



Elektrisk infrastruktur for godstransport

# Nytte-kostnadsanalyser for alternative elforsyningsløsninger for godstransport på veg

**FORFATTER**

Dag Bertelsen

SINTEF Teknologi og Samfunn

2018

## Sammendrag

ELinGO-prosjektet har utredet aktuelle løsninger for elektrifisering av godstransport på veg. Arbeidspakke 4 omfatter blant annet en samfunnsøkonomisk nytte-kostnadsanalyse (NKA) som er presentert i dette notatet. Denne analysen gjelder to aktuelle alternativer, nemlig strømforsyning via ledning i luften (A1), og strømforsyning via skinne i vegbanen (A2). Beregningene er gjort med høye og lave tiltakskostnader og resultatene presenteres med dagens dieseltransport som sammenligningsgrunnlag (A0).

Analysene inneholder en del usikre forutsetninger, men tyder likevel på at tungtrafikken på de fleste norske riksveger ikke er stor nok til at det er lønnsomt å investere i løpende strømforsyning langs vegen. Denne konklusjonen synes å være relativt robust for avvikende verdier på viktige grunnlagsdata.

Kostnadene til el-infrastruktur langs vegen er avhengig av om det skal være kontinuerlig eller seksjonert strømforsyning. Dette må også sees i sammenheng med størrelsen på batteripakken i de kjøretøyene som skal trafikkere strekningen. ELinGO-prosjektet har ikke gått grundigere inn på disse spørsmålene.

Som en del av følsomhetsvurderingene er det gjort beregninger av en strategi der det tilrettelegges for at tunge kjøretøyer uten store forsinkelser vil kunne bytte trekkvogn eller batteripakke underveis. Dette synes å være et interessant alternativ til løpende strømforsyning, og som derfor bør analyseres grundigere enn det som har vært mulig i ELinGO-sammenheng.



## Innhold

<b>1</b>	<b>Bakgrunn og formål</b>	<b>7</b>
<b>2</b>	<b>Opplegg for nytte-kostnadsanalysen</b>	<b>8</b>
2.1	Aktuelle strategialternativer	8
2.2	Årskostnader som sammenligningsgrunnlag	8
2.3	Økonomiske føringer og forutsetninger	8
2.4	Kostnader og inntekter for ulike aktører	9
<b>3</b>	<b>Felles analyseforutsetninger og grunnlagsdata</b>	<b>11</b>
3.1	Infrastruktur i form av vegnett og energiforsyning	11
3.2	Kjøretøypark og godstransport	11
<b>4</b>	<b>Grunnlagsdata for de enkelte strategialternativene</b>	<b>14</b>
4.1	Spesifikke grunnlagsdata for dieseltransport	14
4.2	Spesifikke grunnlagsdata for strømledning i luften	14
4.3	Spesifikke grunnlagsdata for strømførende skinne i vegbanen	15
<b>5</b>	<b>Resultater for de aktuelle strategialternativene</b>	<b>17</b>
5.1	Resultater for godstransport med dieselskjøretøy	17
5.2	Resultater for godstransport med strømledning i luften	18
5.3	Resultater for strømførende skinne i vegbanen	19
<b>6</b>	<b>Sammenstilling og vurdering av analyseresultater</b>	<b>20</b>
6.1	Sammenstilling av resultatene for strategialternativene	20
6.2	Følsomhetsvurderinger for de to aktuelle strategialternativene	21
6.3	Muligheter som bør undersøkes nærmere	22
<b>7</b>	<b>Referanser</b>	<b>23</b>



# 1 Bakgrunn og formål

Godstransport er avgjørende for næringslivet, men bidrar til store klimagassutslipp. Godstransport på veg skal øke med 95 % til 2050 samtidig som Norge skal bli klimanøytralt. Det er derfor viktig å se på mulighetene for elektrifisering av godstransporten. I desember 2015 fikk Statens vegvesen støtte fra Norges forskningsråds Energi X-program til prosjektet ELinGO. Hovedmålet med ELinGO-prosjektet har vært å finne frem til kostnadseffektive strategier for reduksjon i klimagassutslipp ved elektrifisering av godstransport på veg. Prosjektleder er SINTEF Byggforsk, forskere fra flere andre SINTEF-enheter og fra andre virksomheter har bidratt med forskere og kompetanse i dette arbeidet.

Arbeidspakke 4 i ELinGO-prosjektet består i å beskrive og analysere aktuelle alternativer for el-basert godstransport på veg. Analysene omfatter en Life Cycle Assessment (LCA) utført som en masteroppgave ved NTNU, en tiltakskostnadsanalyse (TKA) utført av NTNU og en samfunnsøkonomisk nytte-kostnadsanalyse (NKA) utført av SINTEF Teknologi og samfunn. Erlend Brenna Raabe leverte følgende masteroppgave ved NTNU våren 2017: Life Cycle Assessment of Electrification of Heavy Duty Vehicles [1]. Denne LCA-analysen har klarlagt de miljømessige virkningene av å erstatte dieslbiler med biler drevet av elektrisk strøm. Den nytte-kostnadsanalysen som presenteres i herværende notat, bygger på en del av de samme forutsetningene som masteroppgaven, slik at resultatene fra de to analysene blir mest mulig sammenlignbare.

Både LCA og NKA skal danne grunnlag for beslutninger om valg mellom aktuelle strategier for klimavennlig godstransport på norske veger. NK-analysene omfatter samfunnsøkonomiske fordeler og ulemper ved de aktuelle strategiene. Resultatene fra analysene skal gi så gode indikasjoner som mulig på om noen av de aktuelle strategiene peker seg ut for videre utredning og utprøving for godstransport på norske veger.

ELinGO-prosjektet har hatt fokus på tre aktuelle strategier for strømforsyning til kjøretøyer under transport:

- Strømledning i luften for konduktiv lading
- Strømførende skinne i vegbanen for konduktiv lading
- Strømførende system integrert i vegbanen for induktiv lading

For den sistnevnte strategien er det ikke gjort noen NK-analyse ettersom teknologien er å anse som nokså umoden og grunnlaget for kostnadsberegninger er svakt. I NK-analysen sammenlignes de to konduktive teknologiene – luftledning og skinne - med dieselbasert godstransport som i dag. I tillegg til å klarlegge potensialet for disse to strategiene, bør det undersøkes om det kan finnes andre løsninger for klimavennlig godstransport på veg enn dem som er utredet i ELinGO-prosjektet. Dette spørsmålet er nærmere vurdert i kapittel 6.

## 2 Opplegg for nytte-kostnadsanalysen

### 2.1 Aktuelle strategialternativer

NK-analysen i dette notatet omfatter to strategialternativer samt et sammenligningsalternativ bestående av dagens dieselbaserte godstransport:

- A0: Dieselbasert godstransport som i dag
- A1: El-basert godstransport ved strømforsyning gjennom luftledning
- A2: El-basert godstransport ved strømforsyning gjennom skinne i vegbanen

Disse strategialternativene blir nærmere beskrevet i kapittel 4. Resultatet av nytte-kostnadsanalysene er presentert i kapittel 0. Kapittel 6 inneholder følsomhetsvurderinger inklusiv beregninger av et alternativ til løpende strømforsyning der det tilrettelegges for at tunge kjøretøyer uten store forsinkelser vil kunne bytte trekkvogn eller batteripakke underveis.

### 2.2 Årskostnader som sammenligningsgrunnlag

Den samfunnsøkonomiske nytte-kostnadsanalysen (NKA) i dette notatet er basert på de samme prinsipper og forutsetninger som Statens vegvesen og de øvrige transportetatene benytter i sine analyser slik dette blant annet er beskrevet i Statens vegvesens håndbok V712 Konsekvensanalyser [2]. De økonomiske virkningene beregnes og presenteres for fire grupper av aktører og summeres. Det betyr at virkningene på offentlige budsjetter av de aktuelle strategiene blir beregnet. Den bedriftsøkonomiske lønnsomhet for de enkelte kommersielle aktørene blir ikke beregnet i disse analysene.

NK-analyser av tradisjonelle vegprosjekter omfatter vanligvis en byggeperiode med tunge investeringer og dernest en bruksperiode med en samfunnsnytte som helst skal veie opp for investeringene. Denne fremgangsmåten kan by på utfordringer når det er store forskjeller i levetid for de aktuelle investeringsobjektene og tidsperspektivet for full utbygging er usikkert.

Selv om tidsperspektivet for innfasing av strømbasert godstransport på veg vil kunne være forskjellig for de aktuelle strategiene, har vi i dette notatet valgt å betrakte situasjonen på et tidspunkt når alle aktuelle alternativer antas å kunne være i full funksjon, for eksempel ti år frem i tid. Sammenligningen av alternativene er basert på gjennomsnittlige årskostnader (annuiteter), altså de årlige kostnadene som tilsvarer nåverdien for de aktuelle kostnadskomponenter. På den måten vil vi kunne behandle objekter og byggverk med forskjellig levetid uten å måtte ta eksplisitt stilling til tidshorisont og analyseperiode.

Masteroppgaven [1] inneholder oversikter over materialforbruk og levetider for de objektene som inngår for å få på plass strømforsyningen langs vegen. Kostnadene for produksjon og installasjon av objektene langs vegen er imidlertid ikke behandlet i master-oppgaven. En tysk rapport [3] har angitt både byggekostnadene, vedlikeholdskostnader og levetider for ulike objekter og løsninger. Dette har vært en viktig del av grunnlag for våre analyser.

### 2.3 Økonomiske føringer og forutsetninger

Regjeringen gir føringer for de analysene som utføres i tilknytning til Nasjonal transportplan. Dessuten har transportetatene en metodegruppe som sikrer en mest mulig felles metodikk for de økonomiske analysene som utføres i de enkelte etatene. Dette er lagt til grunn for analysene også i dette notatet, blant annet følgende parametere:

Felles prisnivå:	2016
Kalkulasjonsrente:	4,0 %
Skattefaktor:	20 %



Alle kostnader og inntekter er beregnet i 2016-priser. Bortsett fra at gjeldende prognose for enhetsprisen for klimagassutslipp er forventet å øke trinnvis fra dagens nivå til 950 kr per tonn CO<sub>2</sub>-ekvivalenter i 2030, er det ikke forutsatt noen endringer i relative priser innenfor tidsperspektivet for våre analyser.

Kostnader for el-infrastruktur, kjøretøyer og andre objekter blir regnet om til årlige gjennomsnittskostnader (annuiteter) med utgangspunkt i objektenes levetid og den kalkulasjonsrente som myndighetene har fastsatt, for tiden 4,0 % p.a. Denne formen for analyser betyr i prinsippet at alle investeringer blir repetert med samme kostnad og levetid når den opprinnelige levetiden er utløpt.

Skattefaktoren innebærer i henhold til dagens metodikk en samfunnsøkonomisk kostnad når offentlige utgifter øker og tilsvarende en gevinst når offentlige utgifter reduseres, se også kapittel 2.4. I utgangspunktet beregnes gevinstene i våre analyser ved at 100 diesekjøretøy erstattes med el-kjøretøyer på en 200 km lang vegstrekning. Hvor mange kjøretøyer skal til for at gevinstene skal oppveie kostnadene ved å tilrettelegge og vedlikeholde strømforsyning langs vegen?

En eventuell årlig trafikkutvikling fra det tidspunktet at el-infrastrukturen tas i bruk, vil ha positiv innvirkning på nytten. Dette kan ivaretas ved å nedskalere kalkulasjonsrenten  $d_0$  i samsvar med forventet prosentvis årlig trafikkøkning  $t$ . Nedskalert kalkulasjonsrente  $d_1$  i % vil da bli

$$d_1 = (1+d_0/100) / (1+t/100) - 1$$

Med en årlig trafikkutvikling på 2 % (som Statens vegvesen bruker i dagens prognoser) vil den effektive nedskalerte kalkulasjonsrenten bli 1,96 %. Analysene er i utgangspunktet gjort med konstant trafikk, men utslaget på nytten av en årlig trafikkvekst på 2 % er omtalt i kapittel 6.2.

## 2.4 Kostnader og inntekter for ulike aktører

I samsvar med retningslinjene i Statens vegvesens håndbok V712 Konsekvensanalyser [2], er resultatene av våre analyser fordelt på følgende grupper av aktører og tilhørende kostnadselementer:

- Transportører
  - Kapitalkostnader
  - Andre tidskostnader (antatt å være upåvirket av energiløsning)
  - Energikostnader (inkl særavgifter)
  - Andre distansekostnader
- Operatørselskaper
  - Tjenesteytende virksomhet langs vegen (antatt å være upåvirket av energiløsning)
- Det offentlige
  - Investeringskostnader
  - Drift og vedlikehold
  - Særavgiftsinntekter
- Samfunnet for øvrig
  - Trafikksikkerhet (antatt å være upåvirket av energiløsning)
  - CO<sub>2</sub>-kostnader transport
  - CO<sub>2</sub>-kostnader infrastruktur
  - Andre miljøkostnader (ikke inkludert i beregningene)
  - Skattekostnad

I samsvar med retningslinjene for slike NK-analyser er både inngående og utgående mva for de aktuelle aktørene holdt utenfor beregningene. Særavgifter på diesel og strøm inngår imidlertid i beregningene. Disse avgiftene figurerer som en utgift for transportørene, men en tilsvarende inntekt for det offentlige.

Operatørselskaper kan blant annet omfatte tjenesteytende virksomhet langs vegen. Salg av drivstoff kan være en slik virksomhet, men kostnaden for dette blir i dag dekket gjennom pumpeprisen på drivstoff. Vi har ikke noe grunnlag i dag for å beregne kostnader ved en omstilling fra dagens bensinstasjoner til annen servicevirksomhet langs vegnettet.

Trafikksikkerheten er ofte et viktig aspekt i transportanalyser. Vi har imidlertid ikke noe grunnlag i dag for å anta at trafikksikkerheten vil bli påvirket verken i den ene eller andre retningen ved en overgang fra dagens transport med dieselmotorer til el-basert godstransport.

Klimagassutslipp oppstår både ved utbygging av infrastrukturen og ved produksjon og bruk av kjøretøyer. Norske myndigheter har bestemt at det for offentlige prosjekter skal beregnes en miljøkostnad for utslipp av CO<sub>2</sub> og andre klimagasser. Dagens pris er fastsatt til 250 kr per tonn CO<sub>2</sub>-ekvivalenter, men prisen er forutsatt å øke trinnvis til 950 kr/tonn i 2030 (prinsnivå 2016). Det er denne prisen vi har benyttet i våre analyser. For oversiktens skyld har vi presentert CO<sub>2</sub>-kostnadene knyttet til infrastruktur og CO<sub>2</sub>-kostnadene knyttet til transport hver for seg.

Andre miljøkostnader kan gjelde utslipp av NO<sub>x</sub> fra dieselmotorer som har en fastsatt enhetspris på 60 kr/kg for utslipp i områder utenom bynære strøk. El-biler vil produsere mindre motorstøy enn dieselmotorer. Ettersom våre analyser ikke tar for seg en konkret vegstrekning der en kjenner bebyggelse og uteområder, har vi ikke inkludert verken NO<sub>x</sub>-kostnader eller støykostnadene i våre beregninger.

Finansdepartementet sier i Rundskriv 109/2014 at det ved NK-analyser av offentlige prosjekter skal beregnes en skattekostnad på 20 % på alle offentlige utgifter og inntekter knyttet til prosjektene. Rundskrivet omtaler skattekostnaden slik:

Prosjekter som avlaster offentlige budsjetter, vil få redusert skattekostnad. Prosjekter som innebærer økning i offentlige utgifter, vil få økt skattekostnad. I vårt tilfelle vil for eksempel reduserte avgiftsinntekter for det offentlige ved overgang fra diesel til strøm, medføre en økning i skattekostnader.

## 3 Felles analyseforutsetninger og grunnlagsdata

Analysene i dette notatet behandler følgende elementer knyttet til godstransport på veg:

- Transportinfrastrukturen
  - Vegnett med bruer, tunneler og veg i dagen
  - Energiforsyningsløsninger langs vegen
- Kjøretøyparken
  - Vogntog/semitrailere med dieselmotor og drivstofftank
  - Vogntog/semitrailere med batterier og strømforsyning via luftledning
  - Vogntog/semitrailere med batterier og strømforsyning via skinne i vegbanen
- Transportvirksomheten
  - Transportarbeid (kjøretøykilometer)
  - Godstransportarbeid (tonnkilometer)

Analysene er lagt opp slik at den samme godsmengden transporteres mellom de samme endepunktene langs den samme vegen for alle de aktuelle strategialternativene, se kapittel 2.1. Dermed får vi en rettferdig sammenligning av kostnader og klimagassutslipp for de alternativene som analyseres.

### 3.1 Infrastruktur i form av vegnett og energiforsyning

Masteroppgaven [1] har tatt utgangspunkt i en rett, flat vegstrekning på 1 km. Resultatene i form av utslipp er så multiplisert med 171, tilsvarende lengden på dagens vegstrekning på E39 Stavanger–Bergen. Våre analyser tar utgangspunkt i en 200 km lang vegstrekning med en vegstandard som tilsvarer en vanlig norsk riksveg. Energiforbruket for et tungt kjøretøy på en slik veg er beregnet med en nyutviklet modell som beregner kjørefart og energiforbruk som funksjon av stigningsforhold og kurvatur/vegstandard.

Masteroppgaven forutsetter kontinuerlig strømforsyning langs den aktuelle vegstrekningen selv om kjøretøyene er forutsatt å ha en batterikapasitet på 300 kWh. Masteroppgaven tar ikke opp spørsmålet om seksjonert strømforsyning på vegstrekningen. Vi har i våre analyser lagt opp til at implementeres strømforsyning kun på deler av den aktuelle vegstrekningen. Med en batterikapasitet på 300 kWh har vi tatt utgangspunkt i at 33 % av aktuelle vegstrekninger blir elektrifisert. Levetiden for el-infrastruktur langs vegen er satt til 40 år.

Kostnader til implementering av strømforsyning langs eksisterende veger vil være forskjellig for bruer, tunneler og veg i dagen. Plassproblemer kan gjøre det vanskelig med strømledning i taket i eksisterende tunneler. Kanskje vil det også være problematisk å legge strømførende skinner i bru-banen på eksisterende bruer. Analysene som presenteres i dette notatet, er basert på at strømforsyningen lokaliseres til veg i dagen, altså ikke verken til bruer eller tunneler. Sannsynligvis vil kostnadene kunne bli lavere når elektrifiseringen gjøres integrert med byggingen av en ny veg.

Vi har i våre analyser ikke tatt hensyn til de trafikkulempene som må forventes når det skal etableres strømforsyning langs veger som er under trafikk. Vi har heller ikke tatt hensyn til de trafikkulempene, f.eks. begrensede forbikjøringsmuligheter og forsinkelser, som kan oppstå på tofeltsveger der tungtrafikken er bundet til kjøreledning eller skinne i vegbanen.

### 3.2 Kjøretøypark og godstransport

Dagens godstransport på veg er en blanding av små og store, lette og tunge laster på mange ulike typer av kjøretøyer over korte og lange avstander. Transportene kan være sjeldne eller hyppige og pågå over kortere eller lengre perioder. ELinGO-prosjektet har fokus på aktuelle prinsipp-løsninger for elektrifisering av godstransport på veg. Da er det nødvendig å forenkle dette ved å ta utgangspunkt i et bestemt kjøretøy med en gitt last og transportlengde.

Analysene i dette notatet betrakter i utgangspunktet en situasjon der 100 kjøretøyer frakter gods over en vegstrekning på 200 km. Disse kjøretøyene forutsettes å bevege seg med en gjennomsnittsfart på 60 km/t og ha en oppholdstid på 2 timer for lasting og lossing i begge ender av strekningen. Med 220 yrkesdøgn i året gir dette en kjørelengde på 132 000 km med 3 518 driftstimer per år. Dette transportarbeidet harmonerer bra med tilsvarende tall i rapporten Kjøretøykostnader for lette biler, tunge biler og busser [4] som er utarbeidet av COWI AS på oppdrag for Statens vegvesen. Her er vogntog/semitrailere oppgitt å ha en årlig kjørelengde på 150 000 km og en årlig driftstid på 3 500 timer. Levetiden for et kjøretøy er i våre analyser satt til 4,5 år i samsvar med forutsetningene i mastergraden [1].

Tabellene nedenfor er hentet fra [4], der opplysningene som er mest relevant for våre analyser er markert med rød ramme. Av den første tabellen fremgår det at vogntog/semitrailere i dag utgjør ca. 55 % av de tunge kjøretøyene på det norske vegnettet.

Tabell 4-1 Andel av trafikkarbeid med tunge biler

Kjøretøykategori	Andel, lastebil	Andel, vogntog/semitrailer	Andel, tung bil
Lett distribusjonsbil	0,318		0,144
Tung distribusjonsbil	0,682		0,309
<b>Sum lastebil</b>	<b>1,000</b>		
Lastebil med tilhenger		0,784	0,430
Tankbil oljeprodukter, med henger		0,002	0,001
Semitrailer, tank, oljeprodukter		0,018	0,010
Tankbil tørrbulk, med henger		0,025	0,014
Semitrailer, tank, tørrbulk		0,077	0,042
Tømmerbil med henger (4 aksler)		0,020	0,011
Termobil med henger		0,027	0,015
Semitrailer, termo		0,046	0,025
<b>Sum vogntog/semitrailer</b>		<b>1,000</b>	
<b>Sum tung bil</b>			<b>1,000</b>

Motor og energisystem vil være forskjellig for dieselskjøretøyer og el-kjøretøyer. Innkjøpsprisen for disse delene av kjøretøyene er angitt i kapittel 4. Vi har forutsatt at prisen for de øvrige delene av kjøretøyene er like store for dieselskjøretøyer som for el-kjøretøyer.

Dagens pumpepris på diesel omfatter alle produksjons- og distribusjonskostnader, inklusiv drift av bensinstasjoner, samt alle offentlige avgifter i form av vegbruksavgift, CO<sub>2</sub>-avgift, vektårsavgift og mva. Alle avgifter bortsett fra mva. inngår i våre beregninger både som en utgift for transportørene og som en avgiftsinntekt for det offentlige.

Tabell 4-2 Årlig kjørelengde, biltimer (kjøring og terminal) og dieselforbruk (Kilde: SITMA)

Kjøretøykategori	Kjørelengde årlig	Timer årlig	Dieselforbruk liter/km
Lett distribusjonsbil	50 000	2 361	0,190
Tung distribusjonsbil	65 000	2 167	0,301
Lastebil med tilhenger	150 000	3 500	0,398
Tankbil oljeprodukter, med henger	150 000	3 625	0,420
Semitrailer, tank, oljeprodukter	150 000	4 000	0,420
Tankbil tørrbulk, med henger	150 000	3 250	0,420
Semitrailer, tank, tørrbulk	150 000	3 250	0,420
Tømmerbil med henger (4 aksler)	150 000	3 625	0,550
Termobil med henger	150 000	3 500	0,400
Semitrailer, termo	150 000	3 500	0,398

Tabell 2-2 Kjørekostnader for tunge biler fordelt på lastebiler og vogntog, gjennomsnitt per kjøretøykilometer (kr/km, 2016-kroner)

Kostnads-komponent	Lastebil		Vogntog/semitrailere	
	Samfunns-økonomisk kostnad	Privat-økonomisk kostnad	Samfunns-økonomisk kostnad	Privat-økonomisk kostnad
Drivstoff	1,34	2,55	2,03	3,88
Olje/dekk	0,79	0,79	1,33	1,33
Reparasjon mv.	0,82	0,82	1,69	1,69
<b>Sum</b>	<b>2,95</b>	<b>4,16</b>	<b>5,05</b>	<b>6,90</b>

Tabell 4-5 Kapitalkostnader for tunge dieserbiler

	Tunge biler i alt	Lastebiler	Vogntog/semitrailere
<b>Kr/time ekskl. mva.</b>	<b>104,24</b>	<b>81,77</b>	<b>122,80</b>
Vektårsavgift, kr/time	1,46	0,86	1,46
<b>Kr/time ekskl. alle avgifter</b>	<b>102,78</b>	<b>80,91</b>	<b>121,34</b>

Ettersom vår NK-analyse er basert på bruttokostnadsprinsippet, er det de privatøkonomiske transportkostnadene (eks. mva) som inngår i våre beregninger, se kapittel 2.4.

Dagens godstransport på veg omfatter mange ulike kjøretøyer med en rekke ulike godsslag og med mange forskjellige startpunkter og mottakssteder. En del av transportene går dessuten via en eller flere terminaler med ulike transportører inn til og ut fra terminalene. Det har ikke vært mulig innenfor rammene av vår deloppgave å gjøre detaljerte analyser av hele denne transportvirksomheten.

## 4 Grunnlagsdata for de enkelte strategialternativene

Analysene i dette notatet omfatter følgende strategialternativer:

- A0: Dieselbasert godstransport som i dag
- A1: El-basert godstransport ved strømforsyning gjennom luftledning
- A2: El-basert godstransport ved strømforsyning gjennom skinne i vegbanen

Spesifikke grunnlagsdata for de enkelte alternativene er omtalt nedenfor.

### 4.1 Spesifikke grunnlagsdata for dieseltransport

Analysene for dette strategialternativet er basert på følgende forutsetninger:

- Kapitalkostnader for dieselmotor og -tank: 0,5 mill kr/kjøretøy
- Dieselforbruk for ett kjøretøy under transport: 0,4 liter/km
- CO<sub>2</sub>-utslipp for diesel inkl. produksjon: 3,27 kg/liter
- CO<sub>2</sub>-utslipp ved produksjon av et kjøretøy med dieselmotor: 136 tonn/kjøretøy

Vi har i våre analyser forutsatt at all diesel er fremstilt av fossile produkter. Det kan evt. gjøres analyser med større eller mindre grad av innblanding av fornybar biodiesel, dette er omtalt i kapittel 6.

Analysene har ikke regnet med noe tidstap for fylling av drivstoff på dieselskjøretøyene.

### 4.2 Spesifikke grunnlagsdata for strømledning i luften

Analysene for dette strategialternativet er basert på følgende forutsetninger:

- Kapitalkostnad for el-motor, batterier og strømmottak: 0,8 mill kr/kjøretøy
- Strømforsyning for ett kjøretøy under transport: 1,8 kWh/km, pris 0,73 kr/kWh
- CO<sub>2</sub>-utslipp for produksjon av strøm med nordisk miks: 0,10 kg/kWh
- CO<sub>2</sub>-utslipp ved produksjon av et kjøretøy med el-motor og batterier: 175 tonn/kjøretøy
- CO<sub>2</sub>-utslipp ved produksjon og installasjon av strømledning i luften langs veg: 144 tonn/km

Strømløseleverandører langs E39 har informert om at det vil være nødvendig med en viss oppgradering av forsyningsnettet dersom det skal leveres strøm til tunge kjøretøyer på strekningene. Dette vil trolig også være tilfelle for andre vegstrekninger. Transportutøverne på strekningen vil betale strømpris og nettleie for sitt strømforbruk. Ladestrømmen kan f.eks. registreres ved overføring til de enkelte kjøretøyene. Vi har forutsatt at kostnadene til oppgradering og supplering av forsyningsnettet inngår i nettleien.

Kostnader til etablering av strømforsyning er hentet fra den tyske rapporten Machbarkeitsstudie zur Ermittlung der Potentiale des Hybrid-Oberleitung-Lkw fra Fraunhofer Institut für System und Innovationsvorschung fra februar 2017 [3]. Vi har lagt til grunn at disse kostnadene gjelder etablering av strømforsyning langs eksisterende veger. Kostnadstallene som er vist i etterfølgende tabell, er omregnet fra EUR til NOK med en kurs på 9,3 NOK/EUR.

**Tabell 1 Kostnader for installasjon av kjøreledning i luften, hentet fra [3]**

Komponent	Beregningsgrunnlag	Kostnad (EUR/km)	Kostnad (NOK/km)
Inntakspunkt	Ca 15 000 EUR per punkt. Med en tetthet på 3 km per inntak blir det 5 000 EUR/km	5 000	46 500
Forbindelse mellom inntakspunkt og transformator	Ca 50 EUR per m for graving, ca 100 EUR per meter for kabel. Med 500 meter kabel per inntak blir kostnaden 75 000 EUR. Med en tetthet på 3 km per punkt blir det 25 000 EUR/km	25 000	232 500
Transformator	Ca 300 000 EUR per megavoltampere (MVA) (inkludert kommunikasjons- og sikkerhetsteknikk). Med 3 MVA effektbehov blir kostnaden 0.9 Mill EUR per transformator. Med en tetthet på 3 km per punkt blir det 300 000 EUR/km	300 000	2 790 000
Master	Ca 10 000 EUR per mast inkludert utlegger og fundament. Med mastavstand på 50 m blir kostnaden 400 000 EUR per km	400 000	3 720 000
Kjøreledning	Ca 300 EUR per løpemeter. 600 000 per km for begge kjøretøyer.	600 000	5 580 000
Passiv beskyttelsesinnretning	Det 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	133 000	1 236 900
<b>Sum</b>		<b>1 463 000</b>	<b>13 605 900</b>
<b>Sum worst case (Dyrere grunnarbeid og inkl passiv beskyttelsesinnretning)</b>		<b>1 930 000</b>	<b>17 949 000</b>

Masteroppgaven har lagt til grunn et kjøretøy med en batteripakke på 300 kWh og et strømforbruk på 1,2 kWh/km. Med den kurvatur og de stigningsforhold vi har på norske riksveger, har vi funnet det riktig å anta et midlere energiforbruk på 1,8 kWh/km for et gjennomsnittlig vogntog/trailer.

Årlige kostnader til drift og vedlikehold av el-infrastrukturen er satt til 2 % av investeringene.

### 4.3 Spesifikke grunnlagsdata for strømførende skinne i vegbanen

Analysene for dette strategialternativet er basert på følgende forutsetninger:

- Kapitalkostnad for el-motor, batterier og strømmottak: 0,8 mill kr/kjøretøy
- Strømforbruk for ett kjøretøy under transport: 1,8 kWh/km, pris 0,73 kr/kWh
- CO<sub>2</sub>-utslipp for produksjon av strøm med nordisk miks: 0,10 kg/kWh
- CO<sub>2</sub>-utslipp ved produksjon av et kjøretøy med el-motor og batterier: 175 tonn/kjøretøy
- CO<sub>2</sub>-utslipp ved produksjon og installasjon av strømskinne i vegbanen: 324 tonn/km

Kostnader til etablering av strømforsyning er hentet fra den tyske rapporten Machbarkeitsstudie zur Ermittlung der Potentiale des Hybrid-Oberleitung-Lkw fra Fraunhofer Institut für System und Innovationsvorschung fra februar 2017 [3]. Vi har lagt til grunn at disse kostnadene gjelder etablering av strømforsyning langs eksisterende veger. Kostnadstallene som er vist i etterfølgende tabell, er omregnet fra EUR til NOK med en kurs på 9,3 NOK/EUR.

**Tabell 2 Kostnader ved installasjon av strømførende skinne i vegbanen, hentet fra [3]**

Komponent	Beregningsgrunnlag	Kostnad (EUR/km)	Kostnad (NOK/km)
Inntakspunkt	Ca 15 000 EUR per punkt. Med en tetthet på 3 km per inntak blir det 5 000 EUR/km	5 000	46 500
Forbindelse mellom inntakspunkt og langsgående kabel	Ca 50 EUR per m for graving, ca 100 EUR per meter for kabel. Med 500 meter kabel per inntak blir kostnaden 75 000 EUR. Med en tetthet på 3 km per punkt blir det 25 000 EUR/km	25 000	232 500
Langsgående kabel (Likespenning)	Ca 50 EUR per m for graving, ca 100 EUR per meter for kabel. For begge kjøretninger blir kostnaden 300 000 EUR/km	300 000	2 790 000
Langsgående kabel (vekselspenning)	Blir lagt i samme kanal som likespenningskabel. Kabelkostnader ca 100 EUR/m, som blir 100 000 EUR/km.	100 000	930 000
Transformator	Ca 300 000 EUR per MVA (inkludert kommunikasjons- og sikkerhetsteknikk). Med 3 MVA effektbehov blir kostnaden 0.9 Mill EUR per transformator. Med en tetthet på 3 km per punkt blir det 300 000 EUR/km	300 000	2 790 000
Passiv beskyttelsesinnretning	100 EUR 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 EUR/km	10 000	93 000
Strømskinne i vegbanen inkl omkoblinger og sensorer	Basert på søk i litteratur og web	1 800 000	16 740 000
Prosjektering, planlegging, anbud, prosjektledelse osv.	Ca 10 % av investeringskostnader	255 000	2 371 500
<b>Sum</b>		<b>2 795 000</b>	<b>25 993 500</b>

Masteroppgaven har lagt til grunn et kjøretøy med en batteripakke på 300 kWh og et strømforbruk på 1,2 kWh/km. Med den kurvatur og de stigningsforhold vi har på norske riksveger, har vi på grunnlag av modellberegninger funnet det riktig å anta et midlere energiforbruk på 1,8 kWh/km for et gjennom-snittlig vogntog/trailer.

Årlige kostnader til drift og vedlikehold av el-infrastrukturen er i henhold til [3] satt til 2 % av investeringene.



## 5 Resultater for de aktuelle strategialternativene

NK-analysen i dette notatet omfatter to strategialternativer samt et sammenlignings-alternativ bestående av dagens dieselbaserte godstransport:

- A0: Dieselbasert godstransport som i dag
- A1: El-basert godstransport ved strømforsyning gjennom luftledning
- A2: El-basert godstransport ved strømforsyning gjennom skinne i vegbanen

### 5.1 Resultater for godstransport med dieselkjøretøy

Dagens transportløsninger er et resultat av en langvarig utvikling av vegnettet, av bilparken, av drivstoff og drivstoffdistribusjon, og av annen tjenesteytende virksomhet. En del av dette vil kunne utnyttes også med nye energiløsninger. Infrastrukturen for dagens godstransport er i prinsippet på plass selv om både kjøretøyer, vegnett og annen infrastruktur vil utvikle seg videre også ved videreføring av dagens strategi. Kostnader og andre fordeler og ulemper ved dagens godstransport er rimelig godt kjent og gjort rede for i kapitlene foran.

Hovedresultater for dette sammenligningsalternativet er vist i Tabell 3.

**Tabell 3 NKA-resultater for dagens dieseltransport (2016-kr)**

Aktører	A0 Dieselbiler
Transportutøvere	357 123 280
Kapitalkostnader	61 806 405
Andre tidskostnader	205 040 500
Energikostnader	50 638 875
Andre distansekostnader	39 637 500
Operatørselskaper	0
Energileverandører	0
Det offentlige	-24 636 375
Investeringer i elveg	0
D&V for elveg	0
Avgiftsinntekter	-24 636 375
Samfunnet for øvrig	11 413 792
Trafikksikkerhet	0
CO2-kostnader transport	16 341 067
CO2-kostnader infrastruktur	0
Andre miljøkostnader	0
Skattekostnad	-4 927 275
<b>SUM kostnader</b>	<b>343 900 697</b>

Positive tall betyr kostnader, negative tall betyr inntekter eller besparelser

Beregningene er basert på at 100 kjøretøyer (vogntog/semitrailere) gjør tre enkeltturer på den aktuelle strekningen på 200 km i hvert av årets 220 yrkesdøgn. Med denne forut-setningen vil kjøretøyene utføre et transportarbeid som harmonerer med en levetid på 4,5 år.

En stor del av transportørenes kostnader er særavgifter på transport. Det gir tilsvarende avgiftsinntekter for det offentlige. Bortsett fra innvirkningen på skattekostnaden, vil transportørenes avgifter i våre beregninger bli utbalansert av avgiftsinntektene for det offentlige.

## 5.2 Resultater for godtransport med strømledning i luften

Analysene gjøres i prinsippet på samme måte som i foregående kapittel. Forskjellene vil først og fremst være knyttet til:

- Installasjon og drift av infrastruktur for strømleveranse via ledninger i luften hentet fra [3] (lave kostnader 13,6 mill kr/km og høye kostnader 17,9 mill kr/km)
- Produksjons- og driftskostnader for kjøretøyer som skal benytte strøm fra ledninger i luften
- Andre samfunnsmessige konsekvenser av de aktuelle transportløsningene (CO<sub>2</sub>-utslipp mm)
- Det er ikke regnet med kostnader til etablering av ladepunkter for de batteridrevne bilene

**Tabell 4 NKA-resultater for en strategi med strømforsyning fra luftledning (2016-kr)**

	A0 Dieselbiler	A1Lav EI fra luftledn.	Differanse A1Lav-A0	A1Høy EI fra luftledn.	Differanse A1Høy-A0
Transportutøvere	357 123 280	329 764 049	-27 359 231	329 764 049	-27 359 231
Kapitalkostnader	61 806 405	69 223 174	7 416 769	69 223 174	7 416 769
Andre tidskostnader	205 040 500	205 040 500	0	205 040 500	0
Energikostnader	50 638 875	17 175 375	-33 463 500	17 175 375	-33 463 500
Andre distansekostnader	39 637 500	38 325 000	-1 312 500	38 325 000	-1 312 500
Operatørselskaper	0	0	0	0	0
Energileverandører	0	0	0	0	0
Det offentlige	-24 636 375	48 491 871	73 128 246	67 163 597	91 799 972
Investeringer i elveg	0	34 422 563	34 422 563	45 413 493	45 413 493
D&V for elveg	0	18 123 059	18 123 059	25 803 854	25 803 854
Avgiftsinntekter	-24 636 375	-4 053 750	20 582 625	-4 053 750	20 582 625
Samfunnet for øvrig	11 413 792	12 444 164	1 030 372	16 178 509	4 764 718
Trafikksikkerhet			0		0
CO <sub>2</sub> -kostnader transport	16 341 067	2 285 476	-14 055 590	2 285 476	-14 055 590
CO <sub>2</sub> -kostnader infrastruktur	0	460 313	460 313	460 313	460 313
Andre miljøkostnader	0	0	0	0	0
Skattekostnad	-4 927 275	9 698 374	14 625 649	13 432 719	18 359 994
<b>SUM kostnader</b>	<b>343 900 697</b>	<b>390 700 084</b>	<b>46 799 388</b>	<b>413 106 155</b>	<b>69 205 458</b>

Positive tall betyr kostnader, negative tall betyr inntekter eller besparelser

Tabell 4 viser kostnader og inntekter for 100 kjøretøyer (vogntog/semitrailere) på en elektrifisert veg med kjøreledning i luften sammenlignet med en tradisjonell veg med dieselkjøretøyer. Med de forutsetningene som er lagt til grunn for våre analyser og som er beskrevet foran i notatet, viser summene nederst i differansekolonene at investeringer i luftledning på den aktuelle vegstrekningen ikke være lønnsomme verken med høye eller lave kostnader til installasjon og drift av infrastrukturen. Vi har i tillegg gjennomført enkelte følsomhetsanalyser for å klarlegge prosjektnytten med alternative forutsetninger, blant annet antall kjøretøyer som kan benytte kjøreledningen. Dette er nærmere omtalt i kapittel 6.2.

### 5.3 Resultater for strømførende skinne i vegbanen

Dette alternativet betyr at en ladesko på bilen henter strøm fra en strømførende skinne i vegbanen. Analysene av denne strategien gjøres etter de samme prinsippene som for strømledning i luften. Lave kostnader for strømførende skinne i bakken er her satt lik det lave kostnadsanslaget for strømførende ledning i luften (13,6 mill kr/km). Derfor blir de lave kostnadene i Tabell 5 identisk med de lave kostnadene i Tabell 4. De høye kostnadene er representert med kostnadene fra den tyske rapporten (26,0 mill kr/km), gjengitt i Tabell 2.

Spørsmålet om seksjonering av strømforsyningen behandles etter de samme prinsipper som kjøreledning i luften. Strømforsyning i vegbanen vil kunne innebære noen andre sikkerhetsutfordringer enn kjøreledning. Vi har ikke gått nærmere inn på dette i våre analyser.

**Tabell 5 NKA-resultater for en strategi med strømforsyning fra skinne i vegbanen (2016-kr)**

	A0 Dieselbiler	A2Lav Strømskinne	Differanse A2Lav-A0	A2 Høy Strømskinne	Differanse A2Høy-A0
Transportutøvere	357 123 280	329 764 049	-27 359 231	329 764 049	-27 359 231
Kapitalkostnader	61 806 405	69 223 174	7 416 769	69 223 174	7 416 769
Andre tidskostnader	205 040 500	205 040 500	0	205 040 500	0
Energikostnader	50 638 875	17 175 375	-33 463 500	17 175 375	-33 463 500
Andre distansekostnader	39 637 500	38 325 000	-1 312 500	38 325 000	-1 312 500
Operatørselskaper	0	0	0	0	0
Energileverandører	0	0	0	0	0
Det offentlige	-24 636 375	48 491 871	73 128 246	92 517 817	117 154 192
Investeringer i elveg	0	34 422 563	34 422 563	61 960 613	61 960 613
D&V for elveg	0	18 123 059	18 123 059	34 610 954	34 610 954
Avgiftsinntekter	-24 636 375	-4 053 750	20 582 625	-4 053 750	20 582 625
Samfunnet for øvrig	11 413 792	13 019 556	1 605 764	21 824 745	10 410 953
Trafikksikkerhet		0	0	0	0
CO2-kostnader transport	16 341 067	2 285 476	-14 055 590	2 285 476	-14 055 590
CO2-kostnader infrastruktur	0	1 035 705	1 035 705	1 035 705	1 035 705
Andre miljøkostnader	0	0	0	0	0
Skattekostnad	-4 927 275	9 698 374	14 625 649	18 503 563	23 430 838
<b>SUM kostnader</b>	<b>343 900 697</b>	<b>391 275 476</b>	<b>47 374 779</b>	<b>444 106 611</b>	<b>100 205 914</b>

Positive tall betyr kostnader, negative tall betyr inntekter eller besparelser

Tabell 5 viser kostnader og inntekter for 100 kjøretøyer på en elektrifisert veg med strømførende skinne i vegbanen sammenlignet med en tradisjonell veg med diesel-kjøretøyer. Som forventet viser summene nederst differansekolumnene at heller ikke investeringer i strømførende skinne i vegbanen på den aktuelle vegstrekningen vil være lønnsomme med de forutsetningene som er lagt til grunn. Vi har i tillegg gjennomført følsomhetsanalyser for å klarlegge prosjektnytten med alternative forutsetninger, blant annet antall kjøretøyer som kan benytte den strømførende skinnen. Dette er nærmere omtalt i kapittel 6.2.

## 6 Sammenstilling og vurdering av analyseresultater

NK-analysen i dette notatet omfatter to strategialternativer samt et sammenlignings-alternativ bestående av dagens dieselbaserte godstransport:

- A0: Dieselbasert godstransport som i dag
- A1: El-basert godstransport ved strømforsyning gjennom luftledning
- A2: El-basert godstransport ved strømforsyning gjennom skinne i vegbanen

### 6.1 Sammenstilling av resultatene for strategialternativene

Resultater av NKA for de aktuelle energialternativene er sammenstilt i Tabell 6.

**Tabell 6 Sammenstilling av NKA-resultatene med lave etableringskostnader for de aktuelle strategiene (2016-kr)**

	A0 Dieselbiler	Differanse A1Lav-A0	Differanse A1Høy-A0	Differanse A2Lav-A0	Differanse A2Høy-A0
Transportutøvere	357 123 280	-27 359 231	-27 359 231	-27 359 231	-27 359 231
Kapitalkostnader	61 806 405	7 416 769	7 416 769	7 416 769	7 416 769
Andre tidskostnader	205 040 500	0	0	0	0
Energikostnader	50 638 875	-33 463 500	-33 463 500	-33 463 500	-33 463 500
Andre distansekostnader	39 637 500	-1 312 500	-1 312 500	-1 312 500	-1 312 500
Operatørselskaper	0	0	0	0	0
Energileverandører	0	0	0	0	0
Det offentlige	-24 636 375	73 128 246	91 799 972	73 128 246	117 154 192
Investeringer i elveg	0	34 422 563	45 413 493	34 422 563	61 960 613
D&V for elveg	0	18 123 059	25 803 854	18 123 059	34 610 954
Avgiftsinntekter	-24 636 375	20 582 625	20 582 625	20 582 625	20 582 625
Samfunnet for øvrig	11 413 792	1 030 372	4 764 718	1 605 764	10 410 953
Trafikksikkerhet		0	0	0	0
CO <sub>2</sub> -kostnader transport	16 341 067	-14 055 590	-14 055 590	-14 055 590	-14 055 590
CO <sub>2</sub> -kostnader infrastruktur	0	460 313	460 313	1 035 705	1 035 705
Andre miljøkostnader	0	0	0	0	0
Skattekostnad	-4 927 275	14 625 649	18 359 994	14 625 649	23 430 838
<b>SUM kostnader</b>	<b>343 900 697</b>	<b>46 799 388</b>	<b>69 205 458</b>	<b>47 374 779</b>	<b>100 205 914</b>

Positive tall betyr kostnader, negative tall betyr inntekter eller besparelser

Tabell 6 viser kostnader og inntekter for 100 kjøretøyer for to alternativer for elektrifisert veg sammenlignet med en tradisjonell veg med dieselkjøretøyer. Begge de to aktuelle strategialternativene resulterer i økte kostnader i forhold til fortsatt dieseltransport. Felles for alle disse alternativene er at besparelsene i transportkostnader og CO<sub>2</sub>-kostnader på langt nær kan veie opp for kostnadene til etablering, drift og vedlikehold av infrastrukturen.

Disse alternativene er altså langt fra å være lønnsomme med de forutsetningene som er lagt til grunn for analysene i dette notatet. Lavere kostnader ved etablering av luftledning gjør at denne løsningen tross alt fremstår som gunstigere enn strømførende skinne i vegbanen.

## 6.2 Følsomhetsvurderinger for de to aktuelle strategialternativene

Analysene foran gjelder en situasjon med 100 vogntog/semitrailere som gjør tre turer hver over en vegstrekning på 200 km per yrkesdøgn. Dette tilsvarer en yrkesdøgntrafikk på 300 kjøretøyer eller en årsdøgntrafikk på 180 kjøretøyer (sum begge kjøreretninger). Et aktuelt spørsmål er da hvor stor trafikk som skal til for at det skal være lønnsomt å investere i henholdsvis kjøreledning eller strømskinne på 33 % av den aktuelle vegstrekningen. Våre beregninger viser at det trengs ca 4 ganger så mange tunge kjøretøyer (ÅDT 6–700) for at utbyggingen skal bli lønnsomt med lave anslag på installasjonskostnadene. Med høye kostnadsanslag det skal 6 eller 7 ganger så mange tunge kjøretøyer (ÅDT 1000–1200) for at det skal være lønnsomt å investere i henholdsvis luftledning eller strømskinne i vegbanen. Dette er forholdsvis stor trafikk i forhold til det som er vanlig gjennomgangstrafikk av tunge kjøretøyer på norske riksveggruter.

Analysene foran er basert på tyske kostnadstall [3] for installasjon av luftledning og strømskinne. Våre analyser er basert på strømforsyning på 33 % av den aktuelle vegstrekningen. Et aktuelt spørsmål kan være hvor store investeringer som tåles med 100 vogntog/semitrailere. Ved bygging av nye veger vil kostnadene til elektrifisering bli lavere, men langt fra så lave som de må for å oppnå lønnsomhet. Svaret på det er at kostnadene må halveres i forhold til lavt kostnadsanslag dersom det skal bli samfunnsøkonomisk lønnsomt å elektrifisere en strekningen med en trafikk på 100 kjøretøyer som gjør tre turer/yrkesdøgn.

Kostnadene vil også kunne reduseres ved å begrense andelen av den aktuelle vegstrekningen som elektrifiseres. Dette spørsmålet må sees i sammenheng med batteristørrelsen på de kjøretøyene som trafikkerer strekningen. Sikkerhetsmarginer, faren for strømbrudd, reserveløsninger og beredskapsiltak er også spørsmål som må vurderes når det skal tas stilling til batteristørrelser og til seksjonering av strømforsyningen på strekningen. Vi har ikke gått nærmere inn i slike vurderinger i dette notatet. Det har vært etterspurt vurderinger av tidsperspektivet for inntjening av investeringene til elektrifisering av aktuelle vegstrekninger. Slik våre analyser er lagt opp, vil den levetiden som gir balanse i regnskapet være en indikator på inntjeningsperioden. Dette kan imidlertid være litt problematisk ettersom analysene omfatter flere objekter med forskjellige levetider, for eksempel el-infrastruktur og kjøretøyer. Med den svake inntjeningen viser det seg at det i praksis ikke lar seg gjøre å oppnå balanse i regnskapet ved å forlenge levetiden for noen av objektene. 80 års levetid for luftledning vil f.eks. redusere nettokostnadene ved lavt kostnadsanslag fra 48 til 40 mill kr.

Hovedformålet med elektrifisering av godstransporten er å redusere klimagassutslippene, altså forbrenning av diesel og andre typer fossilt brensel. Analysene foran er basert på en pris på 950 kr/tonn for å unngå utslipp av klimagasser. Da kan det være av interesse å se hvor mye en reduksjon i CO<sub>2</sub>-utslippene må verdsettes til for å få balanse i regnskapet. Svaret er at med en pris på vel 4 000 kr/tonn vil en utbygging gå i balanse med lavt anslag på installasjonskostnader. Med høyt anslag på installasjonskostnadene må CO<sub>2</sub>-prisen økes til 7–9 000 kr/tonn for å oppnå økonomisk balanse.

Analysene foran i notatet er gjort under forutsetning av at det ikke skjer noen trafikkøkning. Ved analyse av nye prosjekter legger vegmyndighetene til grunn en årlig trafikkvekst på 2 % (siste prognoser). En trafikkvekst på 2 % i hele elektrifiseringsprosjektets levetid på 40 år, vil redusere de samfunnmessige kostnadene for strategien med luftledning fra 52 til 42 mill kr/år og for strategien med strømførende skinne fra 105 til 88 mill kr/år.

### 6.3 Muligheter som bør undersøkes nærmere

I tillegg til de to strategialternativene som er analysert i dette notatet, har ELinGO-prosjektet sett nærmere på mulighetene for induktiv lading av kjøretøyer under transport. Dette fremstår som en interessant løsning, blant annet fordi en slik løsning kan være et godt tilbud for en større del av trafikken på vegnettet enn vogntog og semitrailere.

Investeringskostnadene for løpende induktiv lading langs vegen er imidlertid ikke godt nok klarlagt til at vi i dag kan gi si noe konkret om den samfunnsøkonomisk lønnsomheten for en slik løsning. Analysene i dette notatet har lagt til grunn en batterikapasitet på 300 kWh og et gjennomsnittlig strømforbruk på 1,8 kWh/km. Det vil si at de aktuelle kjøretøyene med fullt oppladde batterier vil ha en rekkevidde på 167 km. I dag er det i prinsippet kurant å bygge trekkvogner med den batterikapasitet en ønsker. Større batteripakker vil derfor kunne begrense behovet for løpende strømforsyning langs vegen. Store og tunge batteripakker vil imidlertid til en viss grad gå på bekostning av kjøretøyenes nyttelast.

Et annet alternativ for de lange transportene kan være i at det etableres stasjoner langs vegen der en kan skifte til en trekkvogn med fullt oppladde batterier. Dersom utviklingen går i en slik retning, vil det være lite aktuelt å investere i løpende strømforsyning langs vegen. På bakgrunn av slike betraktninger har vi gjort en nytte-kostnadsberegning av en investering i 33 % ekstra trekkvogner med batterier og tilhørende ladestasjoner. Det er forutsatt en ekstra ladestasjon på strekningen med like mange ladepunkter som antall ekstra trekkvogner. På grunnlag av [5] er prisen per ladepunkt satt til 300 000 kr. Resultatet av disse beregningen er vist i Tabell 7.

**Tabell 7 NKA-resultater for en strategi med 33 % ekstra trekkvogner og ladepunkter**

	A0 Dieselbiler	AX Trekkvogner	Differanse AX-A0
Transportutøvere	357 123 280	350 815 692	-6 307 588
Kapitalkostnader	61 806 405	83 908 376	22 101 970
Andre tidskostnader	205 040 500	205 040 500	0
Energikostnader	50 638 875	23 541 816	-27 097 059
Andre distansekostnader	39 637 500	38 325 000	-1 312 500
Operatørselskaper	0	0	0
Energileverandører	0	0	0
Det offentlige	-24 636 375	-7 972 658	16 663 717
Investeringer i elveg	0	2 447 534	2 447 534
D&V for elveg	0	0	0
Avgiftsinntekter	-24 636 375	-10 420 191	14 216 184
Samfunnet for øvrig	11 413 792	690 945	-10 722 847
Trafikksikkerhet	0	0	0
CO2-kostnader transport	16 341 067	2 285 476	-14 055 590
CO2-kostnader infrastruktur	0	0	0
Andre miljøkostnader	0	0	0
Skattekostnad	-4 927 275	-1 594 532	3 332 743
<b>SUM Netto nytte</b>	<b>343 900 697</b>	<b>343 533 979</b>	<b>-366 718</b>

Positive tall betyr kostnader, negative tall betyr inntekter eller besparelser

Tabell 7 viser kostnader og inntekter for 100 kjøretøyer (vogntog/semitrailere) med batteripakker sammenlignet med samme antall dieselskjøretøyer som kjører den aktuelle strekningen på 200 km tre ganger i hvert av årets 220 yrkesdøgn. Dette fremstår som en løsning som samfunnsøkonomisk sett er omtrent likeverdig med dagens dieseltransport. Løsningen bidrar også med vel så store reduksjo-

ner i klimagassutslipp ettersom en unngår de CO<sub>2</sub>-utslippene som følger med installasjon av infrastruktur langs vegen. Løsningen fortoner seg derfor som en fleksibel og interessant mulighet som bør utredes nærmere før en bestemmer seg for å en tung satsing noen av de strategialternativene som det har vært fokus på i ELinGO-prosjektet.

På noe lengre sikt kan det også vise seg at hydrogen eller andre energibærere viser seg å være aktuelle alternativer både til dagens dieseltransport og til en eventuell el-basert godstransport.

## 7 Referanser

- 1 Erlend Brenna Raabe, NTNU (2017): Life Cycle Assessment of Electrification of Heavy Duty Vehicles
- 2 Statens vegvesen Håndbok V712 (høringsutgave 2017): Konsekvensanalyser
- 3 Fraunhofer Institut für System und Innovationsvorschung (2017): Machbarkeitsstudie zur Ermittlung der Potentiale des Hybrid-Oberleitung-Lkw
- 4 Hanne Samstad, COWI AS (2017): Kjøretøykostnader for lette biler, tunge biler og busser
- 5 Odd Andre Hjelkrem og Terje Kristensen, SINTEF (2017): Elektrifisering av korte, tunge transporter



Støttet av Norges forskningsråd