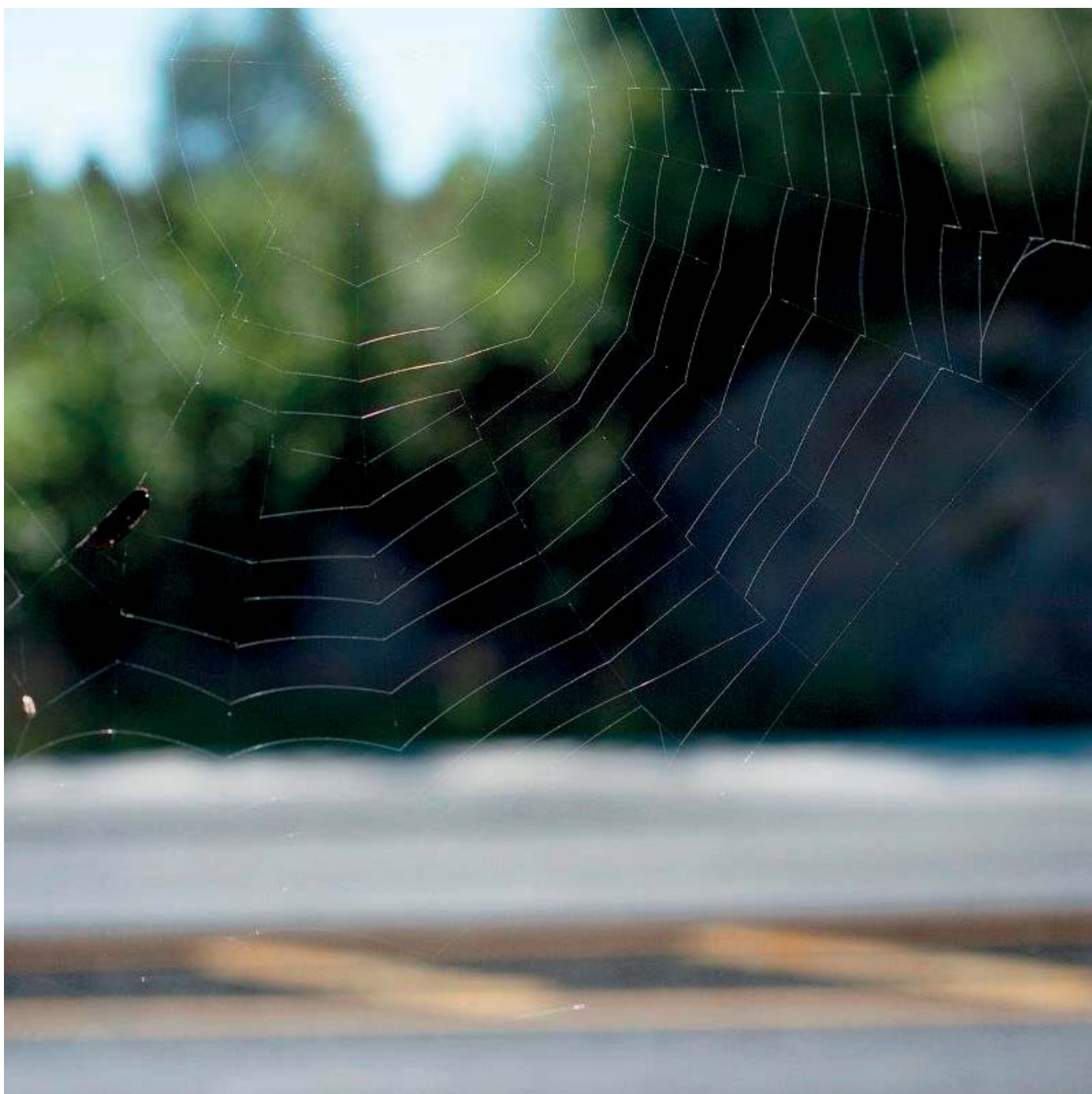


Desember 2016

MILJØUTGREIING BUSS NORDHORDLAND OG ASKØY

Rapporten er utarbeidd av COWI på oppdrag frå Skyss



DECEMBER 2016
SKYSS

MILJØUDREDNING BUSS NORDHORDLAND OG ASKØY

RAPPORT

PROJEKTNR.

A085943

DOKUMENTNR.

1

VERSION

4

UDGIVELSESDATO

30. december
2016

BESKRIVELSE

RAPPORT

UDARBEJDET

CANG

KONTROLLERET

JJD

GODKENDT

CANG

INDHOLD

1	Baggrund og formål	9
1.1	De miljømæssige målsætninger	10
1.2	Aktuelle udledninger af klimagasser	11
1.3	Tilgang	12
1.4	Dataindsamling	13
2	Emissioner fra bustrafikken	17
2.1	Emissioner	18
2.2	Hvad opnås med den nye EURO VI-norm	19
2.3	Skyss og miljø	21
3	Del I: Udvælgelse af realistiske alternativer	23
3.1	Biodiesel	23
3.2	Syntetisk diesel	25
3.3	Biogas	25
3.4	Bioethanol	27
3.5	Hybridbusser	28
3.6	Eldrevne busser	29
3.7	Brintbusser	30
3.8	Udvælgelse	31
4	Del II: Relevante alternativer	34
4.1	Biodiesel	34
4.2	Syntetisk diesel	37
4.3	Eldrevne busser	40
5	Anbefaling	56

Tabelliste:

Tabel 1	CO ₂ , NO _x og partikler (PM) for den kollektive bustrafik i Nordhordland og Askøy. Tallene er beregnet på baggrund af forbruget af diesel. Kilde: Skyss	12
Tabel 2	TCO, beregnet på baggrund af 9 års kørsel i kontrakt i Nordhordland og på Askøy	15
Tabel 3	Udledning af CO ₂ , NO _x og partikler med forskellige teknologier (gennemsnitlig udledning/km). De nuværende busser der betjener Nordhordland og Askøy opfylder EURO V-normen. Tallene er baseret på, at en bus i gennemsnit kører 2,8 km/liter diesel, svarende til det nuværende forbrug	20
Tabel 4	Effekten for emission af CO ₂ , NO _x og partikler (PM) af at indføre EURO VI-busser som erstatning for EURO V-busser i Nordhordland og på Askøy. Beregnet på baggrund af udført buskørsel i 2015/2016	21
Tabel 5	Vurdering af forskellige teknologier, deres respektive fordele og ulemper og egnethed i forhold til Skyss' mål om reduceret miljøbelastning fra den kollektive bustrafik. Udgangspunktet er en sammenligning med dieselbus (venstre kolonne), dvs. nødvendige investeringer, omkostninger og udfordringer mv. er beskrevet med en dieselbus som alternativ. Farverne og styrken indikerer, om noget er positivt (grønt) eller negativt (rødt) ift. diesel som reference	32
Tabel 6	TCO, beregnet på baggrund af 9 års kørsel i kontrakt i Nordhordland og på Askøy. Sammenholdt med de tilsvarende udgifter for almindelig diesel	37
Tabel 7	Reduktion i CO ₂ , NO _x og partikler (PM) for den kollektive bustrafik i Nordhordland og Askøy ved brug af biodiesel i en EURO VI-bus, sammenholdt med almindelig diesel og EURO VI. Tallene er beregnet på baggrund af, at der anvendes B100 til 75 % af den samlede kørsel og B5 til de resterende 25 % af kørslen	37
Tabel 8	TCO, beregnet på baggrund af 9 års kørsel i kontrakt i Nordhordland og på Askøy. Sammenholdt med de tilsvarende udgifter for almindelig diesel	39
Tabel 9	Reduktion i CO ₂ , NO _x og partikler (PM) for den kollektive bustrafik i Nordhordland og Askøy ved brug af syntetisk diesel i en EURO VI-bus, sammenholdt med almindelig diesel og EURO VI. Tallene er beregnet på baggrund af, at der anvendes HVO til den samlede kørsel i Nordhordland og på Askøy	40
Tabel 10	Karakteristika for en eldrevet, depot-charged bus	41
Tabel 11	Eksempel på et eksisterende vognløb og batteriernes beregningsmæssige restkapacitet SOC (State Of Charge) undervejs. Med rødt er markeret, hvor SOC er for lav og hvor der mangler batterikapacitet	43
Tabel 12	Nordhordland: Vognløb, hvor driften kan udføres med eldrevne depot-charged busser (dagens produktion og vognløb)	44
Tabel 13	Askøy: Vognløb, hvor driften kan udføres med eldrevne depot-charged busser (dagens produktion og vognløb)	45
Tabel 14	TCO, beregnet på baggrund af 9 års kørsel i kontrakt i Nordhordland og på Askøy. Sammenholdt med de tilsvarende udgifter for almindelig diesel. For Nordhordland er forudsat, at ca.	

	50% af busserne er eldrevne, på Askøy ca. 85%. De resterende er dieselbusser	47
Tabel 15	Reduktion i CO ₂ , NO _x og partikler (PM) for den kollektive bustrafik i Nordhordland og Askøy ved brug af eldrevne depot-charged busser, sammenholdt med almindelig diesel og EURO VI. Tallene er beregnet på baggrund af, at 50% af busserne i Nordhordland og 85% af busserne på Askøy er depot-charged busser. De resterende er dieselbusser	49
Tabel 16	Karakteristika for en eldrevet, opportunity-charged bus	50
Tabel 17	Eksempel på et eksisterende vognløb og batteriernes beregningsmæssige restkapacitet SOC (State Of Charge) undervejs. Det er forudsat, at der foruden en ladestander ved garasje Knarvik opstilles ladestander ved Knarvik Skysstasjon og på Bergen Busstasjon (markeret med grønt), som lader bussen op i det omfang, opholdstiden tillader det. Med rødt er markeret, hvor SOC er for lav og hvor der vil mangle batterikapacitet	51
Tabel 18	Vognløb, hvor driften kan udføres med eldrevne opportunity-charged busser (dagens produktion og vognløb). Øverst vognløb i Nordhordland. Nederst vognløb på Askøy. Batteriernes beregningsmæssige, mindste restkapacitet er angivet yderst til højre SOC (State Of Charge)	52
Tabel 19	TCO, beregnet på baggrund af 9 års kørsel i kontrakt i Nordhordland og på Askøy. Sammenholdt med de tilsvarende udgifter for almindelig diesel. For Nordhordland er forudsat, at ca. 10% af busserne er eldrevne, på Askøy ca. 15%. De resterende er dieselbusser	54
Tabel 20	Reduktion i CO ₂ , NO _x og partikler (PM) for den kollektive bustrafik i Nordhordland og Askøy ved brug af eldrevne depot-charged busser, sammenholdt med almindelig diesel og EURO VI. Tallene er beregnet på baggrund af, at 10% af busserne i Nordhordland og 15% af busserne på Askøy er opportunity-charged busser. De resterende er dieselbusser	55
Tabel 21	Nordhordland: Samlet oversigt over væsentlige forhold for de undersøgte alternativer med EURO VI dieselbus som reference	59
Tabel 22	Askøy: Samlet oversigt over væsentlige forhold for de undersøgte alternativer med EURO VI dieselbus som reference	60

Figurliste:

Figur 1	Referencemodel. Gennemsnitlige km-priser for en 12 m dieselbus (EURO VI) beregnet for en kontraktlængde på 9 år i henholdsvis Nordhordland og på Askøy.	15
Figur 2	Fordelingen af Skyss' totale operatørudgifter på hovedelementer. Kilde: Skyss	16
Figur 3	TCO/km for biodiesel B100 og til sammenligning fossil diesel. Gennemsnitlige km-priser for en 12 m bus beregnet for en kontraktlængde på 9 år	36
Figur 4	TCO/km for syntetisk diesel, HVO, og til sammenligning fossil diesel. Gennemsnitlige km-priser for en 12 m bus beregnet for en kontraktlængde på 9 år	39

Figur 5	Gennomsnittlige km-priser for en 12 m eldrebet depot-charged bus, og til sammenligning fossil diesel. Gennomsnittlige km-priser for en 12 m bus beregnet for en kontraktlengde på 9 år	47
Figur 6	Gennomsnittlige km-priser for en 12 m eldrebet depot-charged bus, og til sammenligning fossil diesel. Gennomsnittlige km-priser for en 12 m bus beregnet for en kontraktlengde på 9 år. Indregnet støtte fra Enova på 40% af investeringsudgifterne til ladeinfrastruktur	48
Figur 7	Gennomsnittlige km-priser for en 12 m eldrebet opportunity-charged bus, og til sammenligning fossil diesel. Gennomsnittlige km-priser for en 12 m bus beregnet for en kontraktlengde på 9 år	53
Figur 8	Gennomsnittlige km-priser for en 12 m eldrebet opportunity-charged bus, og til sammenligning fossil diesel. Gennomsnittlige km-priser for en 12 m bus beregnet for en kontraktlengde på 9 år. Indregnet støtte fra Enova på 40% af investeringsudgifterne til ladeinfrastruktur	54

Liste over forkortelser:

BtL	Biomass-To-Liquid, syntetisk diesel
B5/B100	Blandingsprodukt af biodiesel og traditionel diesel: 5/100 % biodiesel
CO/CO ₂	Kulite, giftig gas/Kuldioxid, klimagas
DPF	Diesel partikel filter
EURO II/ III/V/VI	Europæisk norm for emissioner fra tung trafik
FAME	Fedtsyremethylestre
1G/2G	1./2. generations biobrændstoffer, 2. generation er baseret på affald og ikke genanvendelige produkter
HC	Kulmonoxid, sundhedsskadelig
HVO	Hydrotreated Vegetable Oil, syntetisk diesel
kWh	Kilowatt timer
NO _x	Kvælstofoxider, sundhedsskadelige
NTP	Nasjonal transportplan 2018-2029
PPM	Partikler per Mol
RME	Rapsmetylester, syntetisk diesel baseret på raps
SSB	Statens Sentralbyrå
TCO	Total cost of operation – totale køretøjsrelaterede driftsomkostninger
VE	Vedvarende energi

1 Baggrund og formål

Det er politisk besluttet, at Skyss ved fremtidige udbud af den kollektive bustrafik skal gøre brug af vedvarende energi, hvor det er muligt.

I Nordhordland udbydes den nuværende kørsel med 76 busser i et udbud, der skal træde i kraft i 2018. Heraf er mere end halvdelen langrutebusser og ca. en tredjedel forstadsbusser. Kørslen er i høj grad målrettet skolekørslen, men derudover foregår en betydelig andel af kørslen mellem Nordhordland og Bergen.

På Askøy skal kørslen med 43 busser udbydes med kørselsstart i 2019, som del af et samlet busudbud Vest. Busserne er hér tilknyttet et nyt busanlæg, som er under etablering i øjeblikket.

Opgaven

I forbindelse med forberedelserne til de to nævnte udbud, ønsker Skyss en afdækning af mulighederne for at tage alternative teknologier og drivmidler i brug, der kan bidrage til lavere emissioner fra busserne generelt, og til lavere udledning af klimagasser i særdeleshed.

Afdækningen af alternative teknologier og drivmidler skal både inddrage de relevante tekniske, miljømæssige og økonomiske aspekter. Ambitionen er at gøre driften mere miljøvenlig, men der skal samtidig være fokus på, at den planlagte og forventede drift kan realiseres i praksis. Samlet betyder det, at løsningerne teknisk set skal kunne fungere uden væsentlige problemer, de skal være økonomisk realistiske, og de skal så vidt muligt også imødekomme andre miljømæssige problemer som luftforurening og støj.

Følgende aspekter er inddraget i udredningen:

- > Behov og muligheder for evt. ændringer og tilpasninger (herunder bl.a. tilgængelighed til biobrændstoffer, infrastruktur til brændstof, tankanlæg, fyldestationer, opgradering af elnettet og ladestationer)
- > Forventede investeringsomkostninger til infrastruktur mv.
- > Forventede driftsomkostninger til busser mv.
- > Overordnede konsekvenser for udbud og drift, herunder behov for ændringer af køreplaner.

Herudover har vi vurderet de fordele og ulemper, der må forventes at kendetegne de mest aktuelle alternative busteknologier i de kommende år, herunder hvad angår:

- > Miljøbelastning generelt
- > Flexibilitet
- > Tilhørende rammebetingelser, herunder overordnet organisering, udbuds- og ejerforhold i den offentlige bustrafik
- > Infrastruktur og tilgængelighed i forhold til lokalisering af tankanlæg.

Teknologier og drivmidler

I rapporten behandles følgende teknologier og drivmidler:

- > Biodiesel (B100)
- > Syntetisk diesel (HVO)
- > Biogas
- > El (eldrevne busser – depot-charging/opportunity-charging)
- > Bioethanol
- > Hybrider
- > Brint.

Diesel som reference

Den nuværende, bedste dieselt teknologi på markedet (EURO VI) er anvendt som reference i forhold til de gennemførte analyser og vurderinger af driftsøkonomiske- og miljømæssige effekter for alternative drivmidler.

1.1 De miljømæssige målsætninger

NTP

Helt overordnet har transportmyndighederne i Norge med *Nasjonalt transportplan 2018-2029 (NTP)* fastlagt et mål om at halvere klimagasudslipene fra transportsektoren inden 2030. Hordaland fylkeskommune har i forlængelse heraf¹ en tilsvarende målsætning om at reduceres dagens udslip fra transportsektoren med 47% i samme periode (med udgangspunkt i niveauet for 2015).

Skyss udledninger

Beregninger viser, at rutebusserne i Skyss i dag står for ca. 6% af den nuværende udledning af klimagasser fra transportsektoren i Hordaland. De ca. 770 rutebusser udleder beregningsmæssigt ca. 56.000 ton CO₂ om året, svarende til gennemsnitligt ca. 1.270 gram CO₂ pr. udført km. Tallene baserer sig på et samlet årligt kørselsomfang på ca. 44,16 mio. km, og et forbrug af brændstof til kørslen på 18 mio. liter diesel og 1,3 mio. kg gas.

Mål

NTP anbefaler, at nye rutebusser efter 2025 skal være 0-emissionsbusser (el- eller hydrogendrevne), og at der i overgangsperioden frem til drift med 0-emissionsbusser indføres biobrændstoffer, som erstatning for dagens konventionelle drivmidler.

¹ Hordaland – lågutselppssamfunnet på veg, Baggrunnsnotat: Låg- og nullutsleppsteknologi i vegtrafikken, Hordaland fylkeskommune, 2016

Forventningerne til Skyss er, at indførelse af 0-emissionsbusser vil nedbringe udledningen af CO₂ med ca. 41.000 ton om året inden udgangen af 2030. Herudover har Skyss fastlagt et mål om, at indfasningen af biobrændstoffer skal reducere den samlede udledning fra busserne med 5.000 ton CO₂ inden udgangen af 2020, og med 18.000 ton CO₂ inden udgangen af 2030².

Virkemidler

Mulighederne for Skyss for at gøre den kollektive bustrafik mere miljøvenlig ligger primært i forbindelse med valg af busmateriel og drivmiddel, når der gennemføres udbud af kørslen.

Herudover kan Skyss gennemføre pilotprojekter eller indgå i pilotprojekter for at bidrage til at modne nye teknologier og markedet for dem, samt øge det generelle vidensniveau om fordele og ulemper ved forskellige teknologier forud for kommende udbud. Projekterne kan evt. gennemføres med støtte fra landsdækkende investeringspuljer eller andre.

Aktuelle planer

Skyss har godt og vel 100 gasbusser i drift i øjeblikket. De vil umiddelbart kunne benytte biogas fra anlægget i Rådalen, der netop er taget i brug. Det forventes, at Rådalen vil kunne levere biogas til ca. 90 Skyss-busser, når anlægget er i fuld drift. Det vil i sig selv medføre en årlig reduktion i udledningerne af klimagasser fra Skyss på ca. 5.000 ton CO₂.

Spørgsmålet om anvendelse af biobrændstoffer skal dog indtænkes i alle udbud fra nu og frem for at sikre en god målopfyldelse, der også geografisk sikrer forbedringer i hele betjeningsområdet.

1.2 Aktuelle udledninger af klimagasser

Den nuværende udledning af CO₂ fra den buskørsel, der udbydes i 2018 og 2019 i Nordhordland og på Askøy svarer til ca. 6.700 tons årligt, se Tabel 1. Baseret på den udførte kørsel i Nordhordland og det tilhørende forbrug af diesel er beregnet, at det samlede forbrug af diesel i Nordhordland og Askøy svarede til ca. 2.513.200 liter i 2015.

I lyset heraf ønsker Skyss analyseret, hvordan der kan indføres mere miljøvenlige busteknologier i den kollektive trafik i de kommende udbud på en hensigtsmæssig og omkostningseffektiv måde.

² Det forventes, at det samlede kørselsomfang øges i perioden frem mod 2030

Tabel 1 *CO₂, NO_x og partikler (PM) for den kollektive busstrafik i Nordhordland og Askøy. Tallene er beregnet på baggrund af forbruget af diesel. Kilde: Skyss*

Årlig udledning	CO ₂ Ton	NO _x Kg	Partikler (PM) Kg
Nordhordland	3.921	19.300	160
Askøy	2.815	13.900	115
I alt	6.736	33.200	275

1.3 Tilgang

Indledningsvist beskrives i Afsnit 2 en række forhold, som vurderes at være væsentlige for at forstå de miljømæssige sider af den samlede problemstilling, herunder en kort redegørelse for de væsentligste ulemper ved den kollektive busstrafik i forhold til klimaforandringer og sundhedsskader, forårsaget af lokal luftforurening.

Tilgangen til opgaven omfatter herefter to trin:

- > Del I: Udvælgelse af relevante teknologier (Afsnit 3)
- > Del II: Detaljeret analyse af de udvalgte teknologier i en Skyss-kontekst (Afsnit 4).

Del I: Udvælgelse af relevante drivmidler og teknologier

Først en udvælgelse af de relevante teknologier. Udvælgelsen er baseret på de forventede miljømæssige effekter, de forventede økonomiske aspekter og investeringer samt andre forhold, der anses for at udgøre fordele/ulemper ved forskellige teknologier. Viden er her baseret på erfaringer fra Norge og andre relevante aktører internationalt.

Formålet er at udpege de alternative teknologier og drivmidler, der anses for mest realistiske i forhold til de to kommende udbud i 2018 og 2019.

I afsnittet beskrives desuden, hvad den nye EURO VI-norm må forventes at betyde for den samlede emission af sundhedsskadelige stoffer.

Del II: Analyse og vurdering af udpegede teknologier

Dernæst en mere detaljeret analyse af de udvalgte teknologier i den givne kontekst i Nordhordland og på Askøy.

I Afsnit 4 beskrives, hvordan de udvalgte teknologier i givet fald vil kunne tages i anvendelse, herunder en vurdering af de væsentlige styrker og svagheder i forhold til den givne busdrift. Bl.a. er det væsentligt at få belyst de samlede økonomiske forhold, driftsudgifter og nødvendige investeringer. Hvor ligetil vil det være at indføre de forskellige teknologier, og hvor driftssikre forventes de at være? Busdriften må også fremover være robust, effektiv og sikker for passagerne, så de kan regne med den.

Vi ser også nærmere på lokale forhold omkring produktion af drivmidlerne, tilstrækkelige leverancer og evt. nødvendig transport og oplagring.

For løsninger med eldrevne busser er det centralt at vurdere sammensætningen af vognløb og ture i relation til overvejelser om nødvendig batterikapacitet. Vi betragter derfor den nuværende drift mere detaljeret.

Anbefaling Analyserne afsluttes i Afsnit 5 med en opsamling af de fundne resultater og en anbefaling til, hvilke(n) teknologi(er), der mest hensigtsmæssigt kan tages i anvendelse for at understøtte og opfylde målsætningerne. I vurderingen indgår bl.a. de forventede økonomiske konsekvenser af at reducere udledningen af klimagasser.

1.4 Dataindsamling

I forbindelse med afdækning, beskrivelse og vurdering af de væsentligste fordele og ulemper ved forskellige teknologier, har Skyss leveret data om de nuværende driftsforhold for buskørslen i Nordhordland og på Askøy.

Energiforbrug Energiforbruget for busserne er beregnet på baggrund af det samlede forbrug af diesel og gas kombineret med bussernes samlede kørsel oplyst af Skyss.

CO₂ emissioner CO₂-emissioner for fossil diesel er baseret på CO₂ indholdet i diesel. CO₂-emissionerne fra biodiesel (B100) og HVO er baseret på oplysninger fra producenter og leverandører af biodiesel:

- > Producent af biodiesel: Perstorp, Frederiksstad i Norge
- > Producent af HVO: Neste i Finland
- > Distributør af biodiesel: Biofuel Express

Luftforurening NO_x- og partikelemissioner for fossilt diesel er baseret på COPERT³ modellen.

NO_x- og partikelemissioner for biodiesel er baseret på oplysninger fra producenter og internationale studier.

Priser Prisen for fossilt diesel udgør 11,00 NOK/l og er fastlagt på baggrund af data fra Biofuel Express. Dieselpriisen omfatter vejbrugsafgift, CO₂-afgift og MVA. Prisen for biodiesel og HVO er baseret på leverandørers oplysninger (Tilbud).

El-prisen omfatter kraftpris, netleje og MVA. Kraftprisen for erhvervs-kunder er ca. 30 øre/kWh (SSB 09364), mens netleje for erhvervs-kunder i Hordaland ligger på gennemsnitligt 32,3 øre/kWh⁴. Samlet giver det en pris pr. kWh på 0,81 kr. inkl. MVA.

³ Officielt modelværktøj, udviklet under 'The European Environment Agency'.

⁴ <https://www.nve.no/elmarkedstilsynet-marked-og-monopol/nettjenester/nettleie/nettleiestatistikk/nettleiestatistikk-for-naeringskunder/>

I rapporten er angivet en række skønnede priser for forskellige teknologier, herunder indkøbspriser for busser og priser for drivmidler. Udgangspunktet er her de seneste priser, vi har fundet hos relevante kilder.

Økonomiske effekter I en udbudssituation vil valget stå mellem en traditionel dieselbus (EURO VI) contra et alternativ med bedre miljømæssig profil.

For at kunne sammenligne de økonomiske effekter af at implementere alternative teknologier i forhold til i dag, opgøres de samlede driftsudgifter, der er direkte knyttet til at købe og drive det nødvendige antal busser i en kommende kontraktperiode, herunder udgifter til brændstof, afskrivning af materiellet samt udgifter til nødvendig service, vedligeholdelse og reparationer⁵. Resultatet opgøres som en samlet pris (i denne rapport benævnt TCO) pr. kørt km i gennemsnit for hele kontraktperioden.

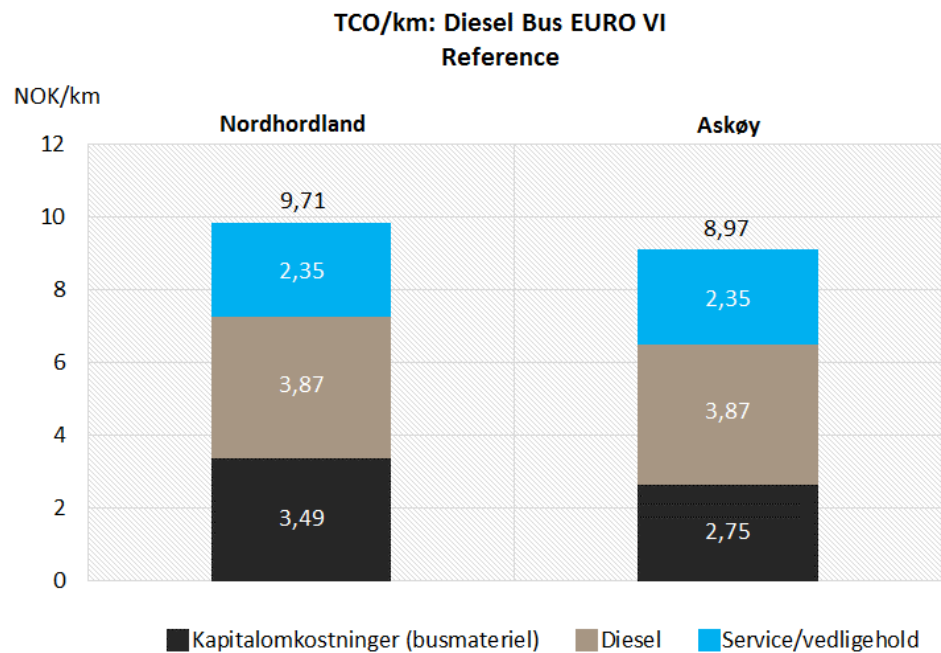
I beregningerne anvendes følgende forudsætninger:

- > Indkøbspris for en typisk 12 m dieselbus anslås til 2,02 mio. NOK⁶
- > Dieselforbruget svarer til 2,8 km/l (nuværende niveau i Nordhordland og på Askøy i gennemsnit)
- > De gennemsnitlige service & vedligeholdelsesomkostninger udgør ca. 2,35 NOK/km (TØI)
- > Diesel koster 11,00 NOK/l
- > Samlet kørselsomfang: Henholdsvis ca. 55.000 km pr. år og 69.000 km pr. år (nuværende kørselsomfang i Nordhordland og på Askøy i gennemsnit)
- > Afskrivningsperiode på 9 år
- > Bussens scrapværdi efter 9 år: 15 %

TCO/km Resultatet opgjort pr. km ses i Figur 1. Da busserne kører længere i gennemsnit på Askøy end i Nordhordland, bliver kapitalomkostningerne til busserne forholdsvist lavere hér (2,75 mod 3,49 NOK/km).

⁵ Det forudsættes, at administrationsomkostninger, basisudgifter til depot, lønninger til chauffører og andet personale, forsikringer, vejafgifter og andre afgifter samt evt. rentetab er identiske for de forskellige typer af teknologi. Disse udgifter er derfor udeladt af TCO-beregningen

⁶ TØI, Ebus Troms, Bus line simulations, VTT Technical Research Centre of Finland LTD, Mikaela Ranta, 2016. Standard 12 m dieselbus nypris er skønnet til 220.000 Euro



Figur 1 Referencemodell. Gjennomsnittlige km-priser for en 12 m dieselbus (EURO VI) beregnet for en kontraktlengde på 9 år i henholdsvis Nordhordland og på Askøy.

TCO De kjøretøjsrelaterede driftsomkostninger (TCO) for en dieselbus, EURO VI (ref.) er vist i Tabel 2.

Tabel 2 TCO, beregnet på baggrund af 9 års kørsel i kontrakt i Nordhordland og på Askøy

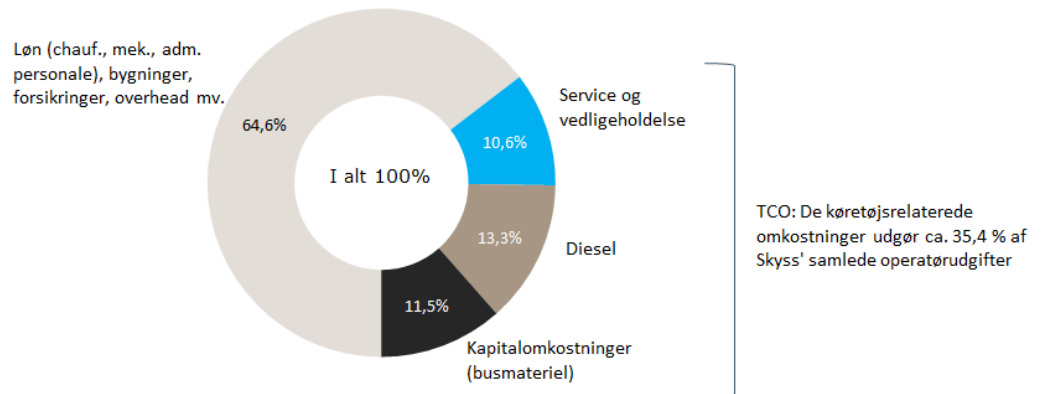
Dieselbus (EURO VI)	Nordhordland	Askøy
Årlige driftsudgifter (TCO) <u>1 bus</u>	0,53 mio. NOK	0,62 mio. NOK
Årlige driftsudgifter (TCO) <u>Alle busser</u>	40,4 mio. NOK	26,8 mio. NOK
Samlede driftsudgifter (TCO) for 9 år <u>Alle busser</u>	363,4 mio. NOK	241,0 mio. NOK
Totale, årlige omkostninger for Skyss	114,1 mio. NOK	75,6 mio. NOK

Totale omkostninger De busrelaterede driftsomkostninger TCO udgør i dag ca. 35,4% af Skyss' totale omkostninger til operatørerne for udført buskørsel.

De resterende ca. 64,6% dækker bl.a. operatørernes administrationsomkostninger, udgifter til depot, lønninger til chauffører, mekanikere og andet personale, forsikringer, vejafgifter og andre afgifter, overhead mv. Det forudsættes, at dis-

se øvrige omkostninger er identiske, uafhængigt af forskellige typer af teknologi. De indgår derfor ikke i beregningen af TCO, se i øvrigt Figur 2. De totale omkostninger opgøres dog som del af beskrivelsen for de forskellige teknologier, jf. Tabel 2.

Skyss' totale operatørudgifter



Figur 2 Fordelingen af Skyss' totale operatørudgifter på hovedelementer. Kilde: Skyss

Interviews

Udover indhentning af information i arbejdsgruppen har COWI indhentet informationer fra følgende kilder:

- > Lars H. Engerengen, Finnmark fylkeskommune
- > Øyvind Hanssen, Nettbuss, Telemarken fylkeskommune
- > Rolf Michael Odland, Boreal Norge AS
- > Frode Einar Krokstad, Trondheim, Sør-Trøndelag fylkeskommune
- > Liv Cecilie Evenstad, Troms fylkeskommune
- > Torfinn Belbo, ZERO Norge
- > Svein-Erik Svendsen, CircleK
- > Martin Sebastian Agdal, Biofuel-Express
- > Liene Norberg, Biofuel-Express
- > Svenn Åge Lokken, Volvo.

2 Emissioner fra bustrafikken

Målet om et renere miljø sætter fokus på en problemstilling, der i denne sammenhæng omfatter produktion af alternative drivmidler, distribution af drivmidler, forbrænding af drivmidlerne i motorerne og endelig emission af restprodukter fra forbrændingen.

For Skyss handler det ikke så meget om teknikken omkring selve produktionen af alternative drivmidler, eller om teknikken i de motorer, der er nødvendige i busserne. Det handler derimod om helt overordnet at begrænse de samlede miljømæssige effekter (emissionerne), hvordan det kan ske i praksis, og hvad det vil kræve økonomisk og på anden vis.

Med i den vurdering hører dog også overvejelser om, hvordan produktionen af drivmidlerne sker, og om produktionen og brugen af de alternative drivmidler efterlever gældende og forventede krav.

For Skyss er det vigtigste miljøbidrag at få flere til at benytte den kollektive trafik frem for bil. Derudover skal kommunerne benytte udbudsprocesserne til at stille skærpede krav til materiel og udslip for at realisere de politisk vedtagne beslutninger.

Krav til biobrændstoffer

Hvad angår biobrændstoffer er der i dag et omsætningskrav til vejtransporten som betyder, at selskaber, som formidler brændstoffer skal sikre, at mindst 5,5% af den årlige omsætning er biobrændstof⁷. Ydermere gælder, at biobrændstoffer, som er produceret på affald, rester, cellulose og lignocellulose tæller dobbelt i det regnskab og derved giver et klart incitament til at være miljøbevidst i sin produktion af brændstof og i sin brug af energi i det hele taget.

Andelen af biobrændstoffer, der overstiger 5,5% af den årlige omsætning, fritages i øvrigt for vejbrugsafgift, som led i en række bæredygtighedskriterier. Bæredygtighedskriterierne sigter dels mod reduktion i klimagasudslip (livscyklusbetragtning sammenlignet med fossilt brændstof), dels mod optimeret arealanvendelse.

⁷ www.miljodirektoratet.no

I dag gælder, at alle producenter af biobrændstoffer må dokumentere over for Miljødirektoratet, at anvendelsen af deres brændstof (inkl. produktion, transport og brug) reducerer de totale klimagasudslip med mindst 35%. Fra januar 2018 øges kravet til 50%, og herudover gælder, at produktionsanlæg, som er etableret efter oktober 2015 skal opfylde et krav om mindst 60% reduktion i total klimagasudslip.

Arealkravene skal sikre, at råvarerne til biobrændstoffer ikke dyrkes på arealer, som har høj biodiversitet eller et højt carbonindhold, (f.eks. regnskov). Man må altså ikke drive "rovdrift" på naturen eller fortrænge en mad- eller foderproduktion for at skaffe sig adgang til arealer til brug for produktion af biobrændstoffer.

Dette er i tråd med et EU-direktiv fra 2015, som begrænser brugen af de mad-baserede konventionelle biobrændstoffer, og som i stedet fremmer en overgang til avancerede biobrændstoffer, baseret på affald mv.

2.1 Emissioner

Typisk adresseres to vigtige miljøproblemer fra transportsektoren. Det ene er klimaforandringer forårsaget af global opvarmning, det andet handler om sundhedsskader, forårsaget af lokal luftforurening.

Global opvarmning

Den globale opvarmning, som hovedsagelig skyldes CO₂-udledningen, er en generel problemstilling, hvor udledningen af CO₂ er lige skadeligt, uanset om det sker i landområder eller i tætte byområder.

CO₂-emissioner kan ikke reduceres ved at rense udstødningsrøgen. Løsningen er i stedet at anvende vedvarende energi eller fossilfri drivmidler, der for nogles vedkommende er CO₂-neutrale, fordi der forbruges CO₂ i den proces, hvor drivmidlet bliver dannet.

Biobrændsler er her oplagte løsninger, afhængigt af, hvordan det biologiske indhold bliver til og håndteres. Med de brændstoffer, der produceres i dag kan der opnås betydelige reduktioner med hensyn til CO₂, og med skærpede krav fra 2018 vil udledningerne blive yderligere reduceret. Endnu bedre resultater kan opnås med el til eldrevne busser, hvis produktionen af el vel og mærke baseres på vedvarende energi. I Norge, hvor strømmen næsten udelukkende produceres ved hjælp af vandkraft (VE-strøm), vil eldrevne busser være CO₂-neutrale.

Lokal forurening

Forurening af luften fra bussernes udstødning har også direkte negative helbredsmæssige virkninger på mennesker og dyr, især på grund af emissioner af NO_x og partikler. Disse skadevirkninger har mere lokal karakter og er derfor større i byområder, hvor befolkningstætheden er langt større end i landområder.

Der er primært to muligheder for at reducere forureningen: For det første kan de skadelige stoffer renses væk fra udstødningsrøgen ved brug af katalysatorer og filtre. På den måde kan man anvende stort set de samme typer af busser og motorer, som anvendes i stor skala i dag.

Der kan også anvendes helt andre typer af motorer, f.eks. elmotorer, som anvendes i el- og brintbusser, og som – lidt afhængigt af hvor og hvordan strømmen produceres – slet ikke har nogen skadelige emissioner fra udstødningen, dér hvor busserne kører. Strengt taget behøver strømmen ikke produceres som vedvarende energi, da kvoteordninger betyder, at øget efterspørgsel efter el automatisk vil være CO₂-neutral. Omvendt kan det virke moralsk forkert, hvis produktionen af den strøm, der skal gøre busserne miljøvenlige ét sted, "sviner" et andet sted.

2.2 Hvad opnås med den nye EURO VI-norm

Som led i at reducere luftforureningen fra vejtrafikken er der på EU-niveau vedtaget et sæt af emissionsnormer, som køretøjerne skal overholde. Normerne indeholder maksimumgrænser for hvor meget køretøjerne må forurene med forskellige stoffer, bl.a. NO_x og partikler (PM). Normerne gælder også for Norge og betragtes som en veletableret standard.

1. januar 2015 trådte den nye EURO VI norm i kraft. Hverken den tidligere EURO V eller den nye EURO VI norm forholder sig til udledningen af CO₂ og energiforbruget. Men i forhold til målene om reduktioner for NO_x og PM, må det forventes, at den nye norm vil få stor betydning. Med EURO VI-normen er der dels indført strengere krav til de allerede regulerede emissioner, dels indført en række nye testkrav, herunder Off-cyklus test og test under brug, som skal give et mere retvisende billede af de reelle emissioner.

Konkret er grænseværdierne blevet skærpet med EURO VI for NO_x-emissionerne fra 2,0 g til 0,4 g NO_x pr. kWh og partikel emissionerne fra 0,02 til 0,01 g pr. kWh⁸. Sidstnævnte er faktisk endnu strengere, fordi det ikke kun er partiklernes vægt, men også antallet, som tæller.

De skrappe krav betyder som noget nyt, at busproducenterne er nødt til at montere katalysator⁹ og dieselpartikelfilter (DPF) inden levering af busser for alle typer af teknologi, undtagen elbusser. Funktionen af dette udstyr vil løbende blive tjekket af elektroniske systemer i busserne, der vil melde fejl, hvis udstyret ikke fungerer efter hensigten. Hidtil er katalysatorer og partikelfiltre blevet eftermonteret i større stil på EURO II- og -III-busser med systemer, der fungerer uafhængigt af motorstyring og kontrolsystemer.

Ifølge flere kilder vil netop denne ændring betyde, at bussernes reelle miljøprofil forbedres markant. Partikelfiltre vil opsamle alle typer af partikler (herunder de ultrafine partikler), såfremt katalysatorerne fungerer, som de skal. Indfrielse af

⁸ I den forbindelse kan det være problematisk, at EURO-normerne har fokus på emission pr. kWh. Det medfører, at motorer med høj ydelse må forurene mere end mindre motorer, og at der kan være en tendens til at anvende større motorer end strengt nødvendigt af hensyn til emissionsværdierne

⁹ Brug af katalysatorer med Selective Catalytic Reduction –teknologi vil gøre det muligt at reducere emissioner af NO_x markant

miljømål handler således også om tilstrækkelig kontrol af det anvendte miljøudstyr.

Konkrete målinger af biogasbusserne hos Skyss har for nylig eftervist, at EURO VI-busserne reelt giver de forventede, markante emissionsreduktioner.

Samlet set reduceres den lokale luftforurening betydeligt med EURO VI i forhold til EURO V, uanset hvilket drivmiddel, der anvendes. Emissionerne fra dieselbusser på fossil diesel, biodiesel (B100) og HVO er vist i Tabel 3 sammen med emissioner fra andre teknologier. Tallene er beregnet med afsæt de konkrete kørselsforhold i Nordhordland og på Askøy, hvor en bus i gennemsnit kører ca. 2,8 km/liter diesel.

Tabel 3 Udledning af CO₂, NO_x og partikler med forskellige teknologier (gennemsnitlig udledning/km). De nuværende busser der betjener Nordhordland og Askøy opfylder EURO V-normen. Tallene er baseret på, at en bus i gennemsnit kører 2,8 km/liter diesel, svarende til det nuværende forbrug

Drivmidler i busser	CO ₂ g/km	NO _x g/km	Partikler(PM) g/km
EURO V:			
Diesel	943	4,65	0,039
EURO VI:			
Diesel	943	0,39	0,004
Biodiesel, soyabaseret, B100 ^a	358	0,43 ^b	0,003 ^c
Syntetisk diesel, HVO	123	0,36	0,003
Bioethanol	471	0,39	0,004
Biogas ^d	0	0,39	0,004
Hybrid	754	0,31	0,003
Brint (VE)	0	0	0
El (VE)	0	0	0

- a) For biodiesel er antaget, at der anvendes B100 (100 %) biodiesel i 9 måneder årligt og B5 diesel i de tre vinter måneder. Kilder er angivet i afsnit 1.4.
- b) Biodiesel giver ca. 20% højere NO_x emissioner. Hvis bussen kan overholde normen selv om der anvendes biodiesel vil NO_x emissionerne stige. Hvis ikke vil det være nødvendigt at montere mere effektiv NO_x katalysator på busserne.
- c) Partikelemissioner fra biodiesel falder, når det beregnes som vægt. Derimod stiger antallet af ultrafine partikler.
- d) Klima- og forurensningsdirektoratet (2013), Underlagsmateriale til tverrsektoriell biogass-strategi, side 17. I rapporten er der beregnet et scenarie, hvor biogas fremstilles af husdyrgødning og organisk affald. CO₂ fortrængningen afhænger af sammensætningen. Kilde til Bioethanol: BEST: En bil der kører på bioethanol reduceret klimapåvirkningen med ca. 50%. For hybridbussen er antaget, at emissionerne generelt reduceres med 20% på grund af lavere energiforbrug.

Inden 2025 vil det være realistisk at antage, at alle busser i Skyss mindst opfylder EURO VI-normen, da de nuværende kontrakter enten vil være med EURO VI busser, eller vil være udløbet inden 2025. Indførelsen af EURO VI vil sammen med den regelmæssige udskiftning af busser i Skyss i takt med nye udbud af kørslen automatisk betyde, at den samlede emission af NO_x og partikler (PM) vil blive markant reduceret. Betydningen heraf for Nordhordland og Askøy er vist i Tabel 4.

Tabel 4 Effekten for emission af CO₂, NO_x og partikler (PM) af at indføre EURO VI-busser som erstatning for EURO V-busser i Nordhordland og på Askøy. Beregnet på baggrund af udført buskørsel i 2015/2016

Årlig udledning Fra EURO V → EURO VI	CO ₂ Ton	NO _x Kg	Partikler (PM) Kg
Nordhordland	3.921 → 3.921	19.300 → 1.630 (÷ 92%)	160 → 17 (÷ 89%)
Askøy	2.815 → 2.815	13.900 → 1.169 (÷ 92%)	115 → 13 (÷ 89%)
I alt	6.736 (Uændret)	19.200 → 2.798 (÷ 92%)	275 → 30 (÷ 89%)

Samlet set

Det ses, at udfordringen for Skyss særligt er udledningen af CO₂, hvor indførelsen af EURO VI ikke vil sikre en reduktion i forhold til i dag. For udledningen af NO_x og partikler (PM) vil EURO VI sikre en meget markant reduktion i forhold til omfanget i dag.

2.3 Skyss og miljø

Skyss har generelt mål om, at den kollektive trafik skal udføres med materiel, der belaster klima og miljø mindst muligt. At indsætte nye og måske ikke helt gennemprøvede teknologier i større målestok kan indebære en økonomisk risiko for et trafikselskab som Skyss, og der kan være gode grunde til at være tilbageholdende med at gå allerforrest.

Skyss råder over begrænsede midler til at foretage miljømæssige satsninger, og kan ikke investere direkte i materiel, udover på forsøgsbasis. Skyss kan etablere særlige garage- og tankanlæg, som de vindende operatører skal anvende som en del af aftalen om kørslen i en given kontraktperiode.

Operatørerne

I et marked som det norske, vil operatørerne alt andet lige være optaget af at holde driftsudgifterne så lave som muligt. De er i høj grad fokuserede på driftssikkerhed og tilbageholdende med at investere i dyrere, uprøvet teknologi, hvor de løbende udgifter kan være svære at forudsige. Operatørerne betragter bussers levetid som maksimalt 12-14 år, men det må antages, at de tilrettelægger afskrivningen, så den svarer til den kontraktperiode, de er garanteret med en given aftale hos Skyss. I øjeblikket svarer det til 9 år.

Miljø ved udbud

I praksis har den overordnede tilgang direkte afsæt i, at busserne skal opfylde gældende EURO-normer ved udbud af kørsel. Skyss ønsker ikke at bestemme, hvilke teknologier eller drivmidler, operatørerne må anvende for at få tildelt kontrakter, men beskriver i stedet kravene om miljø i form af funktionskrav, som operatørerne skal opfylde for at komme i betragtning.

Skyss lægger i sin vurdering af miljø vægt på, at mindstekravene til bussernes emissioner skal overholdes, og herudover om tilbudsgivere evt. kan tilbyde endnu lavere emissioner fra busserne. I den sammenhæng vil anvendelse af alternative brændstoffer indgå i vurderingen og vægtes positivt, i det omfang, det

medfører en målbar miljøgevinst, herunder anvendelse af busser med lavere brændstofforbrug.

Nærværende rapport udgør input og baggrundsmateriale for konkurrencegrundlaget og hvilke miljøkrav, som skal fastlægges som del af tildelingskriterierne.

3 Del I: Udvælgelse af realistiske alternativer

En række alternative drivmidler og teknologier indgår i større eller mindre grad i den offentlige debat, når der drøftes alternativer til traditionel diesel. Det omhandler:

- > Biodiesel
- > Syntetisk diesel
- > Biogas
- > Bioethanol
- > Hybridbusser (bl.a. diesel-, gas-, eller ethanol-elektriske)
- > Elbusser med natoplading (depot-charging) eller opladning på ruten (opportunity-charging)
- > Brintbusser.

Aktuelt fravalg I det følgende gennemgås ovennævnte drivmidler og teknologier, med henblik på en udvælgelse af realistiske alternativer i forhold til de to forestående udbud i Skyss i 2018 og 2019. Udvælgelsen betyder ikke, at Skyss bør afskrive de øvrige teknologier set i længere perspektiv, men alene, at de ikke for nuværende skønnes realistiske at inddrage i den almindelige busdrift i større skala.

Vurderingskriterier Den overordnede vurdering er sket på baggrund af følgende kriterier (vurderingen er foretaget samlet):

- > De miljømæssige effekter – i form af CO₂, NO_x, PPM, støj
- > De nødvendige investeringer – er behovet stort eller begrænset?
- > Driftssikkerheden – er teknologien stabil og gennemprøvet?
- > Tilgængeligheden til drivmidler – umiddelbare adgangs-, transport- og opbevaringsforhold
- > De driftsøkonomiske aspekter – bliver det markant dyrere end i dag?

3.1 Biodiesel

Hovedproduktionen af biodiesel i Norge sker på baggrund af raps og sælges i dag som et blandingsprodukt med fossil diesel, produceret på mineralolie. Der markedsføres B5 (5% biodiesel) på alle tankstationer i landet og B100 (ren bio-

diesel) på udvalgte stationer til brug for almindelige dieselmotorer i biler og tunge køretøjer¹⁰. Biodiesel bliver i 2. generation typisk produceret på basis af restprodukter fra slagterier og døde dyr fra landbruget, men andre restprodukter i form af fedt og olier, der er uegnet til fødevarerproduktion, vil også kunne indgå i produktionen¹¹.

Fordele

De umiddelbare fordele ved biodiesel er, at:

- > Det produceres og distribueres i Norge
- > Produktionsprocessen er kendt og velafprøvet
- > Det er forholdsvis let at håndtere biodiesel i forhold til almindelig diesel
- > Det fungerer i kommerciel skala og er driftssikkert (koncentrationen skal dog tilpasses årstiden for at undgå størkning, hvis det er animalsk produceret)
- > Det reducerer udledningen af CO₂ med op til 50% eller mere (samt HC og CO). 2G produkter giver størst CO₂-reduktion
- > Emissionsbegrænsende udstyr påvirkes ikke.

Ulemper

Ulemperne handler primært om:

- > At biodiesel størkner ved lave temperaturer
- > Der skal etableres blandingstanke og opvarmede tankanlæg, hvis der anvendes animalske restprodukter til produktionen. Disse oplagringsfaciliteter kan kræve myndighedsgodkendelse fra fylke og Direktoratet for brann og eksplosjonsvern
- > Øgede udgifter til service- og vedligehold (primært fordoblede udgifter til olieskift og filtre samt evt. hyppigere udskiftning af slanger, pakninger og dyser ved dårlig basiskvalitet)
- > Øget udledning af kvælstofilter (NO_x), +20-30 %, som dog renses efterfølgende
- > Øgede udgifter til efterbehandling med katalysator i forhold til øget NO_x-udledning, investering begrænset
- > Evt. øgede udgifter til forsikring/manglende fabriksgarantier ved iblanding på mere end 7%
- > Svagt højere brændstofomkostninger sammenholdt med traditionel diesel, pga. lavere energitæthed

¹⁰ Efterlever den Europæiske Dieselnorm EN 590

¹¹ Biodiesel er fedtsyremethylestre (FAME) dannet ved en reaktion mellem en alkohol og olier/fedtstoffer af vegetabilsk eller animalsk oprindelse

3.2 Syntetisk diesel

Syntetisk diesel – Biomass-To-Liquid (BtL) i varianten Renewable biodiesel – produceret på forskellige former for affaldsprodukter har et stort potentiale som alternativt brændstof¹².

Det er bl.a. eftervist i Helsinki, hvor ca. 300 af byens busser hos fire busoperatører i en forsøgsperiode på mere end tre år har kørt på Hydrotreated Vegetable Oil (HVO), dels i ren form, dels iblandet almindelig fossil diesel¹³. Forsøget har blandt andet vist, at BtL har gode egenskaber som drivmiddel, og kan erstatte fossil diesel fuldstændigt uden modifikationer af motorer eller tankanlæg.

Fordele

De umiddelbare fordele ved syntetisk diesel er, at:

- > Det kan anvendes i ren form eller iblandes fossil diesel i alle blandingsforhold
- > Det kan anvendes året rundt
- > Det er let at anvende uden modifikationer af busser, motorer, tanke eller andet
- > Anvendelse af 100% syntetisk diesel kan reducere brændstofforbruget svagt pga. højere energitæthed
- > Det reducerer udledningen af CO₂ med 40-70%, 10% lavere NO_x, 30% færre partikler
- > Forsøg dokumenterer at effekterne er permanente og signifikante
- > 1G syntetisk diesel (HVO) har svagt højere priser sammenholdt med traditionel diesel.

Ulemper

Ulemperne handler primært om:

- > Der er ingen produktion i Norge, i stedet findes det i Finland
- > Det medfører transportudgifter til levering af brændstof
- > Forholdsvist få leverandører i Norge, men de findes

3.3 Biogas

Biogas er organisk materiale, der produceres ved, at husdyrgødning og andet organisk affald, for eksempel industriaffald fra slagterier, pumpes ind i en iltfrie, opvarmede reaktorer, der skaber en biologisk nedbrydningsproces af det organiske materiale, som danner metan. Nedbrydningsprocessen varer få dage.

¹² Syntetisk diesel produceres ved en katalytisk omdannelse af brint og kulmonoxid i form af olier/fedtstoffer af vegetabilsk eller animalsk oprindelse. Metoden minder om processen i et olieraffineri

¹³ Projektet er det hidtil mest omfattende af sin art, og er blevet gennemført som et samarbejde mellem blandt andre Helsinkis regionale trafikskabselskab, Neste Oil, VTT (teknisk research center), Aalto universitet og Scania som busproducent. Projektet er bl.a. evalueret i VTT – Research Notes 2604: Optimized usage of NExBTL, renewable diesel fuel, 2011

Biogas er generelt velegnet som drivmiddel i busser, men primært hvis det opgraderes til en kvalitet og et energiindhold, der svarer til naturgas. Gasmotorer kan i princippet køre på både biogas og naturgas, men der er flere fordele i at opgradere gassen, så den har samme kvalitet som naturgas. Den opgraderede biogas vil typisk opnå et meget højt metanindhold på 96-99 %.

Fordele

Anvendelse af biogas indebærer umiddelbart følgende fordele:

- > Produktionen er gennemprøvet og teknologien er kendt
- > Det er forholdsvis let at håndtere i forhold til almindelig diesel
- > Det er driftssikkert
- > Det reducerer udledningen af CO₂ og andre drivhusgasser markant afhængigt af de råstoffer, produktionen baserer sig på. Særlig stor reduktion ved produktion på gylle
- > Emissionsbegrænsende udstyr påvirkes ikke
- > Gasbusser er mere lydsvage end dieselbusser.

Ulemper

De primære ulemper ved biogas handler om følgende:

- > Det produceres ikke i tilstrækkelige mængder lokalt til at forsyne alle busser i Skyss
- > Kvaliteten af gassen kan svinge og gøre det yderligere vanskeligt at sikre de nødvendige mængder
- > Der findes ikke et distributionsnet til gas som eksempelvis i DK, og transport af biogas over lange afstande er omkostningskrævende
- > Øgede udgifter til indkøb af gasbusser, typisk 200-250.000 NOK, svarende til ca. 10 % af indkøbsprisen for en traditionel dieselbus
- > Øgede udgifter til service & vedligeholdelse af busser, op til 30%¹⁴
- > Håndtering af levering og opbevaring af gas samt fyldestationer kan være mere komplekse for operatøren (herunder nødvendige tilladelser, sikkerhed mv.)
- > Gensalgsværdien af gasbusser efter endt kontrakt kan være mere usikker end gensalgsværdien af en dieselbus
- > Bussens samlede højde øges (10-30 cm typisk) pga. pladskræve gastanke, som monteres på bussens tag
- > Øget forbrug af gas sammenholdt med diesel, typisk op til 15% (m³ versus liter)¹⁵.
- > Der kan være store udsving i gaspriserne.

¹⁴ Hybrid-Diesel vs. CNG, (An updated comparison of transit fleet alternatives): Steve Richardson, President Public Solutions Group, Ltd., januar 2013. Flere kilder peger på at merudgifterne kan være op til ca. 30 %, mens andre mener, at dette billede typisk er baseret på, at en nyere generation af gasbusser sammenholdes med en ældre og mindre kompliceret type af dieselbusser, og at de indbyrdes forskelle, hvad angår udgifter til service og vedligehold ikke længere er så store eller måske slet ikke er der

¹⁵ Clean Diesel versus CNG Buses: Cost, Air Quality, & Climate Impacts, Dana Lowell, februar 2012: Peger på, at diesel som brændstof indeholder mere energi pr. volume end gas og biogas. En gasbus typisk kører omkring 10-15 % kortere på en m³ gas end dieselbussen på en liter diesel

Telemark

Ovenstående bekræftes indirekte af de foreløbige erfaringer, som Nettbuss har gjort med 25 gasbusser på Grenland fra juni 2016. Øyvind Hanssen fra Nettbuss forklarer, at deres erfaringer foreløbigt er begrænsede, og at de f.eks. endnu ikke har erfaringer med biogassen om vinteren.

Den anvendte gas produceres af Tønsberg Biogas med Skagerak Naturgass som distributør og ansvarlig for etablering af tankanlæg og fyldestationer. Prisen for gassen er samlet set dyrere end den tilsvarende pris for diesel, og de nye tankanlæg og fyldestationer kombineret med gasprisen har betydet, at kørslen er lidt dyrere at udføre for opdragsgiveren, end hvis der havde været anvendt diesel.

3.4 Bioethanol

Bioethanol er et andet flydende biobrændstof. Bioethanol er alkohol, der fremstilles ved gæring af vegetabilsk affald, der indeholder stivelse og sukker. Bioethanol kan iblandes benzin i forskellige koncentrationer, typisk fra 10 % og højere. Bioethanol kan også anvendes i dieselmotorer efter mindre motormodifikationer.

Forholdsvist aktuelle forsøg i en række lande viser, at bioethanol er et pålideligt drivmiddel til busser, og at brug af bioethanol – anhängigt af iblandingen – vil reducere både udledningen af sundhedsskadelige stoffer og CO₂ fra trafikken¹⁶.

Omvendt er udgifterne til både indkøb af bioethanolbusser og især drift af dem væsentligt højere end for almindelige dieselbusser. Indkøbsprisen for en bioethanol bus kan være op til omkring 10 % højere end for en tilsvarende diesel bus. Service- og vedligeholdelsesudgifterne vurderes at være ca. dobbelt så høje som for en almindelig dieselbus¹⁷.

Biofuel Express oplyser, at man i Sverige er i færd med at udskifte ethanol motorer til fordel for biodiesel og HVO.

Fordele:

- > Alkohol på affald
- > Kan anvendes i dieselmotorer efter mindre modifikationer
- > Pålideligt drivmiddel
- > Lavere udledning af CO₂, NO_x og partikler afhængigt af blandingsforholdet

¹⁶ Bl.a. dokumenteret gennem BEST (BioEthanol for Sustainable Transport), et EU-projekt fra 2006-09 med deltagelse af trafikkselskabet i Tyskland, Storbritanien, Sverige, Spanien, Italien, Holland samt Kina og Brasilien. I Sverige er SL i Stockholm involveret

¹⁷ Der ses især øgede udgifter til hyppigere olieskift og hyppigere udskiftning af indsprøjtningssystemer, jf. fodnote 6

Ulemper:

- > Merforbrug på 25-60% (i Stockholm) pga. lavere energitæthed, også afhængigt af topografiske forhold
- > Busprisen er højere (+10%)
- > Antallet af busproducenter er meget begrænset, hvilket svækker konkurrencesituationen
- > Brugtmarkedet er meget begrænset. Det vanskeliggør leasing og lave priser for operatørerne
- > Service & vedligeholdelsesudgifterne er markant højere (+100%)

3.5 Hybridbusser

En hybridbus har to motorer – typisk en elmotor kombineret med en dieselmotor (og i sjældnere tilfælde ses en kombination med gasmotor eller ethanol)¹⁸. Bussen drives enten af én af motorerne eller af begge motorer samtidigt (seriel eller parallel hybrid). Fælles for begge typer er, at den elektriske motor drives af energi, skabt ved udnyttelse af bremseenergien, samt ved opladning af batterierne, når forbrændingsmotoren er i brug.

Ofte anvendes elmotoren til at sætte bussen i gang fra stop, hvorefter den anden motor tager over ved en bestemt hastighed (15-20 km/t). Busserne er især egnede til bybuskørsel, hvor farten er forholdsvis lav, og hvor der sker mange opbremsninger. De helt overvejende fordele ved hybridbussen er, at det samlede energiforbrug herved reduceres, og at elmotoren begrænser udledningen af skadelige stoffer i de tætteste byområder.

Fordele

Begge typer af hybridbusser har en række fordele sammenlignet med dieselbusserne. Ved at kombinere en elmotor med en forbrændingsmotor, opnås bl.a.:

- > Kommercielt udviklet teknologi
- > Mindre støj - elmotoren bruges til acceleration fra stoppesteder og kryds, hvor støjen ellers er størst
- > Bedre acceleration, hvis begge motorer bruges samtidigt
- > Lavere brændstofforbrug, ifølge producenterne op til 20 % i bytrafik
- > Klimabelastningen reduceres tilsvarende ligesom udledningen af sundhedsskadelige stoffer (20 %).

Ulemper

De primære ulemper ved hybridbusserne er:

- > Anskaffelsespriserne er høje, typisk i størrelsesordenen 30-60%

¹⁸ COWI har ikke fundet kilder, der dokumenterer, at der er væsentlige fordele ved at anvende ethanol- eller gaselektriske hybridbusser frem for dieselelektriske busser

- > Batterier har begrenset levetid og medfører betydelige utgifter (op til 300.000 NOK), hvis de skal udskiftes. Erfaringer viser, at udskiftning må forventes efter 4-5 år¹⁹
- > Udgifter til service- og vedligehold kan være vanskelige at estimere (teknikken er mere komplisert, elektromotorene bryder sammen). Typisk angives +15-25% i forhold til dieselbusser
- > Service og vedligehold kræver mere viden og andre værkstedsfaciliteter. De miljømæssige fordele kan være meget vanskelige at opnå i praksis og har i bl.a. danske forsøg vist sig så lave som 0-5 %.

3.6 Eldrevne busser

Eldrift anses for at blive en fremherskende teknologi i transportsektoren om forholdsvis kort tid. Eldrevne busser forventes også at vinde stort indpas i den kollektive trafik i takt med at teknologierne modnes og omkostningerne falder. De åbenlyse fordele omhandler 0-emission fra bussen og mindre støjgener end fra traditionelle busser med forbrændingsmotorer. Herudover lover en del af producenterne, at udgifterne til drift og vedligeholdelse er langt lavere end til dieselbusser.

Almindelige 12 meter (og 18 meter) eldrevne busser fungerer endnu ikke som kommercielle løsninger i stor skala i Vesteuropa på samme betingelser som eksempelvis dieselbusser²⁰. Eldrevne busser indgår foreløbig i mindre antal forskellige steder i den kollektive trafik, hvor der i forbindelse med særlige forsøg er ydet eller ydes tilskud for at dække meromkostningerne til anskaffelse af de dyrere køretøjer.

Der er især fokus på to typer af eldrevne busser – busser, der oplades om natten (depot charged) og busser, der oplades på ruten (opportunity charged).

Fordele

Anvendelse af eldrevne busser indebærer generelt følgende fordele:

- > Elmotorer er isoleret betragtet gennemprøvet teknologi
- > 0-emission fra bussen – ingen udstødning overhovedet
- > Eksisterende net kan anvendes til distribution af strøm – stor tilgængelighed
- > Opladning kan være forholdsvis let at håndtere
- > Lave omkostninger til "brændstof", typisk 70-80% lavere
- > Lavere omkostninger til service & vedligeholdelse, typisk op til 25%
- > Lavere udvendigt støjniveau fra bussen
- > Markant udvikling af batterier og teknologi vil lette udbredelsen og dermed markedet

¹⁹ Erfaringer fra New York, Ottawa og Washington viser, at batterierne i især parallelhybrider må udskiftes efter fire år. I New York ombygges 400 hybridbusser til dieselbusser for 400.000 NOK pr. bus

²⁰ Urban buses: Alternative powertrains for Europe, a fact-based analysis of the role of diesel hybrid, hydrogen fuel cell, trolley and battery electric powertrains, McKinsey 2012

Ulemper

Ulemperne ved eldre busser handler dels om en række forhold, som må formodes at være kendetegnende for teknologien, dels om forhold, som endnu er usikre, og som kan vise sig ikke at give anledning til problemer. Ulemperne omhandler:

- > Ikke fuldt udviklet teknologi – rækkevidden er for lille, gælder for begge typer
- > Mindre passagerkapacitet – typisk 10-20 % lavere for at holde vægten nede
- > Væsentlig højere anskaffelsespris, typisk en faktor 1,5-2
- > Kommerciel produktion af fuldt ældre busser er fortsat meget beskedent. Der går formentlig yderligere 10 år, før produktionen er høj
- > Udgifter til ladestander – afhængigt af kapacitet fra 100.000-3 mio. NOK pr. stk.
- > Der kræves særlige opladningsstandere og særlige aggregater til opladning ved garageanlæg og evt. ved udvalgte stoppesteder på de respektive ruter
- > Opladning på ruterne begrænser mulighederne for ruteomlægninger, både midlertidige og permanente
- > Manglende faste standarder på batterier og opladning gør teknologien mindre fleksibel
- > Usikkerhed omkring udgifter til service og vedligehold på langt sigt – især er holdbarheden af batterier og andre elektriske komponenter udokumenteret
- > Gensalgsværdien efter endt kontrakt er usikker – markedet er fortsat ret begrænset
- > I takt med udbredelse skal findes løsninger på bl.a. bortskaffelse af udtjente batterier.

3.7 Brintbusser

En brintbus drives grundlæggende set af elmotorer, som får strøm fra et eller flere batterier, der lades op af en brændselscellemotor.

Brint er en universel energibærer, der kan produceres fra alle primære energikilder. Sker produktionen på baggrund af overskudsstrøm eller vedvarende energikilder medfører brint positive miljømæssige gevinster, men som udgangspunkt sker der et stort konverteringstab af energi ved produktionen af brint. Der er i en årrække gennemført flere større og mindre forsøgsprojekter i blandt andet Europa med det formål at afdække positive og negative perspektiver ved brintbusser.

Fordele

Fordelene er primært:

- > Elmotorer er isoleret betragtet gennemprøvet teknologi
- > God rækkevidde
- > 0-emission fra bussen – ingen udstødning overhovedet
- > Gode miljømæssige gevinster, hvis brint produceres på overskudsstrøm eller vedvarende energikilder
- > Lavere udvendigt støjniveau fra bussen.

Ulemper

Overordnet set peger kilder på følgende ulemper:

- > Brint- og brændselscelleteknologien vurderes fortsatt at være i modningsfasen. Forskellige kilder²¹ peger på, at der fortsatt er behov for utvikling og forbedring av en lang række forhold
- > Udgifterne til en brintbus er op til en faktor 3 i forhold til en dieselbus
- > Driftssikkerheden er lav – der opstår mange nedbrud²² og tilfælde af kontaminering
- > Optankningsteknologien er ikke optimal, opfyldning tager lang tid, der mangler net, tankfaciliteter er meget dyre
- > Brændstofforbruget er højere end batterielektriske løsninger, men sammenligneligt med brændstoffer i forbrændingsmotorer
- > Der er CO₂-udledning i forbindelse med brintproduktion udgør et problem
- > Styringsenheder skal forbedres (bl.a. energistyring)
- > Der mangler standardiseringer – lovgivningsmæssigt, bedre adgang til reservedele og ikke mindst lavere anskaffelsesomkostninger på busser og brændselsceller
- > Høje brændstofpriser (op til 7,5 kr. pr. kørt km). Det er knap det dobbelte af brændstofprisen for en dieselbus
- > Høje service & vedligeholdelsesomkostninger (+50-60%), der kræves særlige værksteder/faciliteter og specialuddannet personale.

3.8 Udvalgelse

På baggrund af ovenstående gennemgang af aktuelle teknologier og drivmidler, vurderes følgende tre teknologier og drivmidler at være mest oplagt for Skyss at arbejde videre med til udbuddene i 2018 og 2019:

- > Biodiesel
- > Syntetisk diesel
- > Eldrevne busser (depot-charged eller opportunity-charged).

Se i øvrigt oversigten i Tabel 5.

Biogas findes uegnet, udelukkende fordi tilgængeligheden er begrænset, og fordi det må antages at være mest fordelagtigt at anvende den biogas, der kan øremærkes til busdriften, i de gasbusser, som Skyss allerede har i drift. Nye, lokale anlæg vil tage tid/år at etablere, og derfor anses det ikke for realistisk til et udbud i 2018 eller 2019.

²¹ Blandt andre det EU-finansierede CUTE-projekt (Clean Urban Transport for Europe) fra 2001, det opfølgende projekt HyFleet-Cute fra 2006-2009 samt NextHyLight-studiet fra 2011

²² I Oslo har tilgængeligheden til brintbusserne været under 70%, andre steder har den været oppe på omkring 90 %

Tabel 5 Vurdering af forskellige teknologier, deres respektive fordele og ulemper og egnethed i forhold til Skyss' mål om reduceret miljøbelastning fra den kollektive busstrafik. Udgangspunktet er en sammenligning med dieselbus (venstre kolonne), dvs. nødvendige investeringer, omkostninger og udfordringer mv. er beskrevet med en dieselbus som alternativ. Farverne og styrken indikerer, om noget er positivt (grønt) eller negativt (rødt) ift. diesel som reference

Teknologi	Diesel, fossilt	Biodiesel	Syntetisk diesel	Biogas	Bio-ethanol	Hybrid-busser	El, depot-charging	El, opportunity charging	Brint
Nødvendige merinvesteringer, busser	Ingen	Lav	Ingen	Lav	Lav	Høj	Meget høj	Meget høj	Meget høj
Nødvendige merinvesteringer, anlæg	Ingen	Lav	Ingen	Lav	Ingen	Ingen	Middel	Høj	Høj
Problemer i forhold til lokalisering af anlæg	Ingen	Ingen	Ingen	Ingen	Ingen	Ingen	Ingen	Placering af opladere	Ingen
Omkostninger - service og vedligehold	Meget lav	Lav	Meget lav	Lav	Høj	Lav, men usikker Evt. nye batterier	Meget lav, men usikker Evt. nye batterier	Meget lav, men usikker Evt. nye batterier	Høj
Særlige rammebetingelser	Ingen	Få producenter	Få producenter	Ikke tilgængelig	Få producenter af busser/brændstof	Ingen	Ingen	Uklare ansvarsforhold	Få producenter
Særlige udbudsforhold	Ingen	Ingen	Ingen	Ingen	Ingen	Ingen	Længere kontrakter	Længere kontrakter	Længere kontrakter
Behov for teknologisk videreudvikling	Ingen	Ingen	Ingen	Ingen	Ingen	Lavere energiforbrug	Længere rækkevidde	Længere rækkevidde	Endnu umoden
Miljømæssig profil (CO ₂)	Meget lav	Middel	Meget høj	Meget høj	Middel	Lav/middel	Meget høj	Meget høj	Meget høj
Andre fordele/ulemper for kunder	Ingen	Ingen	Ingen	Lav støj	Stort merforbrug	Delvis 0-emission Lav støj	0-emission Lav støj	0-emission Lav støj Risiko for ventetid	0-emission Lav støj
Samlet egnethed som alternativt drivmiddel i dag ²³	Egnet	Egnet	Egnet	Uegnet	Uegnet	Uegnet	Egnet	Egnet	Uegnet

Bioethanol vurderes også uegnet for nuværende i sammenligning med de øvrige alternativer. Det skyldes kombinationen af flere forhold, herunder især en begrænset produktion og dermed tilgængelighed i Norge, højere priser på materiale, højere udgifter til service & vedligeholdelse samt væsentligt højere brænd-

²³ Egnethed opgjort i forhold til at drivmidlet er tilgængeligt på markedet, at teknologien er tilstrækkelig moden og at teknologien kan indføres på buslinjer i Skyss i større skala

stofudgifter. Dertil kommer, at kun ganske få producerer bioethanolbusser i øjeblikket (måske reelt kun Scania), hvilket svækker den generelle konkurrencesituation på busområdet.

Hybridbusser er ligeledes uegnede. De energi- og miljømæssige gevinster kan være vanskelige at opnå i praksis, og hastighed synes at være en kritisk faktor i den sammenhæng. Erfaringer fra USA peger bl.a. på, at energi- og miljøeffekterne reduceres ved hastigheder over 13 km/t. Herudover er udgifterne til busser høje, og service & vedligeholdelsesomkostningerne efter lang tids drift kan være vanskelige at estimere. Uventede udskiftninger af elektromotorer og batterier vil gøre teknologien uforholdsmæssigt dyr og sårbar.

Og endelig vurderes brint at være uegnet for nuværende. Teknologien er fortsat umoden og brintbusser fungerer endnu kun i forbindelse med forskellige forsøgsordninger, hvor teknologien fortsat testes. Antallet af brintbusser er fortsat så lavt, at den nødvendige udvikling af teknologien formentlig vil gøre busserne uforholdsmæssigt dyre i mindst 10-15 år frem, alt andet lige.

Skyss kan med fordel følge udviklingen nøje og inddrage de øvrige teknologier i konkrete overvejelser, hvis der viser sig en tilstrækkelig produktion inden for en rimelig afstand og hvis priser og leveringsforhold bliver konkurrencedygtige med andre alternativer.

I Afsnit 4 ser vi nærmere på, hvad perspektiverne kan være for disse tre alternativer, hvis de indføres på rutedriften i Nordhordland og Askøy Kommuner.

4 Del II: Relevante alternativer

I dette afsnit behandles de tre relevante alternativer mere detaljeret.

De relevante alternativer er:

- > Biodiesel B100 baseret på sojaolie
- > Biodiesel HVO baseret på affald (2G)
- > Eldrift

4.1 Biodiesel

Tilgængelighed

Biodiesel produceres på baggrund af sojabønner på store anlæg i Norge og Sverige. I Norge produceres biodiesel på Perstorps anlæg i Fredrikstad. Der er rigelig kapacitet, og produktionen kan øges efter behov.

Perstorp forklarer, at der findes ubenyttede arealer, hvor der i dag kan dyrkes soja til produktion af diesel, uden at det vil konkurrere med produktionen af fødevarer.

Biodieselen vil i givet fald skulle transporteres fra Perstorps anlæg til Bergen, hvilket ikke udgør hverken tekniske eller praktiske udfordringer. Det vil dog kræve, at der er tilstrækkelig tankkapacitet hos operatørerne i Bergen.

CO₂ fortrængning

CO₂-fortrængningen for B100 ligger ifølge producenten på mellem 60% og 67%, afhængigt af hvor meget biomethanol, der anvendes i produktionsprocessen. Når der anvendes fossil metanol i processen, vil der være en CO₂ fortrængning på ca. 60%. Hvis den fossile metanol erstattes af biometanol fås en højere CO₂-fortrængning på omkring 67%.

Den biodiesel, der produceres på anlægget i øjeblikket, er baseret på biometanol, og har en CO₂-fortrængning på ca. 67%. I gennemsnit må man dog regne med en fortrængning på ca. 62%. Det omfatter endvidere ikke de miljømæssige aspekter af en given transport med tankbil fra Fredrikstad til Bergen. CO₂-

emissionen herfra forventes dog kun at udgøre en relativ lille andel i den samlede opgørelse, svarende til et tillæg på 1-2 % CO₂ for B100²⁴.

Samlet set vil man således kunne regne med en CO₂-fortrængning på mellem 60% og 61% for RME 100% biodiesel.

Luftforurening

Anvendelse af sojabaseret 100% biodiesel som erstatning for fossil diesel vil medføre en forøgelse i NO_x-emissionerne på ca. 20%. Det er indtil videre uafklaret, hvordan denne forøgelse i NO_x-emissionerne tidligere har været håndteret, og hvordan det kan håndteres fremover. Det er umiddelbart vanskeligt at forestille sig busser monteret med større katalysatorer, idet katalysatorerne indgår i et kompliceret samspil med resten af motoren.

COWIs foreløbige undersøgelser indikerer, at den forventede forøgelse i NO_x-emissionerne accepteres. Den øgede NO_x-emission kan formentlig reduceres eller neutraliseres ved hjælp af en øget tilsætning af AdBlue. Det gælder dog kun for busser med SCR-katalysatorer.

Anvendelse i busserne

Motorfabrikanter anbefaler at serviceintervallerne halveres. Det skyldes, at der ophobes biodiesel i smøreolien, hvorved smøreolien smører dårligere. Når der ophobes biodiesel i smøreolien og ikke fossil diesel, så skyldes det at fossil diesel fordampes, og derved forsvinder af sig selv. Det er ikke tilfældet med biodiesel.

Volvos EURO VI-motorer har haft problemer med deres ultrafine brændstoffilter, når der anvendes biodiesel, men det skulle nu være løst.

Derudover kan det være et problem, at RME bliver tyktflydende ved lave temperaturer. Under 20 graders frost kan det medføre, at det er vanskeligt at starte motoren. Problemet med kontaminering vil i givet fald kunne løses ved at iblande fossil diesel i de koldeste perioder på året, eller ved at anvende syntetisk diesel HVO i disse periode. Ved at anvende HVO i disse perioder frem for fossil diesel fastholdes miljøprofilen.

Man kan også opvarme brændstoftankene. Det virker dog omstændigt taget de øvrige alternativer i betragtning.

Priser

Prisen på RME biodiesel reguleres månedligt. Den 25. november 2016 var prisen 8,50 NOK/liter ekskl. MVA, men inklusiv transport fra Fredrikstad til Bergen. Det svarer til 10,67 NOK/liter inkl. MVA og betyder, at literpriser er ca. 0,4 NOK lavere end for almindelig fossil diesel.

Anvendelse af biodiesel vil evt. kræve, at der etableres supplerende tankanlæg hos operatørerne i Skyss. Hvis der sker en konsekvent overgang til brug af biodiesel frem for traditionel diesel, vil de eksisterende tankanlæg kunne anvendes, og supplerende anlæg er i princippet unødvendige. Er der et ønske om at kunne blande almindelig diesel og biodiesel og kende det nøjagtige blandingsforhold, kan det være en fordel at have en supplerende tank.

²⁴ Vi antager, at den fossile diesel kan leveres direkte fra raffinaderi i Bergen

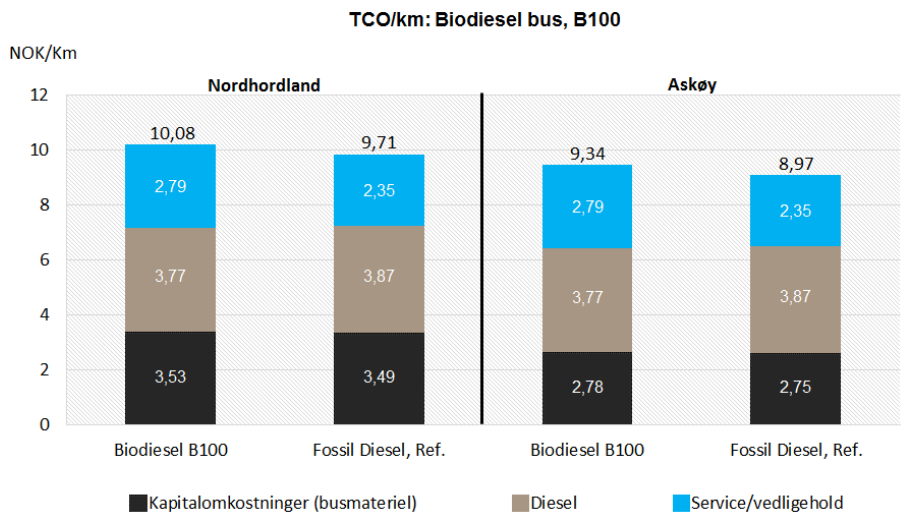
Priserne på tankanlæg varierer med kapaciteten – en typisk overfladetank på 10 m³ inkl. påfyldning og transaktionssystem med online administration koster knap 200.000 NOK. En tilsvarende tank på 60 m³ koster ca. 350.000 NOK. Det påvirker de samlede TCO med mindre end 0,1%.

Erfaringer

I Sør-Trøndelag fylkeskommune (Trondheim) anvendes en blanding af fossil diesel og biodiesel med et gennemsnit på 80 % biodiesel. Kommunen har anvendt en lignende blanding siden 2010, og det forventer den at fortsætte med. Biodieselen leveres fra Romerike, 480 km fra Trondheim.

TCO/km

Driftsomkostningerne (TCO/km) til en bus, der anvender biodiesel er vist i Figur 3 for henholdsvis Nordhordland og Askøy. Til sammenligning er vist de tilsvarende driftsomkostninger for busser, der anvender fossil diesel (reference).



Figur 3 TCO/km for biodiesel B100 og til sammenligning fossil diesel. Gennemsnitlige km-priser for en 12 m bus beregnet for en kontraktlængde på 9 år

Prisforskellen mellem at anvende biodiesel frem for almindelig diesel udgør ca. +0,4 NOK/km i både Nordhordland og på Askøy, hvilket svarer til ca. 4 % af de samlede køretøjsudgifter.

De samlede, øgede udgifter skyldes primært ekstra omkostninger til hyppigere service og mere intensiv vedligeholdelse. Det er endvidere beregningsmæssigt antaget, at udskiftning af diverse slanger og filtre forud for brugen af B100 vil øge anskaffelsesprisen på bussen med 1 % (for at indikere en forskel). I praksis vil meromkostningerne formentlig være lavere.

TCO

De totale driftsomkostninger (TCO) i hele kontraktperioden er vist i Tabel 6:

Tabel 6 TCO, beregnet på baggrund af 9 års kørsel i kontrakt i Nordhordland og på Askøy. Sammenholdt med de tilsvarende udgifter for almindelig diesel

Biodiesel RME	Nordhordland		Askøy	
	B100	Diesel	B100	Diesel
Årlige driftsudgifter (TCO) <u>1 bus</u>	0,55 mio. NOK	0,53 mio. NOK	0,65 mio. NOK	0,62 mio. NOK
Årlige driftsudgifter (TCO) <u>Alle busser</u>	41,9 mio. NOK	40,4 mio. NOK	27,9 mio. NOK	26,8 mio. NOK
Samlede driftsudgifter (TCO) for 9 år <u>Alle busser</u>	377,4 mio. NOK	363,4 mio. NOK	250,9 mio. NOK	241,0 mio. NOK
Skyss' totale, årlige operatørbetaling inkl. hans omkostninger til administration, lønninger mv.	115,6 mio. NOK	114,1 mio. NOK	76,7 mio. NOK	75,6 mio. NOK

Beregningsmæssigt vil overgang til B100 som skitseret oven for medføre, at de totale omkostninger for Skyss til operatører for kørslen i Nordhordland og på Askøy øges med 1,6 mio. NOK årligt henholdsvis 1,1 mio. NOK. Det svarer til 1,4% henholdsvis 1,5%.

De miljømæssige effekter er vist i Tabel 7.

Tabel 7 Reduktion i CO₂, NO_x og partikler (PM) for den kollektive bustrafik i Nordhordland og Askøy ved brug af biodiesel i en EURO VI-bus, sammenholdt med almindelig diesel og EURO VI. Tallene er beregnet på baggrund af, at der anvendes B100 til 75 % af den samlede kørsel og B5 til de resterende 25 % af kørslen

Årlig udledning Diesel EURO VI → B100 EURO VI	CO ₂	NO _x	Partikler (PM)
	Ton	Kg	Kg
Nordhordland	3.921 → 2.103 (÷ 46%)	1.630 → 1.775 (+ 9%)	17 → 10 (÷ 40%)
Askøy	2.815 → 1.510 (÷ 46%)	1.169 → 1.274 (+ 9%)	13 → 8 (÷ 40%)
I alt	6.736 → 3.613 (÷ 46%)	2.798 → 3.050 (+ 9%)	275 → 18 (÷ 40%)

4.2 Syntetisk diesel

Tilgængelighed

Syntetisk diesel (HVO) produceres produceret på basis af restprodukter fra slagterier og døde dyr fra landbruget. Andre restprodukter i form af fedt og olier, der er uegnet til fødevarerproduktion, indgår også i produktionen.

Største producent af syntetisk diesel (HVO) er NESTE i Finland²⁵. Derudover produceres HVO også i det øvrige Europa, men her foregår produktionen på basis af palmeolie. Kapaciteten er begrænset af tilgængelige råvarer, og det er usikkert, hvorvidt der vil være tilstrækkelige mængder af affaldsbaseret HVO i fremtiden.

Der er indhentet oplysninger om HVO fra Biofuel-Espress og fra CircleK i Bergen. Begge disse distributører oplyser, at det er svært for Neste at levere tilstrækkelige mængder helt uden anvendelse af palmeolie.

HVO er dyrere end sojabaseret biodiesel. Stor efterspørgsel kan medføre, at prisen kan blive presset yderligere i vejret.

CO₂ CO₂-fortrængningen for syntetisk diesel, HVO, ligger omkring 90%, lidt afhængigt af den aktuelle sammensætning af input i produktionen. Biofuel Express oplyser, at den gennemsnitlige CO₂ fortrængning ligger på 87%.

For HVO vil CO₂-emissionerne fra transport fra Finland til Bergen udgøre 3-5% eller mindre. 3-5% er beregnet i forhold til transport med lastbil fra anlæg i Finland inklusive færge Finland – Sverige. Denne CO₂ fra transport kan være mindre, hvis HVO transporteres fra Finland til Göteborg med tankskib i stedet.

Luftforurening HVO er renere end fossil diesel og medfører en reduktion i NO_x-emissionerne på ca. 10% og partikelemmissionerne med ca. 33%. I princippet betyder det, at busserne kunne forsynes med mindre begrænsende udstyr eller optimeres, så de tillader større emissioner. I praksis forventes imidlertid ikke, at dette vil ske. Dels vil det gøre busserne dyrere, dels vil det betyde, at busserne i givet fald kun vil kunne anvende HVO fremover. Det vil antagelig udgøre for stor risiko og for lille fleksibilitet i en situation, hvor udbuddet af HVO er usikkert.

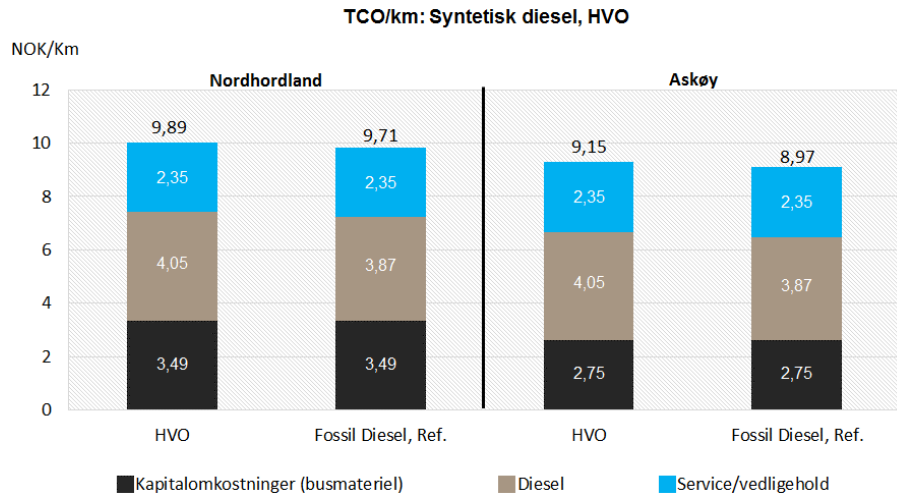
Anvendelse i busserne HVO kan anvendes fuldstændigt som almindelig diesel, det kræver ingen ændringer i motoren og der ses ingen problemer (kontaminering) ved lave temperaturer.

Priser Prisen på HVO reguleres ugentligt. 25 november 2016 var prisen 9,22 NOK/l ekskl. MVA, men inklusiv transport fra Finland til Bergen. Det svarer til 11,53 NOK/l inkl. MVA og betyder, at literprisen er ca. 0,5 NOK højere end for almindelig fossil diesel.

Ligesom for biodiesel kan drift på HVO kræve installation af tankanlæg, hvis man ikke ønsker at blande de to produkter, og fortsat ønsker mulighed for at kunne køre på fossil diesel. Der er dog intet til hinder for at blande de to produkter i samme tank.

TCO/km Driftsomkostningerne (TCO/km) til en bus, der anvender biodiesel er vist i Figur 4 for henholdsvis Nordhordland og Askøy. Til sammenligning er vist de tilsvarende driftsomkostninger for busser, der anvender fossil diesel (reference).

²⁵ UPM er en anden stor finsk producent, der også leverer til transportsektoren



Figur 4 TCO/km for syntetisk diesel, HVO, og til sammenligning fossil diesel. Gjennomsnittlige km-priser for en 12 m bus beregnet for en kontraktlengde på 9 år

Prisforskellen mellom at anvende syntetisk diesel frem for almindelig diesel udgør kun ca. +0,15 NOK/km, hvilket svarer til ca. 2 % af de samlede køretøjsudgifter.

TCO De totale driftsomkostninger (TCO) i hele kontraktperioden er vist i Tabel 8:

Tabel 8 TCO, beregnet på baggrund af 9 års kørsel i kontrakt i Nordhordland og på Askøy. Sammenholdt med de tilsvarende udgifter for almindelig diesel

Syntetisk diesel, HVO	Nordhordland		Askøy	
	HVO	Diesel	HVO	Diesel
Årlige driftsudgifter (TCO) <u>1 bus</u>	0,54 mio. NOK	0,53 mio. NOK	0,64 mio. NOK	0,62 mio. NOK
Årlige driftsudgifter (TCO) <u>Alle busser</u>	41,1 mio. NOK	40,4 mio. NOK	27,3 mio. NOK	26,8 mio. NOK
Samlede driftsudgifter (TCO) for 9 år <u>Alle busser</u>	370,3 mio. NOK	363,4 mio. NOK	245,9 mio. NOK	241,0 mio. NOK
Skyss' totale, årlige operatørbetaling inkl. hans omkostninger til administration, lønninger mv.	114,8 mio. NOK	114,1 mio. NOK	76,2 mio. NOK	75,6 mio. NOK

Beregningsmessigt vil overgang til HVO som skitseret oven for medføre, at de totale omkostninger for Skyss til operatører for kørslen i Nordhordland og på Askøy øges med 0,7 mio. NOK årligt henholdsvis 0,5 mio. NOK. Det svarer til begge steder til ca. 0,7%.

De miljømæssige effekter er vist i Tabel 9.

Tabel 9 Reduktion i CO₂, NO_x og partikler (PM) for den kollektive bustrafik i Nordhordland og Askøy ved brug af syntetisk diesel i en EURO VI-bus, sammenholdt med almindelig diesel og EURO VI. Tallene er beregnet på baggrund af, at der anvendes HVO til den samlede kørsel i Nordhordland og på Askøy

Årlig udledning Diesel EURO VI → HVO EURO VI	CO ₂	NO _x	Partikler (PM)
	Ton	Kg	Kg
Nordhordland	3.921 → 499 (÷ 87%)	1.630 → 1.482 (÷ 9%)	17 → 12 (÷ 33%)
Askøy	2.815 → 358 (÷ 87%)	1.169 → 1.064 (÷ 9%)	13 → 8 (÷ 33%)
I alt	6.736 → 857 (÷ 87%)	2.798 → 2.546 (÷ 9%)	275 → 20 (÷ 33%)

4.3 Eldrevne busser

Et tredje alternativ er eldrevne busser. For alle typer af eldrevne busser handler de største udfordringer om at sikre tilstrækkelig rækkevidde for bussen, dvs. tilstrækkelig kapacitet i de anvendte batterier, der skal lagre strømmen, mens bussen er i rutedrift.

De nuværende batterier er fortsat fysisk store og både kapacitet, størrelse og pris er nogenlunde ligefrem proportionale. Disse forhold understøtter ikke direkte mulighederne for at indrette og udstyre busserne i overensstemmelse med kundernes ønsker om eksempelvis klimaanlæg, komfort og gode pladsforhold. For at holde vægten af busser inkl. batteripakke nede, har de eldrevne busser typisk lidt lavere samlet passagerkapacitet og den stadigt stigende mængde udstyr i form af computere, informationssystemer og billetteringsudstyr, som kræves i busserne i dag, forbedrer ikke situationen. Spørgsmålet om tilstrækkelig passagerkapacitet vurderes ikke at være en udfordring i den konkrete sammenhæng.

Ladestationer og -aggregater er specielle og omkostningskrævende afhængigt af, hvor hurtigt batterierne skal kunne oplades. Der findes forskellige standarder, som gør de forskellige teknologier mindre fleksible ved senere udvidelser og ændringer.

To opladningsmetoder Størrelsen og antallet af batterier afhænger af opladningsmetoden. Der findes grundlæggende to metoder – depot-charging og opportunity-charging. De uddybes i det følgende.

4.3.1 Depot-charging

Depot-charging foregår, når bussen er taget ud af drift, dvs. typisk på operatørens garageanlæg om natten eller midt på dagen, hvis der er en lang pause.

Det centrale spørgsmål for at kunne anvende en eldrevet depot-charged bus, er den samlede kørsel i løbet af dagen, eller i hvert fald den samlede kørsel inden

bussen kan vende tilbake til garagen til en genopladning. I Tabel 10 vist en opgørelse over viktige karakteristika for en depot-charged bus:

Tabel 10 Karakteristika for en eldrevet, depot-charged bus

Depot-charging	Uddybning	Anslået pris
Bus, anslået pris	12 m bus med samme standard som en typisk dieselbus VTT og TØI har i en nylig udredning for Tromsø, se uddybning i teksten neden for, anslået prisen for en bus til 360.000 € + 500 € pr. kWh i bussens batteripakke	4,78 mio. NOK
Opladning	På depot, dvs. om natten eller på midt på dagen i en længere pause i driften	
Batterikapacitet i bussen	320 kWh Typisk har de nyeste busser > 250 kWh	
Slow-charge ladestation	Kapacitet på 50 kW. Det bør være 1 station pr. driftsbuss Da driften ligger i dagtimerne og tidligt på aftenen på de fleste vognløb, er der tilstrækkelig tid til fuld opladning på garagen med ladestationer med en kapacitet på 50 kW	0,15 mio. NOK pr. ladestation
Fast-charge ladestation	Kapacitet på 300-400 kW. Der bør være 1 fast-charge pr. garage/pr. 30-40 busser Den omtalte udredning fra VTT og TØI anslår prisen til 300.000 €	2,75 mio. NOK pr. ladestation
Fuldopladning: Slow-charge	5-6 timer	
Fuldopladning: Fast-charge	1-2 timer	
Specifikt energiforbrug, VTT simulering	1,5 kWh/km som et gennemsnit Den omtalte udredning fra VTT og TØI viste et spænd fra 1,06-1,94 kWh/km for forskellige linjer, med typisk stoppestedsmønstre, 0-90 passagerer, snekæder, kulde mv.	
Forventet rækkevidde som et gennemsnit i al slags vejr	Beregningsmæssigt ca. 160 km. Beregningsmæssigt er rækkevidden ca. 210 km. som et gennemsnit. Der bør i praksis kalkuleres med en restkapacitet på 25 % af hensyn til sikre opretholdelse af driften under varierende forhold. 25% af batterikapaciteten svarer til 80 kWh, der i så fald ikke planlægges udnyttet.	

Energiforbrug	<p>Det er ikke muligt at finde kilder, der beskriver erfaringer med eksakt energiforbrug under kørselsforhold, der vil minde om forholdene i Skyss. Forbruget vil generelt afhænge af passagerbelastningen, mængden af energiforbrugende udstyr i bussen, kørselsmønsteret, topografiske og klimamæssige udfordringer.</p> <p>Ifølge BYD vil deres busser med en samlet batterikapacitet på ca. 320 kWh kunne køre ca. 250 km på en opladning, svarende til et forbrug på gennemsnitligt 1,3 kWh pr. km.</p>
Simulering i Troms	<p>TØI (transportøkonomisk institutt) og VTT (VTT Technical research Centre of Finland) har for nylig lavet en detaljeret udredning om, hvorvidt det er muligt at anvende elbusser i Tromsø. Tromsø kan betragtes som en af de mest krævende større byer at betjene med elbusser på grund af bakker, nedbør og kulde, sne og slud, kørsel med snekæder i lange perioder og smalle gader.</p> <p>Udredningen omfatter detaljerede simuleringer af kørslen på en række linjer og viser et energiforbrug for depot-charged busser på i gennemsnit ca. 1,5 kWh, se Tabel 10. Vi benytter det som udgangspunkt for en vurdering af mulighederne i Skyss.</p> <p>Spørgsmålet er derefter, hvorvidt det nuværende kørselsmønster i Nordhordland eller Askøy egner sig depot-charged busser.</p>
Nordhordland	<p>I Nordhordland betjenes de seks kommuner Meland, Lindås, Radøy, Austrheim, Masfjorden og Fedje af i alt 28 buslinjer. Hovedparten af kørslen er tilpasset kommunernes 31 skoler (trin 1-10) samt to videregående skoler, men herudover sikrer betjeningen forbindelser for pendlere og andre brugere mellem kommunerne og regionscentret Knarvik og videre mellem hele regionen og Bergen (primært linje 320/320E) og Åsane Terminal (primært linje 301).</p> <p>Flere linjer er betjeningsmæssigt koblet sammen, (dvs. starter som en linje og fortsætter undervejs som en anden), primært for at undgå skift for de rejsende. Det betyder, at vognløbene er ret komplekse og ofte består af korte og længere ture.</p> <p>I alt er der 124 forskellige vognløb på en typisk hverdag. Heraf er 45 varianter af vognløb, hvor afgangstiden eller ankomsttiden er forskudt ganske lidt hen over ugedagene.</p>
Eksempel på vognløb	<p>Et eksempel på et vognløb er vist i Tabel 11. Heraf fremgår, at vognløbet omfatter kørsel fra garagen til opstartssted kl. 04.42. Derefter køres frem til kl. 16.08, hvor bussen returnerer på garagen. Den samlede tilbagelagte strækning er 297 km. Undervejs i vognløbet er bussen hjemme på garagen to gange; første gang i 8 minutter fra kl. 08.11-08.19 og anden gang i 57 minutter fra kl. 10.58-11.55.</p>

Tabel 11 Eksempel på et eksisterende vognløb og batteriernes beregningsmessige restkapacitet SOC (State Of Charge) undervejs. Med rødt er markeret, hvor SOC er for lav og hvor der mangler batterikapacitet

Tur	Fra	Starttid	Sluttid	Til	Ophold på garagen	Strækning Km	SOC
1	Garasje Knarvik	04:42	05:07	Rossland		12,9	94%
2	Rossland	05:07	05:35	Flatøy		16,6	86%
3	Flatøy	05:35	05:57	Rossland		16,2	79%
4	Rossland	06:05	06:40	Knarvik skystasjon		20,2	69%
5	Knarvik skystasjon	06:45	07:35	Bergen busstasjon		27,6	56%
6	Bergen busstasjon A	07:40	08:11	Garasje Knarvik	00:08	17,8	48%
7	Garasje Knarvik	08:19	08:26	Alver		3,8	46%
8	Alver	08:26	09:35	Bergen busstasjon		33,7	30%
9	Bergen busstasjon C	10:00	10:48	Knarvik skystasjon		30,1	16%
10	Knarvik skystasjon	10:53	10:58	Garasje Knarvik	00:57	0,6	16%
11	Garasje Knarvik	11:55	12:00	Knarvik skystasjon		0,6	31%
12	Knarvik skystasjon	12:00	12:50	Bergen busstasjon		28,9	18%
13	Bergen busstasjon C	13:00	13:43	Knarvik skystasjon		28,9	4%
14	Knarvik skystasjon	14:00	15:09	Skjelanger		30,0	-10%
15	Skjelanger kai	15:20	16:03	Flatøy		26,8	-23%
16	Flatøy	16:03	16:08	Garasje Knarvik		1,7	-23%
	SUM		11:26			296,5	

Med en depot-charged bus, vil hele vognløbet på 297 km kræve 446 kWh. Det betyder, at der vil mangle ca. 200 kWh for at vognløbet kan udføres uden genoplading undervejs. Genoplading kan teoretisk set ske på garagen i ca. 30-40 minutter, men samlet set vil der ikke kunne sikres den nødvendige kapacitet til at udføre hele vognløbet. Vognløbet er derfor ikke umiddelbart egnet til en depot-charged bus.

Egnede vognløb til depot-charged busser

Hvis vi for de øvrige vognløb opgør energiforbruget og indtænker mulighederne for at genoplade ved slow-charge/fast-charge standere på garagerne, vil 39 vognløb i Nordhordland kunne udføres med en depot-charged bus. Det svarer til ca. 50% af alle unikke vognløb, se Tabel 12.

Tabel 12 Nordhordland: Vognløb, hvor driften kan udføres med eldrevne depot-charged busser (dagens produktion og vognløb)

Garage	Vognløb	Linje	Strækning Km	Ophold
Knarvik	4003	320	164,1	04:55
Knarvik	4005	301	226,2	05:16
Knarvik	4006	320/341	200,7	04:32
Knarvik	4008	300/301/320	193,8	05:29
Knarvik	4009	320/341	195,9	05:17
Knarvik	4012	301/320	174,8	05:12
Knarvik	4013	301/320/341	170,7	06:17
Knarvik	4014	301/320/341	149,0	06:19
Knarvik	4016	300/301/320/341	244,4	03:55
Knarvik	4018	301/320/341	286,5	06:19
Knarvik	4032	300/361	86,0	06:16
Knarvik	4033	311/313/320	83,5	05:56
Knarvik	4034	300/346	173,9	05:01
Knarvik	4035	301/313/344	190,4	02:30
Knarvik	4036	341/353/360/361	144,7	03:47
Knarvik	4037	341/346	123,3	03:40
Knarvik	4038	315/320/325/341/344/346	185,4	05:28
Knarvik	4040	311/320/346	89,5	05:39
Knarvik	4051	315/322/24	142,1	05:10
Knarvik	4052	310/313/344	102,3	05:31
Feste	4076	310/311	250,3	05:04
Manger	4115	300/315/320/323/325	243,4	04:21
Knarvik	4116	300/320/324	217,4	05:43
Mastrevik	4144	300/320/327	247,8	03:42
Mastrevik	4161	360/366	152,3	05:48
Fanebust	4162	320/328/360	169,9	03:40
Fanebust	4164	327/328/360/366	124,8	03:01
Fanebust	4169	300/360/362/366	191,4	05:19
Ostereidet	4201	320/350/351/361	179,9	02:42
Ostereidet	4202	341/350/351	217,7	02:47
Ostereidet	4203	320/341/350/360	147,2	02:06
Ostereidet	4204	350/353	192,9	05:52
Ostereidet	4205	320/350/351/360	155,0	03:11
Ostereidet	4207	320/350/351/362	160,1	05:47
Ostereidet	4211	351/380	108,9	05:52
Ostereidet	4236	372/380	225,3	03:21
Manger	4301	322/323/325	109,3	02:45
Manger	4302	324	47,1	03:50
Hosteland	4311	371	45,5	06:13

I forbindelse med det kommende udbud, planlægges at sammenlægge de to linjer 301 og 320 til en ny hovedforbindelse mellem Knarvik og Bergen, en såkaldt regionsstamlinje. Alle afgange vil da dække denne strækning (ændret linjeføring via Fløyfjellstunnelen), og linjen tænkes betjent med laventrébuser (12,8 m).

Mange af de vognløb, der vurderes at kunne betjenes med eldrevne busser, betjener netop denne strækning. Det kunne evt. danne baggrund for en fremtidig eldrevne regionsstamlinje. En detailgennemgang af mulige kommende vognløb på en sådan ny linje må afgøre, om og evt. i hvor høj grad linjen kan betjenes med depot-charged busser²⁶.

Egnede vognløb til depot-charged busser på Askøy

Askøy betjenes af i alt 40 buslinjer. Hovedparten af kørslen er tilpasset kommunens 14 skoler (trin 1-10) samt to videregående skoler, men herudover sikrer betjeningen forbindelser for pendlere og andre brugere på tværs af kommunen og videre mellem kommunen til Bergen.

Alle linjer er betjeningsmæssigt koblet sammen. De starter som én linje og fortsætter undervejs som en anden, en tredje og helt op til betjening på ni forskellige linjer i samme vognløb. Det minimerer skift for de rejsende. Men det betyder, at vognløbene er ret komplekse og ofte ikke betjener samme endestation mange gange i løbet af de respektive vognløb.

En gennemgang af vognløbene på Askøy viser, at i alt 49 vognløb vil kunne udføres med en depot-charged bus, se Tabel 13. Det svarer til ca. 85% af alle 58 unikke vognløb i dag.

Tabel 13 Askøy: Vognløb, hvor driften kan udføres med eldrevne depot-charged busser (dagens produktion og vognløb)

Garage	Vognløb	Linje	Strækning Km	Ophold
Haugland	004	482/483	120,7	04:36
Haugland	005	403/484/485	254,6	04:35
Haugland	006	403/484/485	152,7	05:13
Straume	007	445/481/484	244,2	05:35
Straume	009	23/448	197,3	04:45
Straume	011	403/442	100,0	06:11
Straume	012	23/403/424/442	123,5	05:49
Straume	015	23/403/424	169,4	05:00
Straume	017	23/445	138,5	03:52
Straume	020	23/424/441	158,1	01:03
Haugland	024	481/484	216,4	01:40
Straume	028	23/441/445	148,4	04:42
Straume	031	23/441/445/449	218,6	05:57

²⁶ Linjerne 301 og 320 indgår yderligere i 21 eksisterende vognløb

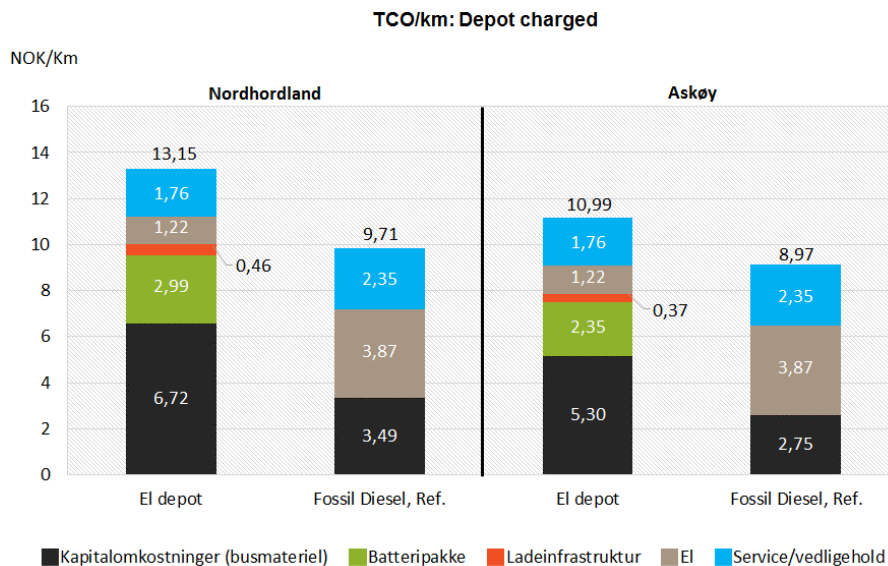
Haugland	033	481/482/483/491/495/496	215,3	02:55
Haugland	034	485/490/491/493/495	196,1	03:32
Haugland	037	480/481/485/495/497/499	229,0	02:31
Haugland	038	480/481/485/495	162,1	04:54
Haugland	039	480/481/493/495	134,4	04:47
Haugland	040	483/485/490/495/497/499	213,9	03:05
Haugland	041	490/491	134,0	04:45
Haugland	043	491/495/497/499	248,3	06:21
Haugland	044	480/490/491/493/497	200,7	03:44
Haugland	045	484/485/491/499	188,6	04:58
Haugland	046	460/480/484/491/493/495/496/497	257,1	05:16
Haugland	047	480/490/491/495/497	158,1	04:12
Haugland	048	481/485/491/495/497	176,5	03:06
Haugland	049	495/497/499	192,0	05:03
Haugland	050	480/484/490/491/495	205,8	03:18
Haugland	051	460/480/485/495/499	414,3	04:43
Haugland	052	484/485/490/491/495/496	306,3	05:33
Haugland	055	485/495/497/499	193,2	03:17
Haugland	056	480/482/483/484/490/493/496	133,0	05:03
Haugland	057	485/491/493/495/497	184,7	01:03
Haugland	058	481/485/493/497	141,9	03:51
Haugland	059	481/485/491/495/497	192,9	04:08
Haugland	060	424/485/493/495/499	362,3	04:18
Haugland	061	481/485/490/491/493/495	258,3	03:19
Haugland	063	481/484/490	181,3	03:36
Haugland	090	480/484/490/491/493/495/499	379,3	09:00
Haugland	091	481/483/493/495	149,1	05:10
Straume	096	403/449/459	125,6	05:57
Haugland	099	445/481/484	159,0	02:43
Straume	1001	495	15,0	00:05
Straume	1002	496	16,0	00:05
Straume	1003	480	21,8	00:00
Straume	102	23/455/460/465	196,0	04:39
Haugland	503	495/499	188,8	04:31
Haugland	528	481/485/491/495/496	165,1	03:10
Straume	530	23	165,8	03:58

TCO/km

De totale driftsomkostninger (TCO/km) til en eldre depot-charged bus er vist i Figur 5. Til sammenligning er vist de tilsvarende driftsomkostninger for en bus, der anvender fossil diesel (reference).

Prisforskellen mellom at anvende depot-charged busser frem for almindelige dieselbusser udgør ca. +3,4 NOK/km i Nordhordland og ca. 2 NOK/km på Askøy.

Det svarer til ca. 35% henholdsvis ca. 23% af de samlede køretøjsudgifter. De samlede, øgede udgifter skyldes primært afskrivning på øgede investeringer i materiel og infrastruktur, mens de løbende udgifter til el og service/vedligehold er lavere i sammenligning.



Figur 5 Gennemsnittlige km-priser for en 12 m eldrevet depot-charged bus, og til sammenligning fossil diesel. Gennemsnittlige km-priser for en 12 m bus beregnet for en kontraktlængde på 9 år

TCO

De totale driftsomkostninger (TCO) kan beregnes til følgende, se Tabel 14. For Nordhordland er forudsat, at 50 % af busserne er eldrevne, svarende til den andel af vognløbene, der er fundet egnet til at kunne udføres med depot-charged busser. Tilsvarende er i beregningerne for Askøy forudsat, at 85 % af busserne er eldrevne. De resterende er dieselbusser.

Tabel 14 TCO, beregnet på baggrund af 9 års kørsel i kontrakt i Nordhordland og på Askøy. Sammenholdt med de tilsvarende udgifter for almindelig diesel. For Nordhordland er forudsat, at ca. 50% af busserne er eldrevne, på Askøy ca. 85%. De resterende er dieselbusser

Eldrevne busser, Depot-charged	Nordhordland		Askøy	
	Depot-charged	Diesel	Depot-charged	Diesel
Årlige driftsudgifter (TCO) <u>1 bus</u>	0,72 mio. NOK	0,53 mio. NOK	0,74 mio. NOK	0,62 mio. NOK
Årlige driftsudgifter (TCO) <u>Alle busser</u>	47,5 mio. NOK	40,4 mio. NOK	31,9 mio. NOK	26,8 mio. NOK
Samlede driftsudgifter (TCO) for 9 år <u>Alle busser</u>	427,8 mio. NOK	363,4 mio. NOK	287,2 mio. NOK	241,0 mio. NOK
Skyss' totale, årlige operatørbetaling inkl. hans omkostninger til administration, lønninger mv.	121,2 mio. NOK	114,1 mio. NOK	80,8 mio. NOK	75,6 mio. NOK

Beregningsmessig vil en erstatning af 50% af busserne i Nordhordland med eldrevne, depot-charged busser som skitseret oven for medføre, at de totale omkostninger for Skysst til operatører for kørslen vil øges med ca. 7.2 mio. NOK årligt. Det svarer til en stigning på ca. 6,3%.

Tilsvarende vil udgifterne øges med ca. 5,1 mio. NOK årligt, hvis 85% af busserne på Askøy erstattes af eldrevne, depot-charged busser. Det svarer til en stigning på ca. 6,8%.

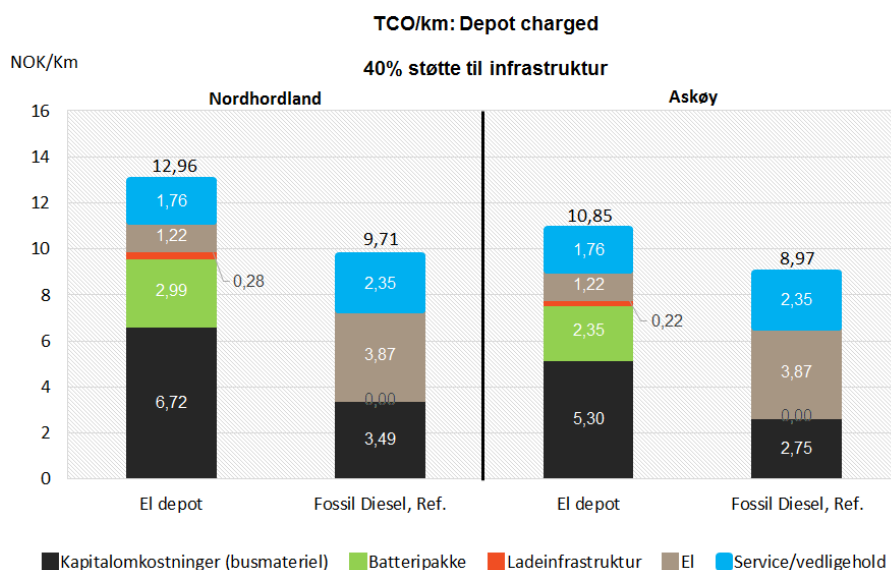
Støtte

For både depot-og opportunity-charged busser kan der i praksis vise sig en række supplerende udgifter til et realistisk set-up, f.eks. i form af udgifter til at sikre den fornødne strømforsyning på garager og ved endestationer. Der kan også være behov for etablering af nye transformatorstationer og udgifter forbundet med at håndtere højere sikringsniveauer. Der kan også være højere tilslutningsafgifter på grund af den samlede strømforsyning.

I øjeblikket yder Enova investeringsstøtte til en andel af omkostningerne til ladeinfrastruktur til eldrevne busser, der købes og ejes af kommune og fylkeskommuner for at reducere den miljømæssige belastning fra transportsektoren.

Investeringsstøtten omfatter op til 40% af omkostningerne til den nødvendige ladeinfrastruktur for at kunne tage rene batterielektriske eller ladbare batterihybride løsninger i brug, herunder bl.a. opgraderinger af elnettet og ladestationer. Investeringer i ladeinfrastruktur til eldrevne busser er for nylig blevet tildelt 40% støtte.

Med indregnet støtte er TCO vist i Figur 6. Støtten reducerer omkostningerne til ladeinfrastruktur fra 0,46 NOK/km til 0,28 NOK/km for busserne i Nordhordland og tilsvarende fra 0,37 NOK/km til 0,22 NOK/km på Askøy.



Figur 6 Gennemsnitlige km-priser for en 12 m eldrevet depot-charged bus, og til sammenligning fossil diesel. Gennemsnitlige km-priser for en 12 m bus beregnet for en kontraktlængde på 9 år. Indregnet støtte fra Enova på 40% af investeringsudgifterne til ladeinfrastruktur

Samlet set reduseres de årlige, totale meromkostninger for Skyss til operatører for kørslen i Nordhordland med 0,4 mio. NOK fra ca. 7.2 mio. NOK til ca. 6,8 mio. NOK (5,9%). På Askøy reduseres de tilsvarende meromkostninger fra ca. 5,1 mio. NOK til ca. 4,8 mio. NOK (6,3%).

De miljømæssige effekter er vist i Tabel 15. Tallene er beregnet på baggrund af, at 50% af busserne i Nordhordland og 85% af busserne på Askøy er depot-charged busser, mens de resterende er dieselbusser (EURO VI).

Tabel 15 Reduktion i CO₂, NO_x og partikler (PM) for den kollektive bustrafik i Nordhordland og Askøy ved brug af eldrevne depot-charged busser, sammenholdt med almindelig diesel og EURO VI. Tallene er beregnet på baggrund af, at 50% af busserne i Nordhordland og 85% af busserne på Askøy er depot-charged busser. De resterende er dieselbusser

Årlig udledning Diesel EURO VI → delvist eldrevne depot-charged busser	CO ₂ Ton	NO _x Kg	Partikler (PM) Kg
Nordhordland	3.921 → 1.961 (÷ 50%)	1.630 → 814 (÷ 50%)	17 → 9 (÷ 50%)
Askøy	2.815 → 422 (÷ 85%)	1.169 → 175 (÷ 85%)	13 → 2 (÷ 85%)
I alt	6.736 → 2.383 (÷ 65%)	2.798 → 990 (÷ 65%)	30 → 11 (÷ 65%)

4.3.2 Opportunity-charging

Opportunity-charging er en metode, hvor bussens batterier oplades undervejs på ruten i forbindelse med stop ved udvalgte stoppesteder (hurtig opladning) og ved endestationer.

Sammenholdt med depot-charged busser er de umiddelbare fordele ved opportunity-charged busser øget rækkevidde samt mindre batterikapacitet (dvs. lavere vægt). Det antages endvidere, at batterierne i opportunity-charged busser har længere levetid end i depot-charged busser. Producenterne lover således, at batteriskift ikke er nødvendige i bussens levetid, hvilket dog endnu ikke er eftervist i større skala. Udover høje anskaffelsespriser er ulemperne, at linjeføringer og endestationer fastlåses i en forholdsvis lang periode. Det gør løbende tilpasning af busdriften vanskelig.

Nedenfor er i Tabel 16 vist en opgørelse over vigtige karakteristika for en opportunity-charged bus:

Tabel 16 Karakteristika for en eldrevet, opportunity-charged bus

Opportunity-charging	Uddybning	Anslået pris
Bus, anslået pris	12 m bus med samme standard som en typisk dieselbus Den tidligere omtalte udredning fra VTT og TØI har anslået prisen for en bus til 360.000 € + 1.200 € pr. kWh i bussens batteripakke	4,19 mio. NOK
Opladning	På ruten, dvs. undervejs i driften	
Batterikapacitet i bussen	80 kWh	
Fast-charge ladestation	Kapacitet på 300 kW. Der bør være 2 fast-charge pr. linje samt en på garagen Den omtalte udredning fra VTT og TØI anslår prisen til 300.000 €	2,75 mio. NOK pr. ladestation
Fuldopladning: Fast-charge	15-20 minutter	
Specifikt energiforbrug, VTT simulering	1,3 kWh/km som et gennemsnit Den omtalte udredning fra VTT og TØI viste et spænd fra 0,86-1,59 kWh/km for forskellige linjer, med typisk stoppestedsmønstre, 0-90 passagerer, snekæder, kulde mv.	
Forventet rækkevidde som et gennemsnit i al slags vejr	Beregningsmæssigt ca. 46 km. Beregningsmæssigt er rækkevidden ca. 60 km. i gennemsnit. Der er kalkuleret med en restkapacitet på 25 % af hensyn til opretholdelse af driften under varierende forhold. 25% af batterikapaciteten svarer til 20 kWh, der ikke planlægges udnyttet.	

Spørgsmålet er, hvorvidt det nuværende kørselsmønster i Nordhordland eller Askøy egner sig opportunity-charged busser.

Eksempel på vognløb

Det tidligere eksempel på et vognløb er vist igen i Tabel 17. Heraf fremgår, at vognløbet omfatter kørsel fra garagen til opstartssted kl. 04.42. Derefter køres frem til kl. 16.08, hvor bussen returnerer på garagen. Den samlede tilbagelagte strækning er 297 km. Undervejs i vognløbet er bussen hjemme på garagen to gange; første gang i 8 minutter fra kl. 08.11-08.19 og anden gang i 57 minutter fra kl. 10.58-11.55.

Hvis vi hér antager, at der opstilles ladestanderer ved Knarvik Skysstasjon og på Bergen Busstasjon, kan bussen blive opladet, når den holder dér. Tilsvarende vil den kunne blive opladet ved garagen, når den kommer forbi i løbet af vognløbet.

Selv med disse tre opladningsmuligheder, vil der samlet set ikke kunne sikres den nødvendige kapacitet til at udføre hele vognløbet. Allerede efter Rosslund nærmer vi os minimumskapaciteten, og efter Knarvik Skysstasjon første gang løbet batterierne tør for strøm. Vognløbet er derfor ikke umiddelbart egnet til en opportunity-charged bus.

Tabel 17 Eksempel på et eksisterende vognløb og batteriernes beregningsmæssige restkapacitet SOC (State Of Charge) undervejs. Det er forudsat, at der foruden en ladestander ved garasje Knarvik opstilles ladestander ved Knarvik Skysstasjon og på Bergen Busstasjon (markeret med grønt), som lader bussen op i det omfang, opholdstiden tillader det. Med rødt er markeret, hvor SOC er for lav og hvor der vil mangle batterikapacitet

Tur	Fra	Starttid	Sluttid	Til	Strækning Km	SOC
1	Garasje Knarvik	04:42	05:07	Rosslund	12,9	79%
2	Rosslund	05:07	05:35	Flatøy	16,6	52%
3	Flatøy	05:35	05:57	Rosslund	16,2	26%
4	Rosslund	06:05	06:40	Knarvik skysstasjon	20,2	5%
5	Knarvik skysstasjon	06:45	07:35	Bergen busstasjon	27,6	-27%
6	Bergen busstasjon A	07:40	08:11	Garasje Knarvik	17,8	-43%
7	Garasje Knarvik	08:19	08:26	Alver	3,8	-50%
8	Alver	08:26	09:35	Bergen busstasjon	33,7	-104%
9	Bergen busstasjon C	10:00	10:48	Knarvik skysstasjon	30,1	-141%
10	Knarvik skysstasjon	10:53	10:58	Garasje Knarvik	0,6	99%
11	Garasje Knarvik	11:55	12:00	Knarvik skysstasjon	0,6	98%
12	Knarvik skysstasjon	12:00	12:50	Bergen busstasjon	28,9	63%
13	Bergen busstasjon C	13:00	13:43	Knarvik skysstasjon	28,9	29%
14	Knarvik skysstasjon	14:00	15:09	Skjelanger	30,0	-20%
15	Skjelanger kai	15:20	16:03	Flatøy	26,8	-63%
16	Flatøy	16:03	16:08	Garasje Knarvik	1,7	-66%
	SUM		11:26		296,5	

Egnede vognløb til opportunity-charged busser

Med basis i de eksisterende vognløb, vil i alt 8 vognløb kunne gennemføres med opportunity-charged busser i Nordhordland og 9 vognløb på Askøy, se Tabel 18.

Det svarer til henholdsvis ca. 10% og ca. 15% af alle unikke vognløb i dag.

Tabel 18 Vognløb, hvor driften kan utføres med eldrevne opportunity-charged busser (dagens produktion og vognløb). Øverst vognløb i Nordhordland. Nederst vognløb på Askøy. Batteriernes beregningsmessige, minste restkapasitet er angivet yderst til høyre SOC (State Of Charge)

Garage	Vognløb	Linje	Ladelokaliteter	Mindste SOC
Knarvik	4012	301/320	Knarvik skystasjon, Knarvik Garasje, Bergen busstasjon	36%
Knarvik	4020	320	Knarvik skystasjon, Knarvik Garasje, Bergen busstasjon	40%
Knarvik	4037	341/346	Ådland snuplass, Knarvik Garasje	29%
Knarvik	4052	310/313/344	Seim Skule	33%
Ostereidet	4207	320/350/351/362	Garasje Ostereidet, Garasje Knarvik, Ostereidet senter	27%
Ostereidet	4211	351/380	Garasje Ostereidet, Ostereidet senter	30%
Knarvik	4226	353	Parkering HOPE	40%
Manger	4302	324	Manger senter	62%

Garage	Vognløb	Linje	Ladelokaliteter	Mindste SOC
Haugland	004	482/483	Øvre Florvåg, Kleppstø Terminal, Garasje Haugland	35%
Straume	011	403/442	Brattholmen Kai, Garasje Straume	29%
Haugland	038	480/481/485/495	Bergen busstasjon, Ravnanger Terminal, Garasje Haugland	29%
Haugland	039	480/481/493/495	Bergen busstasjon, Garasje Haugland	30%
Haugland	041	490/491	Hetlevik, Marikoven, Garasje Haugland	29%
Haugland	059	481/485/491/495/497	Bergen busstasjon, Ravnanger ungdomsskule, Garasje Haugland	25%
Haugland	061	481/485/490/491/493/495	Bergen busstasjon, Kleppstø Terminal, Garasje Haugland	26%
Haugland	091	481/483/493/495	Øen, Bergen busstasjon, Garasje Haugland	29%
Haugland	099	445/481/484	Anglevik, Kleppstø Terminal, Garasje Haugland	29%

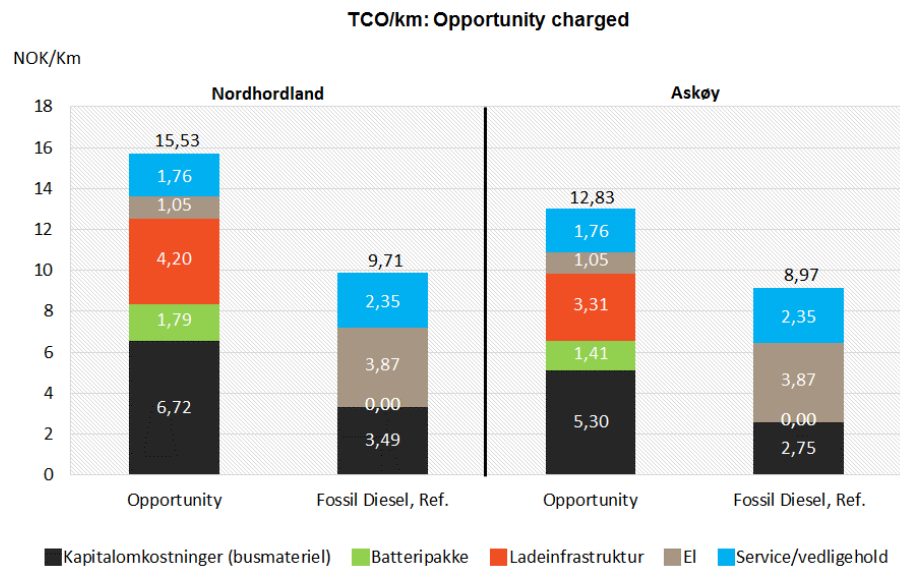
Opportunity-charged busser vil være mest velegnede til linjer med forholdsvis korte ruteforløb, og hvor behovet for oppladning underveis på ruten kan begrenses. Det betyr nemlig lavere investeringer i løsninger til oppladning. På helt korte linjer vil oppladningen kunne ske alene ved endestasjonene, og det vil alt annet like være en fordel for passagererne, der på den måte helt undgår risiko for at skulle vente unødigt under oppladningen ved stoppesteder på ruten.

TCO/km

De totale driftsomkostninger (TCO/km) til en eldrevet opportunity-charged bus er vist i Figur 7. Det er beregningsmessigt forudsatt, at der for hver linje oppstilles 3 ladestasjoner – to ved endestasjoner på ruten og en ved garagen. Kombineret med at mange linjer i dag kjøres med 1-5 busser er forudsatt, at investerin-

ger i ladeanlæg som et gennemsnit kan fordeles på 4 busser. Til sammenligning er vist de tilsvarende driftsomkostninger for en bus, der anvender fossil diesel (reference).

Prisforskellen mellem at anvende opportunity-charged busser frem for almindelige dieselbusser udgør ca. 5,8 NOK/km i Nordhordland og ca. 3,9 NOK/km på Askøy. Det svarer til ca. 60% henholdsvis ca. 43% af de samlede køretøjsudgifter for en dieselløsning. De samlede, øgede udgifter skyldes igen meget høj afskrivning på øgede investeringer i materiel og især infrastruktur, mens de løbende udgifter til el og service/vedligehold er lavere i sammenligning.



Figur 7 Gennemsnitlige km-priser for en 12 m eldrevet opportunity-charged bus, og til sammenligning fossil diesel. Gennemsnitlige km-priser for en 12 m bus beregnet for en kontraktlængde på 9 år

TCO

De totale driftsomkostninger (TCO) er vist i Tabel 19. For Nordhordland er forudsat, at ca. 10 % af busserne er eldrevne, svarende til den andel af vognløbene, der er fundet egnet til at kunne udføres med depot-charged busser. Tilsvarende er i beregningerne for Askøy forudsat, at ca. 15 % af busserne er eldrevne. De resterende er dieselbusser.

Beregningsmæssigt vil en erstatning af 10% af busserne i Nordhordland med eldrevne, opportunity-charged busser som skitseret oven for medføre, at de totale omkostninger for Skyss til operatører for kørslen vil øges med ca. 2,5 mio. NOK årligt. Det svarer til en stigning på ca. 2,1%.

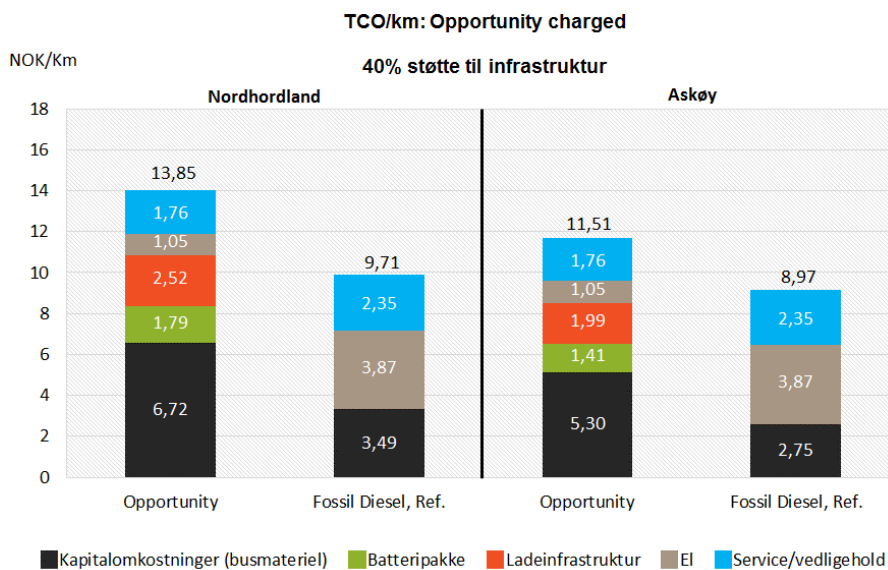
Tilsvarende vil udgifterne øges med ca. 1,8 mio. NOK årligt, hvis 15% af busserne på Askøy erstattes af eldrevne, opportunity-charged busser. Det svarer til en stigning på ca. 2,4%.

Tabel 19 TCO, beregnet på baggrund af 9 års kørsel i kontrakt i Nordhordland og på Askøy. Sammenholdt med de tilsvarende udgifter for almindelig diesel. For Nordhordland er forudsat, at ca. 10% af busserne er eldrevne, på Askøy ca. 15%. De resterende er dieselbusser

Eldrevne busser, Opportunity-charged	Nordhordland		Askøy	
	Opportunity-charged	Diesel	Opportunity-charged	Diesel
Årlige driftsudgifter (TCO) <u>1 bus</u>	0,85 mio. NOK	0,53 mio. NOK	0,89 mio. NOK	0,62 mio. NOK
Årlige driftsudgifter (TCO) <u>Alle busser</u>	42,8 mio. NOK	40,4 mio. NOK	28,6 mio. NOK	26,8 mio. NOK
Samlede driftsudgifter (TCO) for 9 år <u>Alle busser</u>	385,4 mio. NOK	363,4 mio. NOK	257,1 mio. NOK	241,0 mio. NOK
Skyss' totale, årlige operatørbetaling inkl. hans omkostninger til administration, lønninger mv.	116,5 mio. NOK	114,1 mio. NOK	77,4 mio. NOK	75,6 mio. NOK

Støtte

Med indregnet Enova-støtte på 40% af de samlede investeringsomkostninger i ladeinfrastruktur er TCO vist i Figur 8.



Figur 8 Gennemsnitlige km-priser for en 12 m eldrevet opportunity-charged bus, og til sammenligning fossil diesel. Gennemsnitlige km-priser for en 12 m bus beregnet for en kontraktlængde på 9 år. Indregnet støtte fra Enova på 40% af investeringsudgifterne til ladeinfrastruktur

Støtten reducerer omkostningerne til ladeinfrastruktur fra 4,20 NOK/km til 2,52 NOK/km for busserne i Nordhordland og tilsvarende fra 3,31 NOK/km til 1,99 NOK/km på Askøy.

Samlet set medfører det en reduksjon i de årlige, totale meromkostninger for Skyss til operatører for kørslen i Nordhordland med 0,8 mio. NOK fra ca. 2,5 mio. NOK til ca. 1,7 mio. NOK. På Askøy reduseres de tilsvarende meromkostninger fra ca. 1,8 mio. NOK til ca. 1,2 mio. NOK.

De miljømæssige effekter er vist i Tabel 20. Tallene er beregnet på baggrund af, at 10% af busserne i Nordhordland og 15% af busserne på Askøy er opportunity-charged busser, mens de resterende er diesibusser (EURO VI).

Tabel 20 Reduksjon i CO₂, NO_x og partikler (PM) for den kollektive bustrafik i Nordhordland og Askøy ved bruk af eldrevne depot-charged busser, sammenholdt med almindelig diesel og EURO VI. Tallene er beregnet på baggrund af, at 10% af busserne i Nordhordland og 15% af busserne på Askøy er opportunity-charged busser. De resterende er diesibusser

Årlig udledning Diesel EURO VI → delvist eldrevne opportunity-charged busser	CO ₂ Ton	NO _x Kg	Partikler (PM) Kg
Nordhordland	3.921 → 3.529 (÷ 10%)	1.630 → 1.466 (÷ 10%)	17 → 16 (÷ 10%)
Askøy	2.815 → 2.392 (÷ 15%)	1.169 → 994 (÷ 15%)	13 → 11 (÷ 15%)
I alt	6.736 → 5.921 (÷ 13%)	2.798 → 2.460 (÷ 13%)	30 → 26 (÷ 13%)

5 anbefaling

Formålet med projektet har været at belyse alternative teknologier og brændstofmuligheder forud for de to kommende udbud af rutekørsel i Nordhordland og på Askøy i 2018 og 2019. Præmissen er et ønske om at gøre den kollektive trafik mere miljø- og klimavenlig end i dag, gerne ved brug af biobaserede brændstoffer, ultimativt ved at erstatte de nuværende dieselbusser med eldrevne. Konkret har spørgsmålet også været, om der er teknologier, som er mere velegnede til nogle af linjerne og mindre egnede til andre.

Projektet viser, at flere teknologier og brændstoffer kan være attraktive og fordelagtige at bringe i spil.

Syntetisk diesel

Syntetisk diesel, HVO, virker umiddelbart som det mest oplagte valg, primært af fire overordnede grunde:

- > Flexibiliteten – det er helt ukompliceret at tage i brug
- > Miljøgevinsterne er meget markante, ikke mindst i forhold til udledning af klimagasser (CO₂-reduktion på ca. 90 %)
- > Omkostningerne, der stort set er identiske med de nuværende omkostninger, samt
- > Adgangen til tilstrækkelige eller i hvert fald visse mængder i en kommende udbudsperiode.

Biodiesel B100

Biodiesel er et andet fornuftigt alternativ, som også indebærer væsentlige fordele i forhold til almindelig diesel. Det omhandler især:

- > Anvendelighed – det er praktisk anvendeligt med kun meget få modifikationer af motorer
- > Miljøgevinsterne er væsentlige, særligt i forhold til udledning af klimagasser (CO₂-reduktion på ca. 60 %)
- > Omkostningerne er også her stort set identiske med de nuværende omkostninger
- > Adgangen til tilstrækkelige mængder i en kommende udbudsperiode.

Anbefaling

Grundet aktuell usikkerhed om adgang til tilstrækkelige leverancer af HVO gennem en hel kontraktperiode på 9 år fra 2018 eller 2019, anbefales en kom-

bineret løsning, hvor HVO er det foretrukne drivmiddel, men hvor biodiesel B100 kan anvendes som alternativ, i det omfang HVO ikke er tilgængelig.

På den måde kan sikres en høj miljøgevinst, også i perioder, hvor HVO måtte være særligt dyr eller vanskelig at få adgang til. Udbudsteknisk vil det kunne løses ved at stille emissionskrav, eksempelvis formuleret som gennemsnit over kontraktperioden, der sikrer den ønskede miljøeffekt gennem en høj andel af HVO.

Køretøjsteknisk vil det kunne løses ved at operatørerne anvender dieselbusser, der er egnede til B100, og som derfor også automatisk vil være egnede til HVO.

Eldrevne busser

Projektet viser også, at depot-charged busser kan være relevante for en stor andel af den samlede kørsel, særligt for ruterne på Askøy, og også på delstrækningen mellem Knarvik og Bergen.

Opportunity-charged busser er langt mindre relevante i forhold til den udbudte kørsel. Skal de gøres mere relevante, skal hele paradigmet omkring tilrettelæggelse af vognløb, ændres. Det vil formentlig give negative konsekvenser for de rejsende i form af flere skift. Opportunity-charged busser skal herudover helst køre mange km dagligt for at udnytte ladeinfrastrukturen optimalt. Det vil ikke umiddelbart være muligt med det nuværende driftsomfang i Nordhordland og på Askøy.

Det bemærkes, at både depot- og opportunity-charging teknologierne fortsat er uprøvede i stor skala over en flerårig periode i Norge.

Kontraktlængde

Generelt vil de eldrevne busser være mere konkurrencedygtige i forhold til alternativerne, hvis afskrivningsperioden er lang. Det vil gøre de høje investeringer i materiel og ladeinfrastruktur mindre kritiske i sammenligningen med andre alternativer, samtidig med, at de lavere driftsomkostninger for elbusserne vil slå igennem. En kontraktlængde på ni år som i dag betyder, at de eldrevne busser bliver en dyrere løsning sammenholdt med almindelige dieselbusser eller med en af de øvrige to alternativer. På Askøy vil en kontraktlængde på 14 år for depot-charged busser beregningsmæssigt resultere i et 'break-even' i forhold til dieselbussen.

Støtte

Den aktuelle støtteordning fra Enova kan i mindre omfang bidrage til at gøre de eldrevne busser mere attraktive. I forhold til busser, der oplades på depot (primært om natten) er gevinsten ikke markant, opgjort pr. kørt km, men det bidrager trods alt til at en samlet løsning, hvor 50% af busserne i Nordhordland og 85% af busserne på Askøy er eldrevne, reelt kun vil være ca. 6 % dyrere end et alternativ udelukkende med traditionelle EURO VI dieselbusser (opgjort i forhold til de årlige, totale omkostninger for Skyss til operatører for kørslen).

For opportunity-charged busser er støtten mere markant i det forudsatte setup. Her vil støtten kunne reducere omkostningerne pr. km med 1,3-1,7 NOK i gennemsnit, men kun meget få vognløb egner sig til den type busser.

Den nuværende drift i Nordhordland og på Askøy taget i betragtning, virker det derfor langt mere oplagt at overveje indsættelse af depot-charged busser.

El plus HVO

Baseret på resultaterne af rapporten, kan det synes interessant at overveje perspektiverne ved at kombinere eldrevne busser med busser, der kører på HVO, frem for busser, der kører på almindelig diesel. En sådan løsning vil sikre større miljømæssige gevinster for en meget begrænset merudgift.

I Tabel 21 og Tabel 22 er vist en samlet oversigt over de forskellige alternative muligheder, herunder løsningen med eldrevne busser kombineret med busser på syntetisk diesel, HVO, frem for almindelig diesel.

Udbud

Introduktion af biodiesel, syntetisk diesel eller for den sags skyld depot-charged busser vil harmonere fint med Skyss' ambitioner om fortsat at lade operatørerne afgøre valget af teknologi og brændstoffer, frem for at skulle diktere en bestemt vej at gå. Valget kan styres indirekte vha. krav til maksimale udledninger.

Tabel 21 Nordhordland: Samlet oversigt over væsentlige forhold for de undersøgte alternativer med EURO VI dieselbus som reference

Nordhordland	TCO, pr. km	TCO årligt pr. bus	Totale omkostninger for Skyss pr. år*	Totale omkostninger %-vis ændring	Emissioner			Bemærkninger	
					CO ₂ , ton	NO _x , kg	PM, kg		
0. Diesel, EURO VI	9,71 NOK	0,53 mio. NOK	114,1 mio. NOK	-	3.921	1.630	17	Referencebusser	
1. Biodiesel B100	10,08 NOK	0,55 mio. NOK	+ 1,6 mio. NOK	+ 1,4%	2.103 (÷ 46%)	1.775 (+ 9%)	10 (÷ 40%)	Kontaminering om vinteren	
2. Syntetisk diesel HVO	9,89 NOK	0,54 mio. NOK	+ 0,8 mio. NOK	+ 0,7%	499 (÷ 87%)	1.482 (÷ 9%)	12 (÷ 33%)	Tilgang/pris er usikker	
3. Depot-charging ¹ (El + diesel)	Uden støtte	13,15 NOK	0,72 mio. NOK	+ 7,2 mio. NOK	+ 6,3%	1.961 (÷ 50%)	814 (÷ 50%)	9 (÷ 50%)	<ul style="list-style-type: none"> › Eget til en stor andel af kørslen › Uprøvet teknologi i stor skala › Mere konkurrencedygtig, hvis der opnås støtte
	Med støtte	12,96 NOK	0,71 mio. NOK	+ 6,8 mio. NOK	+ 5,9%				
4. Opportunity-charging ¹ (El + diesel)	Uden støtte	15,53 NOK	0,85 mio. NOK	+ 2,5 mio. NOK	+ 2,1%	2.529 (÷ 10%)	1.466 (÷ 10%)	16 (÷ 10%)	<ul style="list-style-type: none"> › Uegnet til store dele af kørslen › Uprøvet teknologi i stor skala › Markant lavere udgifter til infrastruktur, hvis der opnås støtte
	Med støtte	13,85 NOK	0,76 mio. NOK	+ 1,7 mio. NOK	+ 1,5%				
5. Depot-charging ² (El + HVO)	Uden støtte	13,15 NOK	0,72 mio. NOK	+ 7,5 mio. NOK	+ 6,6%	250 (÷ 94%)	741 (÷ 55%)	6 (÷ 67%)	<ul style="list-style-type: none"> › Eget til en stor andel af kørslen › Uprøvet teknologi i stor skala › Mere konkurrencedygtig, hvis der opnås støtte
	Med støtte	12,96 NOK	0,71 mio. NOK	+ 7,2 mio. NOK	+ 6,3%				

* De totale omkostninger for Skyss pr. år er opgjort for en dieselløsning som reference. For de øvrige alternativer er alene angivet den prismæssige ændring i forhold til hertil

¹ For løsningen med depot-charged busser er forudsat, at 50% af de 76 busser er dieselbusser. For løsningen med opportunity-charged busser er forudsat, at 90% af de 76 busser er dieselbusser. Der er i beregningerne forudsat et bestemt setup i forhold til antal ladestandere og ladekapacitet mv., se afsnit 4. TCO, pr. km er opgjort for de eldrevne busser

² For løsningen under punkt 5 er forudsat, at 50% af de 76 busser kører på syntetisk diesel, HVO. For løsningen med opportunity-charged busser er forudsat, at 90% af de 76 busser kører på HVO. Der er i beregningerne forudsat et bestemt setup i forhold til antal ladestandere og ladekapacitet mv., se afsnit 4. TCO, pr. km er opgjort for de eldrevne busser

Tabel 22 Askøy: Samlet oversikt over væsentlige forhold for de undersøgte alternativer med EURO VI dieselbus som referanse

Askøy	TCO, pr. km	TCO årligt pr. bus	Totale omkostninger for Skyss pr. år*	Totale omkostninger %-vis ændring	Emissioner			Bemærkninger	
					CO ₂ , ton	NO _x , kg	PM, kg		
0. Diesel, EURO VI	8,97 NOK	0,62 mio. NOK	75,6 mio. NOK	-	2.815	1.169	13	Referencebusser	
1. Biodiesel B100	9,34 NOK	0,65 mio. NOK	+ 1,1 mio. NOK	+ 1,5%	1.510 (÷ 46%)	1.274 (+ 9%)	8 (÷ 40%)	Kontaminering om vinteren	
2. Syntetisk diesel HVO	9,15 NOK	0,64 mio. NOK	+ 0,6 mio. NOK	+ 0,7%	358 (÷ 87%)	1.064 (÷ 9%)	8 (÷ 33%)	Tilgang/pris er usikker	
3. Depot-charging ¹ (El + diesel)	Uden støtte	10,99 NOK	0,74 mio. NOK	+ 5,1 mio. NOK	+ 6,8%	422 (÷ 85%)	175 (÷ 85%)	2 (÷ 85%)	<ul style="list-style-type: none"> › Eget til en stor andel af kørslen › Uprøvet teknologi i stor skala › Mere konkurrencedygtig, hvis der opnås støtte
	Med støtte	10,85 NOK	0,73 mio. NOK	+ 4,8 mio. NOK	+ 6,3%				
4. Opportunity-charging ¹ (El + diesel)	Uden støtte	12,83 NOK	0,89 mio. NOK	+ 1,8 mio. NOK	+ 2,4%	2.392 (÷ 15%)	994 (÷ 15%)	11 (÷ 15%)	<ul style="list-style-type: none"> › Uegnet til store dele af kørslen › Uprøvet teknologi i stor skala › Markant lavere udgifter til infrastruktur, hvis der opnås støtte
	Med støtte	11,51 NOK	0,80 mio. NOK	+ 1,2 mio. NOK	+ 1,6%				
5. Depot-charging ² (El + HVO)	Uden støtte	10,99 NOK	0,76 mio. NOK	+ 5,2 mio. NOK	+ 6,9%	54 (÷ 98%)	160 (÷ 86%)	1 (÷ 90%)	<ul style="list-style-type: none"> › Eget til en stor andel af kørslen › Uprøvet teknologi i stor skala › Mere konkurrencedygtig, hvis der opnås støtte
	Med støtte	10,85 NOK	0,75 mio. NOK	+ 4,9 mio. NOK	+ 6,4%				

* De totale omkostninger for Skyss pr. år er opgjort for en dieselløsning som referanse. For de øvrige alternativer er alene angivet den prismæssige ændring i forhold til hertil

¹ For løsningen med depot-charged busser er forudsat, at 15% af de 43 busser er dieselbusser. For løsningen med opportunity-charged busser er forudsat, at 84% af de 43 busser er dieselbusser. Der er i beregningerne forudsat et bestemt setup i forhold til antal ladestandere og ladekapacitet mv., se afsnit 4. TCO, pr. km er opgjort for de eldrevne busser

² For løsningen under punkt 5 er forudsat, at 15% af de 43 busser kører på syntetisk diesel, HVO. For løsningen med opportunity-charged busser er forudsat, at 84% af de 43 busser kører på HVO. Der er i beregningerne forudsat et bestemt setup i forhold til antal ladestandere og ladekapacitet mv., se afsnit 4. TCO, pr. km er opgjort for de eldrevne busser

HORDALAND FYLKESKOMMUNE V/ SKYSS

Besøksadresse Lars Hillesgt. 20B 9, 5008 Bergen **Postadresse** Postboks 7900, 5020 Bergen

T +47 55 23 95 50 **F** +47 55 23 95 20 **E** skyss@skyss.no

skyss.no