

2017:00605 - Åpen

Rapport

Elektrifisering av korte, tunge transporter

Med casestudier fra Trondheim og Oslo

Forfattere

Odd André Hjelkrem

Terje Kristensen



Foto: Scania

Foto: Think Stock

Rapport

Elektrifisering av korte, tunge transporter

Med casestudier fra Trondheim og Oslo

EMNEORD:
Elektrifisering
Energi
Teknologi

VERSJON

1.0

DATO

08.11.2017

FORFATTEREOdd Andre Hjelkrem
Terje Kristensen**OPPDRAGSGIVER(E)**

Statens vegvesen og Sør-Trøndelag fylkeskommune

OPPDRAGSGIVERS REF.

Tom Nørbech og Bjørn-Arve Raanes

PROSJEKTNR

102016119

ANTALL SIDER OG VEDLEGG:

54 med vedlegg

SAMMENDRAG

Rapporten beskriver en kostnadsanalyse av ulike løsninger for å elektrifisere tunge transporter som foregår på relativt korte strekninger (<15km). Det er vurdert løsninger for både statisk og dynamisk lading, og innhentet kostnader forbundet med teknologien generelt, og for to democase i Trondheim og Oslo. De ble valgt ut på grunn av en antatt høy grad av egnethet, gitt det store volumet som kan potensielt bli transportert, lengde på strekning, og områdets egenskaper ellers.

For democaset i Trondheim er det vurdert både statisk og dynamisk lading. Gitt den antatte mengden som transporteres vil det kreve store investeringskostnader å få tilrettelagt for dynamisk lading i form av kjøreledning eller strømskinne. For statisk lading er det ikke så store investeringskostnader som kreves, og sparte driftskostnader klarer nesten å forsvare investeringen over en 5-års periode.

For Oslo-caset er det kun vurdert statisk lading, og plug-in ladere går nesten i null over en 5-års periode.

UTARBEIDET AV

Odd Andre Hjelkrem

SIGNATUR**KONTROLLERT AV**

Jon Are Suul

SIGNATUR**GODKJENT AV**

Terje Reitaas

SIGNATUR**RAPPORTNR**

2017:00605

ISBN

978-82-14-06731-6

GRADERING

Åpen

GRADERING DENNE SIDE

Åpen

Innholdsfortegnelse

1	Innledning	4
2	Beskrivelse av teknologi for lading av elektriske kjøretøy	5
2.1	Statisk konduktiv ladning	6
2.2	Dynamisk konduktiv lading: Kontaktledning (pantograf) og kontaktskinne	7
2.3	Statisk og dynamisk induktiv lading	8
3	Kostnadstall for teknologiske løsninger	9
3.1	Kostnader for kjøretøy og ekstrautstyr	10
3.2	Kostnader for infrastruktur	11
3.2.1	Endepunktslading	11
3.2.2	Dynamisk lading	11
4	Energiforbruk	14
4.1	Forutsetninger for beregningene	14
4.2	Kjøretøyspesifikasjoner	14
5	Democase i Trondheim	15
5.1	Innledning	15
5.2	Aktører i området	16
5.3	Godsmengder	16
5.4	Workshop	17
5.5	Befaring	17
5.6	Energibehov	19
5.6.1	Heggstadmoen terminal – Isdamveien, kjøretøy A	20
5.6.2	Heggstadmoen terminal – Isdamveien, kjøretøy B	21
5.6.3	Isdamveien - Heggstadmoen terminal, kjøretøy A	22
5.6.4	Isdamveien - Heggstadmoen terminal, kjøretøy B	23
5.7	Praktiske vurderinger av teknologi for democase	24
5.7.1	Konduktiv endepunktslading	24
5.7.2	Induktiv endepunktslading	25
5.7.3	Kjøreledning og strømskinne	26
5.8	Kostnadsanalyse for democase	28
5.9	Konklusjon for democase i Trondheim	32
6	Democase Oslo	33
6.1	Energibehov	33
6.1.1	Oslo Havn – Alnabru, kjøretøy A	34
6.1.2	Alnabru – Oslo Havn, kjøretøy A	35
6.1.3	Oslo Havn - Klemetsrud, kjøretøy A	36
6.1.4	Klemetsrud – Oslo Havn, kjøretøy A	37
6.2	Praktiske vurderinger av teknologi for democase	38

6.2.1	Konduktiv endepunktslading	38
6.2.2	Induktiv endepunktslading	39
6.3	Kostnadsanalyse for democase	40
6.4	Konklusjon for democase i Oslo.....	44
7	Oppsummering og anbefalinger for gjennomføring av tilsvarende vurderinger	45
8	Fremtidig forskningsbehov.....	46
A	Vedlegg: Referat fra workshop.....	48

1 Innledning

Transportsektoren står for omtrent 25 % av CO₂-utslippene i Europa (Hill m.fl., 2011). I og rundt byområder er forurensing fra transport en av de mest betydelige årsakene. Som et resultat av Parisavtalen er det et sterkt politisk driv for å redusere utslipp av CO₂, NO_x og partikler for å nå målet om nullutslippstransport. På tross av forbedringer i motorteknologi for tyngre kjøretøy, er dette den eneste sektoren som fortsatt øker utslippsmengden. Derfor er det viktig å øke fokuset på mulige teknologier, tiltak og virkemidler for å snu denne trenden. Det er et stort behov for prosjekter som demonstrerer og vurderer potensielle nullutslippsløsninger for næringstransport.

Dette prosjektet har vurdert ulike aspekter ved å bygge elektrisk infrastruktur for deler av tungtransporten. Mer spesifikt har det blitt studert hvilke energimengder som må tilføres et tungt kjøretøy, hvordan denne energimengden kan tilføres ved hjelp av elektrisk infrastruktur, og hva dette vil koste. Dette er blitt gjort for to aktuelle democaser, et i Trondheim og et i Oslo.

I Trondheim er det fokusert på deler av næringstransporten som foregår i området rundt Torgård i Trondheim. Innenfor dette relativt lille området befinner det seg et stort antall transportfirma, både innenfor samlasting, engros, distribusjon, produksjon og offentlige tjenester. Et annet viktig moment er at på lengre sikt vil det bli bygd en ny jernbaneterminal på Torgård, mens på kort sikt vil det bli etablert en midlertidig jernbaneterminal på Heimdal. Dette gjør at området blir sett på som en velegnet democase for korte tunge transporter.

I Oslo er det sett på transporter mellom Oslo Havn og Alnabru, og Oslo Havn og Klemetsrud som democase. Dette er valgt ut som aktuelle strekninger på grunn av den store graden av skytteltrafikk på strekningen, i hovedsak containertransport mellom Oslo Havn og jernbaneterminalen på Alnabru, og frakt av flytende karbon mellom Klemetsrud og havna.

Del 1 av rapporten gir først en kort oversikt over mulige teknologier for lading av elektriske kjøretøy, som er dynamisk lading med strømskinne eller kjøreledning, og konduktiv (plugin og invertert pantograf) eller induktiv statisk lading. Deretter er det vist en oversikt over kostnad for hver teknologi, før det er presentert metode for beregning av energiforbruk for tunge kjøretøy.

I del 2 av rapporten er det gjort beregninger for energiforbruk og kostnadsoverslag for elektrifisering i de to democasene, i tillegg til en lønnsomhetsvurdering av elektrifisering fra en bedriftsøkonomisk innfallsvinkel.

Avslutningsvis er det vurdert hvordan tilsvarende vurderinger bør gjennomføres for andre case, og hvilke forskningsutfordringer som bør prioriteres innenfor dette området.

Del 1: Generell beskrivelse av teknologi, kostnadstall for teknologi og metodikk for energiberegninger.

2 Beskrivelse av teknologi for lading av elektriske kjøretøy

I dette kapitlet gis det en kort beskrivelse av helelektriske løsninger for tungtransport, som skal kunne gi nullutslipp under drift. Informasjonen er hentet fra teknologileverandørene, med mindre andre kilder er oppgitt. Løsningene kan deles inn i to kategorier:

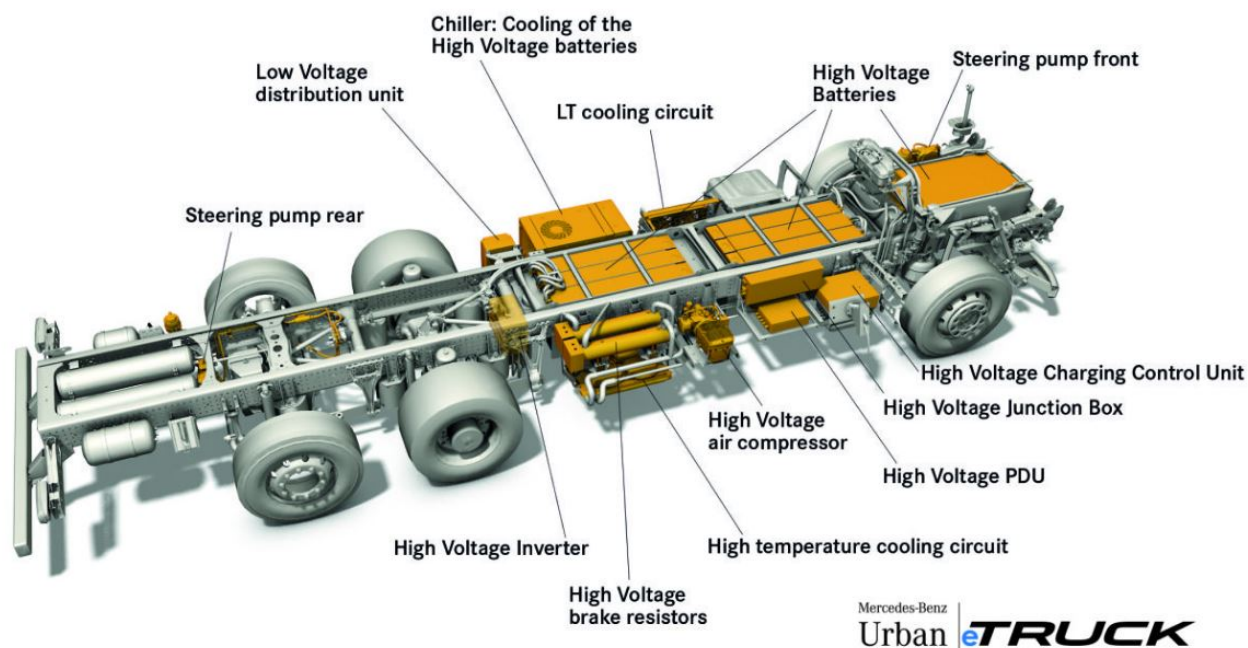
Lading kun når kjøretøyet står i ro (statisk). Dette innebærer at ladningen må tilføre batteriet nok energi for den planlagte ruten. Statisk lading kan være både konduktiv via ledning eller invers pantograf, og induktiv.

Lading mens kjøretøyet er i bevegelse (dynamisk). Dette forutsetter en elektrisk infrastruktur langs ruta som kjøretøyet kan koble seg opp mot. Dynamisk lading kan være både konduktiv via kontaktledning eller strømskinne, og induktiv.

Samlet sett finnes det 2500 registrerte el-varebiler og noen få tyngre el-kjøretøy i Norge. Flere produsenter har lansert elektriske alternativer for kjøretøy med en totalvekt opp mot 22 – 26 tonn, men det finnes foreløpig få kommersialiserte tungbiler for totalvekt opp mot 50 tonn. Kjøretøy med totalvekt på 50 tonn tilbys pr i dag kun av selskaper som bygger om fra andre merker. Nederlandske EMOSS tilbyr ombygging av biler, hvor bilene leveres med et batteri på 240 kWt. Det er imidlertid stor usikkerhet rundt driftssikkerheten til slike kjøretøy¹.

Det ventes at flere av de store bilprodusentene vil komme på markedet med elektriske tungbiler i løpet av de neste årene. Volvo, BMW, MAN (Volkswagen), Mercedes-Benz og Toyota har alle presentert prototyper som ventes på markedet i 2019 – 2021. Tesla er ventet å presentere sitt konsept Tesla-semi i løpet av 2017. Full produksjon for Tesla Semi skal være i løpet av 2019 – 2020. Kjøretøyene vil sannsynligvis ha noe tyngre egenvekt enn dagens tungbiler, noe som kan gi redusert lastekapasitet.

¹ E-Force, Framo og GINAF tilbyr lignende konsepter.



Figur 1: Konseptskisse av batteridreven tungbil (Illustrasjon: Mercedes-Benz)

2.1 Statisk konduktiv ladning

Felles for de fleste elektriske kjøretøy er at de er avhengig av en stillestående lading, hvor batteriet lades med kabel koblet til strømmettet. Ladestasjoner for hurtiglading av personbiler har i dag en effekt på 50 – 100 kW, men det er forventet at dette vil øke raskt i løpet av de neste årene. Volkswagen, BMW, Ford og Daimler har alle planer om å lansere ladestasjoner med effekter opp mot 350 kW i løpet av 2018/2019. AtB har signalisert et ønske om effekt på 450 kW for lading av sine elbusser. For å raskt (15 – 30 min) kunne lade tomme batterier med kapasitet på 200 – 500 kWt, vil man måtte ha ladere med en effekt på 300 – 1000 kW. For å kunne yte en slik effekt må ladestasjonen vanligvis ha egen forsyning fra høyspent distribusjonsnett (11 eller 22 kV).

OppCharge er en standardisert lademåte via invertert pantograf, basert på DC connection standard IEC 61851-23. Det er utviklet og eid av Volvo. Systemet består av en ladeenhet som står i vegkant, som kjøretøyet må posisjonere seg under. Kjøretøyet er utstyrt med skinner på taket, som pantografen senker seg ned på. Deretter vil kjøretøyet bli ladet med en effekt på mellom 150 og 600 kW. Utstyret brukes, eller er planlagt å brukes, på busser i flere europeiske byer, bl.a. Stockholm, Göteborg, Hamburg og Trondheim.



Figur 2. Lading av buss via invertert pantograf. (Foto: oppcharge.org)

2.2 Dynamisk konduktiv lading: Kontaktledning (pantograf) og kontaktskinne

Pantograf krever kontaktledning på hele eller deler av kjørestrekningen. Kontaktledning er velprøvd også i Norge både med tog, trikk og t-bane. Kontaktledning fungerer godt under varierende vær og føreforhold slik som krevende vinterforhold.



Figur 3. Scania lastebil med dieselhybrid og pantograf. (Foto: Scania)

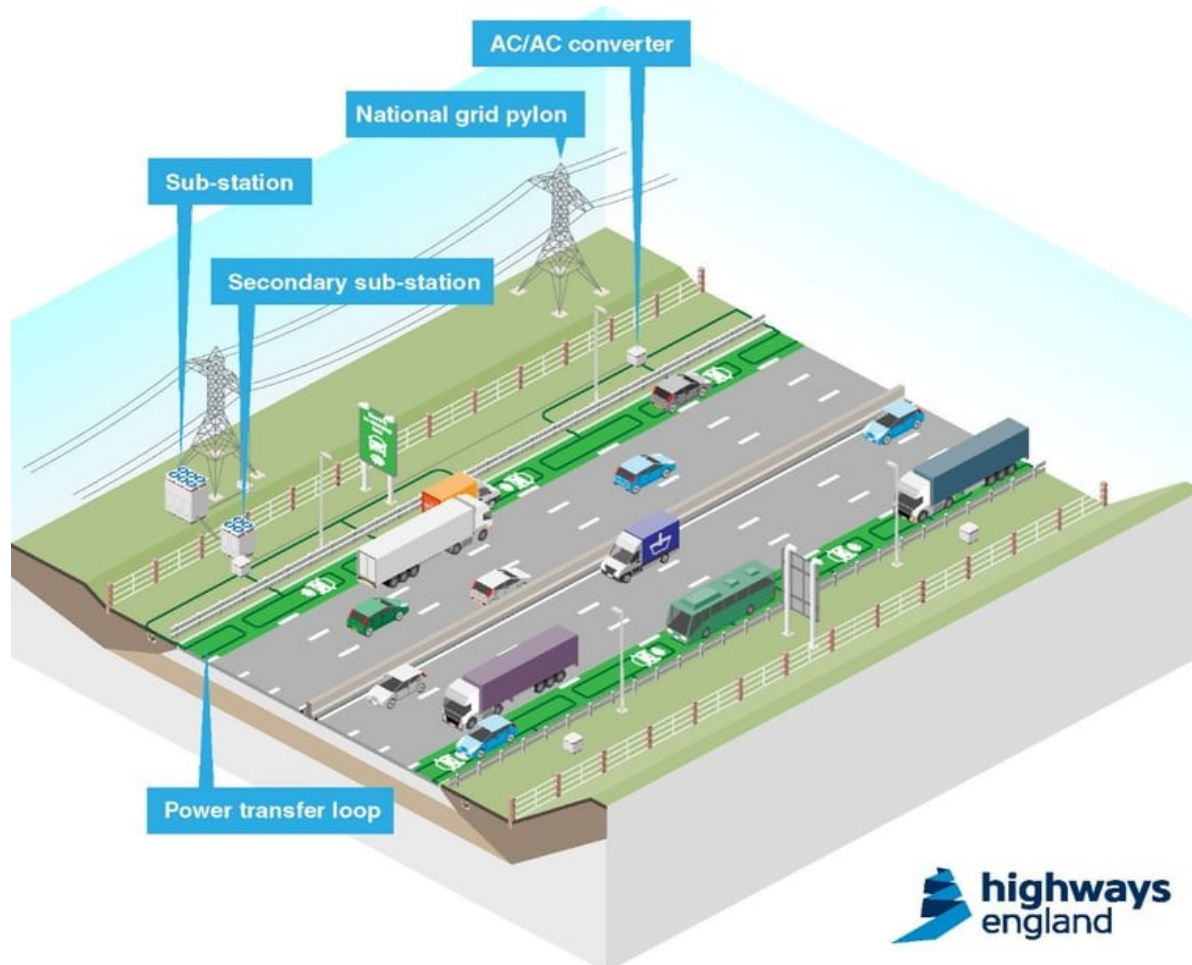
I Sverige kjører Trafikverket to prosjekter for elektrisk drift av tunge kjøretøy innenfor deres "Prosjekt Elvägar". Det ene befinner seg på en to kilometer lang strekning på E16 mellom Kungsgården og Sandviken i region Gävleborg. Løsning med pantograf og kontaktledning leveres av Siemens, som en del av deres eHighway satsning, se Figur 3. Her benyttes pantografen kun for elektrisk fremdrift direkte på motoren til en Scania lastebil. Lastebilen har i tillegg en dieselmotor for øvrig fremdrift. Dette blir dermed en dieselhybrid løsning, men den er tatt med som et eksempel da systemet kan bygges ut til å benytte batterier for ren eldrift.

Også kontaktskinne kan kombineres med hybridkjøretøy, både for bil og tog. For tog er dette testet ut i ulike t-baneanlegg. For eksempel benytter T-banen i Oslo en tredje skinne for strømtilførsel. Slike anlegg er vanligvis installert i lukkede rom og påvirkes dermed ikke av for eksempel vinterlige forhold. Åpne kontaktskinner som den ved T-banen i Oslo vil medføre en betydelig personfare dersom den installeres på offentlig veg. Det svenske selskapet Elways har patentert en kontaktskinne der personsikkerhet er ivarettatt, samtidig med at det skal være enkelt å vedlikeholde med tanke på vann, is og snø. Det er tilpasset elektrisk hybriddrift, det vil si at det kan drives direkte av kontaktskinnen, men kontaktskinnen kan også benyttes til å lade batterier. Den andre delen i "Prosjekt Elvägar" kalles eRoadArlanda. Her samarbeider Trafikverket, Vinnova, Energimyndigheten, Elways, NCC med flere. Elways er leverandør av teknologi for kontaktskinne. eRoadArlanda vil teste kjøretøy med totalvekt inntil 60 tonn. Tanken er å etablere en 10 km lang testbane, der 2 km utgjør elektrisk veg med kontaktskinne. Testbanen vil bli lokalisert godsterminalen på Arlanda og Rosersbergs logistikkcenter.

2.3 Statisk og dynamisk induktiv lading

Induktiv ladning er så langt en relativt uprøvd teknologi for transport. Per i dag finnes det kun to-tre kjente forhandlere av induksjonssett for personkjøretøy, da med ladeeffekt på 7,2 kW. Fordelen med induksjon, er at man ikke er avhengig av direkte elektrisk kontakt for å lade. Dette vil sannsynligvis være en fordel rent driftsmessig. I prinsippet kan den induktive ladingen foregå både statisk og dynamisk. Teknologien er så langt umoden, men operasjonelle løsninger er under utvikling.

I desember 2016 rullet den første induktive Scania-bussen ut fra Terminalen i Södertälje, som et ledd i et forskningsprosjekt mellom KTH institutt for teknologi i Stockholm og Scania. Bussens batterier lades induktivt på hovedterminalen, noe som gir den nok påfyll til å klare den 10 km lange rundturen.



Figur 4. Illustrasjon av induktiv (trådløs) dynamisk lading (Illustrasjon: Highways England).

3 Kostnadstall for teknologiske løsninger

For å evaluere de alternative elektriske kjøretøykonseptene, er det viktig å vite noe om hvor stor kostnaden er. Derfor er det innhentet kostnader fra aktuelle leverandører av kjøretøy og ladeinfrastruktur, samt fra leverandører av installasjonstjenester. Dette er videre satt sammen til case for hvert konsept som får beregnet hvert sitt kostnadsbilde. På grunn av relativt ukjent og umoden teknologi, er ikke dynamisk induktiv lading inkludert som et alternativ i prosjektet. Det er derfor heller ikke innhentet kostnadstall for denne teknologien.

Fordi dette delvis er teknologier som ikke er i utstrakt bruk enda, vil ikke prisene være representative for et marked med storskala produksjon. En må derfor ta hensyn til at kostnadselementer kan endres dersom markedsandelen for et konsept øker. Det må også tas hensyn til restverdi, vedlikehold, og at innhentede priser ikke alltid er direkte oversettbare til norske forhold. Siemens anslår at en vedlikeholdskostnad vil ligge på ca 2% av kapitalkostnaden. Usikkerheten til dette estimatet er ukjent.

Kostnadstallene presenteres først for kjøretøy og ekstrautstyr, deretter for infrastruktur.

3.1 Kostnader for kjøretøy og ekstrautstyr

Foreløpig finnes det ingen større kjøretøyprodusenter som leverer elektriske lastebiler. Alle kjente kjøretøy i den aktuelle vektclassen er derfor ombygd fra dieseldrevne kjøretøy. Kostnadene vist her er basert på tall fra selskap som leverer drivlinje og batteripakke til ombygging. Det må i tillegg kjøpes et kjøretøy. Kjøretøykostnad settes til €80 000, basert på kostnadsoverslag mottatt fra EMOSS.

Tabell 1. Leverandører av ombygde lastebiler for mulig democase. Flere av leverandørene er kontaktet i prosjektet, men det er kun EMOSS og E-force som har respondert med pris på kjøretøy. De som er kontaktet uten å ha respondert med pris er markert med *.

Leverandør	Totalvekt (tonn)	Batteripakke (kWt)	On-board Lader (kW)	Pris drivlinje og batteri (NOK)	Pris inkl. kjøretøy (NOK)
EMOSS	50	200-240	22/44	2 417 750	3 177 750
E-force	44	140-260		2 185 000	2 945 000
Framo	44				*
GINAF	44	280	22/44		*
Balqon	40	380		>2 185 000	
Terberg (Maks: 40 km/t)	65	112/169			*
Transpower (USA)	40	215	70/140		
Cummins (USA)	40	140			*

Lading kan gjøres i endepunkt (statisk), eller i fart (dynamisk). I begge tilfeller vil det være behov for innkjøp og installasjon av ladeinfrastruktur. Om kjøretøyet skal ha dynamisk lading forutsetter det også at det installeres ekstrautstyr som pantograf eller kontaktpunkt for kjøreledning eller strømskinne. Dette ekstrautstyret må spesialbestilles. Siden slike løsninger kun finnes i et fåtall forskningskjøretøy er det imidlertid stor usikkerhet knyttet til dette kostnadsestimatet.

Tabell 2. Estimerte kostnader til ekstrautstyr for dynamisk kontaktlading (Wietschel, 2017).

Type	Pris (NOK)
Pantograf	375 000
Skinne	950 000
Software	Ukjent
Skinne for OppCharge	25 000

3.2 Kostnader for infrastruktur

Infrastrukturen består av flere komponenter, avhengig av hvilken teknologi som skal benyttes. For det første er det en kostnad forbundet med fremføring av strøm til det aktuelle området, så kommer kostnaden av ladeinfrastruktur på toppen. Kostnader for fremføring av strøm må beregnes for hvert enkelt tilfelle, da nettets lokale kapasitet vil variere fra sted til sted. For de aktuelle demonstrasjonskasene er det derfor hentet inn estimater fra lokale nettleverandører.

3.2.1 Endepunktlading

Den enkleste formen for lading er endepunktlading. Slike ladere leveres med effekter fra 50 til 350 kW. Ladere leveres i dag primært til privatbilmarkedet, men vil også kunne brukes på tungbiler. Det finnes et stort antall teknologileverandører med godkjente ladere. Laderne leveres med standard europeisk kontakt (CCS), og/eller med CHAdeMO-kontakt². Begge opererer på likestrøm. For induktiv lading er det innhentet pris fra én leverandør. Utstyrskostnaden på et demosystem er 13 000 \$, så kommer kostnad for tekniker og installasjon i tillegg. Derfor er prisen satt til 300 000 NOK.

Tabell 3. Pris endepunktlader (plug-in, induktiv og OppCharge).

Produsent (Leverandør)	Effekt (kW)	Pris (NOK)
ABB (Infratek)	50	170 000
Ukjent (Fortum)	150	Ukjent
Ukjent (Infratek)	150	250 000
Ukjent (Fortum)	350	1 400 000
Porsche (Infratek)	350	Ukjent
Efacec	350	750 000
Induktiv (Pluglesspower, USA)	7,2	300 000
ABB, OppCharge	150-600	1 600 000 – 3 000 000

3.2.2 Dynamisk lading

Den mest detaljerte studien av kostnadstall for dynamisk lading som er funnet, er arbeidet ledet av Fraunhofer ISI (Wietschel m.fl., 2017). De har satt kostnadsestimat for alle nødvendige komponenter, som vist i Tabell 4 for kjøreledning og Tabell 5 for strømskinne. Kostnadsestimatene er presentert i best case, som gjelder for etablering samtidig med vegen, og worst case, som gjelder ved etablering på eksisterende veg.

² En tredje variant finnes også: Type-2.

En annen studie som oppgir priser for kjøreledning er rapporten til Erberveld og ten Wolde (2016). De estimerer en kostnad på mellom €0.25 - 2.5 millioner/km, som er et relativt stort spenn. Kostnadene presentert av Wietschel m.fl ligger i øvre ende av estimatsintervallet til Erberveld og ten Wolde.

Tabell 4. Kostnader for installasjon av kjøreledning, hentet fra Wietschel m.fl. (2017).

Komponent	Beregningsgrunnlag	Kostnad (mill €/km)	Kostnad (mill NOK/km)
Inntakspunkt	Ca 15 000 €per punkt. Med en tetthet på 3 km per inntak blir det 5 000 €/km	0,005	0,05
Forbindelse mellom inntakspunkt og transformator	Ca 50 €per m for graving, ca 100 €per meter for kabel. Med 500 meter kabel per inntak blir kostnaden 75 000 € Med en tetthet på 3 km per punkt blir det 25 000 €/km	0,025	0,2
Transformator	Ca 300 000 €per megavoltampere (MVA) (inklusive kommunikasjons- og sikkerhetsteknikk). Med 3 MVA effektbehov blir kostnaden 0.9 Mill €per transformator. Med en tetthet på 3 km per punkt blir det 300 000 €/km	0,3	2,8
Master	Ca 10 000 €per mast inklusiv utlegger og fundament. Med mastavstand på 50 m blir kostnaden 400 000 €per km	0,4	3,7
Kjøreledning	Ca 300 €per løpemeter. 600 000 per km for begge kjøreretninger	0,6	5,6
Passiv beskyttelsesinnretning	Dette kan fravikes ihht DIN EN 12767 dersom støttekonstruksjonen blir sikkerhetstestet.	0	0
Overgang mellom signalbro og øvrig konstruksjon	Merkostnader til overganger blir dekt inn av kostnader til mastene	0	0
Prosjektering, planlegging, anbud, prosjektledelse osv.	Ca 10 % av investeringskostnader	0,13	1,2
Sum best case		1,46	13,6
Sum worst case (Dyrere grunnarbeid og inkl. passiv beskyttelsesinnretning)		1,93	17,9

Tabell 5. Kostnader for installasjon av skinne i vegbanen, hentet fra Wietschel m.fl. (2017).

Komponent	Beregningsgrunnlag	Kostnad (mil €/km)	Kostnad (mill NOK/km)
Inntakspunkt	Ca 15 000 €per punkt. Med en tetthet på 3 km per inntak blir det 5 000 €/km	0,005	0,045
Forbindelse mellom inntakspunkt og langsgående kabel	Ca 50 €per m for graving, ca 100 €per meter for kabel. Med 500 meter kabel per inntak blir kostnaden 75 000 € Med en tetthet på 3 km per punkt blir det 25 000 €/km	0,025	0,2
Langsgående kabel (Likespenning)	Ca 50 €per m for graving, ca 100 €per meter for kabel. For begge kjøreretninger blir kostnaden 300 000 EUR/km	0,3	2,8
Langsgående kabel (vekselspenning)	Blir lagt i samme kanal som likespenningskabel. Kabelkostnader ca 100 €/m, som blir 100 000 EUR/km	0,1	0,9
Transformator	Ca 300 000 €per MVA (inkl. kommunikasjons- og sikkerhetsteknikk). Med 3 MVA effektbehov blir kostnaden 0.9 Mill €per transformator. Med en tetthet på 3 km per punkt blir det 300 000 €/km	0,3	2,8
Passiv beskyttelsesinnretning	100 €per m forutsatt at transformatorene er satt opp i en avstand på 1 km på den ene siden av ruten og må beskyttes med ytterligere 100 m ekstra barriere. Totalt påløper det en kostnad på 10 000 €/km	0,001	0,1
Strømskinne i vegbanen inkl. omkoblinger og sensorer	Resultater fra søk i litteratur og web	1,8	16,7
Prosjektering, planlegging, anbud, prosjektledelse osv.	Ca 10 % av investeringskostnader	0,25	2,4
Sum best case		2,8	26
Sum worst case (Dyrere grunnarbeid og strømskinne)		3,26	31

4 Energiforbruk

For å vurdere kostnader ved drift av elektriske kjøretøy i hvert enkelt democase må en vite hvor mye energi som kreves av kjøretøyet. Energibehovet legger også premisser for hvilke teknologier som faktisk er mulig å benytte seg av. Et alternativ er å benytte seg av generelle tall for energiforbruk, men slike tall er beheftet med stor usikkerhet. Grunnen til dette er stor variasjon i energibehov som følge av variasjon i vegens geometri, lastgrad, kjøretøyvekt, trafikkforhold og sjåføratferd. Derfor er det benyttet et beregningsverktøy som tar hensyn til de fleste av disse variablene.

4.1 Forutsetninger for beregningene

Beregningene er gjort med et beregningsverktøy utviklet av SINTEF (Hjelkrem m.fl., 2017). Metodikken er basert på kjøretøyegenskaper, vegens egenskaper, fartsmodell og sjåføregenskaper, og starter med å beregne energibehovet for å kunne flytte et kjøretøy langs en strekning, etter et fartsprofil. Ved hjelp av kjente sammenhenger, og virkningsgrader på grunnleggende prosesser, vil dette gi en beregningsmåte som kan overføres til flere kjøretøy, kjøreruter og sjåførprofiler (f.eks. normal, aggressiv eller drivstofføkonomisk). Beregningsverktøyet beregner fartsprofil for ett kjøretøy, uten påvirkning av annen trafikk.

4.2 Kjøretøyspesifikasjoner

Parametere for energiberegning er vist i Tabell 6. En endring i parameterverdier vil påvirke resultatene, derfor er det inkludert en usikkerhet i bestemmelse av parameterverdier. Verdiene er hentet fra Hjelkrem m.fl (2017).

Tabell 6. Inndata til energiberegningene for kjøretøy A og B.

	Maksvekt	Virkningsgrad (tank-to-wheel)	Frontareal (m ²)	Koeffisient for luftmotstand	Koeffisient for rullestand
Kjøretøy A	50 tonn	0,8	9 (8,75-9,25)	0,7 (0,6-0,8)	0,007 (0,006-0,008)
Kjøretøy B	19 tonn	0,8	6 (5,75-6,25)	0,6 (0,5-0,7)	0,008 (0,007-0,009)

For kjøretøy A er egenvekten antatt å være 20 tonn, slik at nyttelasten kan være mellom 0 og 30 tonn. Kjøretøy B har egenvekt på 12 tonn og nyttelast mellom 0 og 7 tonn. Sannsynligvis vil nyttelasten variere på de aktuelle strekningene. Derfor er det gjort beregninger som viser hvordan energibruken varierer med nyttelast. For begge kjøretøyene er det gjort beregninger med normal sjåførprofil og fartsmodellen "Tungbil – 2011 Tørset" som grunnlag. For beregning av energi tilført via regenerative bremsere er det brukt samme virkningsgrad som er brukt for elektrisk drift (tank-to-wheel). Regenerativ energi er ikke inkludert i kostnadsanalysen, men energiberegningene viser hvor mye energi en potensielt kan spare ved å bruke regenerative bremsere.

Del 2: Beskrivelse av democase i Trondheim og Oslo.

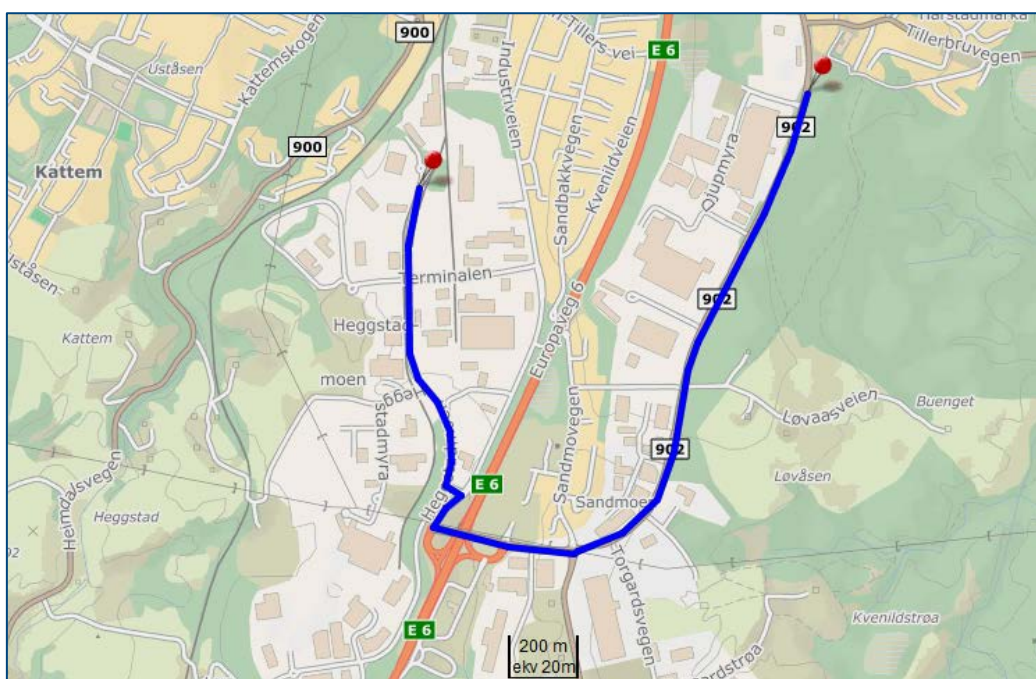
5 Democase i Trondheim

5.1 Innledning

I området rundt Sandmoen i Trondheim er det en strekning som peker seg ut med potensiale for et demonstrasjonsområde for elektrifisering av transport. Området har generelt mye tungtransport, og potensielt mye skytteltrafikk mellom den midlertidige jernbaneterminalen på Heimdal og alle transportørene i området. Figur 5 viser hesteskostrekningen som kan elektrifiseres enten helt eller delvis.

Strekningen er på omtrent 3 km, og det tar 5-10 minutter å kjøre én veg. Det er i underkant av 40 meter mellom høyeste og laveste punkt, og det er flere vegkryss langs vegen. Omtrent midt på krysser strekningen E6, og det er i den forbindelse flere rundkjøringer. Strekningen går langs Heggstadmoen og Industrivegen vest for E6, og langs Østre Rosten øst for E6. I forlengelsen av Østre Rosten kommer man til kjøpesenterområdet på Tiller.

I påvente av ny jernbaneterminal på Torgård, som er klar tidligst 2029, skal det etableres en midlertidig terminal på Heimdal. Den er planlagt ferdigstilt mot slutten av 2017, og åpnes for trafikk i midten av 2018. Frem til terminalen på Torgård står ferdig vil terminalene på Heimdal og Brattørå dele på å betjene gods på bane i området.



Figur 5. Trase i Trondheim.

5.2 Aktører i området

Området på Sandmoen, Torgård og Heggstadmoen huser et stort og variert antall bedrifter innen transportsegmentet. For å vise noe av mengden og variasjonen er det vist en oversikt fordelt på område i Tabell 7. Oversikten er ikke helt komplett, men viser de største trafikkgenererende virksomhetene i området.

Tabell 7. Eksempler på bedrifter i området.

Heggstadmoen	Torgård	Sandmoen
B Iversen Spedisjon	Bring Budbil og Ekspress	Asko Midt-Norge
Brødrene Dahl AS	Bring Transport	Beach Mountain
Bygger'n	Brødrene Dahl	Brødrene Ler
DSV Road	Heimdal Autoservice	Coop Norge
Hydroscand	ISS Facility Services	Dekkmann
Idun industri	NDI - Nordisk dekk import	Gaute Næringsmiddelindustri
Kartonage	Nor Tekstil	Icopaltak
Krigsvoll	Norsk Scania	Industribeslag
Mesta	PostNord	Maske Gruppen
Metallco	Praxair Norge	Melhus bil
Nokian dekk	REMA Distribusjon	Mesterblikk
NorBetong	Trotan	NAV Hjelpemiddelsentral
Normann Olsen maskin	Trøndelag Trucksenter	OK Minilager
Norsk gjenvinning	Trønder Oil	OTTS Transport
Nortura	Vianor	Smart Profil
OPAS Garderobe		Swedol Norge
Prima dekk og service		Søbstad
Ramlo Sandtak		Taksenteret
Retura TRV		Tevo Dekk
Schenker		Vinjes Transport
Skevig Lastebiltransport		Wist Last & Buss
St. Olavs Hospital forsyningslager		
Terra entreprenør		
Tine Sentrallager		
Toril Transport		
Trondheim Renholdsverk		

5.3 Godsmengder

Godstrafikken på området er tidligere beskrevet av Raanes og Aarland (2017). Basert på spørreundersøkelse og dybdeintervju har de innhentet informasjon og fakta fra samlastere, vareeiere, transportører o.l som opererer i området. Noen nøkkeltall som kan hentes herfra for å beskrive situasjonen er:

- Det totale transportvolumet er 5,5 millioner tonn.
- Den daglige trafikkmengden er på omtrent 1700 turer med semi/vogn tog, og omtrent 1700 turer med distribusjonsbiler
- Overføringspotensialet til jernbane er 1,2 millioner tonn, dvs 60 000 semitrailere.
- En trafikk telling langs den aktuelle strekningen ga en ÅDT på 11 000 med en tungtrafikkandel på 27 %.
- Godsmengdene har doblet seg de siste 20-25 år.

For en mer detaljert beskrivelse henvises det til rapporten av Raanes og Aarland (2017).

5.4 Workshop

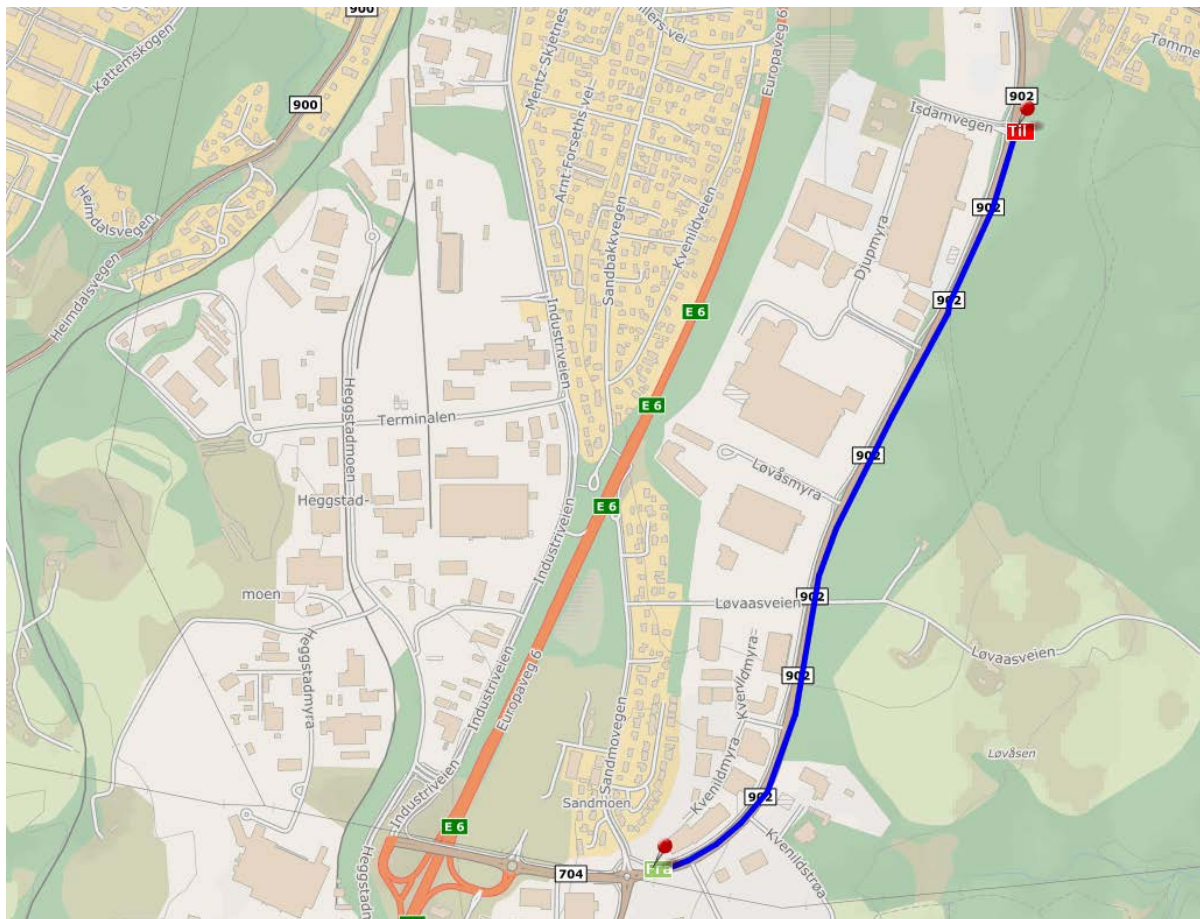
Den 22. juni 2017 ble det arrangert en workshop med noen av de største virksomhetene i det aktuelle området i Trondheim, samt andre relevante aktører. Hensikten var å lodde interessen, forankre prosjektet og få innspill på hvilken type organisering som anses som mest hensiktsmessig. Tilbakemeldinger fra transportørene var generelt positive, og det kom frem flere momenter som er viktige å ta med i det videre arbeidet. For det første ble det nevnt at det er viktig med lønnsomhet for transportørene. Markedet har små marginer, og det er dermed ikke alltid like lett å skyve investeringskostnadene over på kunden. Et annet usikkerhetsmoment er den teknologiske modenheten. Per i dag er den på et slikt stadie at risikoen for uventede kostnader er stor, selv om ASKO forventer at deres elektriske investeringer gir positiv gevinst over en periode på 7 år. Det tredje momentet som kan trekkes frem er behovet for gode løsninger for samarbeids- og forretningsmodeller dersom dette skal realiseres. Et utførlig notat fra workshopen kan finnes i Vedlegg A.

5.5 Befaring

Den 11. september 2017 ble det gjennomført en befaring langs den aktuelle strekningen (Figur 5). Deltagere på befaringen var: Tom Nørbech (SVV), Jon Arne Klemetsaune (SVV Reg. midt), Bjørn-Arve Raanes (Sør-Trøndelag Fylkeskommune), John Kristian Evjen (TrønderEnergi), Christian Jahr og Henrik Engdahl (Siemens) og Terje Kristensen (SINTEF).

På befaringen ble klart at den best egnede strekningen for elektrisk infrastruktur er på den østlige delen av strekningen, fra rundkjøringen frem til ASKO's lokaler (Figur 6). Strekningen i vest hadde ujevn vertikalprofil, noe som gir utfordringer med den fysiske kontakten mellom kjøretøy og infrastruktur. Strekningen over E6, hvor SVV opprinnelig foreslo at en slik infrastruktur kunne plasseres, mente teknologileverandøren var uegnet. Her ville man få store utfordringer med blant annet rundkjøringene. Basert på Simens erfaringer med slik infrastruktur, ble derfor 1,6 km lengst øst fremhevet som det beste alternativet, da denne strekninger har jevn geometri. Det vil si at ved lading i kun én retning er det mulig å bygge 1,6 km med infrastruktur. Med lading i begge

kjøreretninger er maksimal lengde på infrastruktur 3,2 km. Ekspertene fra Siemens mente imidlertid at en elektrisk infrastruktur slik den er tenkt, burde installeres langs en strekning som kan skaleres opp og dermed bygges ut over tid.



Figur 6. Mulig plassering av infrastruktur for lading langs veg i demonstrasjonscasen.

På befaringen ble Siemens invitert til å komme med et detaljert kostnadsoverslag på en slik utbygging. Siemens opplyste om at å fremskaffe detaljerte kostnader var en svært ressurskrevende oppgave, og anbefalte derfor at man i stedet baserer seg på erfaringstall. Rapporten fra Wietschel m.fl. (2017) er så langt det mest detaljerte arbeidet som er tilgjengelig.

I følge TrønderEnergi ligger det i dag høyspent langs veien. Det må etableres en ny nettstasjon til en pris på omtrent kr 800.000 i anleggsbidrag. Kapasiteten vil da være opp til 800 kVA, og skal dermed kunne håndtere ladeeffekter for både dynamisk (400 kW) og statisk lader (150 – 350 kW).

5.6 Energibehov

En oversikt over resultatene er vist i Tabell 8. For hver rute er det presentert et totalt energiforbruk og potensiale for regenerering av energi. Merk at potensialet for regenerering er et maksimum, og forutsetter dermed at all bremsing på ruten foregår med regenerering.

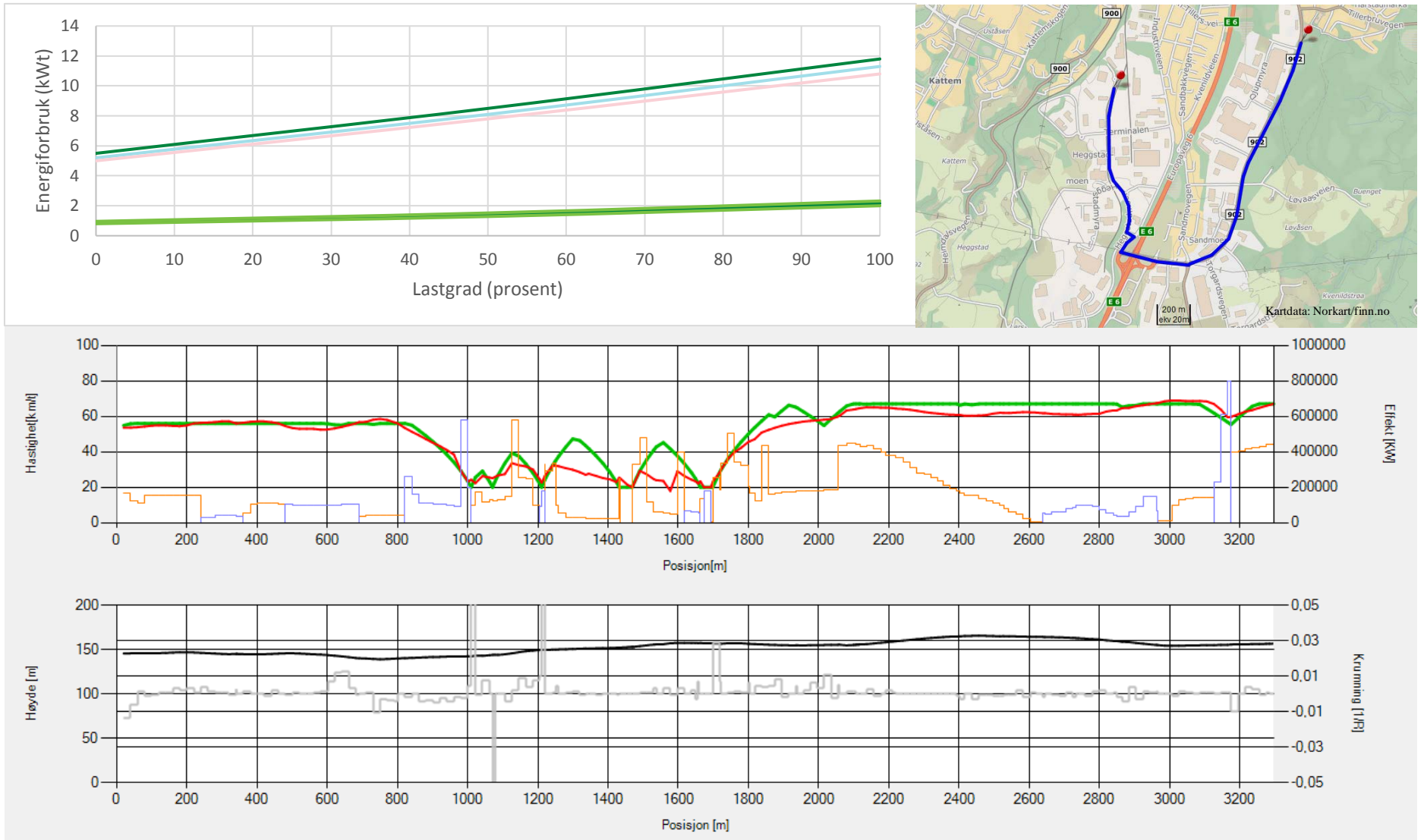
Tabell 8. Energiforbruk og regenerativt potensiale er vist med en lav og høy verdi basert på henholdsvis ingen og maksimal lastvekt. Snittfarten er beregnet for et fullastet kjøretøy.

Rute	Snittfart (km/t)	Lengde (km)	Totalforbruk (kWt)	Regenerativt potensiale (kWt)
Heggstadmoen terminal – Isdamveien, kjøretøy A	~45	3,3	~[5 - 12]	~[1 - 2]
Heggstadmoen terminal – Isdamveien, kjøretøy B	~46	3,3	~[3 - 5]	~[0 - 1]
Isdamveien – Heggstadmoen terminal, kjøretøy A	~45	3,3	~[5 - 12]	~[1 - 2]
Isdamveien – Heggstadmoen terminal, kjøretøy B	~46	3,3	~[3 - 5]	~[0 - 1]

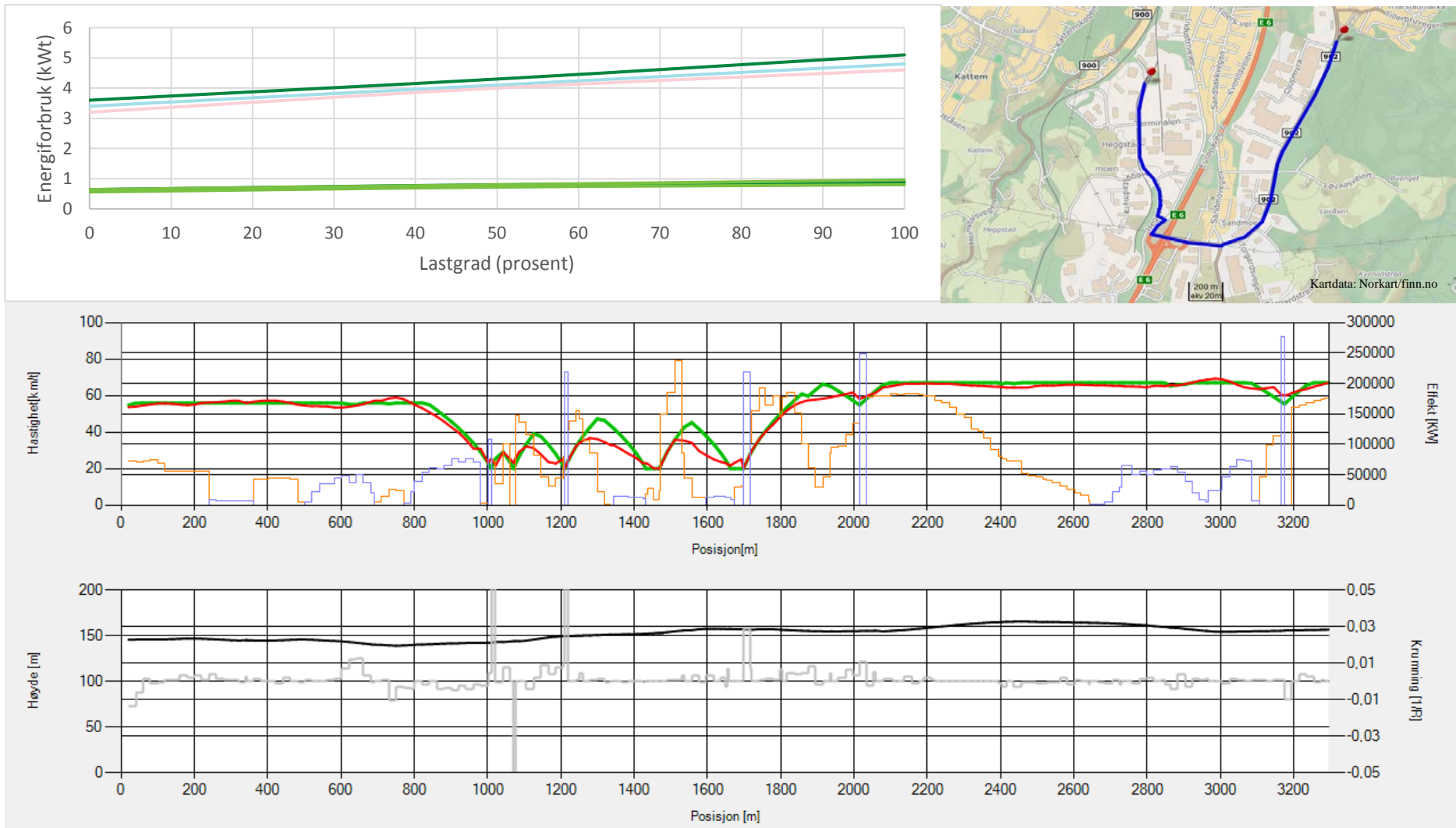
Videre i kapittelet er det vist detaljerte beregninger for hver rute, med følgende figurer:

- **Energiforbruk som funksjon av lastgrad:** Her er lastgrad definert som prosentvis utnyttelse av total lastvekt i tonn. Den blå linjen viser beregnet energiforbruk (mørk blå), og variasjon i energiforbruk ved ulike parameterverdier (lys blå). Den grønne linjen viser potensiale for regenerering av bremseenergi, og variasjonen som følge av endring i parameterverdier (lys grønn).
- **Kart som viser kjørerute.**
- **Fartsprofil:** Den røde linjen viser beregnet fart langs ruten. Den oransje linjen viser effektbehov, mens den blå linje viser bremseeffekt. Den grønne linjen er en mellomberegning av fart, og kan sees bort fra i denne sammenhengen.
- **Geometrisk profil:** Svart linje viser høydeprofil, mens den grå viser krumningsprofil

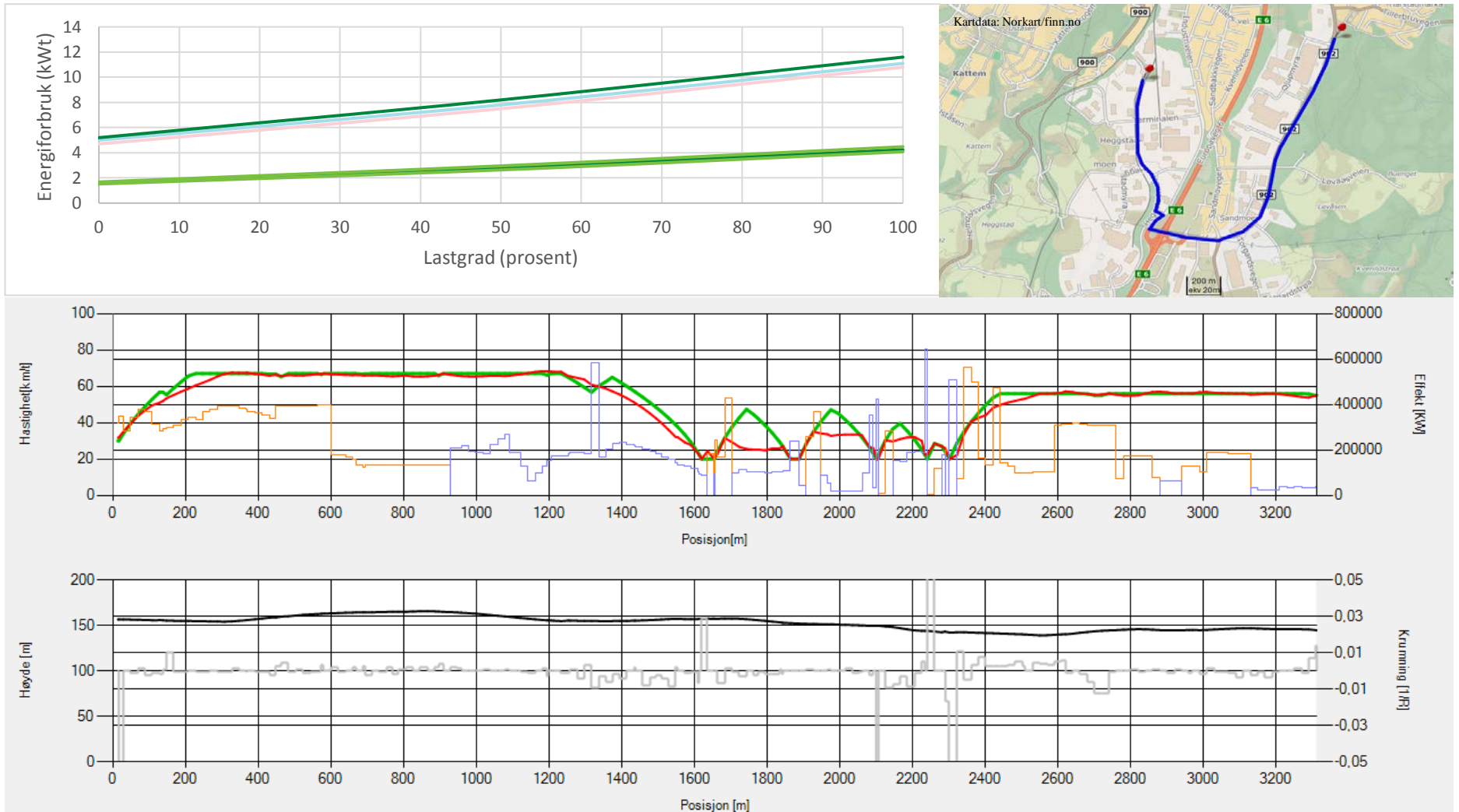
5.6.1 Heggstadmoen terminal – Isdamveien, kjøretøy A



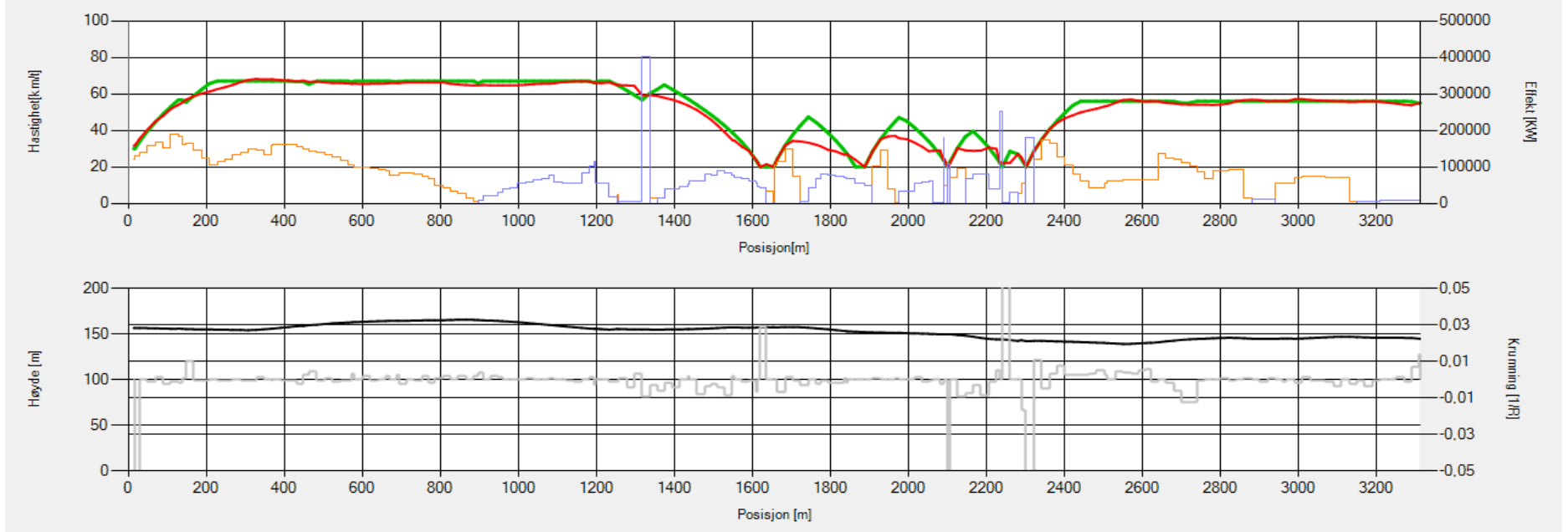
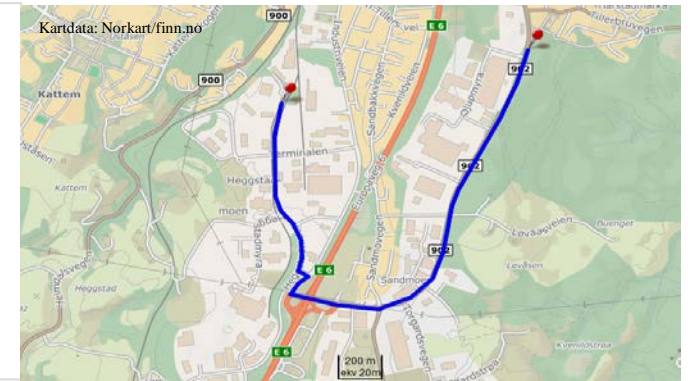
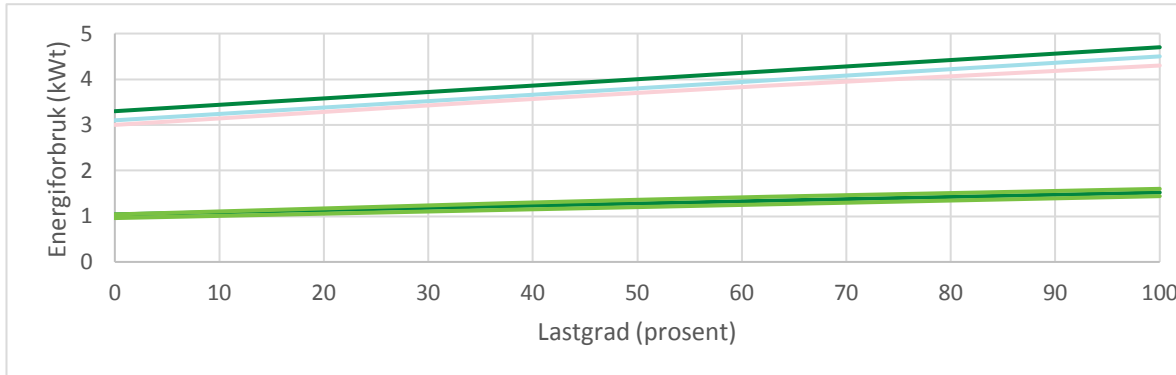
5.6.2 Heggstadmoen terminal – Isdamveien, kjøretøy B



5.6.3 Isdamveien - Heggstadmoen terminal, kjøretøy A



5.6.4 Isdamveien - Heggstadmoen terminal, kjøretøy B



5.7 Praktiske vurderinger av teknologi for democase

For å vurdere de teknologiske løsningene har det blitt etablert noen forutsetninger for å gjøre kostnadsanalysen. I utgangspunktet er det tenkt at det er 1-2 kjøretøy som skal trafikkere strekningen, med åpning for at løsningen skal bli gjort tilgjengelig for alle på lengre sikt. I tillegg er det gjort følgende forutsetninger for kjøremønster, energibetraktninger og øvrig trafikk:

Kjøremønster

Det legges til grunn at et kjøretøy er kontinuerlig i drift i 10 timer. I løpet av denne perioden kjører det frem og tilbake på den 3 km lange sløyfen. Kjøretid er estimert til 5 minutter. I hver ende er det et stopp på 5-10 minutter. Derfor er det antatt at det på en gjennomsnittlig dag er 30 turer t/r.

Ladetid

For konduktiv endepunktlading er det antatt at det er 1 time i løpet av arbeidsdagen der kjøretøyet kan lades. For induktiv lading er det antatt at kjøretøyet lades 5 minutt i hver ende, og utenom driftstid. For lading langs veg er det ikke lading ved endepunkt, men konduktiv plug-in lading utenom driftstid.

Temperatur

Det er antatt at temperatur er normal, det vil si at det ikke er tatt hensyn til drift ved så lave temperaturer at batteriets drift blir påvirket. Batterier vil vanligvis lades fortere ut ved kulde, men det er vanskelig å finne konkrete tall på hvordan denne sammenhengen er.

Energibetraktninger

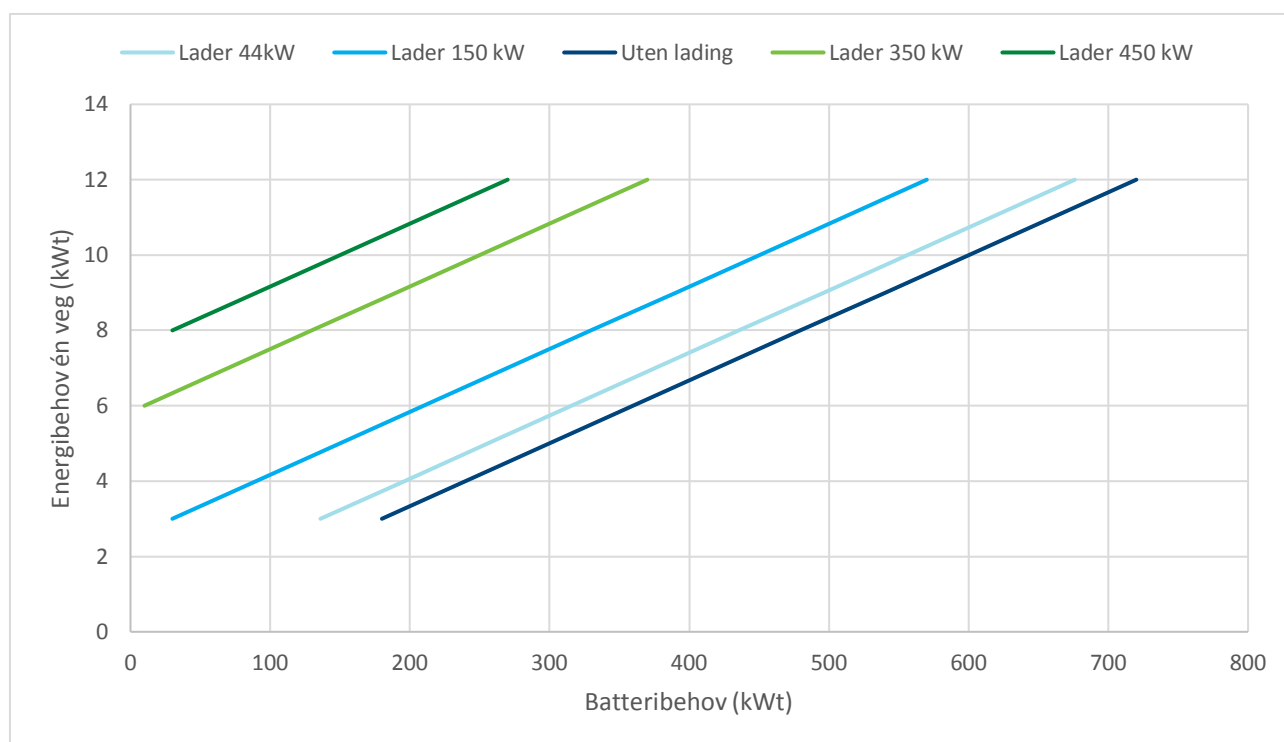
For endepunktlading er det forutsatt at kjøretøyet har en motor på 250 kW, med en batteristørrelse på 240 kWh. Det er utstyrt med en 44 kW lader for lading utenom driftstid. For lading langs veg er det forutsatt at lading via kjøreledning eller strømskinne skal kunne forsyne kjøretøyet med nok strøm til å opprettholde kontinuerlig drift.

Basert på forutsetningene er det beregnet behov og krav til fire ulike teknologiske løsninger for elektrifisering som er utredet i rapporten. For hver løsning er det sett på om det er mulig å drifte et elektrisk kjøretøy, eller om det går tom for strøm undervegs.

5.7.1 Konduktiv endepunktlading

Ved konduktiv endepunktlading er det her antatt at batteriet blir ladet i én time i løpet av en driftsperiode på 10 timer. Det som avgjør hvorvidt kjøretøyet kan operere ut driftsperioden er hvor stor kapasitet batteriet har, hvor mye det blir ladet i løpet av den ene timen, og hvor mye energi som blir tappet per tur. Denne sammenhengen er vist i Figur 7. Den viser batteribehovet for både en situasjon uten lading i driftsperioden, og ved ladeeffekter på 44, 150, 350 og 450 kW, som funksjon av energiforbruk. Fra forrige kapittel ser vi at energiforbruket er avhengig av lastgrad,

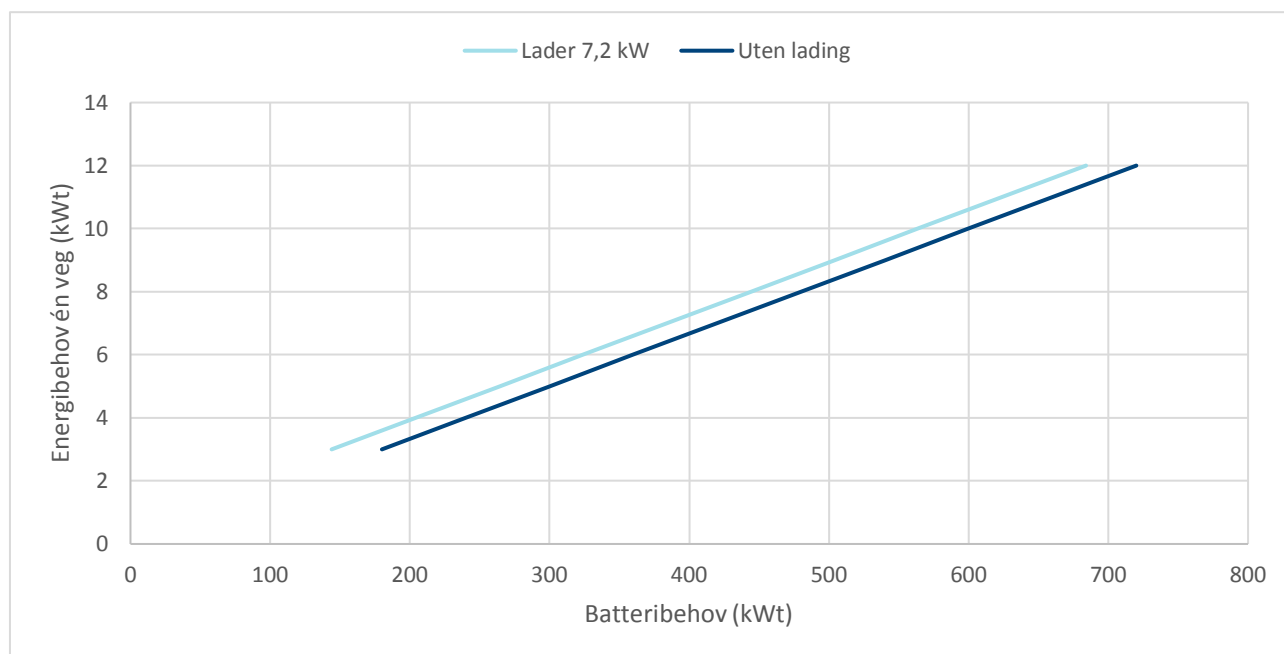
og at et middels lastet vogntog forventes å forbruke ca 8 kWt per tur, mens en middels lastet liten lastebil forventes å bruke ca 4 kWt. Fra figuren kan det leses at batteribehov blir omtrent 200 kWt (for liten lastebil) og 436 kWt (for vogntog) med en 44 kW lader. Med en kraftigere lader på 150 kW blir batteribehovet henholdsvis 90 og 330 kWt. For de kraftigste laderne på 350 og 450 kW blir batteribehovet nesten eliminert for liten lastebil, mens det er på henholdsvis 130 og 30 kWt for vogntog. Det bemerkes at for å lade med høy effekt, eksempelvis 450 kW, kreves det uansett et batteri med en betydelig energilagringsskapasitet, avhengig av hvor stor maksimaleffekt batterimodulene er designet for. Det kan derfor i praksis forventes at nødvendig batterikapasitet vil være i samme størrelsesorden som gjengitt for de ulike kjøretøyleverandørene i Tabell 1.



Figur 7. Batteribehov for kjøretøy som funksjon av energibehov og ladeeffekt ved konduktiv endepunktlading.

5.7.2 Induktiv endepunktlading

Ved induktiv endepunktlading er det her antatt at batteriet blir ladet i 5 minutter i hver ende i driftsperioden. Det som avgjør hvorvidt kjøretøyet kan operere ut driftsperioden er hvor stor kapasitet batteriet har, hvor mye det blir ladet i løpet av den ene timen, og hvor mye energi som blir tappet per tur. Denne sammenhengen er vist i Figur 8. Den viser batteribehovet for både en situasjon uten lading i driftsperioden, og ved ladeeffekt på 7,2 kW, som funksjon av energiforbruk. Fra forrige kapittel ser vi at energiforbruket er avhengig av lastgrad, og at et middels lastet vogntog forventes å forbruke ca 8 kWt per tur, mens en middels lastet liten lastebil forventes å bruke ca 4 kWt. Fra figuren kan det leses at batteribehov blir omtrent 200 kWt (for liten lastebil) og 450 kWt (for vogntog) ved en ladeeffekt på 7,2 kW.

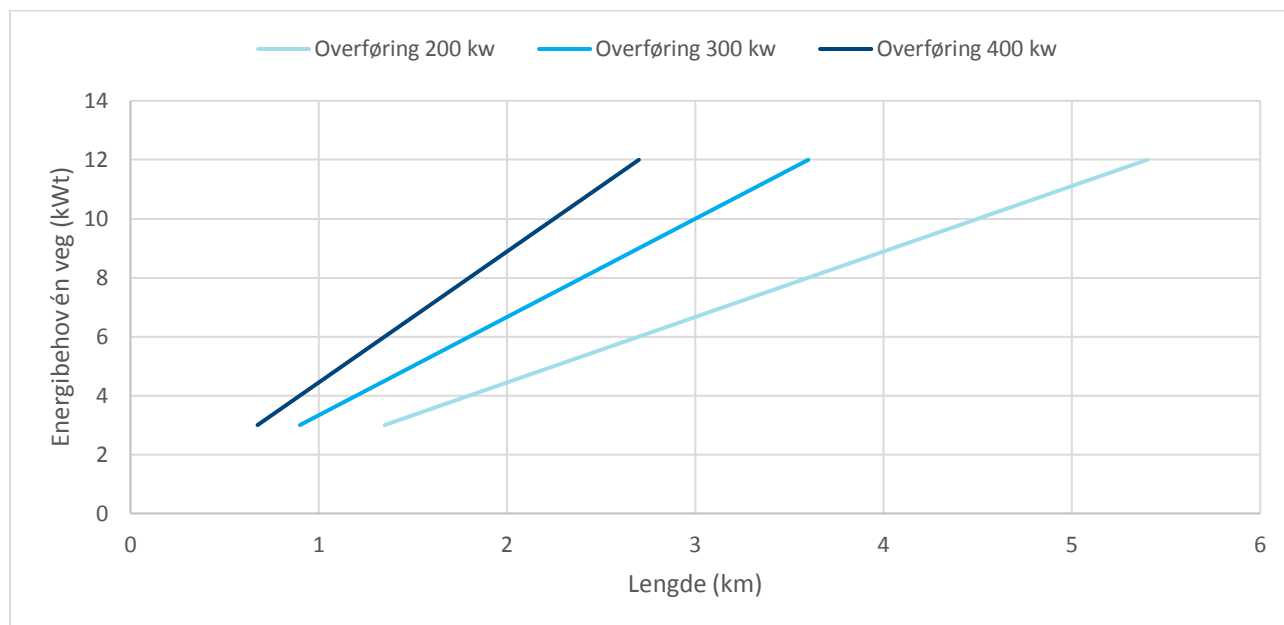


Figur 8. Batteribehov for kjøretøy som funksjon av energibehov og ladeeffekt ved induktiv endepunktlading.

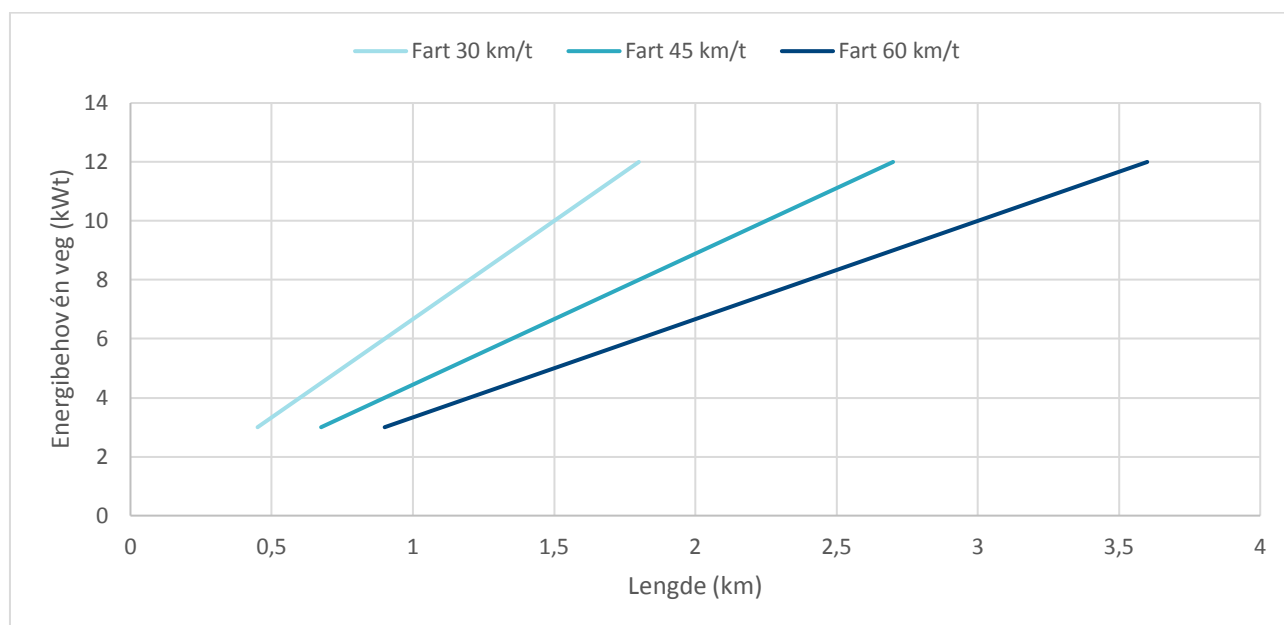
5.7.3 Kjøreledning og strømskinne

For kjøreledning og strømskinne er det antatt at all energi som kjøretøyet har behov for blir tilført under kjøring. Det betyr at rekkevidden ikke setter store krav til batterikapasitet (10-20 kWt), men at batterikapasitet må tilpasses motoreffekten (en 250 kW motor krever et batteri på minst 60 kWt, avhengig av batteriets evne til lading/utlading). En må også være sikker på at kjøretøyet klarer å få tilført all nødvendig energi mens det er tilkopleet infrastrukturen. Her er det avgjørende hvor lang tid kjøretøyet har til rådighet for lading, ladeeffekt, og energibehov. Ladetiden er svært avhengig av kjørefarten og lengden på ladeinfrastruktur. Derfor er det vist hvordan lengdebehovet for infrastruktur er som funksjon av energibehov for ulike effektoverføringer i Figur 9, og ved ulike nivå av kjørefart i Figur 10.

En ser at for et middels lastet vogntog som kjører i 45 km/t med en overføringseffekt på 400 kW har behov for ca 2 km med lading. Det vil da kunne kjøre kontinuerlig uten å få tilført annen energi enn det den får fra kjøreledning eller strømskinne. En lavere overføringseffekt, høyere fart eller større lastgrad vil føre til behov for større lengde på ladeinfrastruktur. Tilsvarende lengde for liten lastebil er omtrent 1 km.



Figur 9. Lengdebehov for infrastruktur som funksjon av energibehov per tur for tre ulike overføringseffekter. Kjørefart er satt til 45 km/t.



Figur 10. Lengdebehov for infrastruktur som funksjon av energibehov per tur for tre nivå på kjørefart. Overføringseffekt er satt til 400 kW.

5.8 Kostnadsanalyse for democase

Basert på de kostnadstallene som er presentert nedenfor er det foretatt en vurdering av lønnsomhet for den foreslåtte strekningen i Trondheim. Analysen gjøres over en 5-årsperiode for hver teknologi.

Tabell 9. Oppsummering av kostnader (NOK).

Komponent	Plug-in lader	Induktiv endepunkts-lading	OppCharge	Kjøreledning	Strømskinne	Nullalternativ
Kjøretøy	3 500 000	3 500 000	3 500 000	3 500 000	3 500 000	1 250 000
Kjøretøy, tilleggsutstyr	-	-	25 000	375 000	950 000	-
Endepunkts-lader	250 000	300 000	3 000 000	170 000	170 000	-
Infrastruktur per km	-	-		17 900 000	31 000 000	-
Fremføring av strøm	800 000	800 000	800 000	800 000	800 000	-

Analysen er basert på kostnadsestimat for investering og drift av ett elektrisk kjøretøy sammenlignet med ett dieselskjøretøy, der lønnsomhet er uttrykt som med følgende formel:

$$L = (IK_{\text{diesel}} + DDK_{\text{diesel}}) - (IK_{\text{el}} + DDK_{\text{el}})$$

hvor IK er investeringskostnader og DDK er diskonterte driftskostnader. Det er ikke tatt hensyn til eventuell restverdi av investeringer eller kostnader til vedlikehold. For å beregne driftskostnader er det benyttet en strømkostnad på 1 kr/kWh, en dieselpriis på 12 kr/l, og et driftsmønster som forutsatt for energiberegningene tidligere i kapittelet. Det er benyttet en diskonteringsrente på 4 %.

Alle fire teknologiene har blitt lønnsomhetsvurdert, og da i sammenligning med et nullalternativ. Nullalternativet er at strekningen trafikkeres av et dieselskjøretøy som følger kjøremønsteret som presentert tidligere, altså 30 turer t/r hver dag, 220 dager i året. Den detaljerte kostnadsbeskrivelsen for nullalternativet er vist i Tabell 10.

Tabell 10. Kostnadsbeskrivelse for nullalternativet ved ulike verdier for energibehov per tur.

Energibehov (kWt per tur)	3	6	9	12
Dieselbehov (l/tur)	0,7	1,2	2,0	2,5
Pris kjøretøy, diesel (kr)	1 250 000	1 250 000	1 250 000	1 250 000
Sum IK_diesel	1 250 000	1 250 000	1 250 000	1 250 000
Dieselbehov (l)	9 240	15 840	26 400	33 000
Dieselskostnad (kr)	110 880	190 080	316 800	396 000
Sum DK_diesel	110 880	190 080	316 800	396 000
DDK_diesel, 5 år	501 447	859 623	1 432 705	1 790 881
Sum dieseldrift over 5 år	1 751 447	2 109 623	2 682 705	3 040 881

Lønnsomhetsvurdering for de fire teknologiene er vist i Tabell 11 til Tabell 15. Det er tydelig at endepunktslading kommer bedre ut enn dynamisk lading langs veg, pga de relativt store investeringene som må til.

Tabell 11. Lønnsomhetsvurdering for plug-in endepunktslading ved ulike verdier for energibehov per tur.

Energibehov (kWt per tur)	3	6	9	12
Pris infrastruktur(kr)	1 050 000	1 050 000	1 050 000	1 050 000
Pris kjøretøy, el (kr)	3 500 000	3 500 000	3 500 000	3 500 000
Sum IK_el	4 550 000	4 550 000	4 550 000	4 550 000
Energibehov (kWt)	39 600	79 200	118 800	158 400
Energikostnad (kr)	39 600	79 200	118 800	158 400
Sum DK_el	39 600	79 200	118 800	158 400
DDK_el, 5 år	179 088	358 176	537 264	716 352
Sum eldrift over 5 år	4 729 088	4 908 176	5 087 264	5 266 352
Sum dieseldrift over 5 år	1 751 447	2 109 623	2 682 705	3 040 881
Lønnsomhet over 5 år	-2 977 641	-2 798 553	-2 404 559	-2 225 471

Analysen viser at investeringen vil gå omtrent 2,5 millioner i minus over 5 år gitt at plug-in laderen blir benyttet av ett middels lastet vogntog med 30 turer hver dag.

Tabell 12. Lønnsomhetsvurdering for induktiv endepunktslading ved ulike verdier for energibehov per tur.

Energibehov (kWt per tur)	3	6	9	12
Pris infrastruktur(kr)	1 100 000	1 100 000	1 100 000	1 100 000
Pris kjøretøy, el (kr)	3 500 000	3 500 000	3 500 000	3 500 000
Sum IK_el	4 600 000	4 600 000	4 600 000	4 600 000
Energibehov (kWt)	39 600	79 200	118 800	158 400
Energikostnad (kr)	39 600	79 200	118 800	158 400
Sum DK_el	39 600	79 200	118 800	158 400
DDK_el, 5 år	179 088	358 176	537 264	716 352
Sum eldrift over 5 år	4 779 088	4 958 176	5 137 264	5 316 352
Sum dieseldrift over 5 år	1 751 447	2 109 623	2 682 705	3 040 881
Lønnsomhet over 5 år	-3 027 641	-2 848 553	-2 454 559	-2 275 471

Analysen viser at investeringen vil gå omtrent 2,5 millioner i minus over 5 år gitt at den induktive laderen blir benyttet av ett middels lastet vogntog med 30 turer hver dag.

Tabell 13. Lønnsomhetsvurdering for OppCharge endepunktslading ved ulike verdier for energibehov per tur.

Energibehov (kWt per tur)	3	6	9	12
Pris infrastruktur(kr)	3 800 000	3 800 000	3 800 000	3 800 000
Pris kjøretøy, el (kr)	3 525 000	3 525 000	3 525 000	3 525 000
Sum IK_el	7 325 000	7 325 000	7 325 000	7 325 000
Energibehov (kWt)	39 600	79 200	118 800	158 400
Energikostnad (kr)	39 600	79 200	118 800	158 400
Sum DK_el	39 600	79 200	118 800	158 400
DDK_el, 5 år	179 088	358 176	537 264	716 352
Sum eldrift over 5 år	7 504 088	7 683 176	7 862 264	8 041 352
Sum dieseldrift over 5 år	1 751 447	2 109 623	2 682 705	3 040 881
Lønnsomhet over 5 år	-5 752 641	-5 573 553	-5 179 559	-5 000 471

Analysen viser at investeringen vil gå omtrent 5 millioner i minus over 5 år gitt at laderen blir benyttet av ett middels lastet vogntog med 30 turer hver dag.

Tabell 14. Lønnsomhetsvurdering for kjøreledning ved ulike verdier for energibehov per tur.

Energibehov (kWt per tur)	3	6	9	12
Lengdebehov infrastruktur (km)	0,7	1,4	2,0	2,7
Pris infrastruktur(kr)	12 737 250	25 474 500	38 211 750	50 949 000
Pris kjøretøy, el (kr)	3 875 000	3 875 000	3 875 000	3 875 000
Sum IK_el	16 612 250	29 349 500	42 086 750	54 824 000
Energibehov (kWt)	39 600	79 200	118 800	158 400
Energikostnad (kr)	39 600	79 200	118 800	158 400
Sum DK_el	39 600	79 200	118 800	158 400
DDK_el, 5 år	179 088	358 176	537 264	716 352
Sum eldrift over 5 år	16 791 338	29 707 676	42 624 014	55 540 352
Sum dieseldrift over 5 år	1 751 447	2 109 623	2 682 705	3 040 881
Lønnsomhet over 5 år	-15 039 891	-27 598 053	-39 941 309	-52 499 471

Analysen viser at underskuddet vil være omtrent 40 millioner over 5 år gitt at kjøreledningen blir trafikkert av ett middels lastet vogntog med 30 turer hver dag.

Tabell 15. Lønnsomhetsvurdering for strømskinne ved ulike verdier for energibehov per tur.

Energibehov (kWt per tur)	3	6	9	12
Lengdebehov infrastruktur (km)	0,7	1,4	2,0	2,7
Pris infrastruktur(kr)	21 579 750	43 159 500	64 739 250	86 319 000
Pris kjøretøy, el (kr)	4 450 000	4 450 000	4 450 000	4 450 000
Sum IK_el	26 029 750	47 609 500	69 189 250	90 769 000
Energibehov (kWt)	39 600	79 200	118 800	158 400
Energikostnad (kr)	39 600	79 200	118 800	158 400
Sum DK_el	39 600	79 200	118 800	158 400
DDK_el, 5 år	179 088	358 176	537 264	716 352
Sum eldrift over 5 år	26 208 838	47 967 676	69 726 514	91 485 352
Sum dieseldrift over 5 år	1 751 447	2 109 623	2 682 705	3 040 881
Lønnsomhet over 5 år	-24 457 391	-45 858 053	-67 043 809	-88 444 471

Analysen viser at underskuddet vil være omtrent 67 millioner over 5 år gitt at kjøreledningen blir trafikkert av ett middels lastet vogntog med 30 turer hver dag.

Det er flere komponenter som ikke er tatt med i beregningen, men som vil påvirke resultatet, blant annet restverdi på investering, andre kjøretøykostnader (parkering, årsavgift, vedlikehold), redusert utslipp av klima- og miljøgasser, bruksverdi for andre kjøretøygrupper (f.eks. buss/personbil). Dette kan føre til at en elektrifisering blir mer gunstig enn det som er fremstilt her.

5.9 Konklusjon for democase i Trondheim

Basert på de forutsetningene og antagelsene som er presentert i rapporten, viser kostnadsanalysen at det mest kostnadseffektive alternativet er endepunktlading. Både konduktiv og induktiv statisk lading krever 2,5-5 million kroner i ekstra midler for å ikke føre til tap for den som gjør investeringen. Det bemerkes at utregningen er gjort for ett kjøretøy, og det kan hende at fremføring av strøm blir billigere per kjøretøy dersom det investeres i flere kjøretøy. Det bemerkes også at OppCharge-pantografen kan benyttes av flere kjøretøy, dog ikke samtidig.

Dynamisk lading langs veg fremstår som det minst lønnsomme alternativet, spesielt strømskinne. Det er også en stor usikkerhet knyttet til driftsikkerhet, da dette er en relativt uprøvd teknologi. Det er også uvisst hvordan kommunikasjon mellom software-løsninger (kjøretøy, batteri, infrastruktur) vil fungere, og ikke minst hvor mye kostnaden til dette vil være.

6 Democase Oslo

I dette democaset er det vurdert to strekninger i Oslo-området:

Case Alnabru: Her er det vurdert elektrifisering av containertransport som går i skyttel mellom Oslo Havns containerterminal og BaneNors jernbaneterminal på Alnabru.

Case Klemetsrud: Her er det vurdert elektrifisering av transport av flytende karbon mellom Klemetsrudanlegget AS i Oslo Kommune og Sydhavna.

I dette caset er det kun sett på statisk lading. En detaljert beskrivelse finnes i mulighetsstudiet gjennomført av Flowchange (Sæther, 2017). Informasjon og detaljer som er benyttet for democase Oslo er hentet fra denne rapporten hvis ikke noe annet er spesifisert.

6.1 Energibehov

En oversikt over resultatene er vist i Tabell 16. For hver rute er det presentert et totalt energiforbruk og potensiale for regenerering av energi. Merk at potensialet for regenerering er et maksimum, og forutsetter dermed at all bremsing på ruten foregår med regenerering.

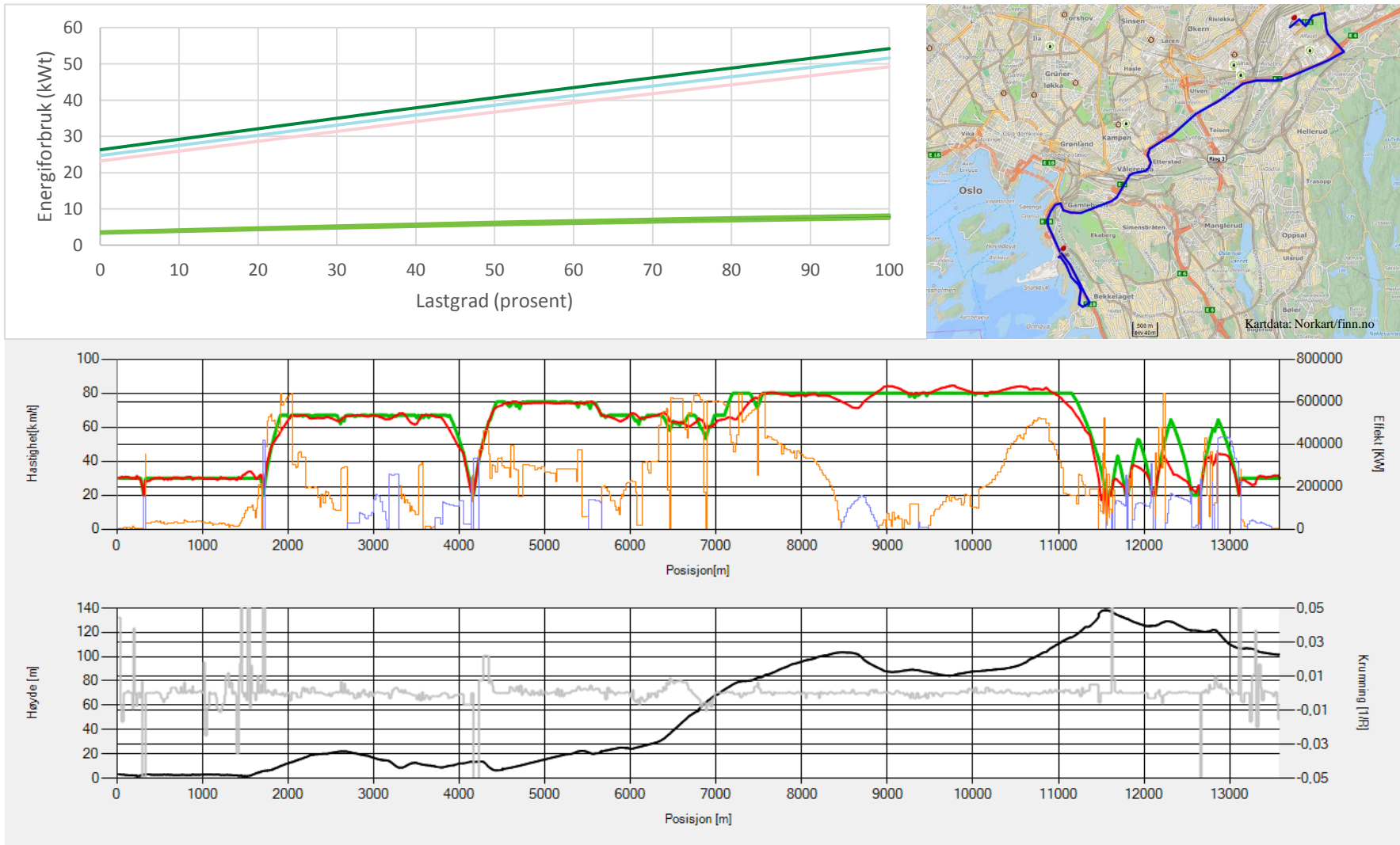
Tabell 16. Energiforbruk og regenerativt potensiale er vist med en lav og høy verdi basert på henholdsvis ingen og maksimal lastvekt. Snittfarten er beregnet for et fullastet kjøretøy.

Rute	Snittfart (km/t)	Lengde (km)	Totalforbruk (kWt)	Regenerativt potensiale (kWt)
Oslo Havn – Alnabru, kjøretøy A	~50	~13	~[23 - 50]	~[4 - 8]
Alnabru – Oslo Havn, kjøretøy A	~52	~13	~[13 - 26]	~[6 - 16]
Oslo Havn - Klemetsrud, kjøretøy A	~63	~12	~[25 - 55]	~[3 - 8]
Klemetsrud – Oslo Havn, kjøretøy A	~67	~12	~[15 - 26]	~[8 - 21]

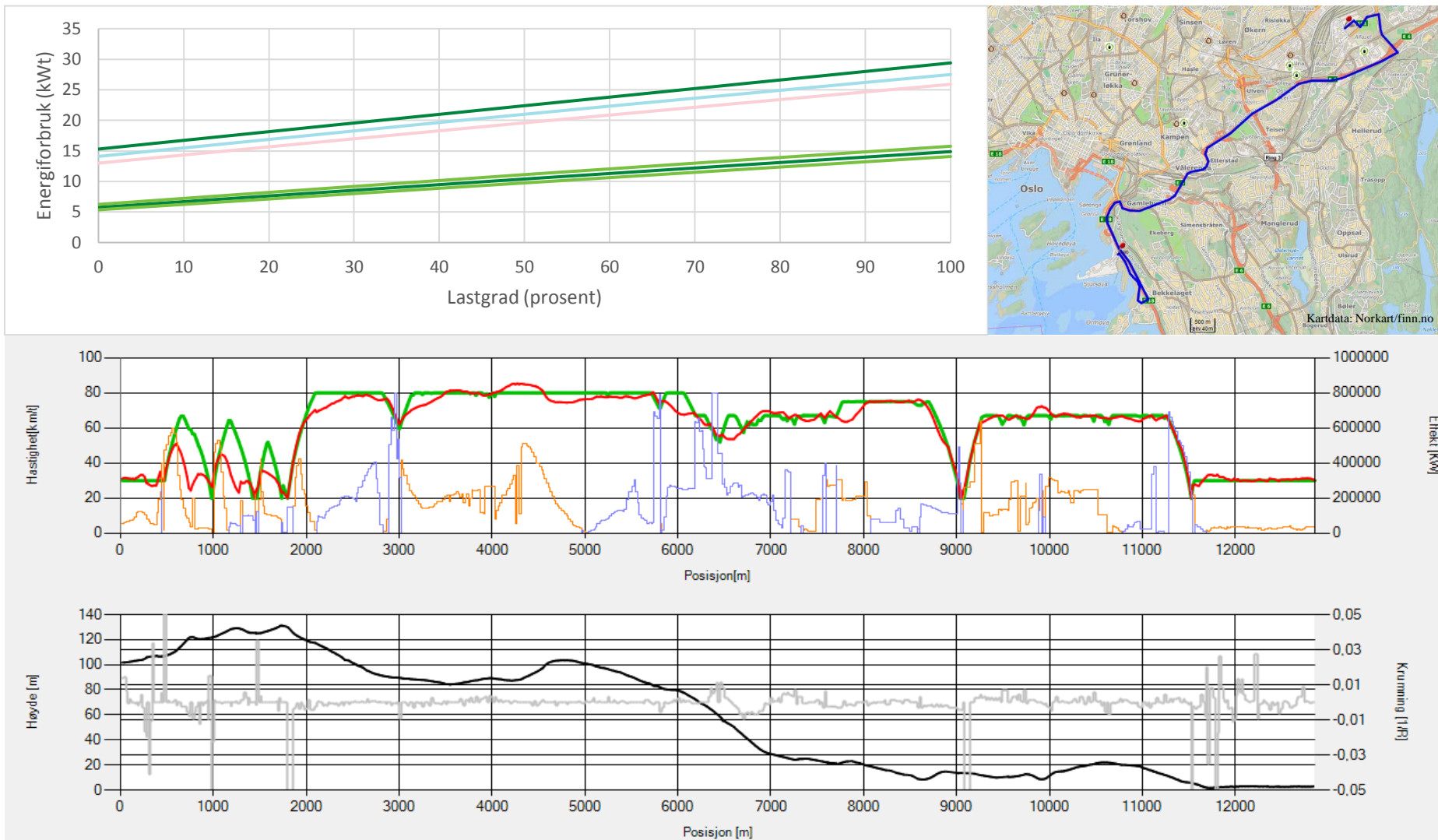
Videre i kapittelet er det vist detaljerte beregninger for hver rute, med følgende figurer:

- **Energiforbruk som funksjon av lastgrad:** Her er lastgrad definert som prosentvis utnyttelse av total lastvekt i tonn. Den blå linjen viser beregnet energiforbruk (mørk blå), og variasjon i energiforbruk ved ulike parameterverdier (lys blå). Den grønne linjen viser potensiale for regenerering av bremseenergi, og variasjonen som følge av endring i parameterverdier (lys grønn).
- **Kart som viser kjørerute.**
- **Fartsprofil:** Den røde linjen viser beregnet fart langs ruten. Den oransje linjen viser effektbehov, mens den blå linje viser bremseeffekt. Den grønne linjen er en mellomberegning av fart, og kan sees bort fra i denne sammenhengen.
- **Geometrisk profil:** Svart linje viser høydeprofil, mens den grå viser krumningsprofil

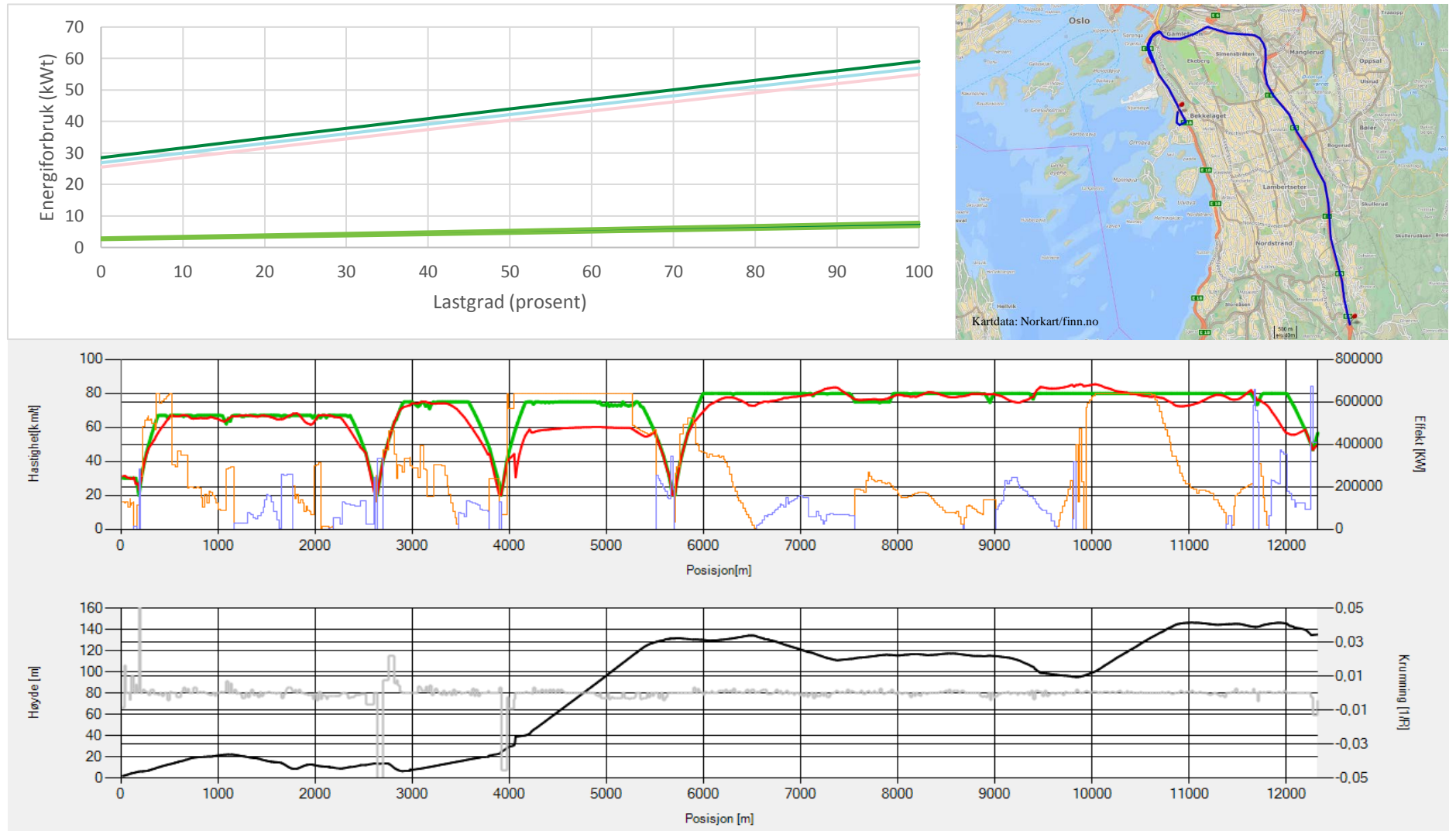
6.1.1 Oslo Havn – Alnabru, kjøretøy A



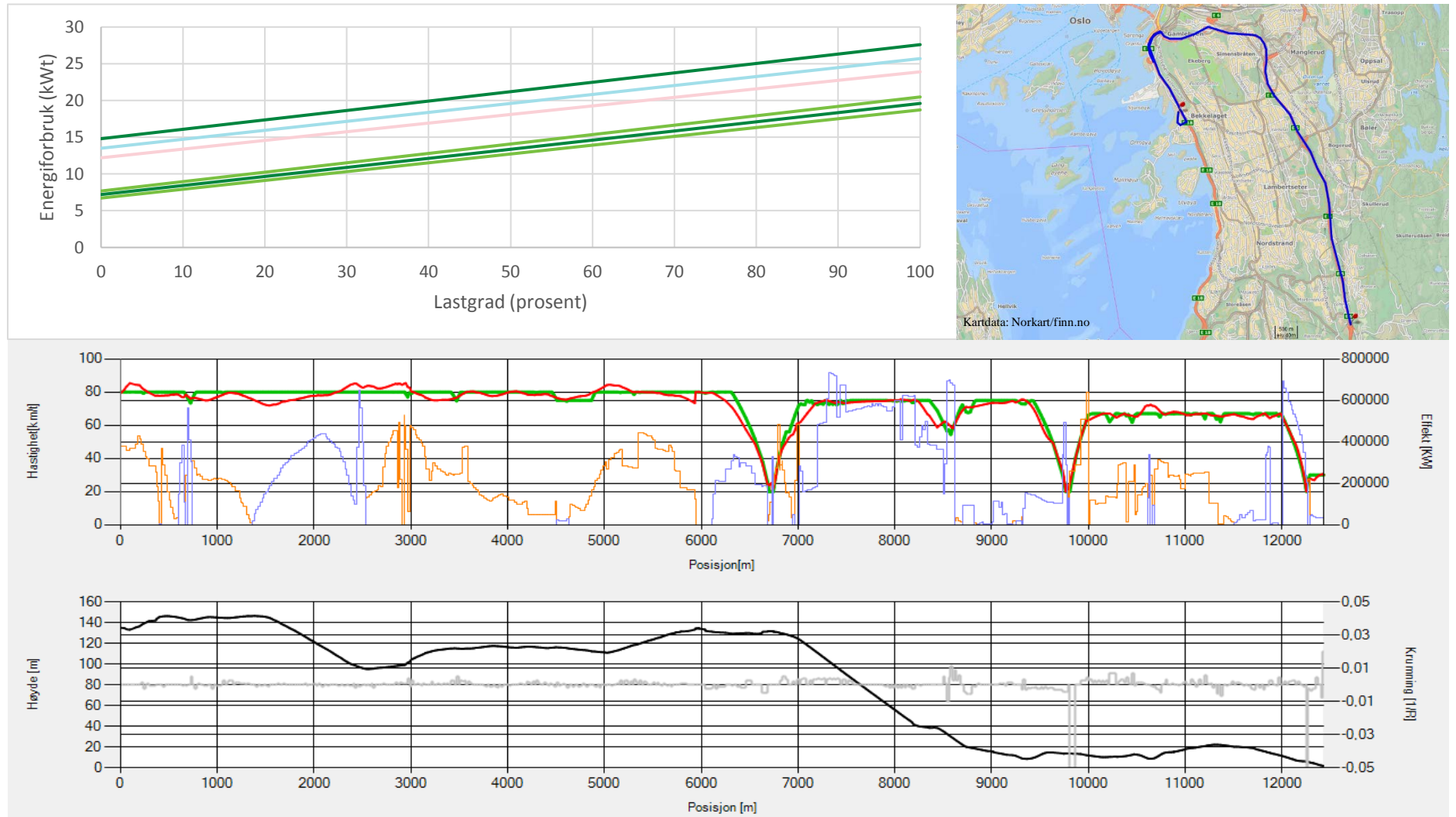
6.1.2 Alnabru – Oslo Havn, kjøretøy A



6.1.3 Oslo Havn - Klemetsrud, kjøretøy A



6.1.4 Klemetsrud – Oslo Havn, kjøretøy A



6.2 Praktiske vurderinger av teknologi for democase

Som for democasen i Trondheim er det gjort vurderinger av hvilke forutsetninger som skal gjelde for teknologivurderinger og kostnadsanalyse. For Case Alnabru er det anslått et behov for omtrent 20 enkeltturer per virkedag, mens det for Case Klemetsrud er anslått et behov for omtrent 80 enkeltturer per virkedag. Fordi det er kun sett på statisk lading i dette caset, er det gjort kostnadsanalyser for én bil på hver strekning. Dette på grunn av at kostnadsanalysen kun baserer seg på enkeltkjøretøykostnader, med unntak av fremføring av strøm. Dermed kan en skalere opp kostnadsanalysen til ønsket antall kjøretøy, og trekke fra kostnader knyttet til fremføring av strøm.

I tillegg er det gjort følgende forutsetninger for kjøremønster, energibetraktninger og øvrig trafikk:

Kjøremønster

Kjøretid er estimert til 20 minutter hver veg hvis en ser bort fra trafikale forsinkelser. Det er antatt at det på en gjennomsnittlig dag er 10 turer t/r per kjøretøy.

Ladetid

For konduktiv endepunktslading er det antatt at det er 1 time i løpet av arbeidsdagen der kjøretøyet kan lades. For induktiv lading er det antatt at kjøretøyet lades når det står i ro, både i hvert endepunkt og utenom driftstid.

Temperatur

Det er antatt at temperatur er normal, det vil si at det ikke er tatt hensyn til drift ved så lave temperaturer at batteriets drift blir påvirket. Batterier vil vanligvis lades fortere ut ved kulde, men det er vanskelig å finne konkrete tall på hvordan denne sammenhengen er.

Energibetraktninger

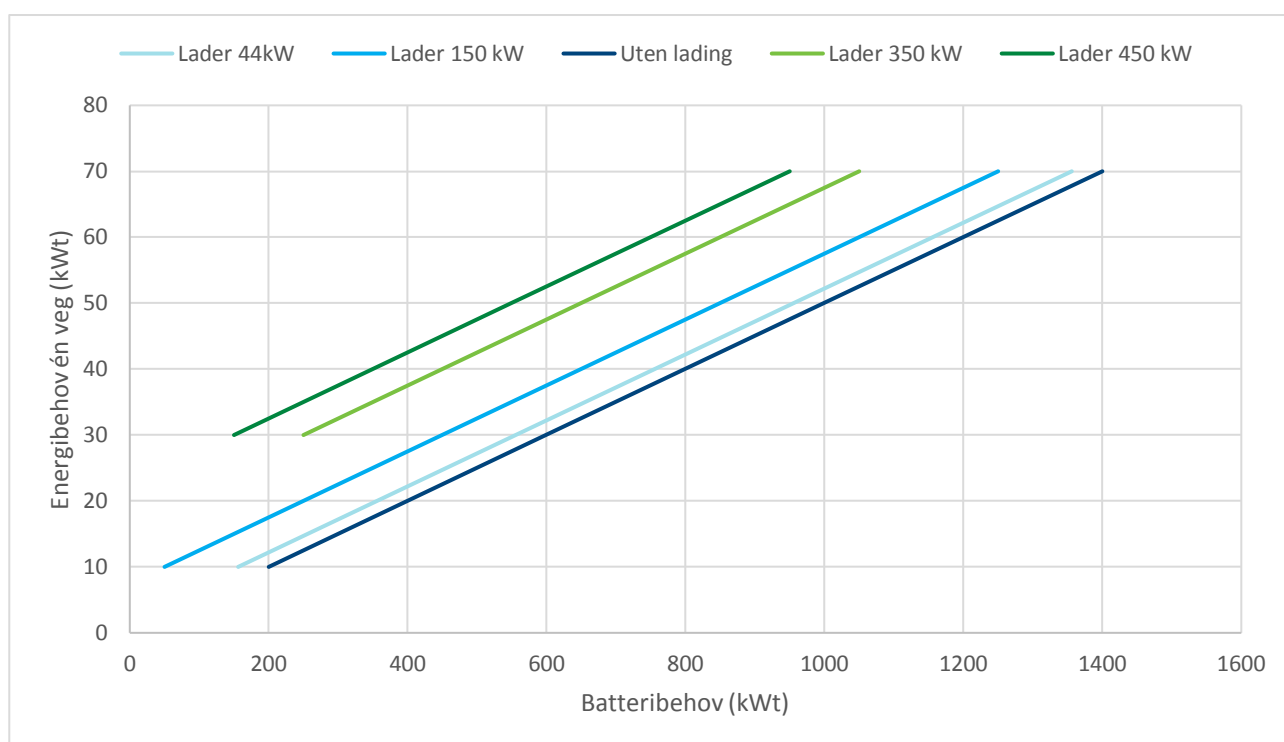
Det er forutsatt at kjøretøyet har en motor på 250 kW, med en batteristørrelse på 240 kWt. Det er utstyrt med en 44 kW lader for lading utenom driftstid.

Basert på forutsetningene er det beregnet behov og krav knyttet til statisk endepunktslading. For hver løsning er det sett på om det er mulig å drifte et elektrisk kjøretøy, eller om det går tom for strøm undervegs.

6.2.1 Konduktiv endepunktslading

Ved konduktiv endepunktslading er det her antatt at batteriet blir ladet i én time i løpet av en driftsperiode på 10 timer. Det som avgjør hvorvidt kjøretøyet kan operere ut driftsperioden er hvor

stor kapasitet batteriet har, hvor mye det blir ladet i løpet av den ene timen, og hvor mye energi som blir tappet per tur. Denne sammenhengen er vist i Figur 11. Den viser batteribehovet for både en situasjon uten lading i driftsperioden, og ved ladeeffekter på 44, 150, 350 og 450 kW, som funksjon av energiforbruk. Fra forrige kapittel ser vi at energiforbruket er avhengig av lastgrad, og at et middels lastet vogntog forventes å forbruke totalt ca 65 kWt t/r i begge case. Fra figuren kan det leses at batteribehov blir omtrent 600 kWt med en 44 kW lader, og omtrent 250 kW med en 350 kW lader. Det vil si at med den oppgitte batterispesifikasjonen (240 kWt), er en avhengig av en 350 kW lader for å kunne gjøre 10 turer hver dag. Det vil også kreve at ladepausen på 1 time fordeles utover arbeidsdagen, da batteriet kun har kapasitet til 3 turer t/r før batteriet på 240 kWt må lades. Hvis en reduserer antall turer til 8 og øker pausetiden til 1,5 timer kan en klare seg med en lader på 150 kW.

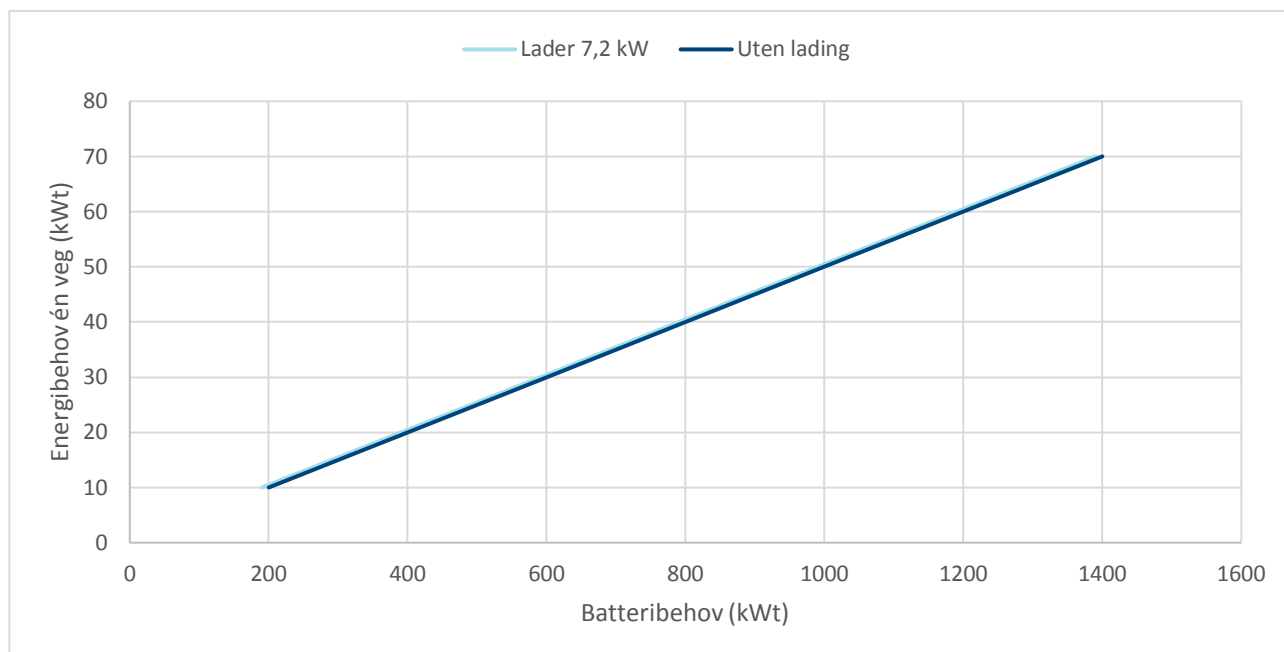


Figur 11. Batteribehov for kjøretøy som funksjon av energibehov og ladeeffekt ved konduktiv endepunktslading.

6.2.2 Induktiv endepunktslading

Ved induktiv endepunktslading er det her antatt at batteriet blir ladet i 5 minutter i hver ende i driftsperioden. Det som avgjør hvorvidt kjøretøyet kan operere ut driftsperioden er hvor stor kapasitet batteriet har, hvor mye det blir ladet i løpet hvert stopp, og hvor mye energi som blir tappet per tur. Denne sammenhengen er vist i Figur 12. Den viser batteribehovet for både en situasjon uten lading i driftsperioden, og ved ladeeffekt på 7,2 kW, som funksjon av energiforbruk. På grunn av den lave

effekten til laderen, og den lange operasjonstiden sammenlignet med ladeperiode, ser vi at induktiv lading vil ha tilnærmet null effekt.



Figur 12. Batteribehov for kjøretøy som funksjon av energibehov og ladeeffekt ved induktiv endepunktlading.

6.3 Kostnadsanalyse for democase

Basert på de kostnadstallene som er presentert nedenfor er det foretatt en analyse av lønnsomhet for den foreslåtte strekningen i Oslo. Analysen gjøres over en 5-årsperiode for hver teknologi. På grunn av den lave effekten på induktive ladere, er det kun sett på lønnsomhet av plug-in ladere, da med effekter på 150 og 350 kW.

Tabell 17. Oppsummering av kostnader (NOK).

Komponent	Plug-in lader (150 kW)	Plug-in lader (350 kW)	OppCharge (450 kW)	Nullalternativ
Kjøretøy	3 500 000	3 500 000	3 525 000	1 250 000
Endepunktlader	250 000	1 100 000	3 000 000	-
Fremføring av strøm	450 000	450 000	450 000	

Fremføring av strøm er satt til 450 000 kr basert på de kostnadstall som ble satt i democase for Trondheim. Det antas her at forholdene i Oslo, og spesielt på Oslo Havn og Alnabru, er bedre

tilrettelagt for fremføring enn i Trondheim. Dette på grunn av at det allerede er strømkrevende infrastruktur i området til terminalvirksomhet.

Analysen er basert på kostnadsestimat for investering og drift av ett elektrisk kjøretøy sammenlignet med ett dieselkjøretøy, der lønnsomhet er uttrykt som med følgende formel:

$$L = (IK_{\text{diesel}} + DDK_{\text{diesel}}) - (IK_{\text{el}} + DDK_{\text{el}})$$

hvor IK er investeringskostnader og DDK er diskonterte driftskostnader. Det er ikke tatt hensyn til eventuell restverdi av investeringer eller kostnader til vedlikehold. For å beregne driftskostnader er det benyttet en strømpris på 1 kr/kWh, en dieselpriis på 12 kr/l, og et driftsmønster som forutsatt for energiberegningene tidligere i kapittelet. For dieselkjøretøy påløper det bompenger i hver kjøretretning, 118,80 kr i rush (06:30 til 09:00 og 15:00 til 17:00) og 91,80 kr ellers, gitt rabattavtale og EURO IV-kjøretøy. Det er antatt at halvparten av turene kjøres i rushperioden.

Nullalternativet er at strekningen trafikkeres av et dieselkjøretøy som følger kjøremønsteret som presentert tidligere, altså 8 eller 10 turer t/r hver dag, 220 dager i året. Den detaljerte kostnadsbeskrivelsen for nullalternativet er vist i Tabell 18 og Tabell 19.

Tabell 18. Kostnadsbeskrivelse for nullalternativet ved ulike verdier for energibehov per tur ved kjøremønster på **8 turer** per dag.

Energibehov (kWh per tur)	25	30	35	40
Dieselbehov (l/tur)	6,5	7,9	9,3	10,7
Pris kjøretøy, diesel (kr)	1 250 000	1 250 000	1 250 000	1 250 000
Sum IK_diesel	1 250 000	1 250 000	1 250 000	1 250 000
Dieselbehov (l)	22 880	27 808	32 736	37 664
Dieselskostnad (kr)	274 560	333 696	392 832	451 968
Bomkostnader (kr)	370 656	370 656	370 656	370 656
Sum DK_diesel	645 216	704 352	763 488	822 624
DDK_diesel, 5 år	2 917 942	3 185 380	3 452 819	3 720 257
Sum dieseldrift over 5 år	4 167 942	4 435 380	4 702 819	4 970 257

Tabell 19. Kostnadsbeskrivelse for nullalternativet ved ulike verdier for energibehov per tur ved kjøremønster på **10 turer** per dag.

Energibehov (kWt per tur)	25	30	35	40
Dieselbehov (l/tur)	6,5	7,9	9,3	10,7
Pris kjøretøy, diesel (kr)	1 250 000	1 250 000	1 250 000	1 250 000
Sum IK_diesel	1 250 000	1 250 000	1 250 000	1 250 000
Dieselbehov (l)	28 600	34 760	40 920	47 080
Dieselskostnad (kr)	343 200	417 120	491 040	564 960
Bomkostnader (kr)	463 320	463 320	463 320	463 320
Sum DK_diesel	806 520	880 440	954 360	1 028 280
DDK_diesel, 5 år	3 647 428	3 981 725	4 316 023	4 650 321
Sum dieseldrift over 5 år	4 897 428	5 231 725	5 566 023	5 900 321

Lønnsomhetsvurderingene for endepunktslading er vist i Tabell 20 til Tabell 22. For et middels lastet vogntog med forbruk på 65 kWt t/r, viser analysen viser at lønnsomheten vil være marginalt negativ over 5 år for en lader på 150 kW. Dersom en klarer å utnytte lastekapasiteten fullt ut vil lønnsomheten være positiv. For en lader på 350 kW er en avhengig av å utnytte lastekapasiteten for at det skal bli lønnsomt. En invertert pantograf vil gå ca 2 mill kr i minus, men her kan det påpekes at lønnsomheten endres betraktelig dersom flere kjøretøy benytter seg av samme OppCharge-lader.

Tabell 20. Lønnsomhetsvurdering for plug-in endepunktslading (150kW) ved ulike verdier for energibehov per tur.

Energibehov (kWt per tur)	25	30	35	40
Pris infrastruktur(kr)	700 000	700 000	700 000	700 000
Pris kjøretøy, el (kr)	3 500 000	3 500 000	3 500 000	3 500 000
Sum IK_el	4 200 000	4 200 000	4 200 000	4 200 000
Energibehov (kWt)	88 000	105 600	123 200	140 800
Energikostnad (kr)	88 000	105 600	123 200	140 800
Sum DK_el	88 000	105 600	123 200	140 800
DDK_el, 5 år	397 974	477 568	557 163	636 758
Sum eldrift over 5 år	4 597 974	4 677 568	4 757 163	4 836 758
Sum dieseldrift over 5 år	4 167 942	4 435 380	4 702 819	4 970 257
Lønnsomhet over 5 år	-430 031	-242 188	-54 344	133 499

Tabell 21. Lønnsomhetsvurdering for plug-in endepunktslading (350 kW) ved ulike verdier for energibehov per tur.

Energibehov (kWt per tur)	25	30	35	40
Pris infrastruktur(kr)	1 550 000	1 550 000	1 550 000	1 550 000
Pris kjøretøy, el (kr)	3 500 000	3 500 000	3 500 000	3 500 000
Sum IK_el	5 050 000	5 050 000	5 050 000	5 050 000
Energibehov (kWt)	110 000	132 000	154 000	176 000
Energikostnad (kr)	110 000	132 000	154 000	176 000
Sum DK_el	110 000	132 000	154 000	176 000
DDK_el, 5 år	497 467	596 960	696 454	795 947
Sum eldrift over 5 år	5 547 467	5 646 960	5 746 454	5 845 947
Sum dieseldrift over 5 år	4 897 428	5 231 725	5 566 023	5 900 321
Lønnsomhet over 5 år	-650 039	-415 235	-180 430	54 374

Tabell 22. Lønnsomhetsvurdering for OppCharge (450 kW) ved ulike verdier for energibehov per tur.

Energibehov (kWt per tur)	25	30	35	40
Pris infrastruktur(kr)	3 450 000	3 450 000	3 450 000	3 450 000
Pris kjøretøy, el (kr)	3 525 000	3 525 000	3 525 000	3 525 000
Sum IK_el	6 975 000	6 975 000	6 975 000	6 975 000
Energibehov (kWt)	110 000	132 000	154 000	176 000
Energikostnad (kr)	110 000	132 000	154 000	176 000
Sum DK_el	110 000	132 000	154 000	176 000
DDK_el, 5 år	497 467	596 960	696 454	795 947
Sum eldrift over 5 år	7 472 467	7 571 960	7 671 454	7 770 947
Sum dieseldrift over 5 år	4 897 428	5 231 725	5 566 023	5 900 321
Lønnsomhet over 5 år	-2 575 039	-2 340 235	-2 105 430	-1 870 626

Også her er det flere komponenter som ikke er tatt med i beregningen, men som vil påvirke resultatet, blant annet restverdi på investering, andre kjøretøykostnader (parkering, årsavgift, vedlikehold), og redusert utslipp av klima- og miljøgasser. Dette kan føre til at en elektrifisering blir mer gunstig enn det som er fremstilt her.

6.4 Konklusjon for democase i Oslo

Basert på de beregninger som er gjort for democaset i Oslo, er det tydelig at elektrifisering i form av endepunktslading kan være lønnsomt for den som investerer. Lønnsomheten er svært avhengig av bruken, for eksempel antall turer per dag og lastgrad. Dette vil igjen påvirke energibehovet, og besparelse ved bruk av strøm i stedet for diesel.

Induktiv lading er sett på som lite passende på grunn av den lave effekten som blir overført i forhold til effektbehovet.

7 Oppsummering og anbefalinger for gjennomføring av tilsvarende vurderinger

Rapporten har hittil beskrevet et eksempel på fremgangsmåte for å kartlegge lønnsomheten for elektrifisering i to bestemte democase. For democaset i Trondheim er det vurdert både statisk og dynamisk lading. Gitt den antatte mengden som transporteres vil det kreve store investeringskostnader å få tilrettelagt for dynamisk lading i form av kjøreledning eller strømskinne. For statisk lading i form av plugin- eller induktiv lading er det ikke så store investeringskostnader som kreves. For Oslo-caset er det kun vurdert statisk lading, og plug-in ladere fremstår som marginalt lønnsomme over en 5-års periode.

I løpet av prosjektet er det blitt gjort noen erfaringer som kan komme til nytte dersom man vil gjennomføre lignende arbeid i andre democase:

Energiberegningene er gjort med et henholdsvis nytt verktøy. Det vil si at det kan komme flere forbedringer i årene som kommer med tanke på både parameterverdier og funksjoner. Det kan også hende at bruken blir enklere, og dermed mindre tidkrevende. Energiberegningene har muligheter for relativt detaljerte beregninger, slik at jo flere detaljer en kan bestemme seg for på forhånd, jo sikrere blir resultatet.

Å innhente priser på teknologi som ikke er hylleware kan være utfordrende. Det finnes aktører som kan gi priser, men prisene er generelt basert på et begrenset erfaringsgrunnlag. Det er også slik at prisene kan være lokasjonsavhengige, basert på tilgjengelig strøm, personell, utstyr, og lokasjonens egnethet for elektrifisering på generell basis. Kostnadsanalysene er basert på et begrenset sett med prissatte elementer. Det vil si at det er andre elementer som kan påvirke resultatene begge veier, for eksempel vedlikeholdskostnader, restverdi, mernytte osv. Priser kan også utvikle seg i løpet av analyseperioden (her 5 år). Drivstoff- og strømpriser er relativt stabile, men eventuelle endringer her kan føre til en stor endring i kostnadsbildet.

For å få til lønnsom dynamisk lading er en avhengig av at lønnsomheten til driftsperioden blir stor, på grunn av den store investeringskostnaden som må tjenes inn. Det vil si at i tilfeller med den riktige kombinasjonen av trafikkvolum og energibehov, kan føre til positive tall over en femårsperiode. Et viktig moment ved lønnsomhetsvurderingene er at det er kun tatt i betraktning at det er ett kjøretøy som skal benytte seg av løsningen. For endepunktslading er dette kanskje tilfelle, eventuelt at et noe høyere antall kjøretøy benytter seg av endepunktslading. For lading langs veg blir situasjonen en annen. For hvert diesel-kjøretøy som blir erstattet av et el-kjøretøy, vil driftskostnader reduseres. En kan videre tenke seg at det finnes ett punkt hvor det er så mange el-kjøretøy som benytter seg av infrastrukturen at det kan forsvare investeringskostnaden. Dette punktet kan finnes ved å foreta lønnsomhetsvurderingen for økende antall kjøretøy.

8 Fremtidig forskningsbehov

Analysen viser at både for begge democase kan endepunktslading være lønnsomt på egen hånd, uten subsidier. For dynamisk lading er situasjonen annerledes. Dette er relativt kostbare investeringer, men med de rette forutsetningene kan dette bli lønnsomt. Studien til Wietshcel m.fl. (2017) peker også på at det er mulig å få til kostnadseffektive løsninger for kjøreledning, men at det krever statlig finansiering på grunn av den høye investeringskostnaden. Vår analyse viser at energibehov og antall kjøretøy er avgjørende for at dette skal bli lønnsomt. Det vil si at et naturlig neste steg vil være å identifisere slike strekninger ved å gjøre en nettverksanalyse basert på trafikkmengde og geometri.

Det bør også ses nøyere på hvilke utfordringer som ligger i strømforsyning. Elektrifisering har et stort potensiale i områder med mye trafikk og stort energibehov, som ofte ligger i bynære strøk. Dermed kan det oppstå et fordelingsproblem dersom tungtrafikken skal kobles på et allerede høyt belastet strømnnett.

Et siste forskningsbehov ligger i å kartlegge aktørers holdning til elektrifisering. Sjåførere får en endret arbeidssituasjon, kjøretøyprodusenter må reorganisere produktporteføljen sin, logistikkfirma som mister litt av fleksibiliteten med fossildrevne kjøretøy, og andre trafikanter må forholde seg til nye løsninger ved en eventuell lading langs veg. Dersom det skal bygge infrastruktur for lading langs eller på eksisterende veg, kan dette medføre ulemper for trafikanter i form av redusert fremkommelighet. Byggeprosessen må også avklares med vegeier for å sikre tilfredsstillende drift av kollektivtransport, og god nok fremkommelighet for andre trafikanter. Dette er tema som med fordel kan tas opp i forkant av en elektrifisering av korte, tunge transportert.

Referanser

- Erberveld, M., and F. ten Wolde. (2016): *An exploratory investigation into dynamic charging on main roads*. Rijkswaterstaat.
- Hill N., Finnegan, S., Norris J., Brannigan C., Wynn D., Baker H. og Skinner I. (2011) *Reduction and Testing of Greenhouse Gas (GHG) Emissions from Heavy Duty Vehicles – Lot 1: Strategy*. Prepared by AEA and Ricardo for European Commission – DG Climate Action, DG ENV. 070307/2009/548572/SER/C3.
- Hjelkrem, O. A., Arnesen, P., Rennemo, O., Dahl, E., Thorenfeldt, U. K., Kroksæter, A. og Malmin, O. K. (2017): *Kjøretøybasert beregning av fart, energi og utslipp*. SINTEF rapport 2017:00031.
- Raanes, B. A. og Aarland, R. (2017): *Rapport godsprosjektet Torgård – Heggstadmoen. Forprosjekt regional godsanalyse*. Sør-Trøndelag Fylkeskommune.
- Sæther, E. (2017): *Mulighetsstudie: Elektrifisering av tungtransport. Oslo Havn – Alnabru. Klemetsrudanlegget – Oslo Havn*. Flowchange.
- Wietschel, M., Gnann, T., Kühn, A., Plötz, P., Moll, C., Speth, D., ... & Frik, W. (2017): *Machbarkeitsstudie zur Ermittlung der Potentiale des Hybrid-Oberleitungs-Lkw. Studie im Rahmen der wissenschaftlichen Beratung des BMVI zur Mobilitäts- und Kraftstoffstrategie der Bundesregierung*. Fraunhofer ISI, Karlsruhe, Fraunhofer IML, Dortmund, PTV Transport Consult GmbH, Stuttgart, Karlsruhe, TU Hamburg-Harburg, Hamburg, M-Five, Karlsruhe, Germany.

A Vedlegg: Referat fra workshop

Workshop: Elektrifisering av varetransport i området Sandmoen – Torgård – Heggstadmoen i regi av Sør-Trøndelag fylkeskommune (STFK), Statens Vegvesen Vegdirektoratet (SVV) og SINTEF

Tidspunkt: 22.Juni 2017 kl. 09-12

Sted: ASKO Midt-Norge

Deltakere: 22 (Deltagerliste vedlagt).

Agenda:

- 1. Bakgrunn for prosjektet, Statens Vegvesen Vegdirektoratet**
- 2. Elektrifisering av godstransport, Sør-Trøndelags Fylkeskommune**
- 3. Jernbanedirektoratet - Godsterminal på Torgård med nullutslipp?**
- 4. Støtteordninger hos Enova**
- 5. Elektrifisering i ASKO**
- 6. Diskusjon med innspill fra private aktører**
- 7. Norwegian electric Roads Cluster (NERC)**
- 8. Tilbakemeldinger og avsluttende diskusjon**

1. Bakgrunn v/ Statens Vegvesen Vegdirektoratet

SINTEF utarbeider et mulighetsstudie for dette området med konkretisering av konsepter og kostnader. Studiet skal være ferdig til 2. Oktober 2017. I Oslo utarbeides det et notat med samme innhold innen 1. November.

Sandmoen/Heggstadmoen/Torgård blir sett på som et velegnet demonstrasjonsområde med noen få km strekning i hesteko. Området har mye transport og er godt egnet for elektrifisering. Benytter man krysningen mellom rutene skissert er det kun nødvendig å elektrifisere 700m hver vei.

Tilbakemeldinger fra salen tilsa at det er på høy tid med et slikt type prosjekt, og det er viktig å få frem spydspisser som trimmer andre også. Så lenge ingen markerer seg i dette markedet lever vi godt på gamle løsninger.

Deltakerne mener at det ligger en utfordring knyttet til politisk engasjement: Infrastruktur for å håndtere dette blir ikke nevnt politisk, det er kun næringen som driver dette fremover. Det burde

åpnes for flere aktører enn bare EMOSS for disse løsningene. Avgjørende å få med de store produsentene.

2. Elektrifisering av godstransport, Bjørn-Arve Raanes, STFK

Fylkeskommunens rolle i prosjektet er overordnet og de ønsker å ha overblikk og legge til rette for felles forståelse og prioriteringer.

Heggstadmoen er valgt som mulig demonstrasjonsområde grunnet store godsmengder (5,5 mill. tonn), mange transporter (650 tunge hver dag hos kun noen få aktører) og på grunn av at den nye godsterminalen vil øke godsmengden ytterligere.

Det poengteres at nye transportkonsept er en mulighet ut over dette studiet, blant annet ved en naturlig forlengelse til ny godsterminal, og ut mot E39 når ELINGO-prosjektet står ferdig.

Etter spørsmål fra salen informeres det om at godsterminalen på Heggstadmoen er planlagt ferdig 01.12.2017. Sporet blir derimot ikke ferdig før 1.juni 2018, grunnet forsinket ferdigstilling av andre prosjekter. Det vil være begrenset kapasitet en periode. Brattøra og Heggstadmoen vil dele byrden frem til Torgård står ferdig. Det er ambisjoner om å få alle containere her på Eldrift.

3. Hans Einar Lundli, Jernbanedirektoratet - Godsterminal på Torgård med nullutslipp?

NTP (2018-2029) er behandlet, og logistikknutepunktet er lagt til Torgård for Trondheimsregionen. Torgård står ferdig (tidligst) etter 2029. Det ventes at planleggingen iverksettes snart.

Trinn 1 innbefatter løsning med sekketerminal uten tunell gjennom Vassfjellet (for gjennomkjøring). Kostnad sekketerminal er satt til 3,6 mrd. Her er 600 mill. avsatt til nye veiløsninger for tilkoblinger. En tunell som åpner for gjennomkjøring kommer kanskje etter hvert i trinn 2.

Jernbanedirektoratet vil levere handlingsplan innen 01.12.2017.

4. ENOVA: Arnt-Gunnar Lium – mulige støtteordninger

ENOVA tilbyr investeringsstøtte for å bidra til utvikling, innovasjon og miljøbesparelser. Det legges til rette for at bedrifter kan søke om å få støtte til 40% av merkostnadene i investeringen.

Hva faller utenfor: Personbiler, rene infrastrukturprosjekt, eller noe som støtter en enkelt leverandør.

5. Roger Sæther: Transportleder i ASKO - Elektrifisering i ASKO:

ASKOS ambisjon: Selvforsynt på ren energi innen 2020.

På bakgrunn av en vurdering foretatt av Volvo blir det sagt at det ikke er mulig å elektrifisere kjøretøy tyngre enn 20 tonn for lengre distanser.

ASKO har i samarbeid med Scania fått en hydrogenbil. Det vises til at systemkostnader for H₂ er litt høyere enn El, men krysspunktet kommer når man øker kjøreavstanden.

Kommentarer:

Tilbakemeldinger fra salen setter fokus på at utfordringer med pantograf må tas tak i, da dette utgjør store svingninger i strømbehov som kan bli problematisk for nett-eier å håndtere. Disse svingningene må jevnes ut.

For å oppnå en kommersiell løsning er det enighet om at flere aktører må inn. Det bør være fokus på ikke å ta fra markedsandelene til store aktører, heller legge til rette for samarbeid.

Volum er prisbestemmende for teknologien og løsningene.

Det stilles spørsmål om hvordan driftskostnader kan ses opp mot investeringskostnaden for konseptene, og ASKO informerer at de ser plusstall innen bilens levetid på 7 år, selv etter de har tatt merkostnaden for eget produksjonsanlegg.

6. Diskusjon – hva tenker de private aktørene om prosjektet:

ASKO: Veldig interessant med disse tankene. Riktig retning for vår del og godsneringen. En forlengelse av det vi allerede gjør.

Schenker: Vi er avhengige av innovative og nye løsninger for å finne gode driftsmessige løsninger, og det er viktig at noen går i bresjen. Vi representerer stykkgoods i Norge, og her er marginene små. Vi må derfor snakke lønnsomhet. Brukerne er ikke villige til å betale mer for å transportere miljøvennlig. Om ikke myndighetene legger på høye avgifter, men heller stimulerer nye løsninger, får vi en bedre konkurransemessig mulighet. Vi skal betjene et marked. Vi ligger jo rett ved ny

terminal på Heggstadmoen, men det er usikkerhet knyttet til hvor mye vi vil få av gods. Vi sitter nok litt på gjerdet enda.

Posten: Divisjonen Post med småbiler. Vi dekker 93% av Trondheim med elektriske biler, hvorfor skal ikke dette også fungere for lastebiler?

Lastebilforbundet: Investeringene våre har korte tidsperspektiv, og vi må bare etterspørre de riktige konseptene, så retter bransjen seg etter dette. Det er viktig at politikere er tøffe nok i beslutninger. Miljøpakken baserer seg på inntekt av det man setter til livs. Vi burde heller sagt at man skal ha nullutslipps-områder for eksempel i Trondheim, men da hadde man konkurransatt miljøpakken, noe som gir en vegring for å gå inn for dette. Det er et paradoks at de investeringene miljøpakken skal gjøre baserer seg på de løsningene vi har i dag.

DSV: Ligger like ved midlertidig terminal. Konseptet er bra, det er utfordrende med såpass mange brukere. Det vil være behov for store investeringer, slik at økonomien blir vanskelig.

Posten: Klimamålene er nådd, og nå skal det jobbes med nye mål for tyngre kjøretøy. Mye må over på jernbane, men alt kan ikke gå på bane. Dette er derfor interessant for oss, og vi ønsker et videre innovativt samarbeid.

Posten (Grønn del): Området er begrenset i hestesko med få km. Tankene her er spennende, men jeg er enig med tidligere uttalelser om at vi har premissgivere i form av kunder. Det er en fin balansegang i dette lav-margins markedet.

Det presenteres to mulige løsninger:

Løsning A: Etablere tjeneste med frakt fra Heggstadmoen med en aktør. Hva tenker næringen om det?

Kommentarer:

Hvem skal få leveranser først? Alle vil ha tidlig om morgenen. Da hadde det vært behov for flere slike biler som kan gjennomføre disse leveransene samtidig. Nå er det omtrent 15-20 biler på den terminalen samtidig tidlig om morgenen.

Avfallshåndteringen er nok nærmere skytteltrafikk og kunne vært mulig.

Løsning B: Etablere kjøreledning på Sandmoen ca. 700 m. Om tunge kjøretøy skal benytte denne strekningen må de benytte seg av kjøreledningen, investere i pantograf og kjøre elektrisk.

Det konkretiseres etter spørsmål at dette innlemmer intertransporten på området, og ikke all transport som går inn og ut av området.

Kommentarer:

Vanskelig å forestille seg med at det blir en såpass liten andel av de som benytter veien vil bli utstyrt med denne løsninger. Det er et fåtall som går hele tiden i dette området. Da får du ikke den virkningen du ønsker.

En slik trasse må ikke gå hele veien. I tillegg til å bedrive rangering mellom Heggstadmoen og ASKO kunne vi hatt en elektrisk trekker som bedriver mellom ASKO og for eksempel Bring. En slik sak kunne gått store deler av døgnet. En slik løsning må jo komme sammen med en prioritering på terminalen på Heggstadmoen.

Viktig å se helheten i dette og være åpen for flere muligheter, samt tilrettelegging for samhandling mellom flere aktører.

Hvor mange kjøretøy er det vi ser for oss? Det skal jo gi svar på noe i prosjektsammenheng. Det er flere faste ruter i området mot Bring eller Schenker, og der er det kanskje litt å hente for volum og fast kjøring som gir muligheter.

Om man spør vareeierne i området hvilke faste ruter man har, så kan man identifisere faste ruter, som kan kjøres inn i prosjektet. Da forstyrrer man ikke resten av transporten i området, og det blir enklere å sette i gang.

Løsningen kan fungere bra for korte, veldig faste ruter.

Det ble identifisert noen få slike faste ruter:

- Retura til fjernvarmeanlegget
- Asko har slike ruter, kommer tilbake med konkret. Samme med Bring.
- Posten har tre biler om dagen som henter containere.

Det presiseres at initiativtakerne ikke må misforstå tilbakeholdenheten til næringen, for det er interesse, men det er behov for å se hva dette kan gi. Næringen vil gjerne være med videre i prosessen.

7. Runar Søråsen: Norwegian electric Roads Cluster (NERC)

Klyngeprosjektet NERC ble presentert. Prosjektet berører mange av de samme områdene som diskuteres i dag, og deltagerne i workshopen oppfordres til å ta del i dette samarbeidet.

8. Tilbakemeldinger og avsluttende diskusjon

Deltakerne savner en kommunikasjonsstrategi for prosjektet. Hvordan skal vi få markedet til å respondere på prosjektet om det ikke kommuniseres bedre at det finnes? Det å brande seg med dette er jo noe som kan hente inn flere aktører, det vil være en boost i prosjektet om aktørene kan markedsføre seg med å være med.

Det stilles spørsmål til hvorfor tonn er målet for nyttekjøretøy. Snittvekt på trailere i dette området (fra en aktør) er 16 tonn. Det er den reelle situasjonen vi er i, og da er jo potensialet mye større. Nærdistribusjon i området her er ikke så tunge. En container vil ha en last på 4-6 tonn i gjennomsnitt, så dette er tyngden vi må se på. Det er ikke egenvekten som blir utfordringen. Vi kommer ikke frem med større biler å distribuere med, så det mest brukte er 7.5 tonns biler. Har vi 19 tonns kapasitet tar du en svært stor andel av kjøretøyene.

Opptil 95% av kjøring med lastebil er under 100 km.

Det bemerkes at mye transport foregår i nærmiljøet blant annet til CitySyd.

Deltagerliste

Navn	Organisasjon
Tom Nørbech	SVV
Bjørn-Arve Raanes	STFK
Lars Fabricius	STFK
Morten Berntsen	STFK
Terje Kristensen	SINTEF TS
Odd Andre Hjelkrem	SINTEF TS
Jon A Suul	SINTEF Energi
Guro Rødsjø	SINTEF TS
Olav Løfshus	ASKO
Jørn Endresen	ASKO
Roar Melum	NLF
Paul Røvik	Bane NOR
Marte Lønseth	JBD
Hans Einar Lundli	JBD
Arnt Gunnar Lium	Enova
Leif Jarle Christensen	DSV
Anders Eggen	Schenker
Runar Søråsen	Miles Ahead
Erling Sæther	Flowchange
Roger Sæther	ASKO
Gunnar Weiseth	Posten



Teknologi for et bedre samfunn
www.sintef.no