



Foto: Njål Svingheim

NULLFIB₂

Nullutslipp - batteridrift på jernbanen
Hovedrapport



Utarbeidet av: Dag Aarsland, Bjørn Bryne, Geir Vadseth, Atle Einarson, Øyvind Gebhardt, Marianne Finborud, Ludvik Hambro, Henrik Karlsson og Johan Palm	Saksnummer 202000267
Godkjent av: Erik Lund og Anita Skauge	Dokumentnummer 202000267-6
Dato 31.08.2021	Versjon 02
Endringslogg: Endret kapittel 8 i sammendrag	

Sammendrag

Jernbanedirektoratet ga ut rapport «NULLutslippsløsninger for Ikke-elektrifiserte Baner» (NULLFIB) i desember 2019. Hensikten med rapporten var å vurdere hvilken fremtidig driftsform som kunne erstatte fossilt drivstoff som energibærer for togdrift. Rapporten identifiserte at batteridrift i kombinasjon med deelelektrifisering er et godt alternativ til erstatning for fossilt drivstoff.

NULLFIB var avgrenset til å bruke Nordlandsbanen som casestudie, og vurderte ikke alle tekniske varianter av infrastruktur for lading. Denne oppfølgingsrapporten tar for seg de ikke-elektrifiserte strekningene Nordlandsbanen, Rørosbanen, Raumabanen og Solørbanen. Arbeidet omfatter vurderinger av ulike varianter av ladesystemer, og tilgang på egnede batterikjøretøy til all skinnegående virksomhet på norsk jernbane som i dag benytter diesel som energibærer.

Denne rapporten skal sammen med NULLFIB-rapporten legge grunnlaget for en eventuell fremtidig bestilling fra Samferdselsdepartementet om en KVV for investering i nødvendig infrastruktur for overgang til nullutslippsteknologi i de delene av driften som ikke allerede har dette.

Rapporten viser at det er teknologisk gjennomførbart å få til en overgang fra dieseldrift til batteridrift på de ikke-elektrifiserte delene av det norske jernbanenettet. Teknologien er så moden og tilgjengelig at en teknologiovergang vil bære mer preg av å være en utrulling enn et utviklingsprosjekt. Det betyr ikke at det ikke vil være utfordringer med gjennomføring av et prosjekt, men det vil preges av relativt normale utfordringer som sektoren er vant til å håndtere, fremfor teknologiutviklingsrelaterte utfordringer.

Teknologien er fortsatt i stor utvikling, men teknologiutviklingen har ikke betydning for om en teknologiovergang til batteridrift er mulig. Den har bare påvirkning på kostnadsnivået, og hvilke løsninger som kan velges.

Selv om teknologien utvikler seg så er det behovene i det europeiske togmarkedet som synes å være avgjørende for hva som blir kommersielt tilgjengelig. Dersom batteridrift skal innføres i Norge bør det derfor legges opp til et ladesystem som ligner på strukturen i de ikke-elektrifiserte delene av de største europeiske jernbanenettverkene, og det bør planlegges for et system der strekningene som skal kjøres med energi fra batteri ikke overstiger 80-120 km i relativt flatt terreng. Dette er teknisk mulig å ta i bruk i dag, og vil ha varig bruksverdi uansett hvordan den teknologiske utviklingen går, som følge av at når infrastrukturen først er tatt i bruk vil den fortsette å bli brukt relativt uavhengig av teknologiutviklingen.

Det er stor variasjon i utfordringene og potensialet knyttet til de ulike banene. Dette gjør at det kan være fordelaktig å åpne for variasjon i ladesystem for de ulike banene, så lenge ladesystemene bygges opp rundt den samme typen banestromforsyning som benyttes i den elektrifiserte delen av jernbanenettet.

For kortere banestrekninger finnes det allerede kommersielt tilgjengelige motorvognsett med batterier. Innen få år vil disse kunne trafikkere Raumabanen.

Lengre baner med gjennomgående trafikk, slik som Nordlandsbanen og Rørosbanen, vil også kunne trafikkeres av persontogkjøretøy med batteri, men dette krever lading underveis ved bruk av deelelektrifisering.

Solørbanen og hele eller deler av Rørosbanen bør vurderes fullelektrifisert, da disse er en maske i et banenettverk. Det kan være ønskelig at standard elektrisk togmateriell skal kunne brukes, noe som gir økt fleksibilitet i utnyttelsen av jernbanenettet.

Det er til nå ikke utviklet godstoglokomotiver med tilstrekkelig batterikapasitet, og det er uklart når dette vil skje. Med dagens batteriteknologi er det teknisk mulig med batteridrift av godslokomotiver, men når det blir kommersielt tilgjengelig er avhengig av markedsutviklingen for slike lokomotiver i Europa.

Lading i fart underveis er mulig ved bruk av dagens standardløsninger for banestrom, og det er ikke behov for videre teknologiutvikling.

Hurtig lading ved stillstand krever tilpasning av eksisterende kontaktledning/strømvogter. Arbeid med dette er igangsatt.

Utredningen viser at det finnes teknologi som kan erstatte diesel som energibærer på norsk jernbane med et forventet kostnadsnivå som er betydelig lavere enn hva som tidligere er anslått. Utredningens anslag er at

infrastrukturkostnadene for noen av banene ved overgang til batteridrift kan komme ned i 20-25 % av kostnadene som tidligere er beregnet for full elektrifisering.

Det reduserte kostnadsnivået knyttet til investering for å gjøre en teknologiovergang mulig, gjør at en teknologiovergang til batteridrift fremstår enda mer aktuell enn tidligere, ut fra et samfunnsøkonomisk perspektiv. Men det er to forhold som hindrer et teknologiskifte. Det ene er aktørenes evne til å bære de investeringer som er nødvendige for å gjennomføre et skifte av teknologi. Det andre er aktørenes sikkerhet for at deres investeringer tilpasses og koordineres med de øvrige aktørenes investeringer både teknologisk og tidsmessig.

En fullstendig teknologiovergang vil trolig ikke skje uten tiltak fra staten og statlige aktører, og det vil heller ikke skje uten at de øvrige aktørene i jernbanesektoren ser det som fordelaktig.

Statens verktøykasse består av flere mulige virkemidler, men i denne sammenheng ser det ut til at det bør avgrenses til utredning, bevilgninger/investeringsstøtte samt instruksjoner til statlige aktører.

Hvor fort et teknologiskifte vil skje, kan reduseres til et spørsmål om hvor raskt og hvordan staten kan sikre tilstrekkelig finansiering og koordinering av de nødvendige tiltak. Valg av tiltak og organisering vil kunne ha stor påvirkning på når en overgang vil skje.

Anbefalinger

Det anbefales at det arbeides for en teknologiovergang fra fossilt drivstoff til en tilgjengelig og gjennomførbar nullutslippsteknologi gjennom å iverksette fire parallelle aktiviteter:

- Det anbefales at det iverksettes arbeid for å utarbeide en støtteordning som dekker finansieringsbehovene hos både statlige og private aktører i norsk jernbanesektor knyttet til teknologiovergang. Formålet med dette tiltaket er å sikre rask igangsettelse av teknologiovergang i de trafikkoppleggene som krever de minste inngrepene for å kunne realiseres (Handlingsalternativ 4).
- Det anbefales å iverksette en KVV. Formålet med dette tiltaket er å igangsette de prosesser som er nødvendige for at teknologiovergangen skal kunne bli komplett, og også inkludere de delene av det ikke-elektrifiserte jernbanenettet i Norge som krever noe mer omfattende tiltak for å gjennomføre en teknologiovergang (Handlingsalternativ 3).
- Det anbefales videre at det avsettes ressurser i Jernbanedirektoratet til å bistå sektoren med nødvendig koordinering og eventuell administrasjon av en støtteordning. Formålet med dette er å redusere risiko knyttet til effekten av de to øvrige tiltakene (Handlingsalternativ 3 og 4).
- Det anbefales at det legges til rette for at Bane Nor viderefører sitt arbeid med overvåkning av energiforbruk, og fortsetter med sin kompetanseoppbygging knyttet til 50Hz teknologi i banestrømsforsyningen.

Innhold

Innhold	5
1 Innledning	7
1.1 Bakgrunn	7
1.2 Mandat	8
1.3 Strategisk forankring.....	8
1.4 Metode.....	9
1.5 Disposisjon	9
1.6 Avgrensninger	9
1.7 Grensesnitt mot andre prosjekter	10
2 Situasjonsbeskrivelse	11
2.1 Elektrifisert jernbane	11
2.1.1 Strømforsyningsnett og banestrømforsyning	11
2.1.2 Utstyr for håndtering av strøm i toget	12
2.2 Ikke-elektrifiserte banestrekninger i Norge.....	13
2.2.1 Nordlandsbanen	14
2.2.2 Rørosbanen	15
2.2.3 Raumabanen	16
2.2.4 Solørbanen.....	17
2.3 Jernbanekjøretøy på ikke-elektrifiserte strekninger.....	18
2.3.1 Lokomotiver	18
2.3.2 Motorvogner.....	18
2.3.3 Sporbundne arbeidsmaskiner	18
3 Teknologianalyse	20
3.1 Batteriteknologi for jernbanekjøretøy.....	20
3.1.1 Lokomotiver med batterier	21
3.1.2 Motorvogner med batterier	23
3.1.3 Sporbundne arbeidsmaskiner med batterier.....	23
3.1.4 Perspektiv på utvikling av batterier for jernbanekjøretøy	24
3.1.5 Oppsummering av batteriteknologi for kjøretøy	27
3.2 Ladesystemer for batterikjøretøy	28
3.2.1 Full elektrifisering	28
3.2.2 Delelektrifisering.....	29
3.2.3 Endepunktslading.....	30
3.2.4 Ladestopp	31
3.2.5 Batteribytte	33
3.2.6 Oppsummering ladesystem.....	34
3.3 Samlet vurdering av teknologiske muligheter for bruk av batterier og ladesystem	34
4 Banenes trafikkopplegg og behov for ladesystem	36
4.1 Nordlandsbanen	36
4.1.1 Drift	36
4.1.2 Behov og alternativer for banestrømforsyning.....	37
4.1.3 Vurderinger for Nordlandsbanen.....	37
4.2 Rørosbanen	38
4.2.1 Drift	38
4.2.2 Behov og alternativer for banestrømforsyning.....	39
4.2.3 Vurderinger for Rørosbanen	40
4.3 Raumabanen	40
4.3.1 Drift	40
4.3.2 Behov og muligheter for banestrømforsyning.....	41

4.3.3	Vurderinger for Raumabanen.....	42
4.4	Solørbanen	42
4.4.1	Drift	42
4.4.2	Behov og muligheter for banestrømforsyning.....	43
4.4.3	Vurderinger for Solørbanen	43
4.5	Sammenhenger mellom trafikkopplegg og behov for kompatibilitet mellom ladesystemer	44
4.6	Samlet vurdering av mulighetene for teknologiovergang fra diesel til strøm på de ikke-elektrifiserte banestrekningene	45
5	Insentivordninger.....	47
5.1	Positive insentiver for at jernbaneforetak skal kunne ta i bruk batteridrift.....	47
5.2	Økonomisk struktur for jernbaneforetak som driver godstrafikk.....	47
5.3	Forutsetninger for at økonomiske støtteordninger og andre positive insentiver vil være egnede..	49
5.4	Alternative støtteordninger for kjøretøy.....	49
5.4.1	Staten eier kjøretøy/batterier.....	50
5.4.2	Statlig støtte for å kjøpe batterier/kjøretøy med batterier.....	50
5.4.3	Statlig støtte for å kjøre med batterier	51
5.4.4	Staten dekker engangskostnader for en eller flere batterikjøretøytyper.....	51
5.4.5	Bonus til reduksjon av klimagassutslipp.....	52
5.4.6	Ingen finansiell støtte – vente på at batterikjøretøy er tilstrekkelig billig.....	52
5.5	Totalvurdering av insentivordninger.....	52
6	Handlingsalternativer.....	53
6.1	Alternativ 0	53
6.2	Alternativ 1	53
6.3	Alternativ 2	54
6.4	Alternativ 3	54
6.5	Alternativ 4	54
7	Konklusjon og anbefaling.....	56
7.1	Konklusjon.....	56
7.2	Anbefaling.....	56
8	Vedlegg.....	58
8.1	A: Oversikt over delrapporter.....	58

1 Innledning

1.1 Bakgrunn

Elektrifisering og nullutslippsløsninger i transportsektoren er en kraftfull teknologisk trend. Innen jernbanesektoren representerer imidlertid ikke nullutslipp og elektrifisering noe nytt, da mer enn halvparten av jernbanenettet i Norge allerede er elektrifisert. Samlet sett har jernbanen derfor forholdsvis små utslipp. Likevel er det fortsatt slik at en vesentlig andel av det norske jernbanenettet er basert på drift med fossilt drivstoff som er forbundet med relativt lav energieffektivitet, og miljøbelastninger i driftsfasen i form av utslipp til luft og støy. Det er klare indikasjoner på at fossil diesel som energibærer på jernbanen er en utgående teknologi, som må byttes ut fordi den i fremtiden ikke lenger vil være tilgjengelig. Flere kjøretøyleverandører har stoppet utviklingsarbeid med nye kjøretøyer som kun går på diesel for bruk i Europa, og flere av kjøretøyeierne som leier/ leaser ut jernbanekjøretøy ønsker ikke lenger å leie/ lease ut nye dieselskjøretøy på kortere kontrakter. Dieseldrift er videre forbudt med høye driftsutgifter for operatør, noe som gir lavere lønnsomhet for jernbanedriften, og dårligere konkurranseevne for jernbanen målt opp mot andre transportformer.

Det synes som at behovet for et teknologiskifte for de ikke-elektrifiserte banestrekningene blir stadig mer aktuelt, drevet frem i et høyt tempo av både økonomiske, faglige, etiske, miljømessige, praktiske og politiske faktorer. Jernbanen er et system med lange levetider og lange ledetider for endringer, og det er derfor viktig å følge med på utviklingen som foregår.

Frem til nå har det vært mangel på gode og gjennomførbare alternativer til dieseldrift og full elektrifisering, men i 2019 gjennomførte Jernbanedirektoratet prosjektet NULLFIB (NULLutslippsløsninger for Ikke-elektrifiserte Baner). Prosjektet hadde til hensikt å belyse aktuelle nullutslippsløsninger som alternativer til fossilt drivstoff på de ikke-elektrifiserte banestrekningene i Norge. I tillegg til å vurdere aktuelle nullutslippsløsninger identifiserte NULLFIB-prosjektet blant annet hvilke nullutslippsløsninger som kan gi best økonomisk besparelse, samt hvilken nullutslippsløsning som er det beste alternativet for videre satsing.

Prosjektet pekte på batteridrift i kombinasjon med deelektrifisering som et lovende alternativ til dieseldrift, og indikerte at denne teknologien er tilstrekkelig moden for å kunne løse utslippsproblematikken for enkelte kjøretøytyper, slik som gods- og persontog. Prosjektet indikerte videre at teknologiutviklingen tilsier at en slik løsning vil kunne brukes som nullutslippsløsning for andre typer jernbanekjøretøy, slik som maskiner for arbeid i infrastrukturen, samt at sekundære arbeidsoperasjoner som i dag er drevet av diesel kan utføres med batteridrift. Samlet indikerte NULLFIB-prosjektet at jernbanen har gode forutsetninger for å hente positive effekter fra den aktuelle teknologien, og at det ved å kombinere batteridrift med deelektrifisering eller et annet ladesystem, kan være mulig å redusere investeringer i infrastruktur. Den aktuelle teknologien representerer imidlertid et driftssystem som det er begrenset erfaring med i nyere tid, og det er et behov for å samle informasjon om, og å gjøre vurderinger av, denne teknologien sitt potensiale i en moderne, norsk jernbanekontekst.

1.2 Mandat

Denne utredningen, omtalt som *NULLFIB2 - batteridrift på jernbanen*, er en videreføring av Jernbanedirektoratet sitt NULLFIB-prosjekt. NULLFIB2 - batteridrift på jernbanen har til hensikt å gjøre en mer inngående studie av potensialet til konseptet batteridrift med ladesystem. Utredningen favner aktuelle ladesystemer for batteridrift på de ikke-elektrifiserte banestrekningene i Norge, og er ikke begrenset til deelektrifisering som ladesystem.

Utredningen utgjør et kunnskapsgrunnlag for eventuelle videre utredninger og beslutninger om nullutslippsløsninger for de ikke-elektrifiserte banestrekningene. Den ser på det teknologiske potensialet til batteridrift med ladesystem, samt aktuelle tiltak og handlingsalternativer som Staten har tilgjengelig for å støtte en overgang fra dagens dieseldrift til et driftssystem basert på det aktuelle konseptet. Sammenfattet svarer utredningen på følgende problemstillinger:

- Hvordan vil teknologien for batterier og tilhørende ladesystemer til jernbanekjøretøy utvikle seg frem mot 2030? Er teknologien generelt moden nok til å bli implementert?
- Hvilken infrastruktur kreves for å benytte batteridrift på de enkelte ikke-elektrifiserte banestrekningene med tilgjengelig batteriteknologi i 2030? Vil teknologien kunne implementeres på en hensiktsmessig måte på de konkrete banestrekningene?
- Hvilke tiltak og handlingsalternativer har Staten for å støtte en overgang fra dieseldrift, til batteridrift med ladesystem?

1.3 Strategisk forankring

Prosjektet har strategisk forankring i nasjonale politiske føringer. Nasjonal transportplan (NTP) 2022-2033 angir at Regjeringens overordnede mål for transportsektoren er «Et effektivt, miljøvennlig og trygt transportsystem i 2050», som skal «bidra til oppfyllelse av Norges Klima- og miljømål». Eksempelvis skal det utredes ulike tiltak og virkemidler som kan utløse minst 50% reduksjon i ikke-kvotepliktige utslipp i 2030 sammenlignet med 2005. Videre er det et mål om å bli et lavutslippssamfunn i 2050, med 80-95 prosent lavere utslipp enn i 1990. I NTP fremkommer det at transportsektoren står for nesten en tredjedel av landets klimagassutslipp, og i tråd med regjeringens klimaplan, Meld. St. 13 (2020-2021) Klimaplan for 2021-2030, må virkemiddelbruken for å nå målene som er satt for utslippskutt innen 2030 bli forsterket. Den styrkede klimaforpliktelsen er i tråd med EUs forpliktelser, og ett av virkemidlene som løftes frem er elektrifiseringen av kjøretøy i transportsystemet. Ifølge NTP er elektrifisering av de ikke-elektrifiserte jernbanestrekningene med ordinært kontaktledningsnett kostnadskrevenende. Det anses derfor å være aktuelt med utredning og utvikling av andre nullutslippsløsninger for disse banene.

I tildelingsbrevet fra Samferdselsdepartementet til Jernbanedirektoratet for 2020 angis det under hovedmål 3 – Miljø at «det viktigste virkemiddelet i sektoren for å nå etappemålene knyttet til klimagassutslipp og ren luft er å gjøre jernbanen attraktiv både for person- og godstransport der toget har sine miljøfortrinn.» Videre fremkommer det av tildelingsbrevet at Jernbanedirektoratet blant annet skal fremme forslag for departementet om utnyttelse av mulighetene som ligger i ny teknologi for jernbanen, og at Jernbanedirektoratet skal koordinere tiltak og bidra til nødvendig kunnskap og samarbeid i sektoren slik at ny teknologi og nye mobilitetsløsninger på jernbane kan prøves ut og evt. tas i bruk i Norge.

Meld. St. 27 (2014-2015) På rett spor peker på at jernbanen skal være sentral i løsningen på de fremtidige transportutfordringene, herunder effektiv og miljøvennlig håndtering av økt transportbehov som følge av befolkningsvekst og vekst i godstransporten. Videre omtaler Meld. St. 41 (2016-2017) Klimastrategi for 2030-norsk omstilling i europeisk samarbeid regjeringens strategi for å oppfylle Parisforpliktelsen sammen med EU. Meldingen beskriver at 2030-målet for ikke-kvotepliktige utslipp skal oppfylles med nødvendig bruk av EU-regelverkets fleksibilitetsmekanismer, og med hovedvekt på innenlandske utslippsreduksjoner. De ikke-kvotepliktige utslippene angis i hovedsak å komme fra transport, jordbruk, bygg og avfall, industrien og petroleumsvirksomheten. Regjeringens strategi for 2030 legger til rette for betydelige utslippsreduksjoner nasjonalt, herunder blant annet gjennom måltall om nullutslippskjøretøy i Meld. St. 33 (2016-2017) Nasjonal transportplan 2018-2029 (NTP).

1.4 Metode

Det er benyttet ulike metoder for å komme frem til funn og vurderinger som blir presentert i denne rapporten. For å innhente informasjon har Jernbanedirektoratet benyttet sin trendovervåkningsportal, samt at det er gjort systematisk arbeid for å identifisere skriftlige kilder som omfatter presseoppslag, rapporter, artikler etc. Jernbanedirektoratet har innhentet forskningsgrunnlag via sitt medlemskap i det norske forskningssenteret MoZEES, som forsker på nullutslipps energiløsninger for transport, og det er sendt ut en RFI (Request For Information) til kjøretøyprodusenter med spørsmål knyttet til kjøretøy og batterier. Ved siden av dette er det gjennomført møter og/ eller dialog med aktuelle togselskap, kjøretøyeiere, produsenter og brukere. Spesielt har godsoperatør på Nordlandsbanen gitt støtte for å kunne ta ut operative energiforbruksdata fra godsløkomotiv, slik at grunnlagsdata for fremtidig bruk blir helt eksakte.

Norske Tog AS har bidratt med innspill og kompetanse angående kjøretøy av typen persontog. Generelt har det vært tilrettelagt for at berørte og interesserte aktører har kunnet bidra, og for å fremme kreativitet og engasjement. Involvering av togselskap, kjøretøyeier og kjøretøy- og batteriprodusenter har bidratt til å etablere kunnskapsbildet, og til å gi perspektiver på mulig fremtidig utvikling. Som følge av situasjonen med Covid-19 har prosjektet ikke hatt mulighet til fysiske møter med aktørene, men har primært benyttet digital plattform for møtevirksomhet.

Bane NOR Energi (BNE) har gjort beregninger av hva som er best mulig infrastruktur for de enkelte banestrekningene, dvs. plassering og lengde av ladestrekninger og batteristrekninger. Strekningene er dimensjonert ut fra kravene som godstog stiller til infrastrukturen, og deretter er det beregnet hvilken batterikapasitet de ulike passasjertogtypene vil måtte trenge. Ettersom det er usikkert hvilken batterikapasitet det vil bli plass til i lokomotiver framover, er en rekke alternative løsninger for infrastruktur undersøkt. Det er også beregnet hva en mulig framtidig økning av ladehastighet til batterier vil bety for utforming av infrastrukturen. På denne måten er det tekniske mulighetsrommet for batteritog med ladesystem kartlagt.

BNE har fått montert energiforbruksmålere på to CargoNet diesel-lokomotiver og på to SJ-persontog-lokomotiver. Målerne sender måledata med 5 sekunds oppløsning til Bane NOR. Data blir i første omgang brukt til å verifisere beregninger, deretter kan de eventuelt bli benyttet for detaljprosjektering og kontraktsgrunnlag ved innkjøp av lokomotiver.

1.5 Disposisjon

Denne utredningen består av en hovedrapport og to delrapporter. Overordnede beskrivelser, konklusjoner og anbefalinger finnes i hovedrapporten, mens detaljert faglig underlag finnes i delrapportene. De to delrapportene som følger rapporten er *Delrapport 1- Batteriteknologi for jernbanekjøretøy*, og *Delrapport 2 - Banestrømforsyning for batteridrift på jernbanen*.

Hovedrapporten er bygget opp for å en gradvis innføring i problemstillingen. Bakgrunn og grunnleggende beskrivelser blir presentert først. Deretter følger generiske beskrivelser og drøfting av den aktuelle teknologien, før analyser, vurderinger og anbefalinger for bruk av teknologien på de enkelte ikke-elektrifiserte banestrekningene. Endelig presenteres tiltak som kan være aktuelle for Staten å ta i bruk for å støtte en gjennomføring av et teknologiskifte, ulike handlingsalternativer for Staten, konklusjoner og anbefalinger.

1.6 Avgrensninger

Utredningen har flere avgrensninger, herunder geografiske, teknologiske, konseptuelle, og metodiske. Det geografiske tiltaksområdet som er omfattet av utredningen er de delene av jernbanenettet¹ hvor strømforsyning for tog ikke er utbygd, og der kjøretøy benytter diesel som energikilde for fremdrift (de ikke-elektrifiserte banestrekningene). Teknologisk er avgrensningen den delen av jernbanedriften som baseres på jernbanekjøretøy som har diesel som energibærer. Utredningen omtaler lokomotiver, motorvogner og arbeidsmaskiner, men omfatter i mindre grad vurderinger av arbeidsmaskiner, ettersom disse blir utredet

¹ Ikke elektrifiserte skifteområder som er så lange at de kan oppfattes som jernbanestrekninger er ikke tatt med i vurderingene, eksempel på ett slikt område er Kongsberg – Flesberg (Numedalsbanen)

separat i samarbeid med Bane NOR i løpet av 2021. I et overordnet konseptuelt perspektiv er rapporten begrenset til en studie av nullutslippskonseptet batteridrift med ladesystem. Dette konseptet utgjør ett av flere konseptuelle alternativer til dieseldrift. Rapporten er begrenset til å studere det tekniske og insentivmessige potensialet for det aktuelle konseptet, og omfatter ikke samfunnsøkonomisk analyse som grunnlag for å vurdere lønnsomhet for konseptet og sammenligne konseptet med alternative konsepter.

1.7 Grensesnitt mot andre prosjekter

Utredningen har grensesnitt mot pågående anskaffelser av fjerntog og lokaltog, og mot de pågående elektrifiseringsprosjektene på delstrekningen Trondheim-Stjørdal på Trønderbanen, på Solørbanen og på delstrekningen Hamar-Elverum på Rørosbanen. Videre så har prosjektet grensesnitt mot et arbeid som utføres i samarbeid med Bane NOR, som skal kartlegge CO2-utslipp fra drift og vedlikehold og utslippsreduksjoner for arbeidsmaskiner, og mot forskningssenteret MoZEES, som forsker på nullutslipps energiløsninger for transport.

2 Situasjonsbeskrivelse

Overordnet består jernbanen av kjøretøy, skinner til å kjøre på, signalsystem for å ivareta sikkerheten og en infrastruktur for å sørge for energi til kjøretøyene. Infrastrukturen må være tilpasset den energibæreren som kjøretøyene benytter. I Norge blir det i dag benyttet to typer energibærere for togfremføring. Disse er diesel og elektrisitet. Banestrekninger som benytter diesel som energibærer blir omtalt som ikke-elektrifiserte banestrekninger, mens banestrekninger som benytter elektrisitet som energibærer blir omtalt som elektrifisert jernbane.

2.1 Elektrifisert jernbane

Denne utredningen omhandler batteridrift med ladesystem som et alternativ til dieseldrift på de ikke-elektrifiserte banestrekningene. For å drøfte dette konseptet er det en del prinsipper ved konvensjonell elektrifisert jernbane som er grunnleggende. Dette kapittelet gjør rede for de aktuelle prinsippene.

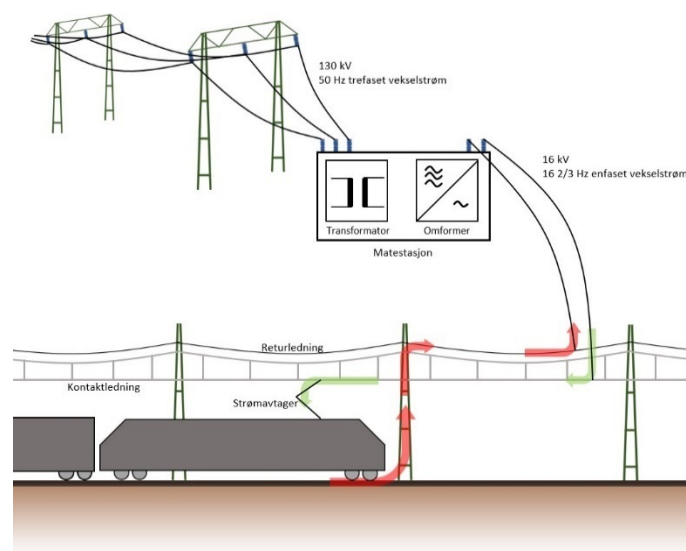
2.1.1 Strømforsyningsnett og banestrømforsyning

Elektrifisert jernbane er en betydelig forbruker av strøm, og den krever tilknytning på høyt spenningsnivå. Tilkobling til det overliggende regionale strømforsyningsnettet bør fortrinnsvis gjøres på ledninger med 132 kV.

Det overliggende strømforsyningsnettet leverer trefaset spenning med frekvens 50 Hz. Togene trenger enfaset spenning 15 kV med frekvens 16 2/3 Hz. Spenningen må derfor omformes i matestasjoner før strømmen kan overføres til togene.

Jernbanens strømsystem omfatter både matestasjoner og kontaktledningsnett, og omtales her som banestrømforsyning. Kontaktledningsnettet er et elektrisk høyspenningsanlegg der vekselstrøm forsynes til togene fra en matestasjon via en kontaktledning som henger over skinnene, og returneres tilbake til matestasjon gjennom skinner og returledning. Matestasjonene kobler på den måten det overliggende strømforsyningsnettet og kontaktledningsnettet sammen. Togene er utstyrt med strømvtagere på taket, som sleper langs kontaktledningen, og lager nødvendig kontakt mellom tog og kontaktledning til å få overført energi i form av strøm til å drive toget.

Figur 1 viser sammenhengen mellom det overliggende strømforsyningsnettet og banestrømforsyningen, og relasjonen mellom tog og kontaktledning.

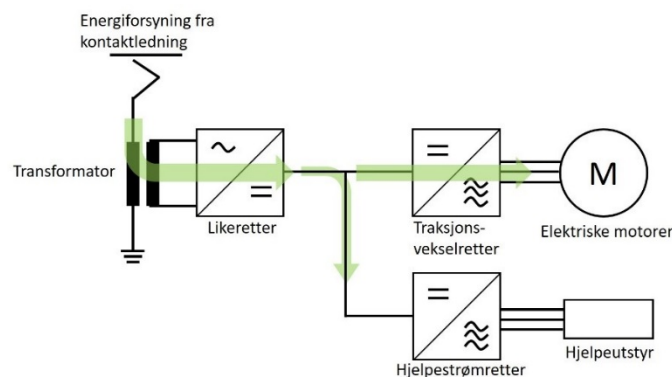


Figur 1: Prinsippskisse som forklarer strømmens vei fra overliggende regionalt strømforsyningsnett til toget.

Matestasjonene er ett av hovedelementene i banestrømforsyningen, og for elektrifisert jernbane er det vanlig at det ligger matestasjoner med 6 til 12 mil avstand fra hverandre. Matestasjonene er så kostbare at antallet matestasjoner det er nødvendig å etablere har vesentlig betydning for den totale investeringskostnaden for infrastruktur. Kostnaden for en matestasjon knyttes til grunnarbeider, kostnader til bygninger og kostnader til teknisk utstyr, samt tilkobling til overliggende nett. Dersom det ikke er strømforsyningsnett frem til der matestasjonen plasseres, eller det ikke er kapasitet nok i det overliggende strømforsyningsnettet, vil det også tilkomme kostnader knyttet til bygging av nye kraftlinjer, eller forsterkning av eksisterende strømforsyningsnett. Plassering av matestasjonene i forhold til det overliggende strømforsyningsnettet har derfor en vesentlig betydning for kostnadsbildet.

2.1.2 Utstyr for håndtering av strøm i toget

I konvensjonelle elektriske tog blir vekselstrømmen fra kontaktledningen ledet fra strømvtageren til resten av ombordutrustningen via en transformator som forandrer på strømmens spenning. Den blir deretter ledet til en likeretter, som omformer strømmen til likestrøm, før den ledes til traksjonsvekselretter og hjelpestrømretter. Traksjon er et faguttrykk som brukes for det utstyret som sørger for fremdrift, og traksjonsvekselretteren sin oppgave er å omdanne likestrømmen til vekselstrøm som igjen forsyner de elektriske motorene som driver toget fremover. Togfører kan kontrollere togets fremdrift ved å endre på innstillingene til traksjonsvekselretteren. Hjelpestrømretteren omdanner likestrøm til vekselstrøm som forsyner blant annet ventilasjon, varme lys og kontrollanlegg i kjøretøyet. Prinsippet er vist i Figur 2.



Figur 2: Illustrasjon av den prinsipielle oppbyggingen av strømforsyningen i et elektrisk jernbanekjøretøy.

2.2 Ikke-elektrifiserte banestrekninger i Norge

De ikke-elektrifiserte banestrekningene er Nordlandsbanen, Raumabanen, Rørosbanen og Solørbanen. Strekningene er vist i Figur 3 og beskrevet i de påfølgende kapitlene².



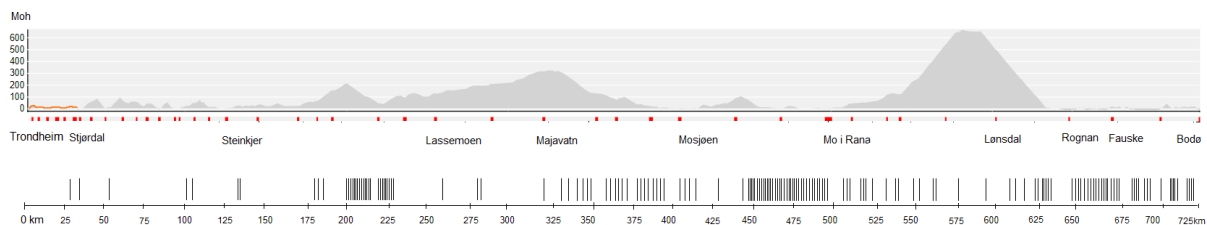
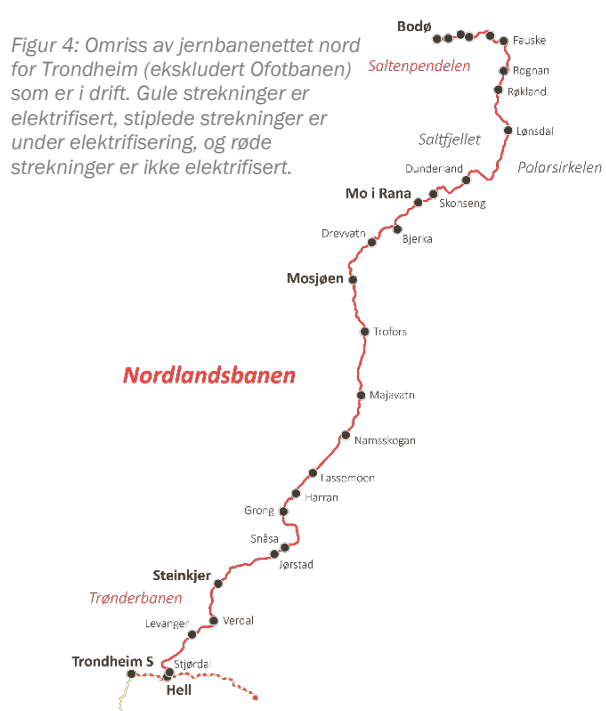
Figur 3: Omriss av det norske jernbaneliknet (ekskludert Ofotbanen) som er i drift. Gule strekninger er elektrifisert, stiplete strekninger er under elektrifisering, og røde strekninger er ikke elektrifisert.

² Ikke-elektrifiserte skifteområder som er så lange at de kan oppfattes som jernbanestrekninger, ikke elektrifiserte sidespor, terminaler, hensettingsområder, verkstedområder og stasjonsområder er ikke tatt med i vurderinger eller vist på figuren. Dette omfatter blant annet Numedalsbanen.

2.2.1 Nordlandsbanen

Nordlandsbanen er betegnelsen på jernbanelinjen bygget mellom Trondheim og Bodø. Den er 726 km lang, og er Norges lengste hovedstrekning. Jernbanen ble påbegynt tidlig på 1900-tallet, og ble ferdigstilt til endestasjonen Bodø i 1962. Banestrekningen møter den elektrifiserte Dovrebanen på Trondheim sentralstasjon. Nordlandsbanen er ikke elektrifisert, og kjøres i dag med dieseldrevne tog. Ved Hell grener Meråkerbanen av fra Nordlandsbanen og møter det svenske jernbanenettet. På Trønderbanen³ er Nordlandsbanen allerede planlagt elektrifisert frem til Stjørdal, og Meråkerbanen er også planlagt elektrifisert i sin helhet. Figur 4 viser omriss av jernbanenettet nord for Trondheim, og angir strekninger som er henholdsvis elektrifiserte, under elektrifisering eller ikke-elektrifiserte.

Nordlandsbanen er anlagt gjennom et varierende terreng og klima, og har stadig utfordringer med ras- og store nedbørsmengder. Strekningen over Saltfjellet utmerker seg, der banen passerer 680 meter over havet. Figur 5 viser topografien, stasjonene og tunnelene langs Nordlandsbanen.



Figur 5: Figuren viser i rekkefølge topografien, stasjonene (rødt) og tunnelene (vertikale stolper) langs Nordlandsbanen.

Persontrafikken på Nordlandsbanen er relativt sammensatt og består i dag av 5 ulike trafikkopplegg, som inngår i samme trafikkpakke. Det kjøres fjerntog mellom Trondheim og Bodø, en dagtogsavgang og en nattogsavgang. Det kjøres også ett fjerntog på dagtid mellom Trondheim og Mo i Rana. Tilbudet kan oppleves som et regiontog som følge av kjøretøytypen som benyttes. Det kjøres også to daglige regiontogsavganger mellom Mosjøen og Bodø. Det kjøres også et trafikkopplegg mellom Steinkjer og Trondheim (og videre på Dovrebanen til Lundamo) på det som omtales som Trønderbanen. I den andre enden av Nordlandsbanen er det også et tilbud for pendlere mellom Rognan og Bodø som omtales som Saltenpendelen.

³ Trønderbanen er ikke en betegnelse på en banestrekning i jernbanefaglig sammenheng, men en samlebetegnelse for banene rundt Trondheim som betjenes av et gitt trafikkopplegg for persontrafikk. Trønderbanen omfatter den sørlige delen av Nordlandsbanen frem til Steinkjer.

Godstrafikken på Nordlandsbanen består av tre forskjellige trafikkopplegg. Det kjøres containertog mellom Trondheim og Bodø, der noen avganger også stopper for av og pålasting i Mosjøen, Mo i Rana og Fauske. Mange av disse togene starter/slutter på Alnabru. Mellom Ørtfjell og Mo i Rana kjøres det jernmalmstog for Rana Gruber AS. Det kjøres også noen tømmertog til Norske Skog AS i Skogn fra terminaler sør for Trondheim.

2.2.2 Rørosbanen

Rørosbanen er 382 kilometer lang og går fra Hamar gjennom Østerdalen og over Røros til Støren. Banen er knyttet sammen med Dovrebanen på Hamar og Støren og med Solørbanen på Elverum. Rørosbanen er ikke elektrifisert i hele sin lengde, men det foreligger planer for elektrifisering mellom Hamar og Elverum. Figur 6 viser omriss av Rørosbanen, mens Figur 7 viser topografien, stasjoner, tunneller og overgangsbruere langs banen.

Rørosbanen er svært viktig for skogbruksnæringa, og daglig kjøres det mange tømmertog fra terminalene langs banen. For godstrafikken er Rørosbanen også en viktig avlastningsrute for gods mellom Østlandet og Trøndelag ved driftsavvik eller arbeider på Dovrebanen.

Rørosbanens persontog har tilnærmet to-timersfrekvens mellom Røros og Hamar med forbindelser til Oslo. Mellom Røros og Trondheim går det morgen- ettermiddags- og kveldstog.

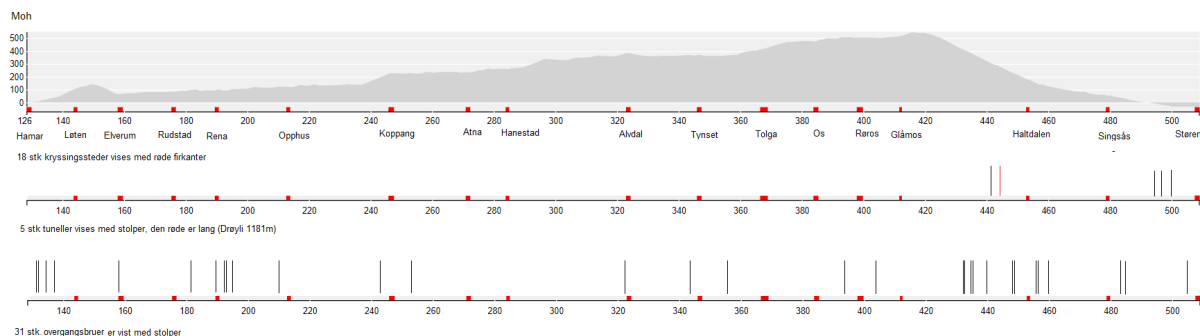
Ordinær godstrafikk på Rørosbanen består av at det kjøres tømmertog fra terminalene på Hovdmoen nord for Rena og fra Koppang. Trafikken går til mottagere i Sverige og Østfold via Solørbanen. Omfanget er normalt rundt en daglig avgang. Tidligere var det også trafikk fra terminalen på Auma. I perioder kjøres det også tømmertog fra terminalene langs Rørosbanen nordover til Skogn på Nordlandsbanen.

Mellom Elverum og Hamar kjøres det i tillegg gjennomgående tømmertog mellom tømmerterminalen på Sørli, Hove og Kvam på Dovrebanen og mottagere i Sverige.

Det går også ukentlige vognlasttog til Hamar fra sentralskiftetasjonen i Hallsberg i Sverige. Sjeldnere enn ukentlig går det også vognlasttog fra Ilseng via Hamar og Alnabru til Sverige. Rørosbanen har for en stor del en gunstig trasé og en betydelig lavere fjellovergang mellom Østlandet og Trøndelag enn Dovrebanen. Det er lange strekninger som er gunstige for jernbane med få krappe kurver. Dette tillater høy hastighet og raske kjøretider for persontogene gjennom Østerdalen. Nord for Røros går banen gjennom Gauldalen til Støren, og på denne strekningen er det brattere terreng med flere kurver og dermed flere begrensninger i hastigheten.



Figur 6: Omriss av Rørosbanen. Gule strekninger er elektrifisert, og røde strekninger er ikke elektrifisert.



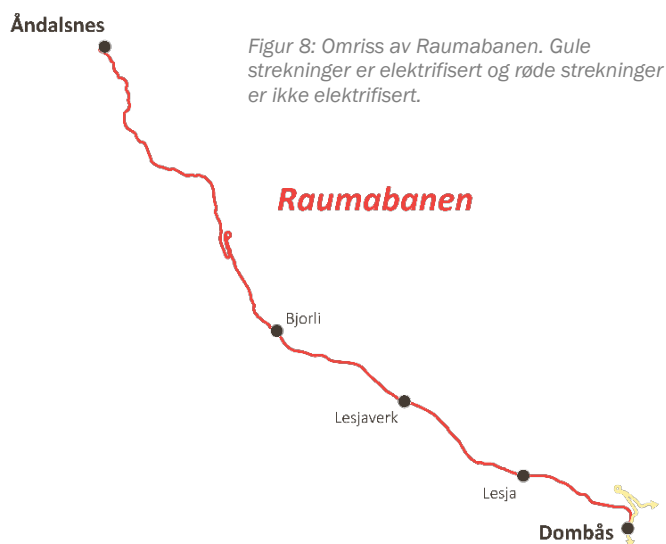
Figur 7: Topografien, stasjonene (rødt), tunneller (vertikale stolper) og overgangsbruer langs Rørosbanen. Strekningen har 18 stasjoner, 5 tunneller og om lag 31 overgangsbruer.

2.2.3 Raumabanen

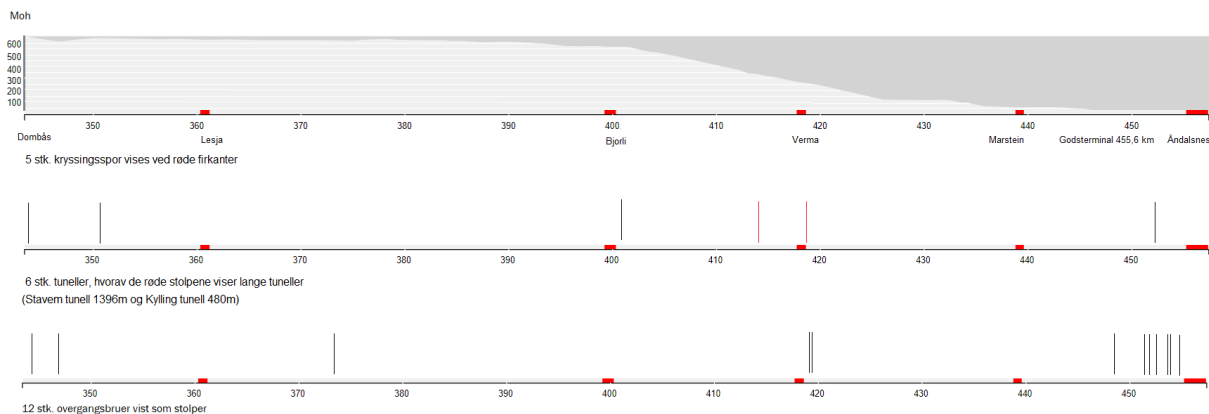
Raumabanen er 115 kilometer lang og er anlagt fra Dombås til Åndalsnes. Banen er knyttet sammen med Dovrebanen på Dombås. Åndalsnes er banens endestasjon og knutepunkt for gods- og persontrafikken til og fra Møre og Romsdal. Figur 8 viser omriss av Raumabanen, og Figur 9 viser topografi, stasjoner, tunneller og overgangsbruer langs strekningen.

Banen ble åpnet i 1924 og er bygget med hovedlinjestandard. Det vil si at den har samme standard i underbygning og kurvatur som Dovrebanen. Ved Verma har Raumabanen en linjeføring som går gjennom vendetunneler, og store broer tar banen ned i dalbunnen uten at den maksimale stigningen for strekningen overskrides.

Raumabanens linjeføring ved Verma er regnet som et av landets ingeniørtekniske storverk fra byggeperioden. Her passerer også den berømte steinhvelvsbrua over Rauma, Kylling bru. Raumabanens øvrige trasé er gjennomgående god og tillater relativt høy hastighet på togene.



Figur 8: Omriss av Raumabanen. Gule strekninger er elektrifisert og røde strekninger er ikke elektrifisert.



Figur 9: Topografien, stasjonene (rødt), tunneller (vertikale stolper) og overgangsbruer langs Raumabanen. Strekningen har 5 stasjoner, 6 tunneller og 12 overgangsbruer.

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

Banen har fire daglige persontog i hver retning (tre på lørdager). Ett av disse togparene kjøres til/fra Lillehammer. Alle togene har forbindelser med Dovrebanens tog og med busser til/fra Ålesund og Molde. Reisetiden med persontog er i underkant av en time og 20 minutter.

Det kjøres fra søndag til torsdag ett godstogpar mellom Oslo og Åndalsnes. Banen er også tilrettelagt med profil som tillater semihengere framført på godsvogner. Godsterminalen i Åndalsnes har kapasitet til å håndtere flere godstog. Det går store varestrømmer mellom Nordvestlandet og Østlandet, og det er også store muligheter for å få mer av denne trafikken over på Raumabanen ved effektive godstogopplegg.

2.2.4 Solørbanen

Solørbanen er 93,6 kilometer lang, og går fra Kongsvinger til Elverum. Banen er knyttet sammen med Kongsvingerbanen og med Rørosbanen. Solørbanen følger Glommas østside det meste av veien gjennom Solør. Banen har en gunstig trasé med lange rettstrekninger og bare minimale stigninger. Figur 10 viser omriss av Solørbanen, og Figur 11 viser topografi, stasjoner og overgangsbruer for strekningen.

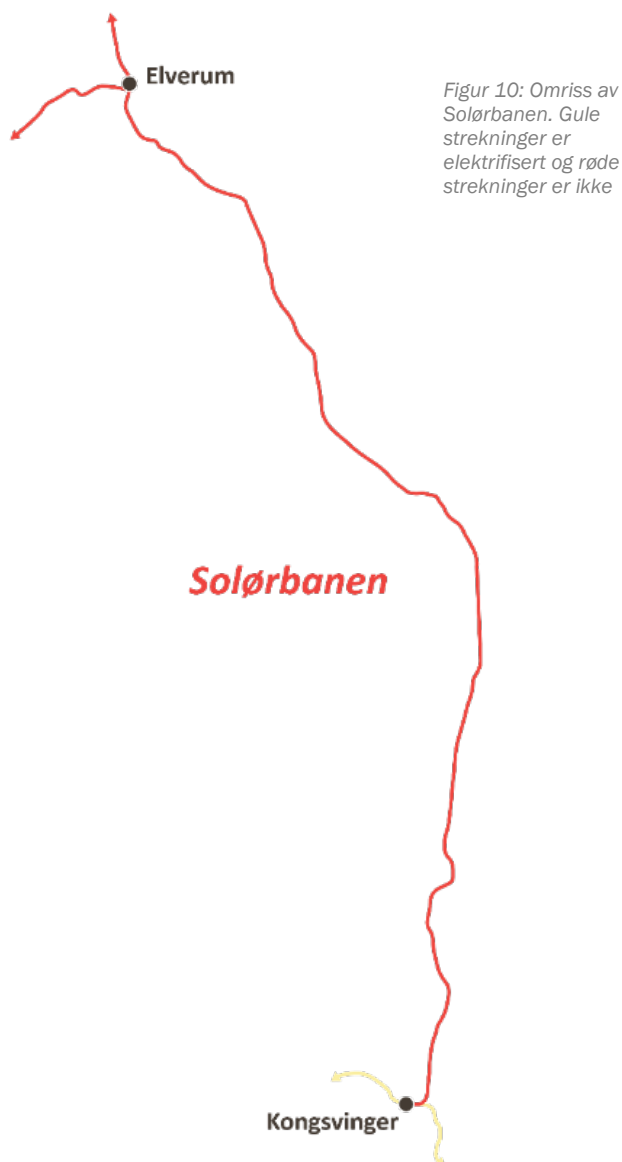
Solørbanen er ikke elektrifisert og er ikke fjernstyrt. Ved behov kan stasjonene Kirkenær, Flisa og Braskereidfoss bemannes.

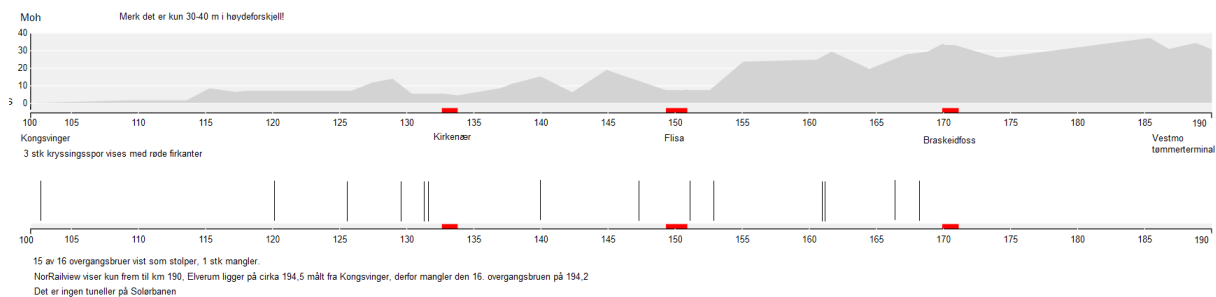
Ordinær godstrafikk på Solørbanen består av at det kjøres tømmer tog fra terminalene på Vestmoen sør for Elverum og Braskereidfoss. Trafikken går til mottagere i Sverige og Østfold via Kongsvingerbanen. Omfanget er normalt rundt en daglig avgang.

Mellom Kongsvinger og Hamar kjøres det i tillegg gjennomgående tømmer tog mellom tømmerterminalen på Sørli, Hove og Kvam på Dovrebanen og mottagere i Sverige. Det kjøres også gjennomgående tømmer tog fra terminalene langs Rørosbanen nord for Elverum, i hovedsak Hovdmoen og Koppang, til Østfold og Sverige.

Det går også ukentlige vognlasttog til Hamar fra sentralskiftestasjonen i Hallsberg i Sverige via Solørbanen.

I forbindelse med planlagte trafikkavbrudd på Dovrebanen sør for Hamar kjøres noe av trafikken som normalt går på Dovrebanen over Solørbanen.





Figur 11: Topografien, stasjoner og overgangsbruer langs Solørbanen. Det er 3 stasjoner (rødt) og 16 overgangsbruer (15 av 16 vises med vertikale stolper) langs banen, men ingen tunneller.

2.3 Jernbanekjøretøy på ikke-elektrifiserte strekninger

Ulike kjøretøy trafikkerer jernbanen, og denne utredningen omtaler i hovedsak tre kjøretøytyper. Disse er lokomotiver, motorvogner og arbeidsmaskiner.

2.3.1 Lokomotiver

Et lokomotiv er et jernbanekjøretøy som er utrustet med traksjonsutstyr for å trekke et tog. Lokomotiver er i seg selv ikke egnet for å ta noen last av gods eller passasjerer, men de er egnet til å trekke andre jernbanekjøretøy som ikke er utrustet med slikt utstyr, eksempelvis person- og/eller godsvogner.

Lokomotiver har en høy aksellast, ofte høyest mulig tillatt, for å kunne oppnå høy friksjon mellom hjul og skinner, og derved utnytte trekraften maksimalt. De har standardiserte tilkoblinger, og kan tilkobles de fleste vogner for både passasjerer og gods. Det er i dag mer eller mindre utelukkende lokomotiver som benyttes til godstransport på jernbane. For persontogtransport på de ikke-elektrifiserte banene er det i hovedsak fjern- og natt-togene på Nordlandsbanen som er basert på lokomotiver og vogner. Lokomotiver er som hovedregel dimensjonert for å trekke store tog, og vil ofte være noe overdimensjonerte dersom de brukes til å drive tog med få vogner og liten last. Lokomotiv og vogn systemet har stor fleksibilitet, og kan enkelt tilpasses variasjoner i behov ved og legge til eller fjerne vogner i toget.

2.3.2 Motorvogner

Motorvogner er jernbanekjøretøy som har utstyr for fremdrift integrert i de samme vognene som bærer last. Vognene er fast sammenkoblet og fremstår i bruk som en enhet. Motorvognene blir i all hovedsak benyttet til persontogtrafikk. Ofte har motorvognene motorer spredt utover flere vogner. Dette konseptet muliggjør at toget har samme ytelse pr. vogn uavhengig av togets lengde. Det finnes også en rekke andre varianter der motorer f.eks. er plassert i den ene av to vogner eller i togets to endevogner. Motorvognsett med drivkraft fordelt over flere hjulaksler muliggjør høy ytelse uten nødvendigvis å ha behov for høy akselvekt.

Motorvognsystemet er ikke så fleksibelt når det gjelder å tilpasses til varierende behov. Tilpasning til behov skjer i hovedsak på designtidspunktet, ved at det gjøres valg om hvor lang motorvognen skal være. I drift kan kapasitet tilpasses ved å variere om toget består av en eller flere motorvogner, men dette er en veldig grovkornet metode for å tilpasse til behov.

Det er to type motorvogner i bruk på de ikke elektrifiserte strekningene i 2021. Den ene av disse vil i løpet av det kommende året skiftes ut mot samme antall motorvogner som kan kjøres både på strøm og diesel.

2.3.3 Sporbundne arbeidsmaskiner

I tillegg til tog trukket av lokomotiver og motorvognsett, så benyttes det arbeidsmaskiner på jernbanen til drift- og vedlikeholdsoppgaver. Dette kan være alt fra store vedlikeholdstog og høyfjellsfresere til mindre veg-skinne-maskiner og målevogner.

I dag er det utelukkende dieseldrift på arbeidsmaskiner. Historisk har ikke nullutslippsløsninger vært et fokus, og dieseldrift har gitt en fleksibilitet i form ved at man har kunnet kjøre materiellet over hele jernbanenettet, fremfor å skaffe ulike arbeidsmaskiner for elektrifiserte og ikke-elektrifiserte strekninger.

En annen årsak til at arbeidsmaskiner utelukkende er dieseldrevne er at strømmen må kobles fra ved vedlikeholdsarbeid på eller nært strømførende komponenter. Uten alternativ kraftkilde enn kontaktledningen vil maskinene ikke kunne benyttes til slikt arbeid.

En utredning om mulige nullutslippsløsninger for skinnegående arbeidsmaskiner er planlagt ferdig i løpet av 2021.

3 Teknologianalyse

Denne utredningen tar for seg konseptet batteridrift med ladesystem som en alternativ driftsform for togfremføring på de ikke-elektrifiserte banestrekningene.

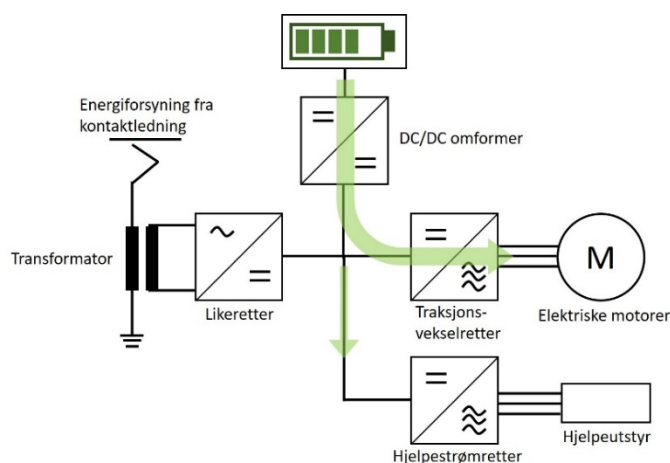
Batteridrift med ladesystem innebærer at kjøretøyene blir drevet frem ved hjelp av batterier på hele eller deler av banestrekningene, samt at batteriene blir ladet opp under fremføring eller stillstand ved hjelp av en egnet infrastruktur. Konseptet omfatter dermed både kjøretøy som er batteridrevne, og systemer og utstyr som er nødvendig for å lade batteriene.

Dette kapitlet gir generelle beskrivelser av teknologien knyttet til batteridrevne kjøretøy for jernbane, og nødvendig utstyr for ladning av batteriene. Kapitlet ser på generelle muligheter og begrensninger knyttet til den aktuelle teknologien, mens spesifikke analyser av driftsopplegg, og driftsøkonomiske vurderinger for de aktuelle banestrekningene, blir presentert i neste hovedkapittel. Utdypende teknologianalyser finnes i delrapport 1 og delrapport 2 for henholdsvis batteriteknologi for jernbanekjøretøy og banestrømforsyning for batteridrift på jernbanen.

3.1 Batteriteknologi for jernbanekjøretøy

For batterikjøretøy utgjør batteriet energilageret som skal sikre kjøretøyets behov for energi. Energien skal rekke både til å kjøre en gitt strekning, og til å dekke sekundærbehov som lys, oppvarming, ventilasjon og kjøling, også omtalt som hjelpestrøm. Når kjøretøyet befinner seg på et sted der det kan få tilført energi, eksempelvis fra en kontaktledning eller regenerativ bremsing, så skal energisystemet dekke traksjon, lading av batteriene og hjelpestrøm.

Batteridrevne kjøretøy er prinsipielt bygget opp på samme måte som konvensjonelle jernbanekjøretøy med energiforsyning via kontaktledning. I tillegg vil batteriene kreve en innkobling i kjøretøyets elektriske system. Batteriet kobles inn mellom likeretter, traksjonsvekselretter og hjelpestrømretter, og vil med hjelp av en DC/DC omformer levere likestrøm til traksjonsvekselretter og hjelpestrømretter. Dette illustreres i Figur 12.



Figur 12: Illustrasjon av den prinsipielle oppbyggingen av strømforsyningen i et batterielektrisk jernbanekjøretøy. Energiflyten som illustreres er ved fremdrift på ikke elektrifisert strekning.

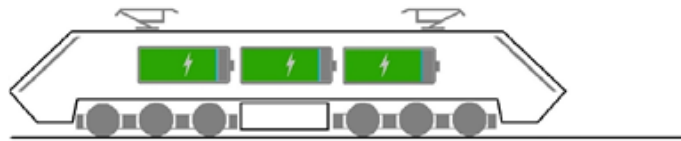
Plassering av batterier og øvrige tekniske løsninger for kjøretøyene baserer seg i stor grad på leverandørenes design, og det er sentralt å forankre utredningen av mulige konsepter for batterikjøretøy i hva leverandører av jernbanekjøretøy kan tilby. Som en del av utredningsarbeidet har flere leverandører av jernbanekjøretøy blitt forespurt om å komme med sine vurderinger av ulike batterikonsept for henholdsvis lokomotiver og motorvogner gjennom en informasjonsforespørsel til markedet (*Request For Information, RFI*).

Dagens teknologiske batteriløsninger for jernbane er forholdsvis nye, og de er mindre utprøvde enn tradisjonelle teknologier. Prosjektene med batteriteknologi som er under utvikling, leveranse og/eller testing er i stor grad de første av sitt slag fra de respektive leverandørene, og svarene fra RFI-ene er av Jernbanedirektoratet vurdert med dette perspektivet.

3.1.1 Lokomotiver med batterier

I lokomotiver kan batteriene plasseres enten som en integrert del av lokomotivet, og/eller i en egen batterivogn. I denne utredningen er det vurdert flere ulike konsept for batteridrevne lokomotiv, der de mest aktuelle har vært benyttet i analysen. Konseptene har alle sine fordeler og ulemper, både når det gjelder batterikapasitet og håndtering. De ulike konseptene gir ulik plass til batterier, ulik bæreevne for batterivekt, ulikt forhold mellom trekkraft og rekkevidde og ulike operasjonelle egenskaper.

Den første hovedgruppen av lokomotiver som er vurdert, er lokomotiver der batteriene er integrert i lokomotivet. Figur 13 viser et eksempel på lokomotiv med batteriene integrert. Lokomotivene kan forekomme med ulikt antall akslinger.

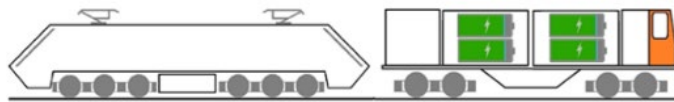


Figur 13: Illustrasjon av konseptet med batterier i et seksakslet lokomotiv

De minste lokomotivene som er vurdert har fire aksler. Integrering av batterier i disse lokomotivene blir av flere kjøretøyleverandører vurdert til å være lite hensiktsmessig for de trafikkoppleggene som her vurderes. Batteriene blir i RFI vurdert av kjøretøyleverandørene til å være for små som følge av begrensningene som ligger i tilgjengelig volum og bæreevne for batterier. Dersom dette skal være hensiktsmessig for bruk i de trafikkoppleggene som er aktuelle her må det skje en betydelig utvikling av batterier først. Fireakslede lokomotiver vurderes derimot som godt egnet i opplegg der man har behov for en såkalt «last mile application» som krever mindre energimengder, eksempelvis skifting på ikke-elektrifiserte sidespor og terminaler, eller kjøring til og fra hensettingsplasser uten kontaktledningsanlegg. Det er også et potensiale for at dette konseptet kan egne seg for lette persontog som ikke skal trekkes så langt. Det er vurdert som sannsynlig at denne lokomotivtypen vil sees i drift både i Norge og i resten av Europa, til tross for at den ikke løser utfordringene i de trafikkoppleggene denne utredningen har benyttet som beregningseksempler.

For lokomotiver med seks aksler, samt lokomotiver med innebygget ledd med åtte, ti eller tolv aksler, er begrensningene i forhold til vekt og volum mindre. Flere leverandører har gjort beregninger som viser at seksakslede lokomotiver med dagens batteriteknologi vil kunne ha en tilfredsstillende rekkevidde til å håndtere persontog og lettere godstog. For å kunne håndtere tyngre godstog med de forutsetningene for banestrømforsyning som er analysert, ser det imidlertid ut til å kreve en utvikling av batteriteknologien. Dersom det legges til grunn en større lokomotivtype, eller bruk av flere lokomotiver, viser de beregningene som er gjort at også de tyngste godstogene kan fremføres ved bruk av strøm fra en kombinasjon av banestrøm og batterier. Bruk av store, eller mange lokomotiver har imidlertid en kostnad for operatør.

Den andre hovedgruppen av lokomotivkonsepter som er vurdert, er lokomotiver med en batterivogn. Eksempel på et slikt konsept er vist i Figur 14. Denne hovedgruppen innebærer flere ulike løsninger som er vurdert.



Figur 14: Illustrasjon av batterivogn med en førerhytte.

Det finnes løsninger med og uten batteri i lokomotivet, og det finnes løsninger med og uten førerhus i batterivognen. Løsninger med førerhus i batterivogn vil ha svært like egenskaper som de tidligere nevnte store lokomotivene med ledd, men vil i noen tilfeller kunne være noe rimeligere. Løsningene uten førerhus i batterivogn vil ha en rekke operasjonelle utfordringer i forhold til at skifte og lasteoperasjoner kan bli svært kompliserte, eller kreve spesielt tilrettelagt infrastruktur eller egne skiftelokomotiver. Kapasitetsmessig kommer derimot disse løsningene godt ut, og de vil kunne ha store nok batterier til å betjene de fleste av de aktuelle trafikkoppleggene. Løsninger som bruker et tilnærmelsesvis standard elektrisk lokomotiv, og en batterivogn uten førerhus, er trolig den løsningen som har det mest gunstige forholdet mellom utviklingskostnad og kapasitet.

Konklusjoner lokomotiver med batterier

Utredningen viser at det med dagens batteriteknologi er mulig å finne løsninger der lokomotiver benytter batterier for togfremføring for alle togene som finnes i de trafikkoppleggene som er vurdert. Dette forutsetter at det finnes en ladeinfrastruktur som har visse likheter med den banestrømforsyningen som er benyttet som regneeksempel for de enkelte banestrekningene i denne utredningen.

Utredningen viser også at utvikling av batteriteknologien vil gjøre det lettere å utvikle gode batteribaserte løsninger for lokomotiver til en lavere kostnad. Det er tre grunner til at lokomotiver med batterier er dyrere enn konvensjonelle lokomotiver.

- Disse lokomotivene er ikke ferdig utviklede, og det må derfor regnes med en høyere utviklingskostnad ved anskaffelse.
- Batterienes krav til volum og bæreevne medfører foreløpig at lokomotivene må være fysisk større, og ha flere aksler enn konvensjonelle lokomotiver, eller det må brukes en egen batterivogn.
- Batteriet i seg selv har en betydelig kostnad, spesielt når det analyseres livssyklus kostnader og tas hensyn til at batteriene sannsynligvis vil byttes flere ganger i løpet av kjøretøyets levetid.

3.1.2 Motorvogner med batterier

Motorvogner med batterier for fremdrift kan betraktes som kommersielt tilgjengelige. Det er et økende antall bestillinger på slike kjøretøy til ulike trafikkopplegg og prøveprosjekter i Europa.

Motorvogner kan bygges relativt lette, og kan dermed oppnå den nødvendige rekkevidden ved bruk av batterier som er betydelig mindre enn hva som er nødvendig i et godslokomotiv. De trafikkoppleggene som er vurdert i denne utredningen er i all hovedsak baner med en relativt lav passasjerbelastning som i utgangspunktet betjenes av relativt små kjøretøy. Det er dermed fullt mulig å plassere batterier både inne i og utenpå kjøretøyene uten at det må bygges et stort kjøretøy for å opprettholde den samme passasjerkapasiteten. Figur 15 viser mulige løsninger for plassering av batterier for fremdrift i motorvogner.



Figur 15: Eksempler på plassering av batterier for fremdrift i motorvogner.

Ulike leverandører har ulike løsninger for plassering av batterier i tog, og hva som trekkes frem av leverandørene har en tydelig sammenheng med hvilken løsning de har utviklet lengst. De ulike batteriplasseringene gir litt ulike utfordringer eller begrensninger. Noen løsninger har volumbegrensninger, noen har utfordringer med vekt og tyngdepunkt, mens andre har mer passasjerrettede utfordringer knyttet til f.eks. passasje gjennom toget. Felles for alle løsningene er imidlertid at det er utfordringer som lar seg løse i dag, med dagens batteriteknologi, og med de infrastrukturforutsetninger som er regnet på i tilknytning til denne utredningen. Etter hvert som batteriteknologien utvikler seg, vil disse utfordringene gradvis bli enda lettere å løse.

Konklusjoner motorvognsett med batterier

Det er grunn til å konkludere med at motorvognsett med batterier allerede er kommersielt tilgjengelige. Dette forutsetter at det finnes en ladeinfrastruktur som har likheter med den banestrømforsyningen som er benyttet som regneeksempel for de enkelte banestrekningene i denne utredningen.

3.1.3 Sporbundne arbeidsmaskiner med batterier

Parallelt med denne utredningen har det pågått en utredning for å se på mulighetsrommet for elektrisk drift av arbeidsmaskiner som benyttes til drift og vedlikehold. Dette arbeides antas å bli ferdigstilt i løpet av 2021. Løsninger for arbeidsmaskiner vil av den grunn ikke drøftes videre i samme detaljeringsgrad i denne utredningen, og det vises til anbefalingene som vil komme i dette arbeidet. Imidlertid vil løsninger for arbeidsmaskiner omtales på et overordnet nivå i dette delkapittelet.

Foreløpige funn i det parallelle utredningsarbeidet viser at nullutslippsløsninger for arbeidsmaskiner er mulige, men at det må legges opp til ulike løsninger for de respektive arbeidsmaskinene.

Enkelte arbeidsmaskiner må kunne utføre operasjoner i sporet når kontaktledningen er koblet ut, og i disse tilfellene er det ikke aktuelt å anskaffe kjøretøy som utelukkende drives ved hjelp av strøm fra kontaktledning. Slike arbeidsmaskiner kan eksempelvis være maskiner som benyttes av mannskap til å reparere kontaktledningen eller veg-skinne-maskiner. Sistnevnte arbeidsmaskiner er i utgangspunktet

traktorer og lastebiler som er bygget om med tilleggsutstyr som gjør at de kan kjøre på både vei og jernbanespor.

Arbeidsmaskiner som må kunne kjøre uten bruk av kontaktledning kan i varierende grad kjøre ved hjelp av batteri, avhengig av om de har plass til tunge batterier som er integrert i utrusningen eller eventuelt kan bruke egne batterivogner. Andre arbeidsmaskiner vil måtte benytte utslippsfritt drivstoff fremfor batterier på grunn av manglende plasskapasitet til batterier på grunn av størrelse og vekt.

For den elektrifiserte delen av jernbanenettet kan det også være aktuelt med hybride arbeidsmaskiner som kjører både ved hjelp av kontaktledning og batteri, på samme måte som de nevnte løsningene for lokomotiver og motorvogner. Dette kan være større arbeidsmaskiner, eller tyngre materiell som kan trekke batterivogner eller utrustes med batterier som er integrert i kjøretøyene.

3.1.4 Perspektiv på utvikling av batterier for jernbanekjøretøy

Utvikling av batterier for jernbanekjøretøy

Utviklingen av batterier går i retning av lengre levetid og lavere kostnader. Innføringen av batterisystemer for fremdrift i jernbanekjøretøy er av ulike årsaker kommet kortere enn det som er tilfellet for eksempel biler. Jernbanen har blant annet større krav til levetid og robusthet enn bilindustrien, samt at jernbanen har krevende drift der det er høye krav til sikkerhet og driftsstabilitet. Jernbanen har derfor tidkrevende prosesser for godkjenning, og store krav til dokumentasjon av sikkerhet. Ibrukstagelse av ny teknologi vil derfor gå noe langsomt i jernbaneindustrien. Dette forsterkes også av at investeringer i jernbanekjøretøy er store beslutninger som ofte er knyttet til omfattende offentlige innkjøpsprosesser, noe som gir lange ledetider knyttet til selve innkjøpene.

Batterikjemi

Batterikjemi kan oppsummeres som materialvalg i batteriets tre hoveddeler, anode, katode og elektrolytt. Det er både fra forskingsmiljø og fra leverandører gitt informasjon om at det vil komme endringer i materialbruken både for anoder, katoder og elektrolytt.

Endringer i batterikjemien som benyttes kan påvirke ytelsen til alle vesentlige parameter ved et batteri, herunder energitetthet, vekt, volum, energimengde, ladehastighet, utladingshastighet, levetid, sikkerhet, miljøavtrykk og pris.

Til tross for at endringer i batterikjemi er varslet, er det som med alle andre tekniske fremskritt vanskelig å gi et eksakt tidspunkt og en eksakt rekkefølge for endringene. Det er også vanskelig å skille mellom mulig teknologi, prototyper og kommersielt tilgjengelig teknologi i markedet. Etterspørselen etter forbedringer i batteriteknologi er svært stor, og det er store gevinster for de som driver utvikling. Dette indikerer at det er grunn til å forvente at utviklingen av batterikjemi fortsetter i høyt tempo.

Ulike egenskaper til batterier for de forskjellige transportformer

Frem til i dag har det vært en variasjon av hvilken batterikjemi som er blitt benyttet til de ulike delene av transportsektoren. De ulike transportformene har ulike driftsprofiler, noe som bidrar til at forskjellige batteriegenskaper vektlegges ulikt. Vekt er eksempelvis vesentlig for kjøretøy som ruller på gummihjul, men ikke relevant for et deplasementsfartøy, og mindre kritisk for godslokomotiv. Ladehastighet er derimot ofte avgjørende for ferger, men ikke nødvendigvis like kritisk for personbiler.

Ulike applikasjoner har også ulike særkrav til batteriene, noe som også bidrar til en variasjon blant de ulike kjøretøyene. Dette kan ha medført at enkelte typer batterier ikke er blitt tatt i bruk innen jernbanen til tross for at de har egenskaper som vil kunne passe svært godt i en jernbaneapplikasjon. Det er også observert at forbedringer og utvikling av batterier har gjort at noen typer batterikjemi har nærmet seg hverandre noe med henblikk på enkelte egenskaper, for eksempel levetid, og ladehastighet.

Produktutvikling

Den historiske utviklingen og dagens voksende etterspørsel gir grunn til å anta at det vil bli en større utbredelse av batteriteknologi også i fremtiden. Produktutviklingen er markedsmotivert, og nyutviklede batterier vil først og fremst finnes i de største markedene. I denne sammenheng er jernbanen et lite marked som vil ligge i etterkant av andre større markeder, som for eksempel biler og busser. En forventet effekt av

dette er at nyvinning og utvikling i markeder med store volumer relativt raskt vil kunne overføres til mer marginale markeder, som for eksempel jernbane og ferge. Økt fokus på klima og miljø vil trolig være en effektiv driver for å sikre fortgang i å fjerne særkrav, og å finne løsninger på utfordringer, slik som eksempelvis godkjenninger, sikkerhetskrav og standardisering av batterier og koblingspunkter, som hindrer en teknologiovergang i også å omfatte jernbanen. Klima- og miljøhensyn kan også bety et ansvar for å velge de best egnede batteritypene med hensyn på ressursbruk, etiske forhold ved utvinning av mineraler og resirkulering av bestanddelene i batteriene.

Batterivekt

Den høye vekten av batterisystemet påvirker batteridrift av tog på flere måter. Sporets oppbygging begrenser største tillatte aksellast for kjøretøyene. Det er med andre ord slik at den totale vekten av et kjøretøy med last må holdes under en gitt verdi per bærende aksel. Noen typer batterikjemi er tyngre enn andre, og vil derfor være mindre relevante i tilfeller der det er behov for lang rekkevidde, da dette vil kunne gi utfordringer knyttet til tillatt akselvekt på kjøretøyet. Valg av batterityper med høyere energitetthet, som dermed er lettere gitt en viss energimengde, vil kunne medføre at det ikke er vekten som er begrensning, men det er et potensial for at et slikt valg samtidig vil kunne påvirke andre batteriegenskaper negativt.

Kjøretøyindustrien hevder at vekten på batteriene gir mer utfordringer enn volum. Dette betyr at energitettheten i forhold til vekt (Wh/kg) er mer avgjørende enn energitettheten i forhold til volum (Wh/l) for hvor mye batterikapasitet som kan bygges inn i et jernbanekjøretøy.

Batterienes volum

Batterienes volum har også betydning, da det i alle jernbanekjøretøy er begrenset med plass til teknisk utstyr. Ulik batterikjemi vil gi stor forskjell i volumbehov, og dette har betydning for kjøretøyets design eller konsept. Battericellenes fysiske form kan være sylindriske, prismatiske eller poseformede. Dette påvirker også volum og vekt for batteripakken. Hvilket format som er mest hensiktsmessig må gjøres ved en sammenligning enkeltvis innen hver batteritype. Volumet er også avhengig av hvordan battericellene er satt sammen til moduler og pakker. Det totale volumet til et batterisystem med kjølesystem og ledningsnett vil variere med kjemi og pakkesammensetning.

Endringene i valg av batterikjemi og oppbygging av batteripakkene som har pågått til nå, gir grunn til å forvente at batterier til bruk i jernbanekjøretøy på kort sikt kan bli vesentlig mer kompakte enn i dag.

Volum og vekt

Jernbanekjøretøyenes tilgjengelige plass og evne til å bære batterier vil i all hovedsak ikke forandre seg noe vesentlig frem mot 2030. Overordnet så har kjøretøyene plass til batterier, og det antas at leverandørenes evne til å utnytte plassen vil bedres når det fremover lages kjøretøy som i utgangspunktet er designet for å være batterikjøretøy. I tillegg forventes det at den fysiske pakkingen av batterier i batteripakkene vil gi mer kompakte batterier. Varslede endringer i batterikjemi og kommersialisering av batterityper som per i dag er på prototyp- og prøveprosjektstadiet vil også bidra til mer egnede batterier.

Levetid

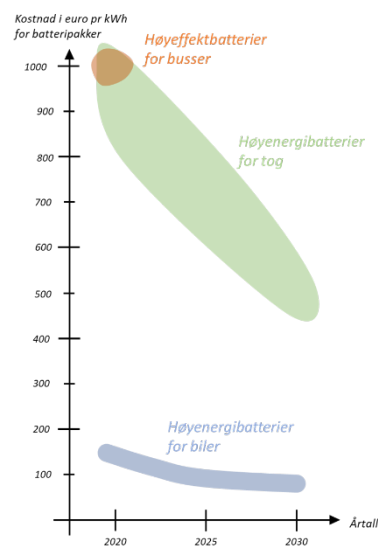
Ved lading og utlading kan det oppstå uønskede kjemiske reaksjoner som endrer batterikjemien noe. Disse reaksjonene kan oppstå hver gang batteriet brukes, og omtales ofte som aldring. Aldringsprosessen foregår ofte slik at det skjer få endringer når batteriet er nytt og i utgangspunktet stort sett har ønsket kjemi, men at antall uønskede reaksjoner pr. ladesyklus øker i takt med omfanget av endret batterikjemi. De to viktigste driverne for aldringshastighet er intensitet på bruken av batteriet og antallet sykluser batteriet har gjennomgått. Batterilevetid vil for jernbaneapplikasjoner i Norge være vesentlig som følge av at batteriene som benyttes i trafikk trolig vil ha svært hyppige ladings- og utladingssekvenser, samt at jernbanekjøretøy i utgangspunktet har svært intensiv bruk. Svake levetidsegenskaper vil dermed medføre utfordringer for driftsøkonomien.

Hittil har eksempelvis NMC og LTO batterier, som er typer av litium-ion batterier, blitt benyttet til jernbanetøy. De batteritypene som er blitt benyttet til nå er pr. i dag ikke nødvendigvis helt optimale for å ivareta samtlige behov knyttet til vekt, levetid og ladehastighet som kan være ønsket i en jernbaneapplikasjon. Det er derfor grunn til å anta at andre batterityper med egenskaper som i større grad er gunstige for ulike jernbaneapplikasjoner vil bli tatt i bruk når batterier til fremdrift av jernbanekjøretøy får større utbredelse.

I tillegg forventes det at batteristyringssystemet (BMS) vil utvikles, og at det vil bidra til å optimalisere batteriytelsen og levetiden på batteriene.

Prisutvikling

Pris for batterier er svært sensitivt for produksjonsvolumer. Produksjonsvolumet for de grunnleggende elementene i en batteripakke har hatt en svært stor vekst. Det er samtidig en omfattende etablering av nye batterifabrikker, noe som indikerer at dette forventes å øke ytterligere. Ut fra dette er det rimelig å anta at prisen på batteripakker til jernbanekjøretøy vil synke frem mot 2030 og videre. Prisen på batteripakker til jernbaneapplikasjoner vil imidlertid ligge betydelig over tilsvarende priser for batteripakker til kjøretøy på vei. Dette skyldes at antallet batteripakker som engangskostnader, kostnad til tilpasninger, BMS og godkjenninger skal fordeles over, alltid vil være betydelig lavere enn hva som forventes for eksempel innen veitransport. En større utbredelse av jernbanekjøretøy med batterier til fremdrift, og et økt omfang av mer industriell bruk av store batteripakker, vil imidlertid kunne sørge for økt standardisering som bidrar til å trekke prisnivået ned. Figur 16 illustrerer forventet prisutvikling frem mot 2030 for batteripakker til tog og biler.

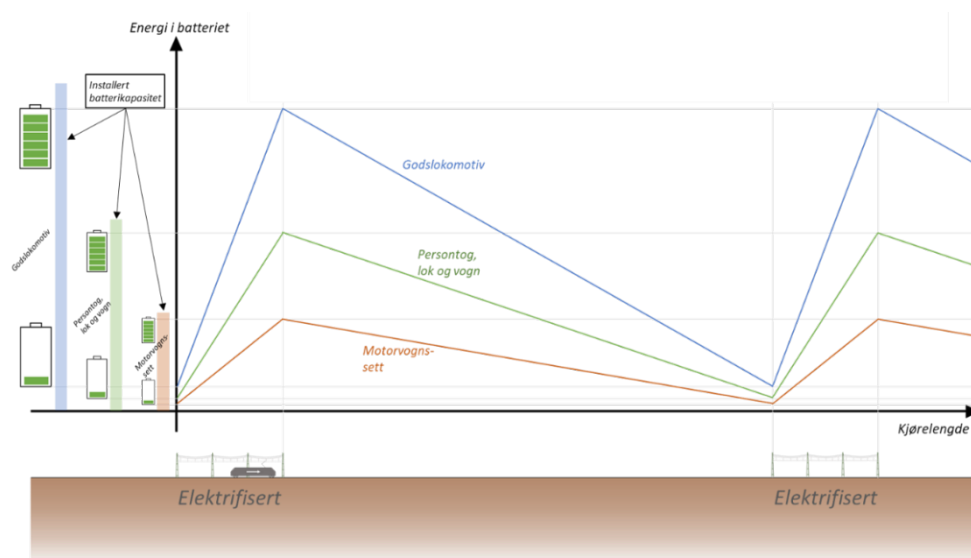


Figur 16: Forventet prisutvikling frem mot 2030 for batteripakker til henholdsvis tog og biler. Figur er basert på informasjon i delrapport 1.

Batterienes ladehastighet

Ladetiden for en batteripakke avhenger av hvor stor effekt batteriene kan ta imot og hvor stor effekt som kan leveres til lading. Kjøretøyets effektbruk til fremføring og hjelpestrøm er faktorer som sammen med batterienes og banestrømforsyningens egenskaper påvirker hvor mye batteriene blir ladet pr/km ladestrekning. Behov for store ladeeffekter for å gi rask lading har også påvirkning på dimensjoneringen av kjøretøyets transformator og likeretter. Dette vil kreve mer plass, og komponentene vil i tillegg bli tyngre. Kjøretøyleverandørene vil derfor måtte gjøre avveininger knyttet til hvordan de prioriterer bruken av tilgjengelig bæreevne for vekt og tilgjengelig volum, som trolig vil medføre at det blir begrensninger i ladeeffekten et kjøretøy håndterer. Disse begrensningene vil trolig ta mer hensyn til hva det europeiske markedet har av behov, enn hva som vil være gunstig for det norske jernbanesystemet.

Når flere typer kjøretøy benytter samme banestrømforsyning vil kravene til ladehastighet på batteriet måtte tilpasses slik at det oppnås et gunstig samspill mellom ulike kjøretøy og tilgjengelig banestrømforsyning. Prinsippene er illustrert i Figur 17. Målet er å tilpasse kjøretøyenes batterielektriske egenskaper og infrastrukturens egenskaper slik at en hensiktsmessig bruk av batterikapasiteten oppnås. Dette vil kunne gi begrensninger i ladehastighet og energimengde i batteriene for enkelte kjøretøytyper avhengig av hva det er hensiktsmessig for leverandørene å dimensjonere kjøretøyene for.



Figur 17: Prinsipper for hvordan installert energimengde og ladeeffekt vil optimaliseres i sammenheng med deelelektrifiseringen for å oppnå en gunstig utnyttelse av batterikapasiteten i de forskjellige kjøretøyene. Merk at stigningen på kurvene som viser aktuell ladestatus for de tre forskjellige kjøretøyene representerer ladeeffekten og forbrukseffekten, der godstoget (trukket av godsløkomotivet) vil ha den høyeste effekten. I dette eksemplet er det illustrert en margin i den brukte batterikapasiteten i forhold til den installerte batterikapasiteten.

3.1.5 Oppsummering av batteriteknologi for kjøretøy

Med dagens batteriteknologi er det dokumentert at en teknologiovergang til batteridrift er mulig dersom det finnes en infrastruktur for lading. Forskning og utvikling viser at det er et vesentlig potensial for forbedring av batteriegenskaper for jernbanekjøretøy.

Dette medfører at videre utvikling av batteriteknologi ikke er relevant for om en teknologiovergang fra diesel til batteri er mulig, men det vil ha betydning for kostnadsbildet og hvilken robusthet det er mulig og bygge inn i de ulike trafikkoppleggene.

Det antas at batterier til bruk i jernbanekjøretøy vil utvikle seg en hel del fra det som er tilgjengelig i dag, men det vil begrenses av hvilke ytelser kjøretøyleverandørene for de ulike kjøretøytypene velger å bygge inn i sine kjøretøy.

På grunn av det begrensede omfanget av antall potensielle batterikjøretøy på det norske jernbanemarkedet er det antatt at valg av tekniske løsninger i stor grad vil preges av behovene i Sentral-Europa, der det er et mer betydelig volum. Det antas videre at det vil være et mindre behov for ny ladeinfrastruktur i Sentral-Europa, der eksisterende banestrøm sannsynligvis kan benyttes til ladestrekninger for potensielle trafikkopplegg. Dette medfører at energimengden i batterier for de fleste kjøretøy trolig vil tilpasses en kjørelengde på 80- 120 km i relativt flatt terreng, uten lading. Batteriutvikling som går ut over dette vil da trolig benyttes for å styrke robustheten og øke sikkerhetsmarginene, eller for å forbedre forventet levetid ved å minke belastningen på batteriet.

3.2 Ladesystemer for batterikjøretøy

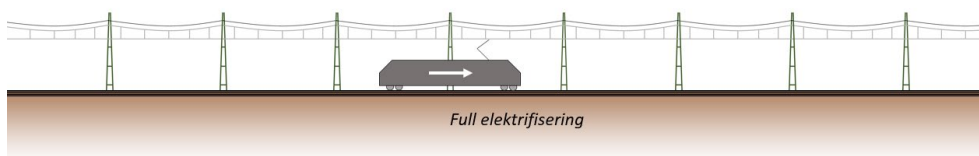
Jernbanen er en betydelig forbruker av kraft, og den krever sterk og pålitelig tilknytning til det overliggende kraftsystemet i Norge. Batteridrift av jernbanen setter nye krav til matestasjoner, avhengig av hvilke lademetoder som vil bli brukt. Slike lademetoder kan være lading på banens endepunkter, lading under opphold underveis, bytting av batteri eller batterivogn, eller lading i fart ved delelektrifisering.

I dette kapittelet gjøres rede for de ulike lademetodene og hvordan disse påvirker utformingen av matestasjonene og systemet for overføring av strøm til kjøretøyet.

3.2.1 Full elektrifisering

Full elektrifisering er ikke et ladesystem. Det beskrives likevel som innledning, ettersom full elektrifisering kan være en løsning for enkelte baner. Dessuten må også batteridrevne tog kunne kjøre på det øvrige jernbanenettet i Norge, og dermed være konstruert for dette.

Med *full elektrifisering* menes utbygging av kontaktledning på hele den totale lengden av en ikke-elektrifisert banestrekning. Prinsippet er vist i Figur 18.



Figur 18: Prinsippskisse av full elektrifisering.

Fordelene med full elektrifisering er både at hele landets jernbanenett blir standardisert, og at målet om nullutslippsdrift oppnås. Gjennom en standardisering kan alle jernbanekjøretøy betjene hele det norske jernbanenettet, noe som gir operatørene en fleksibilitet i utnyttelsen av eksisterende materiell, og mindre kompliserte kjøretøyanskaffelser for forvaltere av jernbanekjøretøy. Utover dette, så innebærer full elektrifisering en kjent teknisk løsning uten den samme risikoen med henblikk på utvikling og utprøving av ny teknologi på det begrensede markedet som Norge utgjør i en europeisk sammenheng.

Ulempen med full elektrifisering er de høye investeringskostnadene for ny kontaktledning langs hele banen. Tunneler og overgangsbroer på de ikke-elektrifiserte strekningene er ikke dimensjonerte for kontaktledninger hengende over jernbanespolet. Heving av broer og strossing av tunneller vil medføre betydelige investeringskostnader. I tillegg kommer kostnadene for selve kontaktledningsanlegget og matestasjoner.

Full elektrifisering krever tradisjonelle matestasjoner som omformer spenning og strøm fra overliggende nett til en type som tradisjonelle elektriske tog kan bruke.

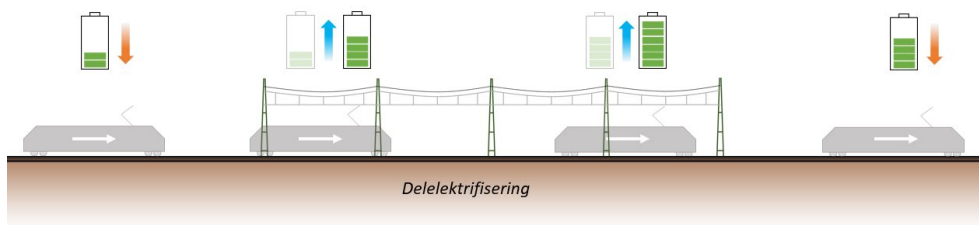
Det overliggende kraftnettet har en frekvens på 50 Hz og spenning på 66 kV eller høyere, mens kontaktledningsnettet har en frekvens på $16 \frac{2}{3}$ Hz og spenning på 15 kV. Det overliggende nettet er trefaset mens jernbanens kontaktledningsnett er enfaset, og derfor må spenning og strøm omformes. Slik omforming krever komplisert utstyr som er kostbart, krever vedlikehold og har elektriske tap.

Banestrøms-systemet vi bruker i Norge er også brukt i Sverige, Tyskland, Østerrike og Sveits. I land som har elektrifisert jernbanen i nyere tid, slik som Danmark og Finland, er det valgt et spenningssystem med 50 Hz for kontaktledning og lokomotiv. Et slikt system trenger ikke frekvensomformer og har en lavere kostnad, krever mindre vedlikehold, er mer pålitelig og har lavere tap.

Ved senere tids nye elektrifiseringer i Norge er det likevel valgt å fortsette med 16 2/3 Hz system blant annet fordi et skifte vil kreve egne lokomotiv som kan kjøre på begge spenningssystemer på de ny-elektrifiserte strekningene. Også ved en eventuell full elektrifisering av ikke-elektrifiserte baner i Norge må det antas at en vil fortsette med det etablerte systemet for resten av landet.

3.2.2 Deelektrifisering

Deelektrifisering innebærer at det blir bygget kontaktledning på deler av strekningene som togene skal kjøre, her omtalt som ladestrekninger. På de delene av strekningene der det ikke er bygget kontaktledning, her omtalt som batteristrekninger, blir togene drevet frem av energi fra batterier. Prinsippet er vist i Figur 19.



Figur 19 Prinsippsskisse av deelektrifisering.

Batteristrekningene er generelt lengre enn ladestrekningene, og lengden på batteristrekningene avhenger av hvor mye energi toget trenger før det kommer til neste ladestrekning, og hvor mye energi det er mulig å lagre i kjøretøyet.

På ladestrekningene vil toget trekke strøm fra kontaktledningen til kjøring, men også til lading av batteriene. Dette betyr at lokomotivet på ladestrekninger vil trekke i gjennomsnitt 3 til 6 ganger mer strøm enn ved full elektrifisering. Selv om strømmene er høyere ved deelektrifisering enn ved full elektrifisering, vil banestrømforsyningen kunne bygges med standard banestrømkomponenter. Det er dermed ikke behov for teknologiutvikling for å bygge banestrømforsyning for deelektrifisering, så lenge 16 2/3 Hz spennings-system velges.

Selv om de ikke-elektrifiserte strekningene i Norge er enkeltsporet, vil det forekomme situasjoner med flere tog på samme strekning, i begge retninger. Dette har betydning for dimensjonering av matestasjonene og tilknytningen til overliggende nett.

Ved deelektrifisering står en noe friere til å velge 50 Hz banestrømforsyning. Dette fordi kontaktledningsnettet ikke vil være sammenhengende, og ikke vil være forbundet med det øvrige kontaktledningsnettet. Togene må da kunne skifte matespenning mellom det fullelektrifiserte nettet og første ladestrekning, og de må utstyres spesielt for dette.

Utfordringen med 50 Hz banestrømforsyning ligger i tilknytning til det overliggende strømforsyningsnettet. Jernbanen har enfaset kraftforsyning. Tilkobling av store enfasebelastninger i det overliggende strømforsyningsnettet som er trefaset skaper usymmetri, som kan forårsake skade hos andre kraftforbrukere og kraftstasjoner. Derfor er det satt strenge begrensninger for usymmetri i tilknytningspunktet. Forskriften for leveringssikkerhet krever at usymmetrien ikke skal overstige 2 % i en 10 minuttersperiode. Det er nettselskapet som har ansvaret for dette, og de vil igjen sette krav til sine kunder om fordelingen av den usymmetrien de skaper. I praksis er det styrken (kortslutningsytelsen) i det overliggende strømforsyningsnettet som avgjør hvor stor usymmetrisk belastning en kan tilknytte. Dette er undersøkt for Nordlandsbanen i det tidligere NULLFIB-prosjektet, og det ble konkludert at kortslutningsytelsen på de aktuelle tilknytningspunktene er for liten til at 50 Hz banestrømforsyning uten frekvensomformere er mulig. Dette har sammenheng med at det spesielt på sommertid er lav belastning på nettet, og at mange kraftlinjer og generatorer ute til revisjon. Dessuten at batteritog på ladestrekninger trekker så stor strøm.

Imidlertid opererer Finland 50 Hz banestrømforsyning uten store problemer. Finland har utfordringer i forhold til banestrømforsyning som minner om de norske, relativt tynt befolket, store avstander og stor forskjell i kortslutningsytelse sommer og vinter. Men det finske banestrømforsyningssystemet er ikke deelektrifisert og forholdene er derfor forskjellige. For å kunne verifisere om en finsk løsning skal kunne brukes i Norge kreves det en større undersøkelse av de varierende kortslutningsytelsene, togtettheter og belastninger i forhold i de to landene. Det vil også kreve forhandlinger med nettselskaper og NVE.

50 Hz banestrømforsyning framstår som en mindre relevant, men rimeligere løsning for deelektrifisering i Norge.

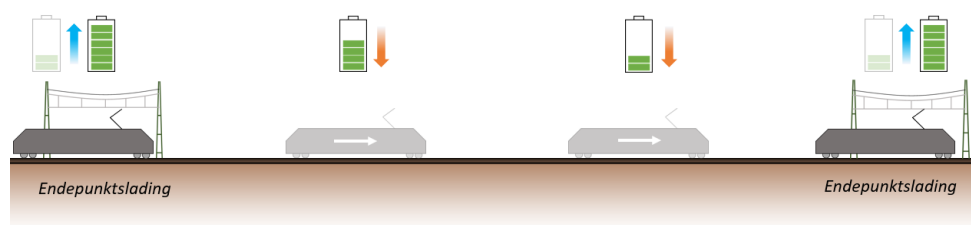
Deelektrifisering er likevel betydelig rimeligere enn full elektrifisering. Dette har sammenheng med at den største investeringen, bygging av kontaktledninger, blir mye mindre. Alt etter hvor mye batterikapasitet det er i kjøretøyet, kan kontaktledningsnettet kortes ned til mellom en tredjedel og en femtedel. Dessuten kan kontaktledningsnettet på ladestrekningene til en viss grad bygges der det er enklest og billigst. Kostbar elektrifisering ved overgangsbruer og tunneller kan unngås.

Et større antall beregninger av aktuelle plasseringer og lengder av ladestrekninger ved ulike batterikapasiteter viser at investeringskostnadene går ned når batterikapasiteten går opp. Stor batterikapasitet i kjøretøyet gir mulighet for færre og kortere ladestrekninger og færre matestasjoner. Antall ladesykluser blir færre, og levetiden til batteriene blir bedre. Imidlertid blir da strømmene som skal håndteres i overliggende nett, matestasjoner, kontaktledning, lokomotivets transformatorer og vekselrettere også større. Ved de største strømmene kan standardløsninger ikke lenger brukes. Dette gjelder for de fleste av de nevnte hovedkomponentene. De ulike løsningene er vist i prosjektets delrapport 2 *Banestrømforsyning for batteridrift på jernbanen*.

Konklusjonen er likevel at ved moderate framtidige batteristørrelser er deelektrifisering et godt ladekonsept, som er realistisk og kan utformes på en måte som kun bruker komponenter som allerede er i bruk ved jernbanens banestrømforsyning.

3.2.3 Endepunktslading

Med endepunktslading menes et ladekonsept der jernbanekjøretøyet kjøres fra en destinasjon til en annen uten tilførsel av strøm til batteriene mens kjøringen pågår. Lading av batterier vil da skje før avgang og etter ankomst til endestasjonen, mens kjøretøyet står stille. Prinsippet er vist i Figur 20.



Figur 20 Prinsippskisse for endepunktslading.

Fordelen med endepunktslading er at det ikke krever bygging av kontaktledning langs jernbanen. Det er kun nødvendig med kontakttråd eller kontaktarrangement på endestasjonene. Matestasjonen kan også forenkles. Hvis togene uansett har et lengere opphold på endestasjonen, vil batteriene kunne lade langsomt med lav effekt. Dette er ofte gunstig for levetiden til batteriene, og matestasjonen kan dimensjoneres for en lavere effekt. Tilknytning til overliggende nett kan bli mindre teknisk krevende og billigere, da det lokale forsyningsnettet på 22 kV i noen tilfeller kan brukes. En ytterligere forenkling kan gjøres ved at lading foregår direkte mot togets likestrømslink, eventuelt rett mot batteri, slik det gjøres i elektriske biler og busser. Det er da kun behov for en transformator og styrt likeretter i matestasjonen. Slik lading vil imidlertid kreve et ekstra kontaktsystem i tillegg til ordinær strømvatager. Det er ventet at det vil komme ulike løsninger på markedet

for dette. Motorvognenheter med batteridrift basert på endepunktslading med ordinær kontaktledning er det allerede på markedet, og flere steder er slike kjøretøy satt i ordinær tjeneste.

Ordinære strømvagter har en begrensning på ca. 80 A i størrelsen på strøm som kan overføres ved stillstand. Begrensningen kommer av at strømvagter ved stillstand kun berører kontaktledningen på et lite punkt, og her vil det kunne oppstå skadelig varmgang. I fart er begrensningen i Norge 800 A. Dette er mulig ettersom toget da beveger seg i forhold til kontaktledningen, og kontaktledningen er ført i en siksakkformet linje, slik at kontakten fordeles på hele bredden til strømvagter.

Problemet er anerkjent, og det forskes på ulike løsninger for å bruke strømvagter som kontakt for lading under stillstand. Aktuelle løsninger er blant annet bruk av dobbel kontakttråd, øket kontakttrykk eller metallsjikt i selve sleiden. På denne måten forsøker en å oppnå tilstrekkelig ladehastighet også ved bruk av strømvagter.

Ved ruteopplegg som krever svært hurtig lading må en benytte kontakter som minner om de som er utviklet for ferger. Det er ikke kjent at det er utviklet slike kontakter for lokomotiv.

Aller mest krevende er såkalt flashlading, der en benytter kondensatorer i stedet for batteri, og der full lading oppnås på et par minutter. Dette er en teknologi som kan komme også for tog. Det vil imidlertid kreve tilsvarende stasjonært energilager på ladestedet, og antagelig en høyeffekt kontaktanordning.

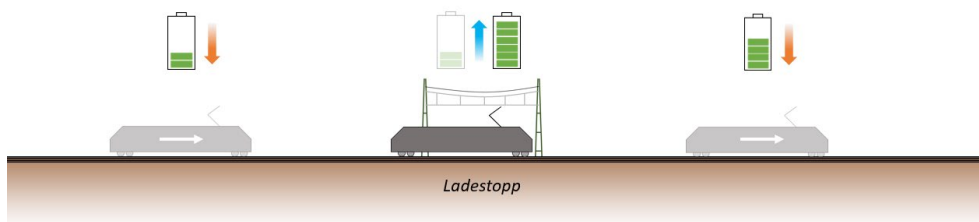
Det finnes i dag ikke noen jernbanestandard for tilkobling av høyeffekt ladestrøm. Innenfor det som i dag er standardisert av tilkoblinger finnes i tillegg til kontaktledning, standardiserte tilkoblinger for togvarme på 1000 V og 400 V, men disse har ikke dimensjoner som er tilpasset høyeffekt lading, og har dessuten en manuell tilkoblingsprosedyre som vil kreve noe tid for igangsetting av lading. Det finnes også såkalte tredjeskinne tilkoblinger som benyttes blant annet i T-banenettet, som har automatisk tilkobling og kan håndtere større effekter, men også disse systemene har begrensninger i effekten for stillestående kjøretøy. Det må, dersom høyeffekt lading skal realiseres, påberegnes både tidkrevende standardiseringsarbeid og utviklingskostnader tilknyttet koblingen av kjøretøy til ladesystem.

Det finnes i dag flere initiativer i Europa for å øke ladeeffekten ved stillstand, som kan medføre kortere ladetider for stillestående kjøretøy enn det som kan estimeres med dagens forutsetninger.

Oppsummert er konseptet med endepunktslading trolig best egnet for trafikkopplegg der det er begrenset behov for tilførsel av energi. Dette kan være korte ruter som skal kjøres med relativt lette tog, eller baner der det ene endepunktet er innkjøring på elektrifisert bane. Konseptet kan også være egnet i noen trafikkopplegg der det er naturlig med lang ladetid ved endepunktene.

3.2.4 Ladestopp

Ladestopp innebærer at togene stopper underveis for å lade. Konseptuelt skiller ikke dette alternativet seg vesentlig fra endepunktslading, men forskjellen er at toget ikke bare lader batteriene ved ankomst til destinasjonen, men også har faste stopp for lading underveis. Dette konseptet krever tilsvarende infrastruktur som lading som ved endepunkter, men også ved faste punkter underveis. Konseptet vil ha de samme utfordringer som endepunktslading. Prinsippet er vist i Figur 21.



Figur 21 Prinsippskisse for ladestopp.

Fordelen med dette konseptet er at det er mulig å dekke en lengre banestrekning med batteridrift enn kun ved bruk av endepunktslading. Videre kan man få lavere investeringskostnader enn ved lading under kjøring med kontaktledning, ettersom det ikke må bygges banestrømforsyning langs strekningen, men kun ved noen faste punkter.

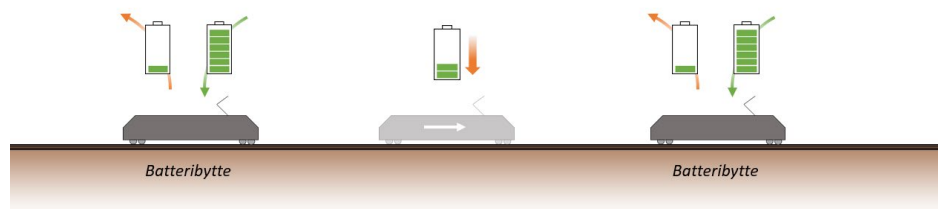
Operativt er ulempen med denne løsningen at togene får ett eller flere opphold underveis, noe som øker reisetiden i varierende grad avhengig av hvor raskt batteriene kan lades opp. Ladestoppene kan ved bruk av høyeffekt lading i noen tilfeller gjøres så korte som noen få minutter, men da må utfordringene med høyeffekt lading av stillestående kjøretøy være håndtert. Dersom ladestoppene plasseres på punkter der toget allerede må stoppe kan dette redusere den økte reisetiden til en viss grad. Løsningen medfører også at trafikkopplegget må ta hensyn til dette og eventuelt endepunktslading i tillegg, noe som medfører mindre fleksibilitet.

For kortere ruter med mange stasjonsopphold og lette motorvognsett kan lading under stasjonsopphold være tilstrekkelig. Dette kan teoretisk være aktuelt på lokaltrafikkruiter, men er ikke vurdert å være spesielt godt egnet på de ikke-elektrifiserte banene i Norge.

Konseptet ladestopp er ikke så godt egnet for lange baner, der det er nødvendig med mange ladestopp. For å konkurrere med andre transportmidler i framtiden er behovet kortere transporttid, og ikke lengere. Spesielt er gjentatte stillestående opphold uønsket. Lading på stasjoner som uansett er i ruteopplegget, kan likevel gi en mindre besparelse ved innkorting av ladestrekning ved deelelektrifisering. På samme måte kan lading ved venting på stasjon gi batteriet en ekstra boost, og et ladestopp kan være nyttig ved avvikssituasjoner med ekstra høyt kraftforbruk.

3.2.5 Batteribytte

Batteribytte innebærer at batteriene blir byttet underveis for at togene skal ha nok strøm til å kjøre hele den ikke-elektrifiserte banestrekningen. Eventuelt at batteriene blir byttet ved ankomst til endepunktene for å unngå behovet for lang ventetid ved endepunktslading. Prinsippet er vist i Figur 22.



Figur 22 Prinsippsskisse for batteribytte.

I stedet for bygging av ladestopp underveis, bygges det da byttestasjoner der togene kan få fulladede batterier. De utladede batteriene som toget etterlater seg lades opp på byttestasjonen, slik at de kan benyttes av et annet tog når de er ladet opp.

Det kan være en fordel med et batteribyttekonsept fremfor et ladestoppkonsept dersom utskifting til nytt oppladet batteri kan skje vesentlig raskere enn opplading av batteriene om bord underveis. Ved å ha en infrastruktur for batteribytting ved endepunkter, og eventuelt underveis, kan dermed togene få mindre tapt reisetid enn ved endepunktslading og ladestopp.

Ulempen med batteribytte er at man må etablere en egen infrastruktur for dette ved endepunkter og eventuelt langs banene. Batteribytte underveis medfører den samme ulempen tilknyttet økt kjøretid som ladestopp. Det krever noe tid å skifte batteriene, og den økte kjøretiden for togene avhenger av hvor smidig denne prosessen kan utføres. Det er også heftet usikkerhet ved realismen i denne løsningen, ettersom den ikke er utprøvd tidligere.

Batteribytte underveis vil i tillegg til ladeutstyr kreve spesielle mekaniske innretninger som kan fjerne batteriet og sette inn et nytt. Byttestasjonen må også kunne håndtere og mellomlagre flere batterier som er under oppladning. Hver togtype, godstog, persontog og ulike motorvognsett, krever forskjellig energimengde og dermed forskjellige batterier. Hvert batteri kan veie mellom 5 og 20 tonn, avhengig av energimengde, slik at bytte vil kreve kraftig og potensielt kostbart utstyr. Togbatteriet må tilkobles elektrisk for hvert skifte, både hovedkrets og styrekretser. På grunn av tidvis utfordrende vær på de aktuelle banene bør slikt utstyr stå innendørs. Konseptet har sikkerhetsmessige utfordringer ved at det er tunge gjenstander som skal håndteres, og at det er høye spenninger på kontaktene.

En mer konvensjonell løsning kan være å installere batteriet i egen batterivogn. Det vil da være enklere å bytte ut batteriene ettersom hele vognen kan byttes ut.

Konseptet med batteribytte kun ved endepunkter kan være egnet til ruteopplegg over korte distanser, der det også er korte opphold ved vendinger. Det er da mulig å utnytte kjøretøyene mer effektivt, slik at de er klare for ny kjøring tidligere enn om batteriene skal lades opp mellom turene. For lengre strekninger med mange tidkrevende batteribytter, synes løsningen uaktuell.

Konseptet vurderes som ikke gjennomførbart med en akseptabel risiko på det nåværende tidspunkt.

3.2.6 Oppsummering ladesystem

Det konkluderes med at det finnes tekniske løsninger til lading av batteritog som er tilgjengelige i dag, og som kan tas i bruk uten vesentlig risiko for tekniske utfordringer som ikke lar seg løse.

Konseptet *delelektrifisering*, det vil si lading under fart ved bruk av kontaktledningsanlegg, skiller seg ut positivt ved å ha de klart beste tekniske egenskapene for lange jernbaner. Dette konseptet baserer seg på kjent teknologi og er dermed mest utviklet, samt at det muliggjør håndtering av de fleste utfordringene som finnes i den trafikken som drives i dag.

Dette utelukker ikke andre konsepter. For kortere ruter der det er tid på endestasjoner ser også endepunktslading ut til å kunne være et tilfredsstillende og rimeligere alternativ. Der det er det liten tid på endestasjon vil en ha behov for et annet overføringssystem fra matestasjon til tog enn kontaktledning. Dette skyldes at den korte ladetiden vil resultere i et behov for høyere strøm enn hva som er mulig med standard strømvogter og kontaktledning ved stillstand. Da vil man være avhengige av en teknologit utvikling og et standardiseringsarbeid for å få kommersielt tilgjengelige systemer tilpasset jernbane.

3.3 Samlet vurdering av teknologiske muligheter for bruk av batterier og ladesystem

I utgangspunktet ville en full elektrifisering av de ikke-elektrifiserte strekningene på det norske jernbanenettet gi de største fordelene ved en overgang til nullutslippsdrift. Konseptet innebærer en kjent teknologi med henblikk på både banestromforsyning og kjøretøy. En standardisering ville gi stordriftsfordeler under pågående og fremtidige kjøretøysanskaffelser, slik at nye fjern tog eksempelvis kan ha den samme utrustningen. Ulempen med full elektrifisering er høye investeringskostnader, og dette er utgangspunktet for at batteridriftskonseptene utredes.

Utredningsarbeidet viser at det allerede i dag er mulig å finne konsepter for batterikjøretøy- og ladesystemer som kan sikre en overgang fra diesel til strøm uten å gjennomføre full elektrifisering. Flere av konseptene fremstår som aktuelle i ulike former for driftsopplegg, men samlet sett vurderes delelektrifisering som det ladekonseptet som løser de største utfordringene i de aktuelle trafikkoppleggene på de lange strekningene best. For de kortere banestrekningene kan endepunktslading være tilstrekkelig uten bruk av delelektrifisering langs andre deler av banen.

Ved å velge disse konseptene fremfor full elektrifisering vil det være enkelte utfordringer som må håndteres. De tekniske og operasjonelle ulempene med delelektrifisering er at alle lokomotiver og motorvognsett må utstyres med store batterier og ladeutstyr i tillegg til det ordinære utstyret for elektrisk fremdrift. Dette medfører ekstrakostnader for operatørene.

Det er stor variasjon i batterityper i de batteriene som benyttes i dag. Det er ventet en rask utvikling av batteriteknologi også i tiden fremover. Samtidig er det stor variasjon i energibehovene for de ulike kjøretøyene og for de ulike trafikkoppleggene. Det er et stort spenn fra små motorvogner som skal betjene korte pendler, til gjennomgående godstog eller malmtog på de lange strekningene. Kjøretøyene med de minste energibehovene lar seg lett løse, og enkelte av dem er allerede kommersielt tilgjengelige. For de mest krevende godstogene vil det trolig med dagens batteriteknologi være nødvendig å benytte overdimensjonerte lokomotiver, løsninger med egnen batterivogn eller doble lokomotiver. Det er grunn til å forvente at det også for tunge godstog vil være mulig å anskaffe trekraftkjøretøy med håndterbare dimensjoner innen 2030. Uten at dette utløser behov for ytterligere banestromforsyning enn det som i utgangspunktet ville blitt bygget for øvrige trafikkopplegg.

Optimal plassering, antall og lengder på ladestrekninger og batteristrekninger er sterkt avhengig hvilken størrelse på batteriet som kan settes inn i en togtype.

For å kartlegge virkningen av endringer i batteriegenskaper i kjøretøyene har prosjektet regnet ut hvordan banestromforsyningen og investeringskostnaden vil variere ved ulike størrelser på batteriet.

På et overordnet nivå kan det fastslås at en økning i batteristørrelse reduserer antallet og lengden på ladestrekningene. Dermed senkes investeringskostnadene til bygging av kontaktledninger, ettersom togene kan kjøres lenger før de har behov for å lade batteriene.

Videre gir større batterier også en større ladeeffekt, slik at det kan lades mer på den samme ladestrekningen. Imidlertid vil togene trekke større effekt på ladestrekningene, og derfor må matestasjonene i noen tilfeller

dimensjoneres noe større. Kravene til styrke og kapasitet til det overliggende nettet vil øke, og for de største ladeeffektene må det trolig installeres batterier ved matestasjonene for å dempe belastningen på det overliggende kraftnettet, men dette må vurderes individuelt for hvert tilkoblingspunkt.

Ved økte ladehastigheter vil det dermed inntreffe flere begrensninger på grunn av den økte effekten som batteriet trekker. Det vil nås begrensninger i omformere og transformatorer i kjøretøyet, i kontaktledning, matestasjoner og overliggende nett. Ved store batterier, med stor tillatt ladehastighet må alle disse komponentene oppgraderes utover standard størrelser. Spesielt i lokomotivene som skal trekke de tyngste godstogene kan dette være utfordrende på grunn av vekt- og volumbegrensninger.

Norge er imidlertid et marginalt marked for jernbanekjøretøy, og hva kjøretøyleverandørene utvikler av kjøretøy for drift med batterier vil trolig påvirkes mer av det europeiske markedets behov enn av et norsk ønske om å bygge minimalt med banestrømforsyning. Dette vil trolig stanse utviklingen av kommersielt tilgjengelige jernbanekjøretøy med batteri når de håndterer ikke elektrifiserte strekninger på 80-120 km i relativt flatt terreng.

Det mest hensiktsmessige valget av konsept vil dermed bli å etablere et ladesystem som gjør ladestrukturen i det norske jernbanesystemet mest mulig lik strukturen for ikke elektrifiserte baner som allerede finnes i de største europeiske jernbanenettene. Dette vil i praksis bety at det bør etableres en banestrømforsyning som i hovedsak har de samme egenskaper som det ordinære banestrømsystemet og som har ikke elektrifiserte strekk som ikke overstiger 80-120 km i relativt flatt terreng.

Samlet sett er vurderingen at overgang fra diesel til strøm er teknisk og operasjonelt gjennomførbart med langt lavere investeringer i infrastruktur fra statens side enn ved full elektrifisering. I tillegg til investeringene i infrastruktur må det imidlertid investeres i batterikjøretøy til alle de aktuelle trafikkoppleggene dersom teknologiovergangen skal operasjonaliseres.

4 Banenes trafikkopplegg og behov for ladesystem

4.1 Nordlandsbanen

4.1.1 Drift

Operatør av persontogene på Nordlandsbanen har en trafikkavtale med Jernbanedirektoratet som fastsetter noen minimumskrav til hva som skal leveres av tilbud. Eventuell påvirkning på operatør sin økonomiske situasjon som følge av et teknologiskifte vil håndteres i trafikkavtalen. Overgang til batteridrift vil kunne gjøre det lettere å få effektiv turnering og utnyttelse av eksisterende infrastruktur. Dette vil ha spesielt stor effekt for operatør for trafikkopplegget på Trønderbanen.

Godstrafikken på Nordlandsbanen er kommersiell og har ingen statlig støtte utover den midlertidige generelle ordningen som gjelder all kombi- og vognlasttrafikk. På Nordlandsbanen forekommer malmtransport, tømmertransport og kombitrafikk. På strekningen mellom Trondheim og Hell, som ligger utenfor utredningsområdet kjøres det også vognlasttrafikk. I 2021 utføres all godstrafikk på Nordlandsbanen av CargoNet, men tidligere har andre aktører operert her.

Malmtrafikk

Rana Gruber transporter jernmalm fra gruvene ved Ørtfjell i Dunderlandsdalen til oppredningsverk og utskiping i Mo i Rana. Togene er svært tunge, kjører relativt langsomt, og har bare last i en retning. Gruvene ligger høyere enn havna slik at de lastede togene kjøres i nedoverbakke. Energibehovet er derfor lite, og trafikkopplegget er velegnet for batteritog.

Trafikken for Rana Gruber AS er en flerårig trafikkavtale, der Rana Gruber AS kjøper togdriften fra en operatør. Dette trafikkopplegget er en del av gruvas internt transport mellom gruve og oppredningsverket og inngår i beregningen av miljøbelastningen på Rana Gruber AS sitt sluttprodukt. Nullutslipp i transporten er dermed en viktig verdi for selskapet som helhet.

Tømmertrafikk

Tømmertrafikken på Nordlandsbanen forsyner Norske Skogs papirfabrikk på Skogn med råvarer. For økonomien i trafikken er det viktig at togene kjøres så store og fulle som mulig. I Norsk målestokk er togene relativt tunge. Stor togstørrelse er viktigere enn å holde en høy eller jevn frekvens i trafikken.

Norske Skog AS har på samme måte trafikkavtaler med en operatør, men disse avtalene har mye kortere varighet. Både rutetabeller og hvilke terminaler togene lastes opp på varierer med tilgangen på tømmer og papirfabrikkenes behov. Dagens trafikk kommer fra stasjoner sør for Trondheim og kjøres ofte gjennomgående med diesel lokomotiv, men det forekommer at tog fra terminaler på Dovrebanen kjøres med elektrisk lokomotiv der. Skifting på terminalene i begge ender skjer normalt med toglokomotivet også på noen terminaler som betjenes med elektrisk lokomotiv.

Tidligere har det vært kjørt tømmer tog fra terminaler nordover Nordlandsbanen og fra terminaler i Jämtland.

Kombitrafikk

Kombitrafikk transporterer semitrailere og containere som løftes av og på togene av store trucker eller kraner på terminalene. Lasten i kombitogene er normalt ganske lett slik at togene oftest blir fulle på lengden før de når eventuelle vektbegrensninger.

For kombitrafikken selger togoperatørene plasser i toget til vareeiere, speditører og samlastere. Her ligger inntektsrisikoen på togselskapet. Det er svært viktig for operatøren at togene er så store og fulle som mulig.

Kombitrafikken kjøres etter faste ruter. På Nordlandsbanen betjener togene terminalene i Mosjøen, Mo i Rana, Fauske og Bodø. Ofte betjener ett tog flere eller alle terminaler og gjør opphold underveis for av- eller pålasting. Det forekommer i prinsipp ikke noen intern trafikk mellom terminalene. Alt godset skal til eller kommer fra terminalene i Trondheim eller Alnabru.

Effekten til et lokomotiv med batteridrift ligger svært nær et rent elektrisk lokomotiv. Diesellokomotiv tilsvarende det som benyttes i dag, har en langt lavere effekt. Teknologiskifte kan av denne grunn forbedre kjøretiden på banen, noe som vil være svært gunstig for de togene som skal betjene linjebåten for containertransport som planlegges fra Bodø og nordover.

Noen av de som benytter seg av containertogene har begynt å etterspørre transportopplegg med nullutslipp, noe som bidrar til at dette er i ferd med å bli en vesentlig verdi for operatørene i markedsføringssammenheng.

4.1.2 Behov og alternativer for banestrømforsyning

Nordlandsbanen er en meget lang bane, og den har til tross for at den er enkeltsporet, og betraktes som en lavtrafikkert bane, hele åtte ulike trafikkopplegg som må betjenes for å kunne gjennomføre et fullstendig teknologiskifte.

De trafikkoppleggene som benytter hele eller store deler av banen, kjører så langt at de vil ha behov for tilførsel av energi på flere steder i løpet av en tur. Det mest utfordrende trafikkopplegget er å finne egnede kjøretøy til de gjennomgående godstogene. Men også dette betraktes som fullt mulig selv med dagens batteriteknologi, dersom man tar hensyn til dette ved utforming av banestrømforsyningen. En del av disse togene har i dag en stor andel kjølecontainere som i dag drives av dieselaggregater. Det pågår utviklingsarbeid for å etablere elektrisk drift av disse kjølecontainerne. Dette medfører at energiforsyningene til disse containerne vil måtte hentes fra banestrømmen, enten via kabel fra lokomotivet eller ved bruk av akselgeneratorer. Dette vil påvirke disse togenes totale energibehov.

For disse trafikkoppleggene synes en deelektrifisering å være den optimale løsningen. Dette forsterkes av at denne løsningen vil kunne fungere godt for trafikk som også kjører videre inn på elektrifisert jernbane. Mengden ladestrekning og antallet matestasjoner avhenger av togets egenskaper. For å finne det rette nivå for banestrømforsyning må enten de som kjører på banen og Bane NOR, som eier av banen, bli enige om en standard, eller så må vi observere hva som tegner til å bli en «europaisk standard» for batteristørrelse i ulike kjøretøy.

For persontrafikkopplegget på Trønderbanen ser det ut til at et teknologiskifte kan oppnås med kun en ekstra ladestrekning i tillegg til den planlagte elektrifiseringen til Stjørdal. Denne bør plasseres nær pendelens nordlige ende. Siden deler av strekningen allerede er i ferd med å utstyres med banestrøm, vil det være gunstig om også ladekonseptet i nordenden av pendelen er basert på dette.

For persontrafikken på Saltenpendelen ser det ut til at et teknologiskifte kan gjennomføres dersom det på pendelen finnes ladetilgang på kun et sted. Det er da flere ulike ladekonsepter som kan velges, men valg av konsept her bør ses på i sammenheng med valg av konsept for Nordlandsbanen som helhet.

For Malmtrafikken tilknyttet Rana Gruber AS vil også tilgang til lading på kun et sted være tilstrekkelig for å kunne realisere et teknologiskifte. Dette gjør at det er flere mulige konsepter for lading. Teknologiskifte for dette trafikkopplegget avhenger i sterk grad av Rana Gruber AS sin vilje, og valg av konsept bør styres av deres preferanser, men bør også påvirkes av synergieffekter for andre trafikkopplegg og valg av løsning for Nordlandsbanen som helhet.

De ulike trafikkoppleggene har visse muligheter for å benytte noe ulike ladekonsepter for å oppnå et teknologiskifte. Det er imidlertid en fellesnevner som gjelder for alle de tekniske konseptene som er aktuelle, og det er at alle behovene kan løses på en god måte med teknologi basert på standard banestrøm og deelektrifisering i særdeleshett.

4.1.3 Vurderinger for Nordlandsbanen

Nordlandsbanen er en lang bane, med flere trafikkopplegg som har litt ulike tekniske og operasjonelle behov. Det er for denne banen viktig ved valg av løsninger, at man tar hensyn til alle de ulike trafikkoppleggene, samtidig som man gjør avveininger i forhold til helhet, standardisering, robusthet og kostnadsnivå.

De fleste trafikkoppleggene vil være tjent med deelektrifisering og batteritog. Det er også den teknikken infrastruktureier har best kompetanse på.

Det bør for denne banen trolig bygges en noe mer robust infrastruktur enn det som kreves som et absolutt minimum. Samtidig som at det ved oppstart av enkelte av trafikkoppleggene bør aksepteres en

overdimensjonering av den fysiske størrelsen på trekkraftkjøretøyene for å få plass til batterier med de riktige egenskapene.

Teknologiovergang fra diesel til strøm, uten full elektrifisering, er absolutt mulig å gjennomføre på Nordlandsbanen. De største utfordringene vil knytte seg til valg og dimensjonering av tekniske løsninger for lading, og koordinering mot kjøretøytilgang, da dette er spesielt komplekst på denne banen. Det samme vil gjelde for koordinering mellom infrastruktureier og de ulike brukerne av infrastrukturen.

4.2 Rørosbanen

4.2.1 Drift

Operatør av persontogene på Rørosbanen har en trafikkavtale med Jernbanedirektoratet som fastsetter noen minimumskrav til hva som skal leveres av tilbud. Eventuell påvirkning på operatør sin økonomiske situasjon som følge av et teknologiskifte vil håndteres i trafikkavtalen. Overgang til batteridrift vil kunne gjøre det lettere å få effektiv turnering mot trafikkoppleggene både i den nordlige og den sørlige enden.

Godstrafikken på Rørosbanen er kommersiell, og har ingen statlig støtte utover den midlertidige generelle ordningen som gjelder all kombi- og vognlasttrafikk. På Rørosbanen forekommer tømmertransport og noe vognlasttrafikk. Trafikken utføres av en håndfull operatører, både norske og svenske.

I forbindelse med planlagte trafikkavbrudd på Dovrebanen kjøres noe av trafikken som normalt går på Dovrebanen over Rørosbanen.

Tømmertrafikk

Tømmertrafikken på Rørosbanen består av flere trafikkopplegg som utføres av flere togoperatører på vegne av flere transportkjøpere. Togene går til fabrikker i Østfold og Sverige.

Transportkjøpere er normalt skogeierorganisasjoner, men det forekommer også at mottakerne organiserer togtransporten. Uansett så anskaffes transporttjenester i en tilbudsprosess der togselskapet som gir det beste tilbudet vinner konkurransen. Deretter er det opp til togselskapet som vant konkurransen å organisere transporten på mest effektive måte. Avtalelengde og utforming av kravene i avtalen, for eksempel hvilke terminaler som skal betjenes, varierer ut ifra behovene til transportkjøperne og deres kunder. Hvordan det vinnende togselskapet velger å organisere transporten vil ofte også variere med driftsforutsetningene for det aktuelle selskapet i den aktuelle perioden.

For økonomien i trafikken er det viktig at togene kjøres så store og fulle som mulig. I Norske målestokk er togene relativt tunge, dette gjelder spesielt for tog i retning Sverige der banen har lite stigning som begrenser togvekten. Stor togstørrelse er viktigere enn å holde en høy eller jevn frekvens i trafikken. Det er betydelig variasjon i operatørenes størrelse og økonomiske evner. Fra bedrifter med mindre enn 100 ansatte til de med godt over 1000. Noen av togselskapene har store institusjonelle eiere, men andre eies av én eller noen få privatpersoner. Selv om lønnsomheten for de fleste godstogselskaper har vært dårlig de siste tiårene har noen av de som kjører tømmertog på Rørosbanen hatt stabile overskudd.

Felles for alle trafikkoppleggene er at de ikke kjøres på Rørosbanen alene, men at transportene fortsetter over Solørbanen og Kongsvingerbanen til Sverige og Østfold for de sørvendte transportene, som er de aller fleste, og på Dovre- og Nordlandsbanen til Skogn for de nordvendte. Det forekommer også transitttransporter fra tømmerterminaler på Dovrebanen til mottagere i Sverige.

Vognlast

Vognlast er et system av tog og terminaler som transporterer enkeltvogner og grupper av vogner mellom fabrikker og sidespor over hele Europa. Trafikken er avhengig av store anlegg som kan sortere vogner mellom ulike tog. Slike anlegg finnes ikke i drift i Norge lenger og den vognlasttrafikken som finnes i Norge må ses på som en utvidelse av det svenske systemet som i hovedsak drives av Green Cargo.

Det kjøres noen turer i uken med vognlast fra sentralskiftestasjonen i Hallsberg (i Sverige) til en mottaker på Hamar via den sørligste delen av Rørosbanen. Togene kjøres i 2021 av Tågåkeriet i Bergslagen.

Det forekommer også iblant vognlast fra en avsender på Ilseng via Alnabru. Dette er gods som hvis det ble transportert på vei ville ha vært spesialtransport. Disse transportene utføres av Grenland Rail.

Kombitrafikk

Det forekommer ikke ordinær kombitrafikk på Rørosbanen, men i perioder da Dovrebanen er stengt for planlagt vedlikehold kjøres det noen gjennomgående tog. Avhengig av hvor Dovrebanen er stengt kommer togene til Rørosbanen på Hamar eller Elverum.

4.2.2 Behov og alternativer for banestrømforsyning

Rørosbanen er også en lang bane, og den har flere ulike trafikkopplegg. Trafikkoppleggene på Rørosbanen kjennetegnes i hovedsak av at de ikke benytter hele banen, men at de benytter en del av banen og noen av de tilgrensende banene. Dette legger føring for hvordan behovet for banestrømforsyning blir.

I den sørlige enden av banen har du tilknytning til den elektrifiserte Dovrebanen på Hamar og den ikke-elektrifiserte Solørbanen på Elverum. Solørbanen er imidlertid svært kort og er knyttet til den elektrifiserte Kongsvingerbanen, og videre til det elektrifiserte svenske nettverket i motsatt ende. Matestasjonene på Hamar og Kongsvinger er fra før dimensjonert for å kunne håndtere elektrifisering av både Solørbanen og Rørosbanen mellom Hamar og Elverum. Full elektrifisering av Solørbanen og Rørosbanen mellom Hamar og Elverum vil knytte det elektriske nettet på Østlandet sammen, være viktig for tømmertransporten og gi muligheter for nye trafikkopplegg. Ved full elektrifisering av dette strekket av Rørosbanen vil eventuelle tog ankomme Elverum fulladet. Ved å strekke kontaktledning nordover fra Elverum, som forsynes fra matestasjon på Hamar, vil man kunne flytte ladestrekninger og matestasjon lenger nord.

Banen nord for Elverum er for lang til at togene kan fremføres uten tilførsel av energi. En rekke av togene vender på ulike terminaler langs banen og vil der ha noe stillstand, som kan benyttes til lading. Ved utforming av ladestrekninger på selve banen kan man ta hensyn til disse lademulighetene i dimensjoneringen, men man må samtidig sikre at det finnes realistiske muligheter for drift av gjennomgående tog som ikke har stans på disse terminalene.

Ved realisering av tilsving på Hamar mellom Røros og Dovrebanen blir begrensingene som ligger i vendeoperasjonen på Hamar fjernet. Det vil gjøre det raskere og lettere å kjøre inn på Rørosbanen. Det er sannsynlig at dette vil føre til at det blir etablert kombitrafikk som benytter hele Rørosbanen, dersom dette kombineres med at banen kan kjøres elektrisk. Det kan på Rørosbanen kjøres større tog enn på Dovrebanen som følge av at banens stigning ikke overstiger 13 promille, mens det på Dovrebanen er hele 19 promille. Dette kan imidlertid være et forhold som taler for en full elektrifisering av Rørosbanen, som et alternativ til mer kostbare kapasitetsøkende tiltak på Dovrebanen. En full elektrifisering vil i tillegg virke robustiserende for godstransporten med tog mellom Øst-Norge og Midt-Norge da de samme trekraftkjøretøyene kan benyttes ved kjøring på begge de to aktuelle rutene innenlands. Dette vil ha stor betydning ved større avvik. Ved deelektrifisering vil man delvis oppnå den samme effekten til en lavere infrastrukturkostnad, men med en høyere kjøretøykostnad for operatørene.

Det forgår også en del persontrafikk på denne banen. I den nordlige enden vil valg av ladesystem påvirke hvordan kjøretøyene benyttes, ut fra hvorvidt de er kompatible med de valgene som gjøres for persontrafikken i Trøndelag. Ved valg av energitilførselssystem som ikke er kompatibelt med valgene som gjøres i Trøndelag, vil man for Rørosbanen bli sittende med en veldig liten og spesiell flåte av kjøretøy for persontrafikk, som trolig vil være knyttet til et høyt kostnadsnivå for drift og anskaffelse.

Trafikkoppleggenes kompleksitet og antall potensielle operatører, taler for at man ved en teknologiovergang velger en løsning som i størst mulig grad er kompatibel med det øvrige elektrifiserte jernbanenettet, og gir minst krevende inngrep i kjøretøyflåten. Av de aktuelle ladesystemene er det deelektrifisering som skiller seg ut i forhold til dette.

De ulike trafikkoppleggene har visse muligheter for å benytte noe ulike ladesystemer for å oppnå et teknologiskifte. Det er imidlertid en fellesnevner som gjelder for alle de tekniske konseptene som er aktuelle, og det er at alle behovene kan løses på en god måte med banestrøm basert teknologi, enten det er full elektrifisering, lading under kjøring, eller lading ved stillstand som er løsningen for det aktuelle trafikkopplegget.

4.2.3 Vurderinger for Rørosbanen

Rørosbanen er en lang bane, med flere trafikkopplegg som har litt ulike tekniske og operasjonelle behov. Det er for denne banen viktig ved valg av løsninger, at man tar hensyn til alle de ulike trafikkoppleggene, samtidig som man gjør avveininger i forhold til helhet, standardisering, robusthet og kostnadsnivå. Det er for denne banen i tillegg svært viktig å se valg av løsning i sammenheng med systemet for de tilknyttede banene, og jernbanen som et komplett transportsystem.

De fleste trafikkoppleggene vil være tjent med deelektrifisering. Det er også den teknikken infrastruktureier har best kompetanse på. Det finnes banestrømbaserte løsninger som kan håndtere ladebehovene for alle de trafikkoppleggene som i dag kjøres på Rørosbanen.

Dersom banen vurderes isolert sett vil deelektrifisering komme ut som et bedre alternativ enn dersom man vurderer den som del av en større helhet. Deelektrifisering vil ikke være så gunstig som på enkelte andre baner da krav til kompatible kjøretøy, enten gir en høy kjøretøykostnad, eller monopoliserer det som i dag er et relativt godt fungerende marked for kjøp av godstrafikk.

Dersom banen vurderes i en større sammenheng der planer for tilsving på Hamar, intercity til Hamar, ny teknikk for kobling av tog, robusthet i godstrafikken, kostnader for å øke kapasiteten på Dovrebanen og samfunnssikkerhet knyttet til jernbanesystemet mellom Øst- og Midt-Norge tas med i betraktningen så kommer full elektrifisering av banen meget godt ut. Forskjellen i kostnader mellom deelektrifisering og full elektrifisering vil for denne banen ikke være så stor som for enkelte andre baner, da det er en bane med et svært lavt antall tunneler og overgangsbroer som må ombygges for å få plass til kontaktledningen.

Det bør for denne banen trolig startes med at det bygges ut en full elektrifisering i den sørlige enden. Eventuell banestrømforsyning som bygges nord for dette bør dimensjoneres slik at den kan bygges ut til en full elektrifisering.

Teknologiovergang fra diesel til strøm, uten full elektrifisering, er teknisk mulig å gjennomføre på Rørosbanen, men det er usikkerhet knyttet til å anbefale å satse på deelektrifisering fremfor full elektrifisering på denne banen.

4.3 Raumabanen

4.3.1 Drift

Operatør av persontogene på Raumabanen har en trafikkavtale med Jernbanedirektoratet som fastsetter noen minimumskrav til hva som skal leveres av tilbud. Eventuell påvirkning på operatør sin økonomiske situasjon som følge av et teknologiskifte vil håndteres i trafikkavtalen. Teknologiskiftet gir operatøren mulighet til å finne nye løsninger for trafikkopplegg som innpasser Raumabanen tettere mot Dovrebanen.

Av godstrafikk kjøres det kun kombitrafikk på Raumabanen, men infrastrukturen på Åndalsnes er også tilpasset transporter av militærmateriell for utlasting til/fra båt på Åndalsnes.

Kombitrafikken mellom Åndalsnes og Alnabru kom i gang igjen i april 2021 etter å ha vært nedlagt i noen år. Trafikken opereres i 2021 av OnRail. Som for annen kombitrafikk er det togselskapet som tar inntektsrisikoen. Siden transportstrekningen er såpass kort, og det trenges forholdsvis lange tilstøtende transporter på vei til hovedmarkedene i Molde og Ålesund, stilles det store krav til effektiv drift for å få dette transportopplegget lønnsomt.

Tidligere har det også vært problem med regularitet i trafikken på grunn av at banen ble stengt ved økt rasberedskap i fjellet Mannen i Romsdalen. Etter at deler av fjellsiden raste ut i 2019 har regulariteten blitt betydelig bedre, noe som vesentlig har forbedret attraktiviteten for jernbanetransporter på Raumabanen.

Dagens trafikkopplegg kjøres med to togstammer slik at transportene i begge retninger går på natta da det er best for markedet. Man kjører med elektrisk lokomotiv mellom Alnabru og Dombås, og bytter til diesel lokomotiv for kjøring på Raumabanen. Dette betyr at nord- og sørgående tog er på Dombås samtidig. Sporene på Dombås er for korte til at det blir en optimal balanse mellom tog lengde og togvekt.

I dag er behovet for bytte av lokomotiv på Dombås begrensende for mulig tog lengde, som følge av at sporene på Dombås stasjon er relativt korte. I en løsning med bimodale lokomotiver som kan kjøre gjennomgående tog uten å trenge å bytte lokomotiv på Dombås kan man redusere transporttiden og øke kapasiteten.

4.3.2 Behov og muligheter for banestrømforsyning

Raumabanen er en forholdsvis kort bane, i forhold til Nordlands og Rørosbanen, men også den har flere ulike trafikkopplegg. Trafikkoppleggene på Raumabanen benytter hele banen, og har en sterk avhengighet av den tilknyttede Dovrebanen, som er elektrifisert. Hovedvekten av utveksling av passasjer og gods skjer på endestasjonene i Åndalsnes og på Dombås. Det er imidlertid svært få passasjerer som har Dombås som sin endestasjon, og passasjerutveksling her skjer i all hovedsak for å bytte tog til togene som trafikkerer Dovrebanen. For gods byttes bare lokomotiv på Dombås, samme tog fortsetter på Dovrebanen mot/fra Alnabru.

Bytte av lokomotiv på Dombås, som har relativt korte spor, gjør at sporarrangementet på Dombås begrenser tog lengden for godstogene på Raumabanen. Investeringer for å fremme bruk av Raumabanen til transport av gods, bør ses i sammenheng med tiltak knyttet til Dombås stasjon.

Dovrebanen har en relativt svak strømforsyning i området rundt Dombås, så en elektrifisering av Raumabanen ved å koble den til Dovrebanens matestasjon vil ikke være mulig uten betydelige tiltak på Dovrebanens banestrømsanlegg. Kostnader og operative forhold knyttet til dette må vurderes opp mot kostnader og operative forhold knyttet til å etablere en egen matestasjon for Raumabanen, som legges til et sted der det er en tilfredsstillende tilgang til strøm fra det overliggende kraftnettet.

Noe av passasjertrafikken på Raumabanen er å betrakte som turisttrafikk, der turen i seg selv er en del av målet. Storslått natur langs banen, og vakre banetekniske elementer som f.eks. Kylling bru gir banen en verdi for turistnæringen i området. Det er lokalt en bekymring for at elektrifisering av banen skal forringe denne verdien. Det forventes lokal motstand mot tiltak som endrer det visuelle uttrykket på enkelte deler av denne banestrekningen.

Det faste trafikkopplegget for persontrafikk som i dag kjøres på Raumabanen er i praksis et matetog for gjennomgående tog på Dovrebanen. Ved elektrifisering eller overgang til kjøretøy som er mer hensiktsmessige å kjøre på Dovrebanen kan det være potensiale for å finne andre ruter som f.eks. har endepunkt lenger syd i Gudbrandsdalen.

For godstrafikken på banen vil det være gunstig med en overgang til full elektrisk drift da kostnadene til drift av lokomotiv vil bli mindre. Ved deelektrifisering vil driftskostnadene falle, men finanskostnadene knyttet til kjøretøysinvesteringer og investeringsbehovet vil øke kraftig dersom dette overlates til operatør. Godstrafikken på Raumabanen er i en økonomisk sårbar gjenoppstartingsfase, der det ikke kan forventes at operatør har kapasitet til å håndtere større uventede investeringer. Det vil på lang sikt allikevel være viktig for godstransporten om det blir muligheter for å kjøre gjennomgående tog uten bytte av lokomotiv for å slippe utgifter til dieseldrift fra Åndalsnes til Alnabru.

Simuleringer gjort i prosjektet viser at det teknisk sett er mulig å gjennomføre dagens trafikkopplegg på Raumabanen med bruk av batteri, dersom det finnes ett ladepunkt langs banen, eller i banens endepunkt.

Den sterke avhengigheten av den elektrifiserte Dovrebanen taler for at man ved en deelektrifisering velger en løsning som i størst mulig grad er kompatibel med det øvrige elektrifiserte jernbanenettet. Godstrafikkens økonomisk sårbare situasjon taler for at man prioriterer ladesystemer som gir de minst krevende inngrep i kjøretøyflåten. Av de aktuelle ladesystemene er det de systemene som baseres på bruk av kontaktledning som skiller seg ut i forhold til dette.

Trafikkoppleggene på Raumabanen har muligheter for å benytte flere ulike ladesystemer for å oppnå et teknologiskifte. Det er imidlertid en fellesnevner som gjelder for alle de tekniske konseptene som er aktuelle, og det er at alle behovene kan løses på en god måte med standard banestrømbasert teknologi, enten det er full elektrifisering, lading under kjøring, eller lading ved stillstand som er løsningen for disse trafikkoppleggene.

4.3.3 Vurderinger for Raumabanen

Det er for Raumabanen viktig ved valg av løsninger, at man tar hensyn til de ulike trafikkoppleggene, samtidig som man gjør avveininger i forhold til helhet, standardisering, robusthet og kostnadsnivå. Det er for denne banen i tillegg svært viktig å se valg av løsning i sammenheng med systemet for Dovrebanen.

De fleste trafikkoppleggene vil være tjent med deelektrifisering. Det er også den teknikken infrastruktureier har best kompetanse på. Det finnes banestrømbaserte løsninger som kan håndtere ladebehovene for de trafikkoppleggene som i dag kjøres på Raumabanen.

Full elektrifisering av Raumabanen vil trolig møte en betydelig lokal motstand, da denne løsningen ikke ivaretar interessene til den lokale turistnæringen. Det er heller ikke realistisk å kalkulere med en full elektrifisering uten at det påløper kostnader til etablering av en ny matestasjon.

Deelektrifisering kan gjennomføres på en måte som ivaretar den lokale turistnæringens interesser, og vil trolig kunne gjennomføres med etablering av kun ett ladepunkt i nærhet av Åndalsnes. Det er en begrenset trafikk på banen, og da det i utgangspunktet kun er én persontogsoperatør og én godsoperatør som trafikkerer banen vil det ikke være markedsmessige utfordringer knyttet til valg av driftsform på banen. Håndtering av kjøretøyinvesteringer vil imidlertid ha stor påvirkning på om en ombygget banestrømforsyning blir tatt i bruk. Dette er spesielt viktig for godstrafikken. På lang sikt vil en deelektrifisering kunne ha en svært positiv effekt på godstrafikken dersom det kombineres med tiltak på sporarrangementet på Dombås stasjon.

Teknologiovergang fra diesel til strøm, uten full elektrifisering, er teknisk mulig å gjennomføre på Raumabanen, og kan betraktes som mindre komplekst enn for øvrige vurderte baner. For at etablering av ladesystem for Raumabanens tog skal kunne anbefales, forutsetter det imidlertid at operatørene på banen forplikter seg til å ta det i bruk.

4.4 Solørbanen

4.4.1 Drift

Det kjøres kun godstrafikk på Solørbanen.

Tømmertrafikk

Tømmertrafikken på Solørbanen består av flere trafikkopplegg, som utføres av en handfull togoperatører på vegne av flere transportkjøpere. Felles for alle trafikkoppleggene er at de ikke kjøres på Solørbanen alene, men at transportene fortsetter over Kongsvingerbanen til Sverige og Østfold. Det forekommer også transitttransporter fra tømmerterminaler på Dovrebanen til mottagere i Sverige, og fra terminaler på Rørosbanen nord for Elverum til mottagere i Sverige og Østfold..

Det er en handfull norske og svenske togselskaper som kjører tømmertogene på Solørbanen. Disse konkurrerer om de ulike oppdragene slik at over en periode vil flere togselskaper normalt kjøre de samme relasjonene, og alle togoperatørene vil sannsynlig operere på samtlige terminaler. Det er også god spredning i størrelse og økonomiske evner. Fra bedrifter med mindre enn 100 ansatte til de med godt over 1000. Noen av togselskapene har store institusjonelle eiere, mens andre eies av én eller noen få privatpersoner. Selv om lønnsomheten for de fleste godstogselskaper har vært dårlig de siste tiårene har noen av de som kjører tømmertog på Solørbanen hatt stabile overskudd.

Transportkjøpere er normalt skogeierorganisasjoner, men det forekommer også at mottakerne organiserer togtransporten. Uansett så anskaffes transporttjenester i en tilbudsprosess der togselskapet som gir det beste tilbudet vinner konkurransen. Deretter er det opp til togselskapet som vant konkurransen å organisere transporten på mest effektive måte. Avtalelengde og utforming av kravene i avtalen, for eksempel hvilke terminaler som skal betjenes, varierer ut ifra behovene til transportkjøperne og deres kunder. Hvordan det vinnende togselskapet velger å organisere transporten vil ofte også variere med driftforutsetningene for det aktuelle selskapet i den aktuelle perioden.

Vognlast

Det kjøres noen turer i uken med vognlast fra sentralskiftestasjonen i Hallsberg (i Sverige) til en mottaker på Hamar via Solørbanen. Togene kjøres av en mellomstor svensk Tågåkeriet i Bergslagen AB.

Kombitrafikk

Det forekommer ikke ordinær kombitrafikk på Solørbanen, men i perioder da Dovrebanen sør for Hamar er stengt for planlagt vedlikehold kjøres det noen gjennomgående tog.

4.4.2 Behov og muligheter for banestrømforsyning

Solørbanen er uten persontrafikk, men benyttes av flere ulike godsoperatører. Fraværet av persontrafikk gjør at banen får lite fokus fra allmennheten til tross for sin viktige strategiske funksjon. Banen bør ikke ses på isolert, men den bør vurderes i sammenheng med Rørosbanen, Dovrebanen og Kongsvingerbanen. Solørbanen er med på å binde de tre banene sammen, og tilfører merverdi for de tre øvrige banene i forhold til fleksibilitet mellom banene, kobling mellom det svenske nettet og det norske nettet, og muligheter for omkjøringer og alternative ruter. Valget av banestrømforsyning på Solørbanen har stor betydning for hvor stor denne merverdien vil være.

I NTP for 2018-2027 er elektrifisering av Solørbanen og sørlige del av Rørosbanen i kombinasjon med andre tiltak, bl.a. tilsving på Elverum og Kongsvinger lagt inn. BaneNOR er derfor i ferd med å utforme hovedplan for denne elektrifiseringen. Både matestasjonen på Kongsvinger og den nye matestasjonen på Jenserud utenfor Hamar er dimensjonert for også å dekke Rørosbanens sørlige del og Solørbanen. Kostnaden knyttet til full elektrifisering vil i hovedsak knyttes til etablering av kontaktledning langs banen. Tiltakene som foreslås i den aktuelle NTPen vil føre til at Solørbanen vil være tilgjengelig som omkjøringsrute for alle typer jernbanekjøretøy. Dette er en merverdi som øker jernbanesystemets robusthet, og har positiv påvirkning på samfunnsikkerhetsmessige forhold. For den ordinære driften vil en fullelektrifisering av Solørbanen påvirke om tog fra den elektrifiserte Dovrebanen kan kjøres over til Sverige uten bruk av spesielle trekraftkjøretøy. Dersom det ikke er behov for spesielle kjøretøy, gir dette et potensiale for økt trafikk, og muligheter for etablering av nye trafikkkopplegg.

Dersom det legges til grunn et delelektrifiseringskonsept for Solørbanen, er det ikke nødvendigvis behov for at det gjøres investeringer i infrastruktur på Solørbanen i det hele tatt. Strekningen er så kort at banen vil kunne kjøres av de fleste tog, dersom det forutsettes at de ankommer Solørbanen med fulle batterier. Det må imidlertid sikres at det gjøres tilstrekkelige investeringer i jernbanekjøretøy med batteri for å sikre at det faktisk skjer et teknologiskifte bort fra ordinær dieseldrift. En delelektrifisering av Solørbanen vil imidlertid ikke gi samme merverdi som en full elektrifisering. Da det fortsatt vil kreves spesielle trekraftkjøretøy vil forholdene rundt omkjøringsmuligheter ikke endres fra i dag. Det har heller ikke det samme potensiale for økt trafikk eller nye trafikkkopplegg som oppstår ved en full elektrifisering.

Et delelektrifiseringskonsept vil gi operatørene noen fordeler knyttet til driftsutgifter og drift, men dette er noe begrenset, da banen er forholdsvis kort. Et delelektrifiseringskonsept vil samtidig gi investeringsbehov for nye og mer kostbare kjøretøy for en rekke ulike operatører. Dette fører med seg de samme mulige negative effekter på markedet for jernbanetransport på banen som tidligere er diskutert knyttet til Rørosbanens sydlige del.

4.4.3 Vurderinger for Solørbanen

Solørbanen er en kort bane, med flere trafikkkopplegg som har litt ulike tekniske og operasjonelle behov. Det er for denne banen viktig ved valg av løsninger, at man tar hensyn til alle de ulike trafikkkoppleggene, samtidig som man gjør avveininger i forhold til helhet, standardisering, robusthet og kostnadsnivå. Det er for denne banen i tillegg svært viktig å se valg av løsning i sammenheng med systemet for de tilknyttede banene, og jernbanen som et komplett transportsystem.

Dersom banen vurderes isolert sett vil delelektrifisering komme ut som et bedre alternativ enn dersom man vurderer den som del av en større helhet. Delelektrifisering kan trolig gjennomføres uten infrastrukturtiltak på Solørbanen dersom det legges til rette for dette på de omkringliggende banene. Det vil imidlertid føre med seg krav til compatible kjøretøy som enten gir en høy kjøretøykostnad, eller monopoliserer det som i dag er et relativt godt fungerende marked for kjøp av godstrafikk.

Solørbanen bør ikke vurderes selvstendig, men ses i en større sammenheng der løsnings for Rørosbanens sydlige del, planer for tilsving på Kongsvinger og Elverum, intercity til Hamar, ny teknikk for kobling av tog, robusthet i godstrafikken, samlet kapasitet på Dovre-, Røros- og Kongsvingerbanen og samfunnssikkerhet knyttet til jernbanesystemet mellom Norge og Sverige tas med i betraktningen. Dersom disse forholdene tas med i vurderingen så kommer full elektrifisering av banen meget godt ut.

Teknologiovergang fra diesel til strøm, uten full elektrifisering, er teknisk mulig å gjennomføre på Solørbanen, men det er usikkerhet knyttet til å anbefale og satse på delelektrifisering fremfor full elektrifisering på denne banen.

4.5 Sammenhenger mellom trafikkopplegg og behov for kompatibilitet mellom ladesystemer

Sett under ett har de ikke-elektrifiserte banene i Norge i hovedsak to ting felles, de er ikke elektrifiserte og det kjøres relativt få tog på dem. Utover dette er det mange ulikheter. Solørbanen og Raumabanen er relativt korte, mens Rørosbanen og Nordlandsbanen er relativt lange. Det er også store ulikheter i trafikkoppleggene, og det er mange ulike trafikkopplegg både for gods og persontrafikk. Det er ulike energibehov, ulike operatører og ulike kjøretøytyper. Det er ikke bare store ulikheter mellom banene, men det er også store ulikheter internt på enkelte av banene.

For Nordlandsbanen kan det være hensiktsmessig å vurdere banen i tre deler, nordlig del, midtre del, og sørlig del. For Rørosbanen kan det være greit og dele i en sørlig og en nordlig del. Nordlandsbanens sørlige del og Rørosbanens nordlige del, bør vurderes i sammenheng med trafikksystemet i Trøndelag. For persontrafikk vil det være vesentlig at det som velges for disse delene henger sammen med og er kompatibelt med øvrige valg og intensjoner som finnes for utvikling av togtrafikk i Trøndelag. God kompatibilitet vil bidra til å øke fleksibiliteten for trafikkopplegg og kjøretøybruk i regionen.

For godstrafikken og fjerntogene vil det derimot være vesentlig at systemet som velges for Nordlandsbanen er utformet slik at det blir mulig med gjennomgående tog fra Trondheim til Bodø uten at det skjer teknologiskifter som påvirker driften underveis.

I tillegg til vurderingene av Nordlandsbanen som en enhet bør både den nordlige og den midtre delen av Nordlandsbanen vurderes separat i forhold til samspillet mellom de ulike trafikkoppleggene som bare trafikkerer én av delene av banen. Videre bør det gjøres vurderinger som sikrer at valget av løsning bidrar til opprettholdelse og utvikling av de trafikkoppleggene som benytter to av de tre delene av Nordlandsbanen.

Kompatibilitet mellom Nordlandsbanen og Dovre- og Rørosbanen vil også være av betydning for hvilke muligheter som finnes for å gjøre tog nordfra gjennomgående til destinasjoner som ligger sør for Trondheim uten teknologiskifter.

Valg av løsning for Rørosbanen og kompatibilitet med Solørbanen og Dovrebanen i den sørlige delen vil være avgjørende for hvilke muligheter for nye trafikkopplegg mellom Trøndelag og Østlandet det legges til rette for i tilknytning til teknologiskiftet.

Solørbanen og valg av løsning for denne, må i tillegg evalueres i sammenheng med Kongsvingerbanen og koblingen mot det svenske jernbanenettet. Banens lengde, og antallet aktører og kjøretøy som har nytte av den, taler for at det bør vurderes å beholde de eksisterende planene for full elektrifisering der Solørbanen inngår fremfor å inkludere den i et delelektrifiseringsprosjekt. Det samme vil være gjeldene for den sørlige delen av Rørosbanen.

Valg av løsninger for Raumabanen må ses på i sammenheng med kompatibiliteten mot Dovrebanen. Det bør da legges særskilt vekt på hvordan valg av løsning påvirker behovet for lokomotivbytter på Dombås for godstrafikken, og eventuelle behov for andre infrastrukturtiltak knyttet til dette.

Konklusjoner kompatibilitet i ladesystemet

Samlet sett taler behovene for kompatibilitet knyttet til de ulike trafikkoppleggene for at det bør legges til grunn en teknisk plattform for energiforsyning der det skal benyttes batterikjøretøy, som er basert på standard banestrøm. Det kan da åpnes for variasjon i forhold til om dette brukes til lading av stillestående kjøretøy, lading av kjøretøy i fart eller om det velges å gjøre en full elektrifisering av enkelte strekk.

4.6 Samlet vurdering av mulighetene for teknologiovergang fra diesel til strøm på de ikke-elektrifiserte banestrekningene

Til tross for mange ulikheter er det mulig å gjøre investeringer som tilrettelegger for en teknologiovergang fra diesel til strøm som med stor sannsynlighet også vil være å anbefale ut fra et samfunnsøkonomisk perspektiv, siden utgiftene er såpass lave, og de positive effektene er såpass store ved en slik overgang.

Utfordringene med å etablere et alternativt driftssystem til dieseldrift, som ikke innebærer full elektrifisering, er knyttet til den store variasjonen i behov. Variasjon i behov gir variasjon i hva som er den best mulige tekniske løsning. Samtidig vil infrastrukturere ha behov for en så stor standardisering som mulig, og så stor kompatibilitet med den øvrige banestrømforsyningen som mulig. Staten vil trolig være tjent med at antall konsepter for energiforsyning til jernbanen ikke øker, og at de ulike systemene er compatible med hverandre, da dette gir størst fleksibilitet i forhold til fremtidig bruk som avviker fra de eksisterende trafikkoppleggene.

Standard banestrømforsyning skiller seg ut i forhold til dette som den klart beste tekniske løsningen for overføring av energi fra ladesystem til kjøretøy, og delelektrifisering er det konseptet som skiller seg ut ved å ha klart best egenskaper. Det er den løsningen som klarest viser at den kan brukes i alle typer trafikkopplegg.

Teknologien er moden, og kjent for infrastrukturforvalter. Det som kan gjøre at standard banestrømforsyning ikke er det best mulige systemet for absolutt alle trafikkopplegg, er at det er stor forskjell på ladekapasiteten mellom stillestående kjøretøy og kjøretøy i fart. For trafikkopplegg som har forutsigbare stillstandsperioder der det er gunstige forhold for å etablere enkel stasjonær lading med høy effekt, vil valg av andre systemer for overføring av energi mellom kjøretøy og ladesystem i noen tilfeller kunne være en gunstig løsning. Stasjonær lading med høy effekt er imidlertid en mindre moden teknologi i jernbanesammenheng, så selv i de tilfeller der dette teoretisk kan være et godt alternativ, er det et alternativ med betydelig høyere risiko.

Fremtidig utvikling av batteriteknologi er ikke en forutsetning for gjennomførbarheten til en teknologiovergang, men bør benyttes til å øke robustheten i trafikkoppleggene og redusere den fysiske størrelsen på trekraftkjøretøyene.

Operatørene vil måtte bære kostnader for overdimensjonerte nye kjøretøy med batterier, dersom et teknologiskifte skal kunne skje.

Det er avgjørende for at et teknologiskifte skal kunne skje at det tilrettelegges for at dette skal være i operatørenes interesse. Særlig knyttet til godsoperatørene er det en utfordring knyttet til investeringskostnader for lokomotiver, som må håndteres på en god måte dersom teknologiovergangen skal være mulig.

Da det er flere aktører og litt ulike behov, er det trolig hensiktsmessig at dette gjøres gjennom en målrettet, men allikevel generisk tilrettelegging fra staten.

Kostnadsnivået for banestrømforsyning til delelektrifisering er estimert til å ligge på 20-25% av kostnadene for en full elektrifisering.

Det lave kostnadsnivået skyldes at omfanget av banestrømutbygging er betydelig mindre, og at det er mulig å legge kontaktledning til strekninger der det er billig å bygge når kontaktledningen ikke må dekke hele strekningen. Det er nemlig store forskjeller knyttet til terreng, broer, tunneller og kontaktledningssystem når det kommer til pris for banestrømutbygging.

Dersom det ses i et samfunnsøkonomisk perspektiv må også kjøretøykostnadene legges til, men den relative størrelsen på disse er mindre enn for ladesystemet, så det er grunn til å anta at det vil komme svært gunstig ut i en samfunnsøkonomisk analyse, sammenlignet med en full elektrifisering.

Samlet sett kan det oppsummeres med at det bør legges til grunn at ladesystem for batteritog som skal etableres som hovedregel bør være basert på bruk av den tekniske plattformen knyttet til standard banestrøm.

Dimensjoneringen av ladesystemet bør legges til et moderat nivå som sikrer at det er tilgang til hensiktsmessige kjøretøy i alle kjøretøykategorier.

En moderat dimensjonering av banestrømanlegget vil sikre at kostnadsfordelingen ved en teknologiovergang får en rimelig fordeling mellom infrastruktureier og infrastrukturbruker, og vil samtidig sikre faktisk ibrukstagelse og robusthet i systemet.

5 Insentivordninger

For at innføring av nullutslippsdrift med batterier skal bli vellykket kreves det at jernbaneforetakene tar den nye teknikken i bruk. I dette avsnittet diskuteres hvilke muligheter staten har til å sikre at jernbaneforetakene får nødvendige insitament til dette.

De mest aktuelle insentivene kan være økonomiske eller juridiske. De økonomiske insentivene kan videre deles inn i det som gjerne omtales som «gulrot og pisk». Hvis målet med eventuelle insentivordninger er å redusere samfunnets totale klimagassutslipp vil eventuelle juridiske ordninger og økonomiske pisker måtte utformes transportmodusnøytrale, mens økonomiske gulrøtter sannsynligvis må tilpasses forholdene for hvert enkelt transportslag. Insentivordninger som ikke spesifikt retter seg mot den aktuelle løsningen beskrives ikke i noen større grad her, men når eventuelle ordninger skal iverksettes må totaleffekten av alle ordninger som bidrar til ønsket utvikling vurderes.

Løsningene som velges bør ses mot besparelsene som gjøres ved at nullutslipp kan innføres på jernbanen for en betydelig lavere investeringskostnad for staten enn en tradisjonell løsning med full elektrifisering.

5.1 Positive insentiver for at jernbaneforetak skal kunne ta i bruk batteridrift

Hele konseptet med å erstatte dagens dieseldrift med utslippsfri og effektiv batteri-/elektriskdrift utgjør ett betydelig positivt insentiv for alle aktører på jernbanen. Hittil har det vist seg at kundenes betalingsvilje for muligheten til lavere utslipp er liten, slik at vi må forvente at staten på en eller annen måte må kompensere virksomhetene for eventuelle økte kostnader som følger av omlegging til batteridrift.

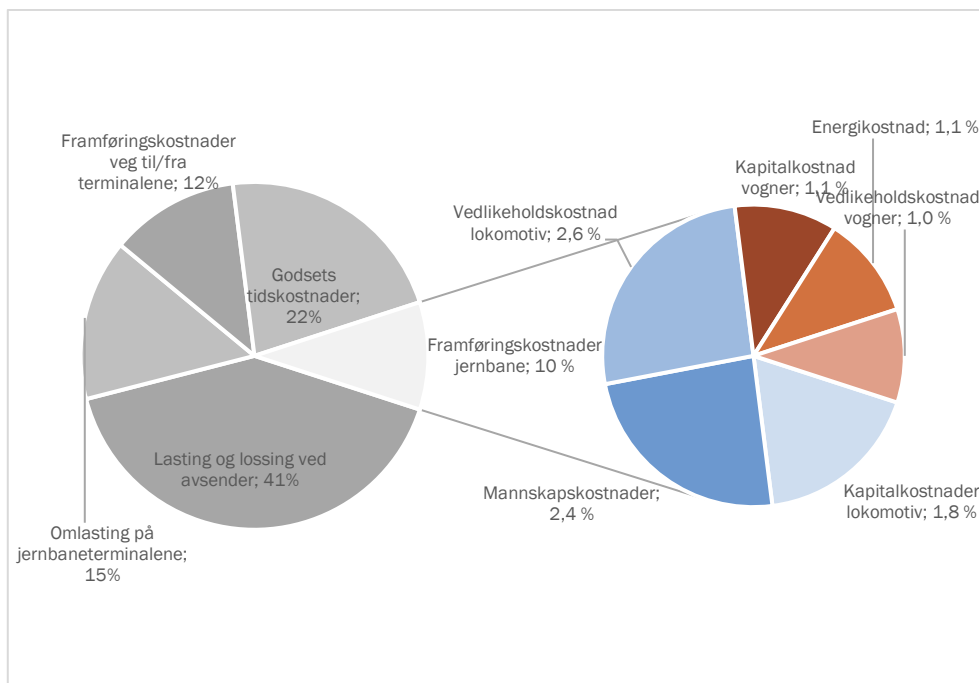
Hvilke positive insentiver som er mulige og nødvendige er svært forskjellig for persontrafikk og godstransport. For persontrafikken, der all eksisterende trafikk på ikke-elektrifiserte baner er regulert i trafikkavtale med Jernbanedirektoratet, vil det være enklest og mest effektivt å legge nødvendige føringer i avtalen. Dette kan gjøres enten i form av endringsordre i eksisterende avtale, eller som forutsetninger når den eksisterende avtalen forfaller for ny konkurranse.

Kjøretøyene som benyttes for trafikken i trafikkavtalene leies (i inneværende avtaleperiode) fra Norske tog, som igjen får sikkerhet for sine investeringer fra staten gjennom en restverdisikring som utstedes av Jernbanedirektoratet. Staten har på denne måten god styring av hvilke kjøretøy som benyttes for kjøpt persontrafikk.

Godstrafikken utføres av aksjeselskaper som driver forretningsmessig gjennom kommersielle avtaler med vareeiere og speditører. Trafikken gjennomføres med kjøretøy som jernbaneforetakene leier fra kommersielle utleieselskap eller eier selv. Her har ikke staten samme direkte styringsmulighet. Det finnes allikevel flere mulige, indirekte positive insentiver staten kan velge for å legge til rette for at godstrafikken skal ta i bruk de nye løsningene.

5.2 Økonomisk struktur for jernbaneforetak som driver godstrafikk

På Nordlandsbanen og Raumabanen er hoveddelen av godstransportene på Jernbane kombitrafikk. For kombitransport er kostnadsstrukturen beskrevet i Delrapport 1 til Jernbanedirektoratets godsstrategi fra 2019. Figur 23 illustrerer denne kostnadsstrukturen og viser at ca. 10 % av transportkjedens totale kostnader er togframføring. Videre kan man se at hoveddelen av togframføringskostnadene er knyttet til lokomotivet og mannskap, og dermed påvirkes lite av om togene er store eller små.



Figur 23: Kostnadsstruktur for typisk kombitransportkjede (Kilde: Godsstrategi 2019, Jernbanedirektoratet).

Inntektene for kombitrafikk er, med noen få unntak, basert på antall lasteenheter som transporteres. Store transportører har ulike former for mengderabatter, og prisene for hver enkelt relasjon bestemmes i ganske stor grad ut ifra transportavstandene for konkurrerende transportør på vei. Avstandsavhengigheten er derfor større for inntektene enn kostnadene for kombitrafikk.

For tømmertransport er kostnadsbildet for framføringskostanden noenlunde likt som for kombitrafikk, altså at kostander knyttet til lokomotiv og fører er dominerende, og at kapitalkostnader utgjør rundt en tredjedel av framføringskostnaden. Kostnadsbildet for hele transportkjeden er annerledes. Vi antar at togframføringskostanden er en forholdsvis større kostnad for tømmertransport enn for kombitransport.

Ut ifra den beskrevne kostnadsstrukturen for kombitransporter framkommer også at kapitalkostnader for vogner og lokomotiv allerede med el- og diesellokomotiver utgjør ca. 30 % av togdriftskostnaden. Resten av virksomheten for jernbaneforetakene har lavere andel kapitalkostnader enn togframføring. Godstogselskapene har likevel en betydelig større kapitalbyrde, og dermed større krav til økonomisk soliditet enn konkurrerende virksomheter på vei.

Batterilokomotiver vil ha en betydelig høyere innkjøpskostnad enn el- eller diesellokomotiver, slik at kapitalbyrden for godstogselskapene øker ytterligere.

Sammenlignet med dagens dieseldrift vil sannsynligvis driftskostnadene bli lavere. Avgjørende for dette er levetiden for batteriene. Med tilstrekkelig levetid vil lavere kostnad for vedlikehold av batterier og ladeutstyr sammenlignet med dieselutstyret og ulik energikostnad, kunne kompensere for den betydelige kostnaden som batteribytter vil innebære.

5.3 Forutsetninger for at økonomiske støtteordninger og andre positive incentiver vil være egnede

Egnetheten til støtteordninger som har til hensikt å få jernbaneforetakene til å ta i bruk den nye teknologien vil i stor grad avhenge av hvor godt de oppfyller relevante kriterier. Listen nedenfor dekker de viktigste.

- **Unngå at statlige investeringer ikke tas i bruk**
For at investeringene staten gjør i nye anlegg skal gi ønsket nytte for samfunnet, må ordningen være tilstrekkelig attraktiv til at jernbanevirksomhetene tar den nye teknologien i bruk.
- **Treffe de som trenger økonomisk kompensasjon**
Det er lokomotiveierne og jernbanevirksomheter som leier lokomotiv som blir belastet med de økte kapitalkostnadene. Støtteordninger må derfor siktes inn på å kompensere disse. Kapitalkostnadene for utleieselskap (som ofte er utenlandske) kan i noen grad kompenseres ved å gi støtte til jernbaneforetakene.
- **Ikke føre til eksport av norsk støtte**
Både lokomotivutleiefirmaer og flere av jernbaneforetakene er i stor grad internasjonale. Ordningen bør utformes slik at kjøretøy som omfattes stort sett benyttes i transportopplegg i Norge eller til og fra Norge og på strekninger som i dag ikke er elektrifiserte.
- **Ikke større enn nødvendig**
Støtteordningen skal kompensere de økte kapitalkostnadene og ta hensyn til endringer i driftskostnader. En god støtteordning premierer i rimelig grad effektiv bruk av kjøretøyflåten.
- **Ikke kreve for mye administrasjon**
- **Kunne utbetales når det gir mest effekt**
Hvilket tidspunkt som er optimalt vil være forskjellig avhengig av hvordan ordningen er bygd opp, men når ulike løsninger vurderes må muligheten til å tidsmessig møte behovet være et av kriteriene.
- **Ikke begrense tekniske løsninger**
Teknologiutviklingen på batterier og batteridrift går fort, og det vil være en risiko at ordninger som bevisst eller ubevisst premierer en teknisk løsning kan begrense muligheten til utvikling av nye og bedre tekniske løsninger.
- **Innenfor konkurranseregelverket**

5.4 Alternative støtteordninger for kjøretøy

Prosjektet har identifisert flere ulike alternativer for hvordan en støtteordning kan innrettes. Hver av dem har ulike egenskaper i forhold til kriteriene for egnethet. Det er gjennomført en vurdering av styrker og svakheter ved hver av disse alternativene. De analyserte alternativene er:

1. Staten» eier kjøretøy/batterier
2. Statlig støtte for å kjøpe batterier/kjøretøy med batterier
3. Statlig støtte for å kjøre med batterier
4. Staten dekker engangskostnader for en eller flere batterikjøretøytyper ved å kjøpe de første og dekke alle engangskostnader fullt
5. Bonus til reduksjon av klimagassutslipp
6. Ingen finansiell støtte – vente på at batterikjøretøy er tilstrekkelig billig

5.4.1 Staten eier kjøretøy/batterier

Staten eller et statlig selskap kjøper og eier kjøretøyene, eller batteriene, og leier de ut til jernbaneforetakene. Alternativet kan ses som at staten bruker litt av de sparte investeringskostnadene i infrastruktur til å investere i kjøretøy tilpasset den noe spesielle infrastrukturen som er resultatet av besparelsen. En slik støtteordning vil rettes direkte mot økte kapitalkostnader og økt risikoeksponering som er hovedutfordringen for jernbanevirksomhetene ved innføring av batterikjøretøy.

Støtteordningen i en slik løsning vil ligge i at leiekostnaden til togselskapene blir lavere enn det private aktører har mulighet til å tilby for samme leveranse. Ett mulig nivå for en leie kan være leieprisene de private aktørene tar for vanlige elektriske lokomotiver. Et annet mål for pris kan være at energikostnaden, inklusiv relevante deler av kjøretøyleien, skal være den samme uansett om man kjører på full elektrifisert strekning eller ikke.

Med dette alternativet har staten full kontroll på at utbygging av infrastruktur og leveranser av kjøretøy er koordinert, slik at nyttene av investeringene i både infrastruktur og kjøretøy kan tas ut fullt fra første stund.

For togoperatørene vil man med løsningen slippe å inngå nye typer avtaler, selv om man får ytterligere en utleier av lokomotiv å forholde seg til utover de man eventuelt har for elektriske lokomotiv. Siden behovene til staten i en slik leieavtale vil være noe annerledes enn for kommersielle aktører, kan leieavtalen bli mer komplisert. En klar fordel med denne løsningen er at det gjennom leieavtalen vil være uproblematisk å unngå eksport av norsk støtte.

Sannsynligvis vil en slik løsning føre til at alle lokomotiver på de ikke-elektrifiserte banene vil være av samme type. Dette er en fordel i forhold til at antall lokomotiver blir så stor som mulig, noe som normalt gir lavere kostnader både for innkjøp og drift. Siden behovene i ulike trafikkopplegg og for ulike togselskap er forskjellige, vil det være vanskelig å spesifisere kravene til lokomotivene. Det finnes betydelig risiko for at spesifikasjonen som velges blir unødig dyr og komplisert. Siden det sannsynligvis ikke vil være mulig å oppfylle alle behovene til de forskjellige trafikkopplegg og togselskap vil man likevel ende opp med ett produkt alle ikke er fornøyde med. Siden det er togselskapene som har sikkerhetsansvaret kan det også bli vanskelig å samtidig dekke opp ulike sikkerhetsregimer for ulike togselskap. Det vil også være vanskeligere å oppnå kontinuerlig forbedring av teknologien siden fornying av kjøretøyflåten blir ganske sjelden, og når det skjer vil det omfatte en stor del av kjøretøyflåten.

Alternativet innebærer at staten går inn på et marked som i dag er helt kommersielt, og fører til at de private aktørene blir avhengige av statens leveranser på ytterligere ett område. Løsningen vil innebære at man går bort fra dagens ansvarsfordeling mellom privat og statlig del av jernbanen.

5.4.2 Statlig støtte for å kjøpe batterier/kjøretøy med batterier

Støtte kan utbetales til eier av kjøretøy, i forbindelse med at de anskaffer kjøretøy for de ikke-elektrifiserte banene i Norge. Løsningen innebærer at jernbanevirksomhetene får uendrede avtaleforhold, men at staten må forholde seg avtalemessig til en ny gruppe av virksomheter – kjøretøyeierne.

En slik støtteordning vil bli rettet direkte mot de økte kapitalkostnadene og den økte risikoeksponeringer som kjøp av batterikjøretøy innebærer. Det er mulig å innrette en slik støtte slik at utbetalingene sammenfaller med når behovet for støtte inntreffer. Det vil også være mulig å utforme løsningen slik at man kan tilpasse kjøretøyene til behovene for den enkelte jernbanevirksomhet, og deres trafikkopplegg, på omtrent samme nivå som i dag.

Løsningen kan gi stort sett samme kostnadsbilde for jernbanevirksomhetene på ikke-elektrifiserte baner som de har på elektrifiserte baner.

En fordel med en slik løsning er at støtten opphører når kjøretøyene er kjøpt, noe som fører til at behovet for langvarig engasjement fra staten er lite eller bortfaller helt. Det gjør at det vil være mulig å tilpasse støtteordningen til effekten den gir. Det medfører også at det er mulig å innføre ny teknologi for eksempelvis batterier raskt og trinnsvis.

En utfordring med en slik løsning er at eieren av kjøretøy, spesielt til gods, ofte er en utenlandsk virksomhet. Hvis man skal unngå eksport av norsk støtte, dvs. at kjøretøy kjøpt med norsk støtte stort sett benyttes til trafikk utenfor Norge, må det settes vilkår som hindrer dette. For å unngå slik eksport kreves avtalevilkår som det kan være vanskelig å få aksept for i EU. Vilkår om at kjøretøyene som får støtte kun kan brukes i

Norge vil stille kjøretøyeieren i en vanskelig situasjon hvis de for en periode ikke har kunder som ønsker å benytte kjøretøyene i Norge. Dersom det er vært mulig å etablere en slik løsning som er felles for flere land, vil problemene med eksport av støtte bli mindre.

Løsningen vil også innebære en betydelig utfordring i å utforme kriterier for tildeling av støtte som er konkurransenøytrale mellom kjøretøyeierne. Det finnes også en risiko ved at ikke alle aktører mottar støtten.

En variant av denne støtteordningen, som gjør det noe enklere å hindre eksport av støtten, er å utforme løsningen slik den dekker økte kostnader for kjøretøyleie for jernbanevirksomheter på de aktuelle strekningene. En utfordring knyttet til dette er at kjøretøyeierne da sannsynligvis vil kreve veldig lange avtaleperiode, og dermed risikerer jernbanevirksomhetenes risikoeksponering å øke i stedet for å minske slik som tenkt.

5.4.3 Statlig støtte for å kjøre med batterier

Ordningen innebærer at jernbanevirksomhetene får støtte for å kjøre med batterier, f.eks. pr. kjørte togkilometer eller tonnkilometer. Løsningen vil ikke stille noen krav til avtale mellom staten og de som skal motta støtte, ettersom støtten utbetales på etterskudd og mot dokumentasjon av utført arbeid. Løsningen vil også være nøytral mellom togselskapene. En slik ordning vil ikke føre til at nytten av ordningen flyttes ut av Norge.

Det vil også være mulig å justere nivået på støtten slik at de direkte kostnadene blir lik som for kjøring med tradisjonelle elektriske lokomotiver. Men noen indirekte kostnader knyttet til innføring av batterilokomotiver vil være vanskelig å dekke med en slik løsning siden disse kostnadene vil variere fra virksomhet til virksomhet.

Siden ordningen utbetales på etterskudd, og ikke retter seg mot de hovedsakelige utfordringene som er kapitalkostnad og risikoeksponering, er det usikkert om og i hvor stor grad ordningen vil gi ønsket effekt. Ordningen vil ikke kunne benyttes til å koordinere kjøretøyskaffelser med ferdigstillelse av infrastruktur.

En slik ordning vil fungere best for store selskap med god soliditet, som kanskje er de aktørene som har det minste behovet for støtte.

Det vil kreve et ganske betydelig byråkrati for togselskapene som både må utforme søknader om støtte, og dokumentere utført arbeid for parametere som kanskje kun er relevante for en slik støtteordning. Staten må tilsvarende måtte etablere en organisasjon for å behandle søknadene for støtteordningen. En ordning som dette må antageligvis være i drift relativt lenge.

5.4.4 Staten dekker engangskostnader for en eller flere batterikjøretøytyper

Kostnader i forbindelse med utvikling og godkjenning er en betydelig del av kostnaden for de fleste jernbanekjøretøy. For batterilokomotiver for Norge vil disse kostnadene være ekstra store siden det et spørsmål om kjøretøy med mye ny teknologi, noe som både krever mye arbeid i konstruksjonsfasen og mye testing av kjøretøyene. Denne støtteordningen innebærer at staten f.eks. gjennom Bane NOR, og for Bane NORs egne behov, kjøper batterilokomotiver med klausul om at alle engangskostnader belastes denne anskaffelsen. For jernbanevirksomheter som kjøper ytterligere lokomotiver av den aktuelle typen vil dermed stykkprisen de må betale bli betydelig redusert. Løsningen kan gjennomføres uten noen form for avtale eller andre forpliktelser mellom staten og jernbaneforetakene eller kjøretøyeierne.

Med en slik løsning vil den første ordren med garantert leveranse som staten finansierer være noen få individer. Det er en betydelig risiko for at den som vinner en anskaffelse på slike vilkår vil være en leverandør som er spesialist på å bygge spesialkjøretøy, noe som kan føre til at den valgte leverandøren ikke nødvendigvis er godt egnet til å møte behovene til jernbaneforetakene når det gjelder effektivitet og standardisering.

Siden det ikke er noen formelle koblinger mellom staten, Bane NOR og jernbaneforetakene vil en slik ordning ikke gi noen koordineringsmulighet mellom utbygging av infrastruktur og kjøretøyleveranse, slik at det finnes en risiko for at infrastruktur ikke tas i bruk ved ferdigstillelse.

Det er en betydelig risiko for at leverandøren som leverer lokomotiv med engangskostnaden betalt av staten vil få ett «de facto monopol» på leveranser av batterilokomotiver til Norge.

5.4.5 Bonus til reduksjon av klimagassutslipp

I en slik støtteordning vil jernbaneforetakene få støtte for dokumenterte reduksjoner av klimagassutslipp sammenlignet med dieseldrift.

En slik ordning vil gi kunne gi god effekt i forhold til å redusere klimagassutslippene, og vil i stor grad fungere på lignende måte som ordningen som beskrives i kapittel 5.4.3. Dog vil den i enda mindre grad bidra til å sikre at statlige investeringer i ladeinfrastruktur nyttiggjøres, siden den sidestiller batterikjøretøy med andre løsninger som reduserer klimagassutslipp. Det kan også føre til at den økonomisk optimale løsningen for jernbaneforetakene, i alle fall i en overgangsfase, ikke er nullutslipp.

5.4.6 Ingen finansiell støtte – vente på at batterikjøretøy er tilstrekkelig billig

Prognoser og historisk utvikling av priser på batterier tyder på at prisene for batterikjøretøy etter hvert vil komme ned til et nivå der det vil være lønnsomt for jernbanevirksomhetene å ta i bruk denne teknologien uten statlig støtte. Hvis utviklingen fortsetter som antatt, og staten sørger for at nødvendig ladeinfrastruktur finnes tilgjengelig, vil teknologiskiftet skje naturlig etter hvert. En slik tilnærming har betydelige fordeler i at man lar et marked som i dag fungerer uten offentlig innblanding forbli i sin velfungerende tilstand. Uten noen form for støtte slipper både det offentlige og jernbaneforetakene å etablere byråkrati for dette.

Når markedet får fungere fritt uten offentlig innblanding vil normalt leverandører, kjøretøyeiere og jernbaneforetak sørge for at kjøretøyene som tas i bruk blir optimale for formålet.

Det er betydelig usikkerhet til om og når det blir bedriftsøkonomisk lønnsomt å gå over til batterikjøretøy for jernbaneforetakene. Det er ikke urimelig å anta at man ikke vil klare å tidfeste når investering i batterikjøretøy blir bedriftsøkonomisk lønnsomt før tidspunktet det blir lønnsomt er passert.

Hvis staten skulle vente med å beslutte utbygging til dette tidspunktet vil hele tiden staten trenger for å ferdigstille nødvendig infrastruktur innebære tilsvarende forlenget drift med en miljømessig og økonomisk foreldet teknologi. Med en slik tilnærming finnes det også en risiko for at de andre transportslagene vil gå over til nullutslippsløsninger i de aktuelle områdene før jernbanen. Utover tap av marked og lønnsomhet på grunn av dårlig reklame, vil det også medføre økte kostnader på grunn av at jernbanen alene må bære kostnaden for hele distribusjonsinfrastrukturen til jernbanens fyllpunkter. I dag deles denne i hovedsak med bygg og anlegg, jordbruk og sjøfart.

Det kan også hende at noen av jernbaneforetakene, for å oppfylle kundekrav, tvinges til å gå over til kostbart biodrivstoff. Da vil jernbanen legge beslag på en knapp ressurs som andre transportslag, som har vanskeligere for å gå over til elektrisk drift, har mer bruk for. Foretak som har investert i biodrivstoffløsninger, vil også ha vanskeligere for senere å begynne overgang til en batteriløsning.

For at tidspunktet der det er bedriftsøkonomisk lønnsomt å investere i batterikjøretøy skal inntreffe tidligere, kan man bygge en dyrere ladeinfrastruktur med høyere elektrifiseringsandel. Da vil nødvendig batteristørrelse, og dermed prisen på kjøretøyene, minske. Men man vil kanskje ikke bygge ut den samfunnsøkonomisk optimale infrastrukturen.

5.5 Totalvurdering av insentivordninger

Vurderingene over må ses som en første grovvurdering av om det i det hele tatt er mulig å lage støtteordninger som kan oppnå ønskt effekt. Vurderingen viser at flere av alternativene kan være egnet til å sikre at den nye teknologien tas i bruk når infrastrukturen er ferdigstilt. Vurderingene viser at alternativene har ulike fordeler og ulemper, og at alle sannsynlig vil gi bieffekter som er eller kan være uønskede. Før man velger å gå for en støtteordning, og bestemmer hvordan denne skal utformes, må det gjøres fordypende analyser der også eventuelle følgeeffekter tas med i vurderingen. Alle ordninger som vurderes må også ses i sammenheng med andre støtteordninger og regulatoriske tiltak fra både Norske og internasjonale myndigheter. I de fordypende analysene må det også gjøres lovlighetsvurderinger både i Norge og i forhold til ESA.

6 Handlingsalternativer

I kapittel 3 er det sett på hvilke potensial som ligger i teknologien, i kapittel 4 er teknologien og konsekvensene av innføring av teknologien vurdert for de ulike banene som pr. i dag ikke er elektrifiserte. I kapittel 5 er det sett på hvilke tiltak som kan være aktuelle for staten å ta i bruk for å sikre gjennomføring av et teknologiskifte. I dette kapittelet ses det nærmere på ulike handlingsalternativer for staten.

6.1 Alternativ 0

Ingen tiltak fra staten sin side er et åpenbart nullalternativ. Overgang fra diesel til en annen teknologi drives, bestemmes og finansieres i så fall av brukeren av teknologien. Teoretisk sett vil da et teknologiskifte komme når det er modent, og markedet krever det. Disse driverne er reelle og sterke når vi ser på den kommersielle delen av jernbanen. Men dersom et teknologiskifte skal kunne skje må nødvendig infrastruktur også finnes. Jernbaneinfrastruktur er i Norge normalt offentlig eid, og dersom man ikke skal endre på dette grunnleggende premisset, så vil et teknologiskifte på de ikke-elektrifiserte banene ikke kunne skje uten at det gjennomføres tiltak i regi av staten.

Jernbanedirektoratet sin vurdering av dette handlingsalternativet er en klar fraråding, dersom man ønsker at et teknologiskifte bort fra dieseldrift skal skje.

6.2 Alternativ 1

Styrt overgang fra diesel til nullutslipp gjennom en samlet statlig beslutning om ombygging av infrastrukturen er et alternativ.

Denne strategien vil sikre at nødvendig infrastruktur for overgang fra dieseldrift til den driftsformen staten ønsker kommer på plass. Et prosjekt av denne typen vil for de største utgiftene, som ligger i infrastrukturinvesteringene, kunne følge statens prosjektmodell og ordinær bevilgningsprosess over statsbudsjettet, slik det er vanlig for jernbaneinfrastrukturprosjekter.

Denne modellen gir imidlertid en svært lang tid fra et valg av konsept og dimensjonering må gjøres til fysisk bygging og ibruktagelse skjer. Dette kan være uheldig i tilknytting til denne type teknologi, som fortsatt er i relativt rask utvikling. Tidsfaktorene i en slik prosess gir en betydelig risiko for at man enten er for optimistisk i forhold til utvikling, og bygger anlegg som i praksis ikke kan tas i bruk når de er ferdig bygget, eller at man er for konservativ, og bygger betydelig dyrere og mer omfattende infrastruktur enn det som hadde vært nødvendig dersom man hadde hatt en mer fleksibel beslutningsmodell der dimensjonering og tekniske valg kunne fattes av fagfolk og brukere på et lavere nivå, på et tidspunkt som er nærmere bygging enn hva statens prosjektmodell tillater.

Dette handlingsalternativet har også en svakhet i forhold til det som ikke dreier seg om tilgang til infrastruktur. Ombygging av infrastrukturen i seg selv sikrer ikke overgang til nullutslipp i driften. Det er ingen garanti for at operatørene gjør de nødvendige tiltak for å sikre seg kjøretøy som kan utnytte den ombygde infrastrukturen. For persontrafikken og kjøring tilknyttet driften av infrastrukturen har staten gjennom trafikkavtaler og eierstyring allerede virkemidler som kan påvirke valg av kjøretøy hos operatøren. En forutsetning for at disse virkemidlene skal kunne brukes er at den enkelte operatør selv kommer til den beslutning at de vurderer teknologien som sikker nok for deres operasjon. For godstrafikk finnes det ingen slike virkemidler. Godstrafikken er kommersiell, konkurranseutsatt og har ofte lave marginer i forhold til lønnsomhet. Viljen og evnen til å ta større investeringer for å skifte teknologi er ikke nødvendigvis til stede, selv om staten tilrettelegger infrastrukturen.

Dette handlingsalternativet har høy risiko for feilinvestering, og har ingen sikker metode for å få med seg godsnæringen til å ta i bruk den teknologien staten har valgt å tilby i infrastrukturen. Alternativet har for høy risiko, og er for mangelfullt til at det kan anbefales av Jernbanedirektoratet.

6.3 Alternativ 2

Markedsstyrt overgang fra diesel til nullutslipp med statlig initiativordning rettet mot operatør er et handlingsalternativ.

Handlingsalternativet vil virke godt på den operative siden av Jernbanen da den kan gå direkte inn og redusere behovet for ekstraordinære investeringer for operatører knyttet til et teknologiskifte. Dette vil sikre at operatører ønsker å være med på en teknologiovergang, dersom staten har laget en støtteordning som er passe stor med de rette premissene for tildeling.

Handlingsalternativet har imidlertid en stor svakhet i at det ikke dekker finansiering av nødvendige infrastrukturtiltak, og heller ikke har noen naturlig mekanisme som sikrer koordinering av infrastrukturinvesteringer og investeringer i regi av operatørene. Støtteordningen vil for en rekke av de aktuelle trafikkoppleggene ikke ha den ønskede effekt uten at det også lages en ordning som sikrer koordinering, finansiering og gjennomføring av infrastrukturtiltak som er nødvendige for at teknologien operatørene velger lar seg bruke i praksis.

Dette handlingsalternativet har for store utfordringer knyttet til koordinering av statsstøttede tiltak i regi av operatør og behov for statlige infrastrukturtiltak for at operatørenes valgte teknologi skal kunne tas i bruk til at det kan anbefales av Jernbanedirektoratet.

6.4 Alternativ 3

Markedsstyrt overgang fra diesel til nullutslipp med statlig initiativordning rettet mot operatør, og en samlet statlig plan for ombygging av infrastrukturen, er et alternativ som kombinerer to tidligere nevnte løsninger.

En godt utformet støtteordning vil kunne sikre operatørenes vilje og evne til å være med på et teknologiskifte. En samlet statlig plan vil kunne sikre at det gjennomføres en infrastrukturtilpassing.

Dette handlingsalternativet kombinerer gode sider fra to tidligere omtalte alternativer, men tar også med seg noen ulemper og nye utfordringer. Koordineringen av disse to handlingene vil være krevende. Tidsmessig får infrastrukturtilpassingen med seg den tidligere nevnte lange beslutningsprosessen som gir praktiske problemer i forhold til den type teknologi som skal tas i bruk her, og risiko for feilinvesteringer som følger av en rigid og lang beslutningsprosess. Det er få problemer knyttet til en støtteordning for kjøretøyinvesteringer, men det er utfordringer knyttet til koordineringen opp mot infrastrukturtiltakene. Det må gjøres et valg om hvem som er styrende i forhold til dette, brukeren av infrastrukturen, eller eieren av infrastrukturen. Begge muligheter er gjennomførbare, men begge muligheter vil nok trolig kreve at Jernbanedirektoratet har en aktiv rolle i koordineringen for å sikre en balanse som er til fordel for samfunnet som helhet.

Dersom man ønsker en sikker og rask overgang til nullutslippsløsninger i driften av de ikke-elektrifiserte delene av jernbanen, er dette en sikker fremgangsmåte, som dessverre trolig ikke er spesielt rask. Det er Jernbanedirektoratet sin vurdering at handlingsalternativet er noe langsomt, men gjennomførbar med god måloppnåelse dersom man lykkes med koordineringen.

6.5 Alternativ 4

Markedsstyrt overgang fra diesel til nullutslipp med statlig initiativordning rettet mot operatør og infrastrukturforvalter er et alternativ som utvider støtteordningen til også å omfatte finansieringen av infrastrukturtilpassingene.

Handlingsalternativet kan da utformes slik at det kun kan utløses statlige midler dersom det er enighet mellom eiere og brukere av infrastrukturen om hvilken teknologi det skal legges til rette for, og at tilpasset infrastruktur vil bli tatt i bruk av operatørene. Koordinering og valg av teknologi vil da kunne gjøres av eiere og brukere av utstyret uten direkte statlig involvering ut over det som eventuelt blir lagt inn i søknadsbehandlingen for støtteordningen.

Dette handlingsalternativet vil trolig være det raskest virkende i forhold til praktisk gjennomføring av tiltak som leder til nullutslipp i driften for den ikke-elektrifiserte delen av jernbanen.

Den praktiske omleggingen av driften vil trolig kunne bli gjennomført mer effektivt og til en lavere total kostnad enn hva som kan forutsettes for de øvrige handlingsalternativene, men størrelsen på støtteordningen vil måtte være større enn ellers dersom den skal inkludere infrastrukturtiltakene. Ved denne måten å finansiere både kjøretøy og teknologi som skal til for å sikre en overgang til nullutslippsteknologi, overlates mer ansvar til aktørene i sektoren til å bestemme hvordan jernbanen skal se ut i fremtiden enn det som normalt gjøres. Direkte statlig styring vil begrense seg til dimensjonering av støtteordning, definering av tildelingskriterier og saksbehandling. Infrastrukturutviklingen vil med dette bli mer brukerstyrt enn vi er vant til. Økt innflytelse for operatører vil skje på bekostning av staten sin innflytelse.

Handlingsalternativet vurderes som gjennomførbart og kan anbefales av Jernbanedirektoratet dersom man lykkes med å sikre forutsigbar finansiering som er stor nok til å kunne dekke både infrastrukturtiltak og kjøretøytiltak.

7 Konklusjon og anbefaling

7.1 Konklusjon

Det er teknologisk gjennomførbart å få til en overgang fra dieseldrift til batteridrift på de ikke-elektrifiserte delene av det norske jernbanenettet. Teknologien er så moden og tilgjengelig at en teknologiovergang vil bære mer preg av å være en utrulling enn et utviklingsprosjekt. Det betyr ikke at det ikke vil være utfordringer med gjennomføring av et prosjekt, men det vil preges av relativt normale utfordringer som sektoren er vant til å håndtere, fremfor teknologiutviklingsrelaterte utfordringer.

Teknologien er fortsatt i stor utvikling, men teknologiutviklingen har ikke betydning for om teknologiovergangen er mulig. Den har bare påvirkning på kostnadsnivået, og hvilke løsninger som kan velges. Selv om teknologien utvikler seg så er det behovene i det europeiske togmarkedet som vil være avgjørende for hva som blir kommersielt tilgjengelig.

Dersom batteridrift skal innføres i Norge bør det derfor legges opp til et ladesystem som ligner på strukturen i de ikke-elektrifiserte delene av de største europeiske jernbanenettverkene, samt at det bør i planlegges for et system der strekningene som skal kjøres med energi fra batteri ikke overstiger 80-120 km i relativt flatt terreng. Dette er teknisk mulig i dag, og vil ha varig bruksverdi uansett hvordan den teknologiske utviklingen går.

Det er stor variasjon i utfordringene og potensialet knyttet til de ulike banene. Dette gjør at det kan være fordelaktig å åpne for variasjon i ladesystem for de ulike banene, så lenge ladesystemene bygges opp rundt den samme type banestrømforsyning som benyttes i den elektrifiserte delen av jernbanenettet.

Utredningen viser at det finnes teknologi som kan erstatte diesel som energibærer på norsk jernbane med et forventet kostnadsnivå som er betydelig lavere enn hva som tidligere er anslått. Det reduserte kostnadsnivået knyttet til investering for å gjøre en teknologiovergang mulig, gjør at en teknologiovergang til batteridrift fremstår enda mer aktuell enn tidligere, ut fra et samfunnsøkonomisk perspektiv.

En fullstendig teknologiovergang vil ikke skje uten tiltak fra staten og statlige aktører, og det vil heller ikke skje uten at de øvrige aktørene i jernbanesektoren ser det som fordelaktig. Det er to forhold som forhindrer at teknologiskiftet skjer. Det ene er aktørenes evne til å bære de investeringer som er nødvendige for å gjennomføre et skifte av teknologi. Det andre er aktørenes sikkerhet for at deres investeringer tilpasses og koordineres med de øvrige aktørenes investeringer, både teknologisk og tidsmessig.

Statens verktøykasse består av flere mulige virkemidler, men i denne sammenheng ser det ut til at det bør avgrenses til utredning, bevilgninger/investeringsstøtte og instruksjoner til statlige aktører.

Hvor fort et teknologiskifte vil skje, kan reduseres til et spørsmål om hvor raskt og hvordan staten kan sikre tilstrekkelig finansiering og koordinering av de nødvendige tiltak. Valg av tiltak og organisering vil kunne ha stor påvirkning på når en overgang vil skje.

7.2 Anbefaling

Det anbefales at det arbeides for en teknologiovergang fra fossilt drivstoff til en tilgjengelig og gjennomførbart nullutslippsteknologi gjennom å iverksette fire parallelle aktiviteter:

- Det anbefales at det iverksettes arbeid for å utarbeide en støtteordning som dekker finansieringsbehovene hos både statlige og private aktører i norsk jernbanesektor knyttet til teknologiovergang. Formålet med dette tiltaket er å sikre rask igangsettelse av teknologiovergang i de trafikkoppleggene som krever de minste inngrepene for å kunne realiseres (Handlingsalternativ 4).
- Det anbefales å iverksette en KVVU. Formålet med dette tiltaket er å igangsette de prosesser som er nødvendige for at teknologiovergangen skal kunne bli komplett, og også inkludere de delene av det ikke-elektrifiserte jernbanenettet i Norge som krever noe mer omfattende tiltak for å gjennomføre en teknologiovergang (Handlingsalternativ 3).

- Det anbefales videre at det avsettes ressurser i Jernbanedirektoratet til å bistå sektoren med nødvendig koordinering og eventuell administrasjon av en støtteordning. Formålet med dette er å redusere risiko knyttet til effekten av de to øvrige tiltakene (Handlingsalternativ 3 og 4).
- Det anbefales at det legges til rette for at Bane Nor viderefører sitt arbeid med overvåkning av energiforbruk, og fortsetter med sin kompetanseoppbygging knyttet til 50Hz teknologi i banestrømsforsyningen.

8 Vedlegg

8.1 A: Oversikt over delrapporter

Det er to delrapporter som følger denne rapporten. Delrapportene utgjør et faglig detaljert grunnlag for det som presenteres i hovedrapporten.

Delrapport 1

NULLFIB2 Delrapport 1 – *Batteriteknologi for jernbanekjøretøy*, Jernbanedirektoratet, 2021.

Delrapporten tar for seg batteriteknologi for jernbanekjøretøy, og omhandler teknologiske og økonomiske forutsetninger for batteridrevne tog.

Delrapport 2

NULLFIB2 Delrapport 2 – *Banestrømforsyning for batteridrift på jernbanen*, Bane NOR, 2021.

Delrapporten handler om hvilke krav batteridrift har til banestrømforsyningen, og hvordan dette påvirker utformingen av ladepunkter, ladestrekninger og matestasjoner.

