8, ^f antatt samme avgiftsdifferanse som for 2017 beregnet til 26,6%, ^g Melby (2019).

Gjennomsnittlige drivstoffpriser for bensin og diesel har steget med respektivt 20% og 11% fra 2015 til 2018. Det er per i dag ikke tilgjengelig statistikk for 2019 for de fossile drivstoffene. Basert på kartet til CNGprices (2019), et nettbasert, sanntidskart over CNG-priser for transportører, er drivstoffkostnadene svært varierende mellom de fire fyllestasjonene de kan fremskaffe kostnader for i Norge. Kostnaden hentet fra CNGprices for CBG er basert på at prisen er hentet fra biogassfyllestasjonen i Fredrikstad. Ut i fra sammenstillingen i Tabell 7, ser det ut til at prisen på CBG er gjennomgående høyere enn for CNG. Drivstoffprisene i Tabell 7 er ikke å anse som sammenlignbare mellom drivstofftyper ettersom de benytter ulik benevnelse og ikke har samme energiinnhold. Sund et al. (2017) refererte til samme kilde for CNG priser, her vist som CNGprices (2019), og prisene ser ut til å være de samme. I følge nettstedet er stasjonene «*Operational, price older than 30 days*» (CNGprices 2019), så det kan være prisene i 2019 i realiteten er noe annerledes

enn presentert her. En del av drivstoffkostnadene ble fremskaffet ved omregning av verdier fra litteraturen og er presentert i Tabell 8.

Tabell 8: Drivstoff priser etter produksjon- og distribusjonskostnader

CBG lav	CBG høy	LBG lav	LBG høy	Avgiftsfri diesel	Enhet
0,56 ^a	1,491 ^a	0,475 ^a	13,41 ^a	0,84 ^b	kr / kWh
5,18	13,41			9,86	kr / kg (beregnet)

Drivstoffpriser per kWh hentet fra ^a tabell 3 og ^b figur 14 i Sund et al (2017) og skalert fra MWh til kWh.

6.3 Energipriser

Sammenligning av drivstoffpriser er kun hensiktsmessig ved å finne en fellesnevner. I denne studien benyttes kroner (kr) per kWh nedre brennverdi («lower heating value» (LHV)) som sammenligningsenhet. Egenskapene til drivstoffene CBG og CNG er basert på gass-sammensetning en vist i Vedlegg 2. Fossile drivstoff inneholder i dag en fast andel biodrivstoff, 4% bioetanol i bensin (Lovdata.no) og 7% biodiesel i diesel (Circle K 2018). Beregninger for egenskaper knyttet til solgt type drivstoff er presentert i vedlegg 3. Netto energiinnhold, energitetthet og pris per kWh er presentert i Tabell 9.

Tabell 9: Drivstoffpriser basert på solgt energivare.

Diesel (2018)	Bensin (2018)	LBG (2017)	CBG (2019)	CNG (2019)	Enheter
1,48	1,77	0,56 til 1,34	1,25	0,95	kr / kWh

Kostnadene i Tabell 9 baserer seg på kildene som henviser til i Tabell 7 og Tabell 8 og drivstoff egenskapene vist i Vedlegg 2 – 4. Bakenforliggende parameter til tabellen fremkommer i Vedlegg 4. Basert på de overnevnte kildene, koster CNG, CBG og LBG mindre enn diesel og bensin per energienhet. CNG er billigst, men fremskaffet verdi er beheftet med epistemisk² usikkerhet. Basert på de forutsetningene som er lagt til grunn i denne studien kommer LBG billigere ut sammenliknet med CBG.

Merk derfor at samtlige av beregningene basert på disse kostnadene er beheftet med en viss usikkerhet. I denne studien ble det ikke fremskaffet kostnadsanslag for LNG. Kostnadene for CBG og CNG er de mest usikre og det kan forekomme avvik fra disse i dag, se Tabell 7 for nærmere informasjon vedrørende drivstoffpriser og kilder.

6.4 Resultater Økonomianalyse

Det ble gjennomført differansekostnadsanalyse av seks økonomiscenarier for bruk av gass som drivstoff sammenliknet med diesel. Tre av disse scenariene er basert på ulike forutsetninger for dual-fuel med diesel-biogass og tre scenarier for gassmotor, både for biogass og naturgass. I

² Epistemisk usikkerhet er usikkerhet knyttet til mangel på kunnskap eller tilgjengelig informasjon.

scenarioanalysene det er det gjort noen forutsetninger basert på litteraturstudien, bedriftsbesøkene og telefonintervjuene. Resultatene er å karakterisere som svært usikre, men gir omtrentlig veiledende anslag over differansekostnadene knyttet til å investere i ombygging og drifte det ombyggede kjøretøyet for biogass sammenliknet med å ikke bygge om kjøretøyet og i stedet bruke diesel. De ulike scenariene illustrerer virkninger av endringer knyttet til ulike forutsetninger som drivstoffpris og virkningsgrad. For konkrete prisestimat anbefales det å ta kontakt med en eller flere av aktørene listet opp i Tabell 4 og Tabell 5.

Økonomianalysen tar utgangspunkt i tunge lastebiler. Disse har en levetidsdistanse på omtrent 1 080 000 km før de må avhendes (personintervju 2018 og 2019). Dette kan selvsagt variere, men dette er lagt til grunn for alle scenariene.

I analysen er netto nåverdi beregnet for henholdsvis tidsperiodene 5, 10 og 15 år med utgangspunkt i at livstidsdistansen forblir den samme. Dette er for å synliggjøre den økonomiske effekten av ulike bruksmønstre, og ettersom kjøretøyet livstid er knyttet til antall kjørte km og ikke år, illustrerer femårsperioden en intensiv bruk av kjøretøyet (1 080 000 km kjørt på fem år), mens femtenårsperioden illustrerer en relativ moderat bruk av kjøretøyet (1 080 000 km kjørt på femten år).

Diskonteringsrenten er satt til 3,5%, og det antas at evt. restverdi for det ombyggede kjøretøyet er likt evt. restverdi for et ikke-ombygget kjøretøy (differansekostnad lik 0). Differansekostnadene er beregnet ut fra et gjennomsnittlig dieselforbruk på 0,45L/km, hvilket er et grovt estimat og kan variere mye fra kjøretøy til kjøretøy. Det relative energiforbruket for gasskjøretøyet sammenliknet med dieselskjøretøy er beregnet ut fra relativ motorvirkningsgrad og energitetthet som vist i vedleggene 2, 3 og 4. Det er ikke skilt mellom investeringskostnader for kjøp av dual-fuel eller rene gasskjøretøy og samme investeringskostnad på 500 000 NOK før ENOVA støtte er antatt som hovedscenarier (scenario 1 og 4). Det er ikke kjørt analyser for LBG pga. manglende datagrunnlag og variasjoner i kostnader mellom installasjon av de to ulike systemene LBG/LNG og CBG/CNG, til tross for at mye er likt. Kostnadene for drivstoff er basert på fremstillingen i Tabell 9 og eventuelle prisendringer over tid er ikke inkludert. For komplett oversikt over forutsetningene se Vedlegg 5 i Tabell 11 til og med Tabell 16.

Tabell 10: Økonomieresultater

Parameter	Scenario 1	Scenario 2	Scenario 3	Scenario 4	Scenario 5	Scenario 6	Enhet
	Dual-fuel (95% CBG)	Dual-fuel (95% CBG), ekskl. støtte	Dual-fuel (85% CBG)	Gassmotor (CBG 100%), 87% relativ-virkningsgrad	Gassmotor (CBG 100%), 93% relativ-virkningsgrad	Gassmotor (CNG 100%), 87% relativ-virkningsgrad	
Investeringskost etter ENOVA-støtte	250 000	600 000	250 000	250 000	250 000	250 000	
Relativ motorvirknings-grad	95%	95%	95%	87%	93%	87%	
Drivstoff- forbruk	4,69	4,69	4,69	5,16	4,82	5,16	kWh/km
Drivstoffkostnad	6,33	6,33	5,99	6,47	6,05	4,88	kr/km
Redusert drivstoff kostnad i prosent	10,6 %	10,6 %	9,5 %	2,3 %	8,6 %	26,2 %	
Totale drivstoff-kostnader	6393 232	6 393 232	6 472 850	6 988765	6 532 976	5 275 117	
Total drivstoff kostnad, [CBG/CNG - diesel] for hele levetiden	-756368	-756 368	-676 750	-160835	-616 624	- 1 874 483	NOK/ livstids- distanse
Netto nåverdi) (5 år)	477 410	139 246	369 567	-96311	315272	1451 132	NOK
Netto nåverdi) (10 år)	420 603	82 439	321 281	-107786	271276	1317 388	
Netto nåverdi) (15 år)	369 781	31 616	278 082	-118053	231915	1197 733	

Merk at dette er analyse av differansekostnadene for ombygging av et eksisterende dieselskjøretøy til biogass og bruk av dette kjøretøyet, sammenliknet med å ikke ombygge det eksisterende dieselskjøretøyet. Dette betyr at dersom netto nåverdi er positiv (over 0), er ombyggingen lønnsom.

Resultatene viser at CNG og CBG i alle scenariene gir lavere drivstoffkostnader igjennom levetiden til kjøretøyet. Høyeste innsparing er ved bruk av 100% CBG i en ren gassmotor som her gir en redusert kostnad på omtrent 26%. Til sammenligning er drivstoffbesparelsen for biogass et sted mellom 2,3% - 10,6%. Totalt i løpet av levetiden til kjøretøyet kan drivstoffbesparelsene ved bruk av CBG ligge et sted mellom -160 000 til -756 368 nok.

Netto nåverdi er størst for scenario 6 som hovedsakelig skyldes prisdifferansen mellom CNG og CBG. Resultatene for netto nåverdi viser at desto tidligere kjøretøyet når antatt livstidsgrense på 1 080 000 km, desto mer lønnsom er ombyggingen. Dette er naturlig ettersom drivstoffbesparelsene oppnås tidligere. De fleste scenariene, med unntak av senario 4 gir positiv netto nåverdi. Scenario 4 er scenariet med lavest relativ gassmotor virkningsgrad sammenliknet med en dieselmotor, hvilket tyder på at god virkningsgrad er avgjørende for å oppnå lønnsomhet ved ombygging.

7 Oppsummering og diskusjon

Biogass som drivstoff er et voksende marked. Fra bare noen få tilgjengelig gasskjøretøy tidligere har de store kjøretøyprodusentene begynt å tilby gasskjøretøy i mange ulike segment. Antallet fyllestasjoner for biogass i Norge har økt betraktelig de siste årene og det samme skjer i Sverige. Det virker likevel som at denne utviklingen i Norge har skjedd til tross for få insitamenter fra myndighetene. Det var først i 2016 at biogass ble sidestilt med elektrisitet og hydrogen som en bærekraftig energibærer, men har likevel til gode å få de samme vilkårene som f.eks. elbiler. Dette har ført til at det i Norge ikke er utbredt kompetanse på tilpasning eller ombygging av dieselmotorer hvor det kun er et fåtall som har tilegnet seg denne kunnskapen. Det er likevel bred kompetanse på ombygging, tilpassing og motorproduksjon i Norges nærmeste markeder, Norden og Europa.

Teknologiene som foreligger i dag viser et godt utvalg innenfor de fleste transportsegmentene. Det er likevel lastebiler, spesielt innen langtransport, at de fleste tilgjengelige kjøretøyene fins. Det er også funnet gassalternativ for skip, traktorer, feiemaskiner for flyplasser, dumpere og CHP (kombinert elektrisitet og varme), men disse segmentene ser også ut til å være mer i eksprimeringsfasen når det gjelder alternative drivstoff sammenliknet med tyngre kjøretøy. For andre maskiner som gravemaskiner, hjullastere, lifter og lignende er det ikke funnet tilgjengelige gassalternativer. Dette kan skyldes at det kreves større inngrep i maskinens utforming for å få plassert gasstankesystemene. Utforming har også vist seg å være en viktig parameter vedørende kostnad for ombygging og tilpasning til gass. Dette skyldes i hovedsak at det er en mer krevende jobb å bytte tanksystemer, lage nye traseer for ledninger osv. Ved ombygging av brukte maskiner kan en forvente to grunner til merkostnad sammenliknet med produksjon av nye dual-fuel eller gassmotorer: *økte installasjonskostnader og redusert virkningsgrad* som fører til økt drivstofforbruk sammenliknet med nye gassmaskiner. Økonomianalysene viste at økonomien for et gasskjøretøy er svært avhengig av forbruket til maskinen relativt til en dieselskjøretøy. Gasskjøretøy har tradisjonelt ligget et stykke bak diesel på motorvirkningsgrad, som i dette prosjektet er identifisert som hovedparameter for forskjellene i drivstofforbruk mellom gass og diesel. Parameter som valg av dekk, kjøremønster, topografi og maskinens vekt er viktigere for det totale drivstofforbruket, men disse antar vi vil være de samme uavhengig om kjøretøyet nytter gass eller diesel som drivstoff. Ser en på utviklingstrenden har gassmotorer snart tatt igjen diesel i virkningsgrad, noe som gjør at en ombygging kan være lønnsom. Selv om en kutter all støtte fra ENOVA for ombygging til dual-fuel med en 5% diesel blend og øker totalinvesteringen til 600 000 NOK (Scenario 2) vil netto nåverdi være positiv (31 616 NOK) selv med moderat bruk av kjøretøyet (15 års drift). Dette skyldes i hovedsak at prisen per kWh CBG og CNG er lavere enn diesel. Prisgapet mellom CBG og CNG er imidlertid høyt så ytterligere tiltak er nødvendig for å sikre at biogass er det foretrukne alternativet.

I Norge vil det være mest nærliggende å anbefale gasskjøretøy og maskiner i Oslofjordområdet og opp til Lillehammer samt Stavanger/Gjæren og Trondheim by, ettersom det er der de fleste biogassanleggene og fyllestasjonene ligger. Det er imidlertid få tilgjengelige kommersielle fyllestasjoner for CNG/LNG i Norge, selv om noen av fyllestasjonene for biogass også kan være koblet til et naturgassnett. Dette vil imidlertid gjelde et fåtall av biogassfyllestasjonene og manglende infrastruktur på CNG/LNG gjør at det i Norge mest sannsynlig er biogass som vil være det anvendte gassdrivstoffet. Ser en på utviklingen av fyllestasjoner i Norge til i dag så har CBG vært den foretrukne lagringsformen. Dette henger sammen med at busser, som har stor ledig flate for tanksystem, har vært den største forbrukeren av biogass som drivstoff frem til i dag - i tillegg til kommunale renovasjonskjøretøy som kan fylle drivstoff relativt ofte. Ser en på nye og kommende fyllestasjoner, så er det LBG som er foretrukket. Dette kan henge sammen med at biogassanlegget på Skogn produserer all sin biogassgass direkte som LBG og flere biogassanlegg kommer etter. Produksjon av

LBG eller CBG er fordelaktig ettersom enkelte kjøretøyprodusenter kun tilbyr dette som anvendt teknologi for langtransport kjøretøy. LBG kan også lære mer lønnsomt når det kommer til anleggsmaskiner, selv om anleggsmaskinene selv bør gå på CBG fordi de står en del stille og risikoen for at metan lekker ut av overtrykksventilene til LBG tankene er stor. Fordelen med LBG på anleggsplass er imidlertid at det kan fraktes vesentlig mer energi per fraktetappe til anleggslokasjonen i tillegg til at det ikke medfører eksplosjonsfare. Mobile LBG stasjoner kan derfor være interessant. Det trengs imidlertid energi for å opprettholde drivstofftemperatur på -173°C . En annen alternativ løsning for LBG kan være i form av et mobilt kraftverk, eller en LBG-generator for elektrisitet og varmeproduksjon. Det er flere slike på markedet i dag og de kan levere energi til elektrifiserte anleggsmaskiner som per nå ser ut til å være det mest nærliggende for mindre maskiner.

For dumpere ble det kartlagt at det finnes mange løsninger, både helelektriske 700 kWh Komatsu dumper til diesel-elektriske PON-CAT dumpere med Trolley-Assist. Det er viktig å tydeliggjøre at Komatsus helelektriske maskin er skreddersydd for forholdende i det gjeldende pukkverket i Sveits, og kun fungerer når den kjører full ned og tom opp til kalkuttaket. I de fleste tilfeller vil det være motsatt. PON-CATs trolley-assist er et interessant alternativ, men den fører også med seg en del forutsetninger som f.eks. at alle etapper skal gå langs strekningen hvor det er strømkabler for el-driften. Likevel er det rom for at en diesel-elektrisk løsning kan bidra til flere fordeler når det kommer til inn klima og ventilasjon i gruvene samtidig som det gir sparte drivstoffkostnader og unngåtte miljøutslipp.

8 Konklusjon

De økonomiske analysene tyder på at biogass er et lønnsomt drivstoff for transportører/maskinkjørere, selv med betydelige ombyggingskostnader. Lønnsomheten bærer i hovedsak på to ting, relativ drivstoffpris og relativ motorvirkningsgrad sammenliknet med dieselalternativene. Med dagens drivstoffpriser ser det ut til at en gassmotorvirkningsgrad på 87% av dieselalternativet gir negativ netto nåverdi. Dette tilsvarer spennet mellom en dieselmotor med 46% virkningsgrad og gassmotorvirkningsgrad på 40%, som blir en best-case sammenligning for begge drivstofftypene. Ved bruk av dual-fuel vil det ikke være stor endring i drivstofforbruket og selv med stor forskjell i relativ virkningsgrad sammenlignet med hva produsentene oppgav, vil dual-fuel føre til positiv netto-nåverdi med de forutsetningene som ligger til grunn.

Basert på disse funnene og at utviklingen for virkningsgrad for gasskjøretøy, enten det er rene gassmotorer eller dual-fuel, nærmer seg tilnærmet lik linje som diesel, kan vi konkludere med at biogass som drivstoff ikke bare er miljømessig gunstig, men kan også være økonomisk lønnsomt. Det er heller ikke sannsynlig at gasskjøretøy i Norge kommer til å kjøre på CNG/LNG med det første, ettersom det ikke er god infrastruktur for dette. En kan med dette si at biogass er lønnsomt i Norge til tross for et tilsynelatende manglende omstillingsønske fra myndighetenes side, frem til for noen år siden. Dette ser imidlertid ut til å være på endringens vei. For å gjøre biogass til et mer utbredt drivstoff i Norge trengs det flere fyllestasjoner, for både LBG/CBG og en større spredning i landet, spesielt for å binde i sammen de nåværende fyllestasjonene.

9 Videre forskning

Med dette oppdraget var målet å kartlegge muligheter for ombygging og/eller tilpassing av nye og brukte kjøretøy til å nytte biogass som drivstoff. Det ble funnet at det er mange aktuelle løsninger i dag og flere interessante hybrid-løsninger. Det er imidlertid manglende oversikt over dette og vi håper at denne rapporten har bidratt til å kaste lys på de mulige løsningene og barrierene som finnes. En av disse barrierene kan sies å være tilgang på fyllestasjoner og distribusjon av biogass fyllestasjoner. Dette bør undersøkes nærmere og spesifikke case bør utredes.

Det er også nærliggende å tenke annerledes på biogass i og med at det i Norge i dag er iverksatt en storstilt elektrifiseringsbølge. Det kan være interessant å undersøke biogassens rolle som en off-grid løsning for bl.a. anleggsplasser og andre midlertidige operasjonsområder. En annen aktuell hybrid-løsning er en kobling mellom trolley-assist og biogass eller bare rene gass-elektriske kjøretøy. Blant biogasshybridene kan hydrogen fra biogass kan være særskilt aktuelt, ikke bare som drivstoff men også til industriprosesser. En annen interessant hybrid er dual-fuel hvor 100 % av dieselen er bio-diesel. Det interessante med dette er at virkningsgraden i motoren forblir høy, sammenlignet med en dieselmotor, og behovet for den begrensede ressursen biogass reduseres på grunn av bio-dieselen, samtidig som at behovet for biodiesel reduseres, med tanke på etterspørsel etter palmeolje og andre førstegenerasjons biodieselmåstoffer. En tri-hybrid dual-fuel (biogass/biodiesel) elektrisk løsning kan være særlig interessant med tanke på at elektriske motorer er vesentlig bedre til å takle variasjoner i arbeidsmengde, at forbrenningsmotorer presterer vesentlig bedre opp mot optimalt turtall og at noe av energien kan gjenvinnes ved bremsing eller andre mekaniske reversaksjoner.

For maskiner som hjullastere, gravemaskiner og til dels traktorer kan det være interessant å se på mulige tilpasningsmuligheter og resultatene kan være interessante for alle maskiner med lite ledig plass til tankesystem.

Et annet tema som bør undersøkes og klargjøres nærmere er direkteutslipp knyttet til overtrykk i LBG/LNG tanker på lastebiler og hvorvidt det finnes løsninger som kan eliminere dette som en kilde til klimagassutslipp og energitap. Det kan også være interessant å følge opp biogass for skip.

Til slutt kan det være aktuelt å undersøke i hvilke situasjoner/steder biogass har et begrenset/ingen bruksområder. I dette prosjektet har vi funnet ut at mindre anleggsmaskiner og kjøretøy i stor grad elektrifiseres og det samme gjelder for lokale bybusser og renovasjonskjøretøy. Dette er i grunn ingen ulempe for biogass ettersom det er en begrenset ressurs og bør anvendes der den har størst virkning. Langtransport, regionale busser og tyngre anleggsmaskiner kan alle være gode eksempler for bruk av biogass grunnet lengre rekkevidde samtidig som bynære strøk og korte strekninger likegodt kan dekkes gjennom elektrisitet.

10 Referanser

AGA (2018) nettstedsartikkel: <http://www.mynewsdesk.com/no/aga-as-norge/pressreleases/aapning-av-norges-foerste-fyllestasjon-for-flytende-biogass-2809960> [besøkt 12.02.2019.

Biogassoslofjord (2019), nettsted: <http://biogassoslofjord.no/fyllestasjoner/>. Sist besøkt 13.02.2019.

Berg, H.Ø., 2018. ØKONOMISKE INSENTIVER FOR BIOGASS I TRANSPORT - EFFEKT AV BOMPENGEFRITAK. <https://docplayer.me/109323388-Okonomiske-insentiver-for-biogass-i-transport.html> Sist besøkt 13.02.2019.

Brekke, A., Saxegård, S. A., Tellnes, L. G. F., Nilsen, M. 2018. Hvor klimavennlig er det å ta med seg hytta på ferie? Et klimagassregnskap for bobiler, Fredrikstad. Tilgjengelig på: https://www.ostfoldforskning.no/media/2088/or_25_18_klimagassregnskap_bobiler.pdf.

Brekke, A., Soldal, E., Saxegård, S. A., Svanes, E. og Raadal, H. L. 2017. Klimavirkninger av ikke-skogbasert bioenergi – Litteratur- og LCA-studie, p.112. Fredrikstad. Tilgjengelig på: https://www.ostfoldforskning.no/media/2088/or_25_18_klimagassregnskap_bobiler.pdf

Catepillar (2017), nettsted: https://www.cat.com/en_ZA/news/machine-press-releases/caterpillar-to-offer-dual-fuel-retrofit-kit-for-785c-mining-truck.html

NGV (2018), nettsted: <https://www.ngvglobal.com/blog/dual-fuel-retrofit-kit-coming-cat-785c-1103>. Sist besøkt 22.02.2019.

Circle K, 2018. miles[®] Diesel. (914766451), p.12937. Tilgjengelig på: https://m.circlek.no/no_NO/pg1334087068973/business/milesDrivstoffbedrift/milesDieselbedrift.html.

CNGprices (2019), nettsted: http://www.cngprices.com/station_map.php. Besøkt 13.02.2019.

Diesel and Gas World wide (2017): A Gas engine first for Siemens. <https://diesलगasturbine.com/gas-engine-first-siemens/>. Lastet ned 23.02.2019.

Dual fuel organisation (2016), nettsted: <http://dualfuelorganization.com/faqs.php>. Sist besøkt 28.02.2019.

Electrek (2017): Nettstedsartikkel: <https://electrek.co/2017/09/17/electric-dumper-truck-worlds-largest-ev-battery-pack/>. Sist lastet ned 02.02.2019

Engineeringtoolbox.com, nettsted: https://www.engineeringtoolbox.com/fuels-higher-calorific-values-d_169.html. Sist besøkt 13.02.2019.

Enova (2018), nettsted: <https://www.enova.no/bedrift/landtransport/energi--og-klimatiltak-i-landtransport/> Besøkt 02.010.2018.

Eur-Lex (2014) Regulation No 115 of the Economic Commission for Europe of the United Nations (UN/ECE) Uniform provisions concerning the approval of: I. specific LPG (liquefied petroleum gases)

retrofit systems to be installed in motor vehicles for the use of LPG in their propulsion system; — II. specific CNG (compressed natural gas) retrofit systems to be installed in motor vehicles for the use of CNG in their propulsion system. Tilgjengelig fra: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A42014X1107%2802%29>. Besøkt 18.09.18

Gasspro.no, nettsted: <http://www.gasspro.no/>. Sist besøkt 19.02.2019.

Gardsdrift.no, nettartikkel: <http://gardsdrift.no/valtra-p%C3%A5-biogass>. Sist besøkt 23.02.2019.

Im-mining (2018): Nettstedsartikkel: <https://im-mining.com/2018/02/22/trolley-assist-europe-boliden-aitik-trial-will-utilise-four-cat-trucks/>. Sist besøkt 15.02.2019.

ISO (2006) ISO 15403-1:2006. Natural gas -- Natural gas for use as a compressed fuel for vehicles -- Part 1: Designation of the quality. Tilgjengelig fra: <https://www.iso.org/standard/44211.html>. Besøkt 18.09.18

ISO (2013) ISO 11439:2013. Gas cylinders -- High pressure cylinders for the on-board storage of natural gas as a fuel for automotive vehicles. Tilgjengelig fra: <https://www.iso.org/standard/44755.html>. Besøkt 18.09.18

ISO (2015) ISO 1550-1:2015. Road vehicles -- Compressed natural gas (CNG) fuel system components -- Part 1: General requirements and definitions. Tilgjengelig fra: <https://www.iso.org/standard/60255.html>. Besøkt 18.09.18

Iveco New Stralis NP (2019a). Produktdatablad: <https://www.iveco.com/en-us/press-room/release/Documents/2017/NewStralisNP460.pdf>. Lastet ned 19.02.2019.

Iveco New Stralis NP (2019b), nettsted: https://issuu.com/iveco1975/docs/new_stralisnp_db0ad80b66a21f?e=5200183/58312092. Sist besøkt 23.02.2019.

Klima- og miljødepartementet (2014) Nasjonal tverrsektoriell biogasstrategi. Tilgjengelig fra: <https://www.regjeringen.no/contentassets/255fa489d18d46feb3f8237bc5c096f0/t-1545.pdf>. Besøkt 18.09.18

Lovdata.no, Forskrift om begrensning i bruk av helse- og miljøfarlige kjemikalier og andre produkter §3-3 *Krav til omsetning av biodrivstoff til veitrafikk og dobbeltelling av biodrivstoff fra visse råstoff*: nettsted: https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2004-06-01-922/KAPITTEL_4#KAPITTEL_4. Sist besøkt 13.02.2019.

Lyng, K-A. og Brekke, A. (2019): Environmental Life Cycle Assessment of Biogas as a Fuel for transport compared with alternative fuels. <https://www.mdpi.com/1996-1073/12/3/532>

Mark Oliver (n.d): UK Bus & Coach Fleet Sales General Manager: <http://www.cngservices.co.uk/images/NGVDay14/7-Scania-NGV-gas-presentation.pdf>. Lastet ned 23.02.2019.

Miljødirektoratet (2018): - Bruk av biodrivstoff fortsetter å øke. Populærvitenskapelig artikkel. Lenke: <http://www.miljodirektoratet.no/no/Nyheter/Nyheter/2018/Mai-2018/Bruk-av-biodrivstoff-fortsetter-a-oke/> publisert: 08.05.2018.

Modahl, I. S., Lyng, K.-A., Stensgård, A., Saxegård, S. A., Hanssen, O. J., Møller, H., Arnøy, S., Morken, J., Briseid, T., Sørby, I. (2016): Biogassproduksjon fra matavfall og møkk fra ku, gris og fjørfe Status 2016 (fase IV) for miljønytte for den norske biogassmodellen BioValueChain, Østfoldforskning, Fredrikstad. Tilgjengelig på: <http://ostfoldforskning.no/uploads/dokumenter/publikasjoner/735.pdf>.

Mercedes (2019), nettsted: https://www.mercedes-benz-trucks.com/no_NO/models/new-actros/other-facts/the-new-actros-ngt.html. Sist besøkt: 04.02.2019.

NGV (2018), Bransjebladet: MAN DF Engines Selected for Conversion of RoPax Ferries to LNG. <http://www.ngvglobal.com/blog/man-df-engines-selected-for-conversion-of-ropax-ferries-to-lng-0829>. Sist lest 23.02.2019.

NGV (2019), Bransjebladet: MAN's New TCT Turbocharger Series Suits Dual-Fuel and IMO Tier-III. <https://www.ngvglobal.com/blog/mans-new-tct-turbocharger-series-suits-dual-fuel-and-imo-tier-iii-0219#more-90309>. Sist lest 23.02.2019.

Nordic Council of Ministers (2018) The rapidly developing Nordic bioeconomy. Tilgjengelig fra: <http://norden.diva-portal.org/smash/get/diva2:1180749/FULLTEXT01.pdf>. Besøkt 04.10.18

Official Journal of the European Union (2011) Regulation No 110 of the Economic Commission for Europe of the United Nations (UN/ECE) — Uniform provisions concerning the approval of I. specific components of motor vehicles using compressed natural gas (CNG) in their propulsion system; II. vehicles with regard to the installation of specific components of an approved type for the use of compressed natural gas (CNG) in their propulsion system. Tilgjengelig fra: <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2011:120:0001:0108:EN:PDF>. Besøkt 18.09.18

Regjeringen (2015) - (Nettsted): <https://www.regjeringen.no/no/aktuelt/biogass-i-fylkeskommunal-kollektivtransport-med-buss-20-millioner-kroner-til-ny--tilskuddsordning/id2411612/> [Besøkt: 12.02.2019].

SSB (2019a) (Nettsted): <https://www.ssb.no/befolkning/faktaside/befolkningen>. [Besøkt 12.02.2019].

SSB (2019b) Sal av petroleumsprodukt, statistikk: <https://www.ssb.no/energi-og-industri/statistikker/petroleumsalg/maaned>. Lastet ned 17.01.2019.

SSB (2019c): Kjørelengder. Gjennomsnitt per kjøretøy, etter kjøretøytype, drivstofftype, statistikkvariabel og år <https://www.ssb.no/statbank/table/07311/tableViewLayout1/> sist besøkt 19.02.2019.

Sund, K., Utgård, B. & Strøm Christensen, N., 2017. Muligheter og barrierer for økt bruk av biogass til transport i Norge. <http://presse.enova.no/documents/muligheter-og-barrierer-for-oekt-bruk-av-biogass-til-transport-i-norge-69550>

Siemens (2019): Nettsted: <https://new.siemens.com/global/en/products/energy/power-generation/gas-turbines/dresser-rand-kg2.html>. Besøkt 12.02.2019.

Saxegård, S.A. & Baxter, J., 2016. OR.06.16 Resource recovery and life cycle assessment in co-treatment of organic waste substrates for biogas versus incineration value chains in Poland and

Norway, Østfoldforskning, Fredrikstad.

<https://www.ostfoldforskning.no/no/publikasjoner/Publication/?id=1391>.

Solberg, Fredrik Eikum (2017): Fossilfrie maskiner – Markedssjekk på fossilfrie maskiner.

<http://www.miljokommune.no/Documents/Klima/Klima-%20og%20energitiltak%20i%20ulike%20sektorer/Fossil-%20og%20utslippsfrie%20byggeplasser/Fossilfrie%20maskiner%20v3.8.pdf> Besøkt: 26.02.2019

Swedavia (2014): Nettstedsartikkel: <https://www.swedavia.com/about-swedavia/for-press/swedavia-swedish-airports-presents-the-worlds-first-biogas-fueled-snow-sweeper-/#gref>. Sist besøkt 25.02.2019.

UNECE (2012) Agreement concerning the adoption of uniform technical prescriptions for wheeled vehicles, equipment and parts which can be fitted and/or used on wheeled vehicles and the conditions for reciprocal recognition of approvals granted on the basis of these prescriptions. Addendum 114: Regulation No. 115. Tilgjengelig fra: <https://www.unece.org/?id=39146>. Besøkt 18.09.18

UNECE (2018-1) UN Vehicle Regulations - 1958 Agreement Addenda to the 1958 Agreement (Regulations 101-120). Tilgjengelig fra: <https://www.unece.org/?id=39146>. Besøkt 18.09.18

UNECE (2018-2) Agreement Concerning the Adoption of Uniform Technical Prescriptions for Wheeled Vehicles, Equipment and Parts which can be fitted and/or be used on Wheeled Vehicles and the Conditions for Reciprocal Recognition of Approvals Granted on the Basis of these Prescriptions. Addendum 109 – UN Regulation No. 110. Revision 4 – Amendment 1. Tilgjengelig fra: <https://www.unece.org/?id=39146>. Besøkt 18.09.18

Vegvesen.no (2018) Godkjenning av kjøretøy ombygd til gassdrift. Tilgjengelig fra: <https://www.vegvesen.no/kjoretoy/Eie+og+vedlikeholde/Ombygging/Ombygging+til+gassdrift>. Besøkt 18.09.18

Volvo Trucks (2019), nettartikkel: <https://www.multivu.com/players/no/8192551-volvo-trucks-new-gas-cut-co2/> sist besøkt 15.02.2019

Wästljung, Urban (2016): Scania's view on sustainable transport. http://www.ntn.dk/download/2016_studietur_stokholm/scania_renewable_final.pdf . Lastet ned: 15.03.2019

Webster, C.W. (2014) ECE R110 Annex 3 & ISO 11439. High pressure cylinders for the on-board storage of natural gas as a fuel for automotive vehicles. Informal document GRSG-106-29. Tilgjengelig fra: <https://www.unece.org/fileadmin/DAM/trans/doc/2014/wp29grsg/GRSG-106-29e.pdf>. Besøkt 18.09.18

Webster, C.W. (2017) ECE R110: Harmonization of CNG Fuel Tank Requirements with ISO 11439. Informal document GRSG-112-38. Tilgjengelig fra: <https://www.unece.org/fileadmin/DAM/trans/doc/2017/wp29grsg/GRSG-112-38e.pdf>. Besøkt 18.09.18

Vedlegg 1 Datainnsamlingsskjema

Østfold Research, situated in Fredrikstad, Norway, is doing a project for the Norwegian County of Østfold to map actors producing biogas adapted vehicles. The project is part of the Oslofjord biogas project group (ref. Per Wennerberg), part of Biogas 2020, and Østfold County. The aim is to gather information about today's practice to influence policies aiming at increasing biogas utilization in heavy machinery in Norway.

We therefore kindly want to ask you some key questions about your business regarding; which vehicle segment you offer conversion services for, which fuels (CNG, LNG, CBG and LBG) and what needs to be changed about the vehicle. If you can share the costs of vehicle/heavy machinery conversion to biogas as well, it would be highly appreciated.

We hope you can answer our questions:

Question 1: For whom (vehicle company, if any specific) do you convert vehicles and/or heavy machinery?

Specific company: [list companies]

No specific company: [yes/no]

Question 2: Which retailer do you deliver to:

[Retailer company name], [Retailer location]

[Do not know]

[Do not want to answer]

Question 3: Which vehicle segment(s) do you convert?

Passenger vehicles:

Building/ construction machines (asphalt machines, cranes, lifts etc): [list vehicles]

Other heavy machinery (Excavators, dumpers, tractors etc.): [list machinery]

Lorries (3.5-7t, 7.5-16t, 16-32t, >32t): [list vehicles]

Question: 4: Do you convert and adapt new vehicles and machinery, retrofit (used vehicles) or both?

New vehicles: [yes/no]

New machinery: [yes/no]

Retrofit vehicles: [yes/no]

Retrofit machinery: [yes/no]

Question 5: To which fuel(s) do you convert, chose several if relevant?

LNG: [yes/no, blend relation]

CNG: [yes/no, blend relation]

CBG: [yes/no, blend relation]

LBG: [yes/no, blend relation]

Non-upgraded biogas: [yes/no, blend relation]

Dual fuel CNG or CBG and diesel: [yes/no, blend relation]

Dual fuel LNG or LBG and diesel: [yes/no, blend relation]

Dual fuel CNG or CBG and gasoline: [yes/no, blend relation]

Dual fuel LNG or LBG and gasoline: [yes/no, blend relation]

Question 6: We are aiming to physically map the location of gas-conversion workshops. Can you provide the address for your workshop(s)?

[insert addresses]

Question 7: Fuel consumption (L/km) or (L/h) is important when comparing biogas fuels to fossil fuels in terms of fuel consumption. Can you list the fuel efficiency of the fossil vehicles you convert and the subsequent fuel efficiency in the converted vehicle?

[Type vehicle/ machinery], [Original fuel engine efficiency], [converted vehicle fuel efficiency].

Question 8: Due to import taxes related to vehicle/machinery weight we need to know the weight of the original and the converted vehicle (10 linjer).

[Type vehicle/ machinery], [vehicle weight original], [vehicle weight converted].

[I do not know]

Question 9: Technical properties. Are there any changes in technical properties for a biogas converted vehicle, and if so what are these?

[Text box]

Question 10: What are the main barriers preventing biogas vehicles and machinery on the market?

[Text box]

Part 2: Costs

As part of the project we are tasked to estimate additional costs associated with the conversion of lorries and heavy machinery. We are aware that this might be sensitive information and might vary a lot from machine to machine. Therefore, this question is optional, but we hope you can fill in an approximate cost. The answer will be kept confidential and will only be used to calculate an average cost based on all sources. If you want, we can send a document of confidentiality.

Question 11: Approximate costs of conversion (per lorry and machinery size and type):

[vehicle type], [approximate costs]

[Don't want to share]

Question 12: Maintenance costs per used km/year or hour usage/year (per lorry and machinery size and type):

[vehicle type], [km, hour or yearly maintenance reference], [costs of maintenance]

Thank you for providing answers to our questionnaire.

Vedlegg 2 Beregninger egenskaper basert på sammensetning CBG og CNG

Gass	MJ / kg	Sammensetning	Massetetthet	Enhet
Biogass	50,0 ^a	97,50 %	0,66	kg/Sm3 CH4 @ 15°C
	0	2,50 %	1,92	kg / m3 CO2
Natural gas	47,1 ^a	100 %	0,777	kg/Sm3 CH4 @ 15°C

^aEngineeringtoolbox.com.

Vedlegg 3 Dagens drivstoffsammensetning for flytende drivstoff, ekskl. LBG og LNG

Diesel		Bensin		enhet
biodiesel	diesel	Etanol	Bensin	
37,8 ^a	42,6 ^a	26,7 ^a	43,4 ^a	MJ LHV / kg
0,888 ^a	0,846 ^a	0,789 ^a	0,737 ^a	kg / L
7 % ^b	93 % ^b	4 % ^c	96 %	innhold i drivstofftype

^aEngineeringtoolbox.com, ^bCircle K (2018), ^cLovdata.no.

Vedlegg 4 Beregningsmatrise for pris per kWh

Diesel (2018)	Bensin (2018)	LBG (2017)	Enheter	CBG (2019)	CNG (2019)	Enheter
14,7	15,5		kr / L	16,99 – 19,29	12,4	kr / kg
42,3	42,7		MJ / kg	32,2	36,6	MJ / kg
11,7	11,9		kWh / kg	8,9	10,2	kWh / kg
0,8	0,7		kg / L	0,7	0,8	kg/Sm ³ CH ₄ @ 15°C
10,0	8,8		kWh / L	5,9	7,9	kWh / m ³
1,48	1,77	0,56 – 1,34	kr / kWh	1,25 - 1,42	0,95	kr / kWh

Vedlegg 5 Økonomiscenarier

Tabell 11: Forutsetninger, økonomiscenario, CBG dual-fuel

Parameter	diesel	CBG (dual-fuel)	Enheter
Relativ motorvirkningsgrad	100%	95,7%	
forbruk L diesel (anslag)	0,45		L / km
forbruk drivstoff	4,5	4,689	kWh / km
Drivstoffkostnad	6,62	5,88	kr / km
Kjøretøyinvestering			kr
Ombyggings investering		500 000	kr
Enovastøtte		50 %	
total investering		250 000	kr
livsdistanse (km)	1 080 000	1 080 000	km / kjøretøy
Livstids diesel forbruk	486 000	24300	L / diesel
Livstids gass forbruk		566 592	Sm3 gass / levetid
Total drivstoff kost (hele levetiden)	7 149 600	6 393 232	NOK
Andel Drivstoff i biogass løsning		95 %	
Biogass kost hele livstiden (kr år tot)		-756 368	NOK
r = diskonteringsrenten	3,5 %	3,5 %	rente
Netto nåverdi (5 år)		477 410	NOK
Netto nåverdi (10 år)		420 603	NOK
Netto nåverdi (15 år)		369 781	NOK

Tabell 12: Forutsetninger, økonomiscenario 2, ingen støtte, 600 000 i investering

Parameter	diesel	CBG (dual-fuel)	enheter
Relativ motorvirkningsgrad	100%	95,7%	
forbruk L diesel (anslag)	0,45		L / km
forbruk drivstoff	4,5	4,689	kWh / km
Drivstoffkostnad	6,62	5,92	kr / km
Kjøretøyinvestering			kr
Ombyggings investering		600 000	kr
Enovastøtte		0 %	
total innvestering	-	600 000	kr
livsdistanse (km)	1 080 000	1 080 000	km / kjøretøy
Livstids diesel forbruk	486 000	24 300	L / diesel
Livstids gass forbruk		566 592	Sm3 gass / levetid
Total drivstoff kost (hele levetiden)	7 149 600	6 393 232	NOK
Andel Drivstoff i biogass løsning		95 %	
Biogass kost hele livstiden (kr år tot)		-756 368,05	NOK
r = diskonteringsrenten	3,5 %	3,5 %	rente
Netto nåverdi (5 år)		103 298	NOK
Netto nåverdi (10 år)		49 331	NOK
Netto nåverdi (15 år)		1 050	NOK

Tabell 13: Forutsetninger, økonomiscenario 3, CBG dual-fuel (85% CBG)

Parameter	Diesel	CBG (gassmotor)	Enheter
Relativ motorvirkningsgrad	100%	95,7%	
forbruk L diesel	0,45	0,07	L / km
forbruk drivstoff	4,5	4,69	kWh / km
Drivstoffkostnad	6,62	5,99	kr / km
Kjøretøyinvestering			kr
Ombyggings investering		500 000	kr
Enovastøtte		50 %	
total innvestering		250 000	kr
livsdistanse (km)	1 080 000	1 080 000	km / kjøretøy
Livstids diesel forbruk	486 000	72 900	L / diesel
Livstids gass forbruk		566 592	Sm3 gass / levetid
Total drivstoff kost (hele levetiden)	7 149 600	6 472 850	NOK
Andel Drivstoff i biogass løsning		85 %	
Biogass kost hele livstiden (kr år tot)		-676 750	NOK
r = diskonteringsrenten	3,5 %	3,5 %	rente
Netto nåverdi (5 år)		369 567	NOK
Netto nåverdi (10 år)		321 281	NOK
Netto nåverdi (15 år)		278 082	NOK

Tabell 14: Forutsetninger, økonomiscenario 4, CBG gassmotor, 87% relativ gassmotorvirkningsgrad

Parameter	Diesel	CBG (gassmotor)	Enheter
Relativ motorvirkningsgrad	100%	87 %	
forbruk L diesel (anslag)	0,45	0	L / km
forbruk drivstoff	4,5	5,16	kWh / km
Drivstoffkostnad	6,62	6,47	kr / km
Kjøretøyinvestering			kr
Ombyggings investering		500 000	kr
Enovastøtte		50 %	
total investering		250 000	kr
livsdistanse (km)	1 080 000	1 080 000	km / kjøretøy
Livstids diesel forbruk	486 000		L / diesel
Livstids gass forbruk		623 251	Sm3 gass / levetid
Total drivstoff kost (hele levetiden)	7 149 600	6 532 976	NOK
Andel Drivstoff i biogass løsning	100 %		
Biogass kost hele livstiden (kr år tot)		-616 623	NOK
r = diskonteringsrenten	3,5 %	3,5 %	rente
Netto nåverdi (5 år)		-96 311	NOK
Netto nåverdi (10 år)		-107 786	NOK
Netto nåverdi (15 år)		-118 053	NOK

I dette scenariet er motorvirkningsgrad beregnet ut i fra en dieselvirkningsgrad på 46% og gassmotorvirkningsgrad på 40%.

Tabell 15: Forutsetninger, økonomiscenario 5, CBG gassmotor, 93% relativ gassmotorvirkningsgrad

Parameter	Diesel	CBG (gassmotor)	Enheter
Relativ virkningsgrad gassmotor		93,0 %	
forbruk L diesel (anslag)	0,45	0,00	L / km
forbruk drivstoff	4,5	4,82	kWh / km
Drivstoffkostnad	6,62	6,05	kr / km
Kjøretøyinvestering			kr
Ombyggings investering		500 000	kr
Enovastøtte		50 %	
total investering		250 000	kr
livsdistanse (km)	1 080 000	1 080 000	km / kjøretøy
Livstids diesel forbruk	486 000		L / diesel
Livstids gass forbruk		582 604	Sm3 gass / levetid
Totalt drivstoff kost (hele levetiden)	7 149 600	6 532 976	NOK
Andel Drivstoff i biogass løsning		100 %	
Biogass kost hele livstiden		-616 624	NOK
r = diskonteringsrenten	3,5 %	3,5 %	rente
Netto nåverdi (5 år)		315 272	NOK
Netto nåverdi (10 år)		271 276	NOK
Netto nåverdi (15 år)		231 915	NOK

Tabell 16: Forutsetninger, økonomiscenario 6, CNG gassmotor, 87% relativ gassmotorvirkningsgrad

Parameter	Diesel	CBG (gassmotor)	Enheter
Relativ virkningsgrad gassmotor		87,0 %	
forbruk L diesel (anslag)	0,45	0,00	L / km
forbruk drivstoff	4,5	5,16	kWh / km
Drivstoffkostnad	6,62	4,88	kr / km
Kjøretøyinvestering			kr
Ombyggings investering		500 000	kr
Enovastøtte		50 %	
total innvestering		250 000	kr
livsdistanse (km)	1 080 000	1 080 000	km / kjøretøy
Livstids diesel forbruk	486 000		L / diesel
Livstids gass forbruk		623 251	Sm3 gass / levetid
Total drivstoff kost (hele levetiden)	7 149 600	5 275 117	NOK
Andel Drivstoff i biogass løsning		100 %	
Biogass kost hele livstiden (kr år tot)		-1 874 483	NOK
r = diskonteringsrenten	3,5 %	3,5 %	rente
Netto nåverdi (5 år)		1 451 132	NOK
Netto nåverdi (10 år)		1 317 388	NOK
Netto nåverdi (15 år)		1 197 733	NOK

