

NULLFIB

Delrapport 3:

Del-elektrifisering / Infrastrukturiltak



Sammendrag

Norge har frem til 2030 å kutte 45 prosent av klimagassutslippene. Transportsektoren står for 30 prosent av de totale utslippene, og mye må dermed gjøres innenfor denne sektoren frem mot 2030. Den teknologiske utviklingen innenfor løsninger med nullutslipp går derimot svært raskt. Det er derfor et behov for å kartlegge aktuelle nullutslippsløsninger som vil kunne ha en positiv virkning på sektorens utslipp og samtidig gi økonomiske besparelser. Jernbanedirektoratet har derfor gjennomført prosjektet «NULLutslippsløsninger For Ikke-elektrifiserte Baner» (NULLFIB). Hensikten er å utrede tilgjengelige valg for nullutslippsløsninger og gi anbefaling for videre satsning. Dette er delrapport 3 som utreder infrastrukturtiltak og del-elektrifisering som et alternativ.

Det er levert 4 delrapporter: Delrapport 1 om økonomisk analyse, delrapport 2 om batteritog, delrapport 3 om del-elektrifisering/ infrastrukturtiltak, delrapport 4 om tog drevet på hydrogen, biogass og biodiesel.

Løsningsforslaget

Prosjektgruppen bak delrapport 3 med delttagelse fra Bane NOR har utarbeidet et løsningsforslag om å del-elektrifisere Nordlandsbanen mellom Stjørdal og Bodø. Forslaget innebærer å mate kraft inn på 6 steder og bare elektrifisere rundt disse, dette reduserer lengden på kontaktledningsanlegget til en tredjedel. Kostnadene er redusert ytterligere ved å velge ut de strekningene som er enkle å elektrifisere, det vil si strekninger med få eller ingen tunneler. Der det er tunneler og bruer med for liten overhøyde kan elektrifisering stoppe og fortsette på andre siden ved å bruke isolert kabel imellom. På nevnte måter oppnås nullutslippsløsning med en betydelig lavere investeringskostnad sammenlignet med helelektrifisering. Løsningen vil også gi lavere driftskostnad sammenlignet med dagens dieselløsning og dermed styrke jernbanens konkurransevne. Beregninger¹ viser at det vil være mulig å oppnå elektrisk drift av alle tog på Nordlandsbanen for cirka en firedel av prisen sammenlignet med helelektrifisering.



Figur 1: Illustrasjon av del-elektrifisering laget av Jernbanemagasinet desember 2019

Forutsetninger

Batteridrift med del-elektrifisering forutsetter at man anskaffer kjøretøy med batterier som henter kjørestrom fra batteriet eller fra kontaktledningen. Batteriene i toget er redusert til 20 % av størrelsen sammenlignet med om batteriene skulle kunne dekke hele strekningen. Togene henter kjørestrom fra togets batteri på ikke elektrifiserte strekninger (Batteristrekning) og lader batteriene samtidig med at man

¹ Kostnader til batterier i tog er ikke inkludert, se kapittel 4.5

kjører ved hjelp av kontaktledning på elektrifiserte strekninger (Ladestrekning). Dette konseptet omtales i rapporten som del-elektrifisering.

Det er forutsatt dagens energitetthet på batterier og det er vurdert at batteristørrelsen skal kunne bygges inn i et 6 akslet lokomotiv. Beregningen gjelder for godslokomotiv. Den samme infrastrukturen vil også kunne brukes for persontog, som vil ha behov for mindre batteri. Investeringsbesparelsen oppnås blant annet ved at man kun strosser/ utvider 5 % av den totale tunnel lengden og at det kun er 31 % av strekningen som blir elektrifisert. Løsningsforslaget for Nordlandsbanen inneholder 1 strekning med helelektrifisering fra Trondheim til Stjørdal som er vedtatt, videre har den fordelt 12 batteristrekninger, 9 ladestrekninger og det er benyttet 6 nye matestasjoner. Disse har frekvensomformere som produserer strøm med 50 Hz og 25 kV. Matestasjoner med kun transformatorer kan redusere investeringskostnadene ytterligere, men det kreves mer detaljerte utredninger om slik teknologi kan benyttes på Nordlandsbanen.

Prosjektnummer: 21007122	Saksnummer: 201900403-4	Revisjon: 00
Utarbeidet av: Atle Einarson	Kontrollert av: Øyvind Gebhardt og Per Herman Sørli	Godkjent av: Stephen Oommen

Innhold

Innhold	4
1 Innledning.....	6
1.1 Bidragsyttere	6
1.2 Forklaringer og forkortelser	6
1.3 Kostnadsestimering har følgende priser	7
1.4 Støtteverktøy til arbeidet	8
1.5 Hva har vi ikke hensyntatt eller vurdert i utredningen	8
2 Beskrivelse av løsningsforslaget.....	10
2.1 Prosess	10
2.2 Løsningsforslaget	11
2.3 Sammenligning av helelektrifisering og del-elektrifisering	12
2.4 Tre mulige alternativ for ytterligere kostnadsreduksjon	13
2.5 Kontaktledningsanlegg på ladestrekninger	13
2.6 Omformerstasjoner	13
2.7 Drift av arbeidsmaskiner	13
3 Kostnader for ladestrekningene	14
3.1 Kartlegging av overgangsbruer	14
3.2 Kartlegging av tunneler	17
3.3 Summerte kostnader for tunnel og bruarbeid	22
3.4 Kostnader kontaktledning inkludert elektrifisering av kryssingsspor	23
4 Kostnader sammenlignes	24
4.1 Helelektrifisering kostnadsestimert	24
4.2 Kostnadsfordeling sammenlignet med Danmark (Helelektrifisering)	26
4.3 Kostnader for vedtatt helelektrifisering på deler av Nordlandsbanen	26
4.4 Del-elektrifisering kostnadsestimert	27
4.5 Resultat av kostnadssammenligning	27
5 Beskrivelse av ladestrekningene	28
5.1 Ladestrekningen 3LADE	29
5.2 Ladestrekningen 5LADE	34
5.3 Ladestrekningen 8LADE	38
5.4 Ladestrekningen 10LADE	44
5.5 Ladestrekningen 12LADE	49
5.6 Ladestrekningene 16LADE og 18LADE	52
5.7 Ladestrekningen 20LADE	53
5.8 Ladestrekningen 22LADE	57
6 Nettilknytning og kapasitet	65
6.1 Plassering av matestasjoner	65
6.2 Kapasitet og kortslutningsytelse i aktuelle tilknytningspunkt	65

6.3 Oppsummering nettilknytning for alle 6 lokasjoner	70
7 Spesielle forhold ved mating av del-elektrifisert bane	71
7.1 Spesielle forhold ved del-elektrifisering med batteri.....	71
7.2 Redundans	71
7.3 Asymmetri og kortslutningsytelse.....	71
8 Teknologier for matestasjoner	73
8.1 Matestasjoner med frekvensomformere	73
8.2 Matestasjoner uten frekvensomformere	74
8.3 Matestasjoner - Avanserte teknologier for å redusere asymmetri	77
8.4 Andre tiltak for å sikre pålitelighet	78
8.5 Valg av spenningsystem og teknologi.....	78
9 Dimensjonering av batterier og ladestrekninger	79
9.1 Beregningsprogram	79
9.2 Resultat fra beregningsprogram	80
9.3 Optimalisering av batteristørrelse.....	81
10 Klima- og energiforbruk.....	82
11 Konklusjon og forslag til videre arbeid.....	83
12 Vedlegg.....	84

1 Innledning.

Denne rapporten omhandler batteridrift med del-elektrifisering og infrastrukturtiltak. Kostnader på infrastrukturtiltak sammenlignes med helelektrifisering og dette omfatter: tunneler, overgangsbruer, jernbanebruer, nettilknytning, matestasjoner og elektrifisering av kryssingsspor. Rapporten omhandler også teknologi som energiinnhold i kjøretøybatteriet, nettilknytning og matestasjoner.

Rapporten beskriver kun Nordlandsbanen. Vi har dokumentert hele banestrekningens infrastruktur fra Trondheim til Bodø, totalt 22 seksjoner. Seksjonenes fordeling og lengde er basert på hvor de tunnelede delstrekningene finnes. Vi har forutsatt at seksjon nr. 1 fra Trondheim til Stjørdal skal helelektrifiseres. Det betyr at kontaktledning da er en del av det sammenhengende nettet sørover via Dovrebanen. Oppdelingen med seksjoner har gjennomgått en utvikling i prosjektperioden og presenteres nå som en helhetlig løsning

1.1 Bidragsyttere

- Bane NOR Energi ved Øyvind Gebhardt har deltatt i prosjektet. Bidraget har vært svært nyttig både med hensyn på energiberegninger og kunnskap om omformerstasjoner/matestasjoner for banestrøm. Kapittel 8 og 9 er skrevet av Øyvind Gebhardt.
- Bane NOR Mosjøen har utført målinger av høyder i tunneler og under bruer
- Norconsult har vært engasjert for å vurdere kostnader, kostnadsforskjeller, ulik teknologi som kan benyttes til matestasjoner, nettilknytning og løsninger knyttet til høydebegrensninger i tunnel og under overgangsbruer. Deres underlagsrapport se*(Norconsult, 2019 rapport) ble levert 1. november 2019 og innholdet er i stor grad blitt benyttet i denne rapporten. Prosjektet har omstrukturert innholdet og lagt til bilder av alle objekter med mere.

1.2 Forklaringer og forkortelser

Helelektrifisering og del-elektrifisering

- Standard kontaktledning som er det samme som helelektrifisering. (16 2/3 Hz og 15 kV).
- Batteridrift med del-elektrifisering som videre omtales som del-elektrifisering. Dette kan være med dagens frekvens og spenning dvs. 16 2/3 Hz - 15 kV eller 50 Hz – 25 kV. Ved evt. endring til ny standard med 50 Hz så forutsettes det at nytt kjøretøy kan benytte begge spesifikasjoner og batterikjøretøy kunne kjøre på standard kontaktledning. **Denne utredningen er basert på ladestrekninger med 50 Hz – 25 kV via omformerstasjoner.** B og L er forkortelse for Batteristrekning og Ladestrekning i figurer og tekst.

Kjøretøy

- Når det gjelder batterikjøretøy og batterier i tog refereres det til delrapport 2.
- Det er hensyntatt et godstog med totalvekt 1080 tonn, lengde 600 m.
- Det er forutsatt/behov for et godslokomotiv med batteri på 2,6 MWh. Energibehovet for persontog er vesentlig mindre.
- Totale energiforbruk Nordlandsbanen er vist i delrapport 2 med ulike kjøretøy, der er også vist regenerert energi fra elektrisk motorbrems.
- Nordlandsbanen er valgt fordi den er den mest krevende banestrekningen med hensyn på prosjektstørrelse og energibehov.

Kontaktledning

- Kl er forkortelse for kontaktledning.
- Over SOK betyr høyde over skinne overkant.
- AT system er elektrifisering med autotransformatorsystem, dette gir opp til 120 km mellom matestasjoner.
- BT – Kontaktledningsanlegg med sugetransformatorer (booster transformers). Dette er en innretning som «suger» returstrøm fra jord, og presser den inn i skinnene eller returledning.
- Kontaktledningsanlegget bygges i henhold til system 20B med strekk 10 kN. (maks 160 km/h) uten returledning.

- Kontakttrådshøyde i dagsoner er normalt 5,60 m.
- Kontakttrådshøyde i tunneler er normalt 5,05 m, det kan være 4,85 m (forutsetter dispensasjon fra regelverk).
- KI systemhøyde 0,3 m og isolasjonsavstand på 0,25 m.
- Dobbel kontakttråd uten bæreline reduserer behov for frihøyde over SOK med inntil 0,3 m. Systemet har en hastighetsbegrensning på 100 km/h når man benytter strekk på 13 kN.
- Det forbrukes mye energi oppover fra begge sider av Saltfjellet og det kan tilbakeføres mye energi tilbake via omformerstasjon til nettet ved nedoverkjøring. Derfor er det mye elektrifisering på begge sider av Saltfjellet.
- Saltfjellet er hensyntatt naturverdier på selve plataet, derfor er den strekningen ikke blitt elektrifisert.
- Kryssingsspor på ladestrekninger skal elektrifiseres, dette gir ladereserver som ikke er hensyntatt og er derfor en ekstra energiresurs.

Nettilknytning og matestasjoner

- Nettselskapenes muligheter for kraftleveranse er en forutsetning og beskrives i rapporten.
- Denne beregningen foreslår tilknytning til nett i følgende punkt: Steinkjer, Tunnsjødal, Mosjøen, Storforshei, Rognan og Tjønndalen.
- Installert ytelse tilknyttet nettet vil være 16 MVA med $\cos \phi$ tilnærmet lik 1.
- Beregningen forutsetter videre banestrømforsyning med 50 Hz og 25 kV. (Isolasjonsavstand 25 cm).
- N-1 betyr at man tåler at en tilførsel til matestasjon er ute av drift. N-0 betyr at man ikke har ekstra tilførsel og dermed mer sårbar for nettoutfall.
- MVA, forkortelse for megavoltampere. Tilsvarende 1 million voltampere (VA). Enhet for tilsynelatende effekt, som er en mye brukt enhet i energisektoren.

Tunneler og overgangsbruer

- Tunnelutvidelse er det mest kostbare tiltaket som vi derfor forsøker å redusere til et minimum.
- Strosse er utvidelse av et bergrom eller en skjæring, ofte ved sprengning, «I denne sammenheng med tunnelutvidelse innbefattes også byggetiltak». Eksempler på byggetiltak er drenering, sprøytebetongkledning, membrantetting etc. Tiltak er satt til en fast meterkostnad og ikke utredet utover dette.
- Tiltak med overgangsbruer er mindre omfattende og har derfor ikke vært bestemmende for plassering av ladestrekningene.
- Krav til høyde over SOK (skinneoverkant) for tunnel er satt til 5,84 m (til fjell før byggetiltak).
- Krav til høyde over SOK (skinneoverkant) for overgangsbru er satt til 5,40 m. Andre krav til høyder eller andre tekniske løsninger kan gi kostnadsreduksjoner.
- Tunnelarbeider og bruarbeider som krever driftsstans vil være uheldig for særlig godstrafikken.
- Overgangsbruer forkortes i tabeller med OG er bruer som går over jernbanesporet, det kan være veibru eller gang/sykelbru GS. Merk dette er ikke jernbanebru dvs. en bru som har jernbanespor!

1.3 Kostnadsestimering har følgende priser

Kostnader nedenfor er hentet fra Norconsult sin underlagsrapport se*(Norconsult, 2019 rapport):

- Del-elektrifisering er med system BT uten returledning og er estimert² til 7,028 MNOK pr km.
- Helelektrifisering er med system AT og er estimert til MNOK pr km.
- Strossing av tunneler er estimert til 150 000 NOK pr meter.
- Enhetskostnad for overgangsbruer er estimert til et snitt på 5 MNOK pr stk.
- Ny omformerstasjon er estimert til 170 MNOK pr anlegg dette gjelder også for helelektrifisering.
- Det er brukt faktor 1,4 på lengde kontaktledning kryssingsspor på helelektrifisering dvs. likt med del-elektrifisering. Se tabell 6 og 7.

² Det kan synes som om kostnadsestimering av BT er noe høy, eller at differansen mellom BT og AT er for liten. Tallene er videreført fra underlagsrapport fra Norconsult.

- Redusert antall tunnelmeter med 5% på helelektrifisering. Dette er den eneste metodiske endringen på økonomi i forhold til Norconsult sin rapport!

1.4 Støtteverktøy til arbeidet

Beregning av energiomsetning i Excel format

- Bane NOR har utført beregning av energiomsetning med et program som er utviklet av Bane NOR til dette prosjektet. Verktøyet har vært viktig for beregninger av ladestrekninger og batteristørrelse. Programmet viser løpende energinivået i batteriet.
- Resultatene fra Bane NOR sine beregninger har vært sammenlignet med programmer som benyttes av kjøretøyprodusenter og JDir ved trafikk og kapasitet. Nevnte programmer viser totale energiforbruk men beregner ikke energinivå i batterier.

Prosjektets infrastrukturoversikt i Excel format

- Infrastrukturoversikt se* (NULLFIB 2019, infrastrukturoversikt) er laget i prosjektet og legges ved som referanse, Bane NOR sin tunneloversikt er benyttet som grunnlagsinfo.
- Målevognbilder 2017 (Vår og høst) er benyttet, vi har ikke tilgang på nyeste målevognbilder (Bane NOR strekningsbeskrivelser for jernbanenett SJN). Det er vurdert at bruken av gamle bilder fra 2017 er ok i denne fasen av en utredning.
- Infrastrukturoversikt inneholder de viktigste metadata til batteri og ladestrekninger, oversikten inneholder også linker til foto av cirka 350 objekter og tekniske tegninger på 85 overgangsbruer.
- Banestrekningen er kjørt med bruk av videoprogram og fotoer er editert med stedsnavn og kilometerangivelse.
- Oversikten har blitt benyttet til å samle info og Norconsult har benyttet dette i deres arbeid.
- Tegninger på 84 av 108 overgangsbruer er funnet i Bane NOR ProArc, se kolonne tegninger i tabeller og i infrastrukturoversikt.

Andre kilder

- Bane NOR Banekart er benyttet i rapporten, det er lagt til informasjon på kartutsnittene.
- NVE Atlas er brukt for å finne og dokumentere transformatorstasjoner.
- ProArc er arkivsystem som benyttes av Bane NOR for oppbevaring av tekniske tegninger. Norconsult har hatt tilgang på dette.
- Sweco sin fagrapport konstruksjoner se*(Sweco, 2016 rapport) Elektrifisering Trønder- og Meråkerbanen inneholder kostnadsestimater på overgangsbruer frem til Steinkjer, dette er benyttet av Norconsult.
- Bane NOR/ Norconsult har ikke kunnet fremskaffe alle tegninger, årsaken kan være at dette er bruer bygget av andre enn jernbanen.
- Eierskap til bruene finnes dokumentert av Bane NOR, ref. saksnummeret hos Bane NOR 201725994 «Registrering av eierskap til bruer langs Nordlandsbanen».
- Overgangsbruer finnes ikke dokumentert i Banedata hverken digitalt eller i boka Banedata 2013, derfor ble kartleggingen krevende. Nevnte kilder har dokumentert jernbanebruer og tunneler.
- Tunneler finnes ikke dokumentert med tekniske tegninger i ProArc. Vi fikk derfor viktig hjelp av Bane NOR i Mosjøen med å måle høyder på de fleste tunnelene på ladestrekningene. De målte også høyder på mange overgangsbruer. Deres komplette målinger finnes sammen med bilder av objektene i kapittel 5.

1.5 Hva har vi ikke hensyntatt eller vurdert i utredningen

- Jernbanebruer er ikke forsøkt dokumentert i dette prosjektet, med unntak av to fagverksbruer, som kan være en utfordring for elektrifisering da laveste høyde ikke er kjent.
- Skjæringer og grunnforhold på ladestrekninger er ikke vurdert.
- Planoverganger er ikke forsøkt dokumentert, heller ikke signalsystem eller fjernstyring.
- Sidespor er registrert men ikke vurdert om de skal elektrifiseres.
- Det er ikke gjort beregning/vurdering om 10 km elektrifisering fra Mo I Rana og nordover er tilstrekkelig for Rana Gruber med malmtog. Lengden kan være tilstrekkelig, men det må vurderes

tidsperiode for stillstand og muligheter for lading, samt gjøres kalkulasjoner basert på at de frakter tyngre last.

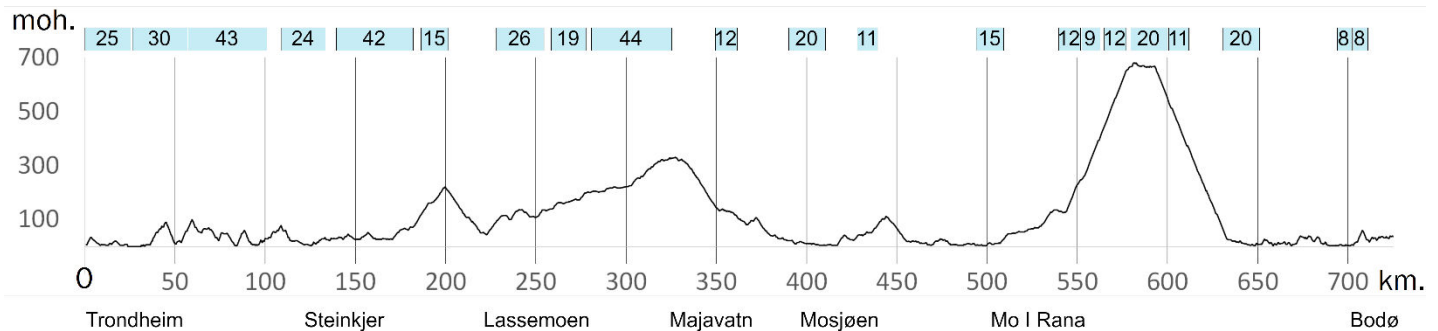
- Det er ikke laget kostnadsalternativer for dobbel tråd, strømskinne eller isolert kabelgjennomføring
- Kostnader med å få frem kjørestrøm i kabel eller luftlinje fra Storforshaug (11B) til 10L og 12L er ikke tatt med.
- Kostnader med å få frem kjørestrøm i kabel eller luftlinje fra Rognan (20L) til 18L og 16L er ikke tatt med.
- Vi har ikke tatt med estimerte kostnader for elektrifisering av hensettingssporene på Nordlandsbanen. En mulig løsning er at det bygges kontaktledning på følgende 110 m hensettingsplasser: Steinkjer (5 stk.), Mosjøen (2 stk.), Mo I Rana (2 stk.), Rognan (2 stk.) og Bodø (7 stk.). Tallene er hentet fra se*(JDir, 2019, rapport) «Hensettingskonsept Norge 2027-2035» Løsningsforslaget for del-elektrifisering er planlagt med banestrøm på nevnte områder så det ligger til rette for elektrifisering av hensettingsområder.
- Vi har ikke hensyntatt profilutvidelse knyttet til innføring av dobbeltdekkere (sovevogner) på Nordlandsbanen se*(Bane NOR, 2019 rapport). «K02-33 Vurdering av lasteprofiler for sovevogn» (Gjelder også dobbeltdekkere). Kostnader for tunnelutvidelser kan eventuelt være sammenfallende mellom to prosjekter. Tunneler på ladestrekningene med utvidelsesbehov etter K02-33 er merket i kapittel 5.

2 Beskrivelse av løsningsforslaget

2.1 Prosess

Arbeidet startet med å tegne inn dagens tunneler på en lengdeprofil for å se om det kunne finnes delstrekninger på mer enn 10 km uten tunnel.

Resultatet ble de blå feltene som viser tunnelfrie strekninger mellom Trondheim og Bodø. Y - akse er moh. og X - akse er km fra Trondheim. Grafen er lengdeprofil for Nordlandsbanen.



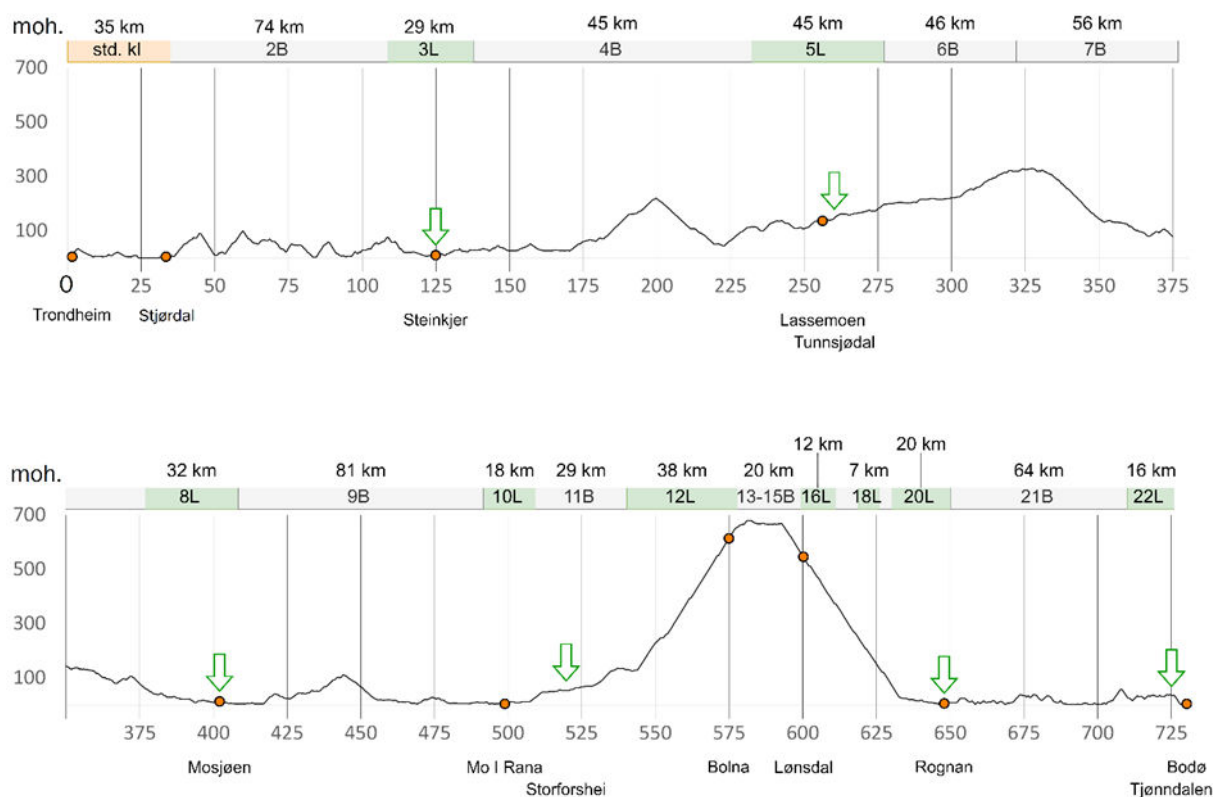
Figur 2: Tunnelfrie strekninger mellom Trondheim og Bodø

Det ble deretter hensyntatt energibehov/energiomsetning i batterier og mulig plassering av matestasjoner!

Mellom Stjørdal og Bodø er det foreslått 9 ladestrekninger, i hovedsak starter ladestrekninger ved utgangen av en tunnel og stopper ved inngangen til en tunnel. Lengden på de ulike ladestrekningene er bestemt ut fra ulike kriterier, men målet har vært å redusere antallet tunneler som skal ha kontaktledning. For at vi skal få tilstrekkelig lengde på ladestrekninger har 17 tunneler blitt inkludert, det er vurdert at dette er tunneler som skal elektrifiseres fordi vi ønsker kontinuerlig lading inne på ladestrekningen. Det kan være aktuelt å ha brudd i ladingen dvs. i nevnte tunneler og under overgangsbruere, men det må da kompenseres, enten i form av større batterier, kjøre saktere, forlenge ladestrekningen med dertil flere brudd.

2.2 Løsningsforslaget

Løsningsforslaget vist i figur 3 under har 1 strekning med standard kontaktledning/ helelektrifisering fra Trondheim til Stjørdal som er vedtatt bygget (oransje), videre har den fordelt 12 batteristrekninger (grå), 9 ladestrekninger (grønn) og det er benyttet 6 nye omformerstasjoner (pil). For at løsningen skal bli tilpasset batteriets energiomsetning så har vi inkludert 17 tunneler i ladestrekningene.



Figur 3: Løsningsforslag Nordlandsbanen med seksjonene 2-22 vist på lengdeprofil

Tabell 1 viser hvor ladestrekningene (grønn farge og L) starter og stopper og distansen på disse

Seksjon	Start og stop ladestrekning	Distanse (km)
3LADE	Utgang Lunnan tunnel km 108,70 til Sunnan 1 tunnel km 138,00	29,297
5LADE	Utgang Bjørbekk tunnel km 232,73 til Brekkvasselv tunnel km 277,88	45,153
8LADE	Utgang Reppen tunnel km 379,31 til Ryneåsen tunnel km 411,05	31,744
10LADE	Utgang Bjørnvik tunnel km 491,96 til Trolldalen tunnel km 509,59	17,639
12LADE	Utgang Almli tunnel km 538,16 til Stokkalia Nord-bygge tunnel km 575,88	37,719
16LADE	Utgang Sørelva tunnel km 596,13 til Kjemånasen tunnel km 608,37	12,244
18LADE	Utgang Vargholle tunnel km 616,98 til Bratta tunnel km 624,04	7,057
20LADE	Utgang Stolpen tunnel km 629,27 til Lillefjell tunnel km 649,33	20,054
22LADE	Utgang Hopslia tunnel km 712,83 til Bodø stasjon km 728,75	15,912
	Sum ladestrekninger	216,819

Tabell 1: Start og stop alle ladestrekninger og distanser

2.3 Sammenligning av helelektrifisering og del-elektrifisering

Vi har registrert totalt 154 tunneler, 95 overgangsbruere og 35 kryssingsspor på den 695 km lange strekningen fra Stjørdal til Bodø. Med løsningsforslaget figur 3 kan vi unngå å bygge om 137 tunneler, 57 overgangsbruere og 23 kryssingsspor fordi kjøretøyet passerer disse med batteridrift uten kontaktledning.

Total lengde på tunneler i batteristrekningene representere cirka 95% av tunnel lengden på hele Nordlandsbanen, **disse skal ikke bygges om!**

Del-elektrifisering gir derfor en svært stor kostnadsbesparelse, den største økonomiske usikkerheten er derfor knyttet til kostnad pr m tunnel for strossing og ikke lengder som blir elektrifisert.

Kostnadsbesparelsen er at kun 31% av banestrekningen blir elektrifisert, og kun 5 % av totale tunnel lengde blir elektrifisert. Tabell 2 nedenfor sammenligner antall, prosent og summen av tunnel lengder. Som referansealternativ bruker vi helelektrifisering.

Sammenligningsgrunnlag	Tunneler (stk)	Overgangsbruere (stk)	Kryssingsspor (stk)	Total lengde på tunneler (km)
Helelektrifisering, 35km. (Ikke med i prosjektet). Trondheim til Stjørdal	2	14	6	4,6
Helelektrifisering, 695 km. Stjørdal til Bodø (Referansealternativet)	154	94	35	47,7
Del-elektrifisering: 12 batteristrekning 478 km. Ingen kostnad på infrastruktur!	137	57	23	45,6
Del-elektrifisering fortsetter: 9 ladestrekninger 217 km	17	37	12	2,6
Sammenligning av tunnelandel mellom helelektrifisering og del-elektrifisering «2,6 km dividert med 47,7 km = Cirka 5 %» Sammenligning av lengde med kontaktledning «217 km dividert med 695 km = 31 %»				

Tabell 2: Berørte tunneler og overgangsbruere ved helelektrifisering og del-elektrifisering

2.4 Tre mulige alternativ for ytterligere kostnadsreduksjon

Disse alternativene kan redusere kostnadene ytterligere der det er for lav overhøyde:

Alt. 1: Strømkabel «forbigår/passerer» tunnel eller overgangsbru

Kontaktledning kan avsluttes før tunnel eller før overgangsbru. Løsningen blir da at kontaktledning skjøtes over til isolert kabel som passerer infrastrukturobjekt og at kontaktledning deretter fortsetter. Dette er foreslått gjort på to fagverksbruer, se Steinkjer bru og bru over elva Namsen.

Alt. 2: Dobbel kontaktråd i tunneler og under lave overgangsbruer

I tunneler og under lave overgangsbruer bør det vurderes å bygges kontaktledningsanlegg med dobbel kontaktråd uten bæreline. Dette reduserer behov for frihøyde over SOK med inntil 0,3 m. Systemet har i midlertidig en hastighetsbegrensning på 100 km/h når man benytter strekk på 13 kN. I løsningsforslaget del-elektrifisering er ikke dobbelt tråd blitt benyttet. I det videre arbeidet må denne alternative løsning vurderes for å unngå strossing/ tiltak til 150 000 NOK pr m. Følgende informasjon er hentet fra dokument utarbeidet av Jernbaneverket i 2007. Dokumentet har nr. EK.800056-000 se*(Bane NOR Teknisk regelverk, 2019) og ligger linket fra Bane NOR teknisk regelverk. Noen punkter er sitert under:

- Prosjektet med dobbeltråd for de to etterliggende tunnelene på spor Ski – Oslo viser at følgende er oppnådd:
- Forventet kontaktrådshøyde er oppnådd til minimum 4,90 m og kravet var minimum 4,85 m
 - Kunnskapsnivået til de involverte har bidratt sterkt til et godt resultat og denne type anlegg er dermed mulig å etablere hvor som helst i landet.
 - **Kostnadene ligger på rundt 700 000 NOK for 200 m tunnel og 300 m ombygget fri linje (1,4 MNOK pr km).** Kun utført på nattarbeid med snitt disponering på 4 timer.
 - Det bør bygges et anlegg for 100 km/h for å vinne landsdekkende løsninger for en større del av tunnelene.

Alt. 3: Strømskinne i tunneler

Formålet med kontaktledningssystemet Strømskinne som kontaktledning er å sikre god overføring av elektrisk energi til togets strømvaktar i hastigheter opp til og med 130 km/h i trange eksisterende tunneler. For detaljer om prosjektering og bygging av strømskinne som kontaktledning se dokumentet EK.800190-000 se*(Bane NOR Teknisk regelverk, 2019).

2.5 Kontaktledningsanlegg på ladestrekninger

For ladestrekningene bygges kontaktledningsanlegg iht. system 20B med strekk i kl / bl på 10 kN. Normal kontaktrådshøyde i dagsoner er 5,6 m som i tunneler og under overgangsbruer kan reduseres til 4,85 m. Sistnevnte krever dispensasjon fra teknisk regelverk.

2.6 Omformerstasjoner

Omformerstasjoner bør plasseres i nærheten av eksisterende transformatorstasjoner i overliggende nett, se kapittel 6.1. Avstandene mellom overliggende nett og omformerstasjon er korte unntatt for ett tilknytningspunkt som har avstand 0,5 km og et annet på 3,3 km.

Det anbefales statiske omformere³ for del-elektrifisering. Dette er fordi konvensjonell transformatorløsning vil gi for mye asymmetri i overordnet nett. Minimum kortslutningsytelse i de aktuelle tilknytningspunkt er langt lavere enn hva som anses nødvendig for å kunne benytte denne teknologien.

2.7 Drift av arbeidsmaskiner

Det bør legges til rette for nullutslippsløsninger for arbeidsmaskiner. Lading kan utføres via kontaktledning eller direkte via kabel med kontakt.

³ Bane NOR Energi ser behov for å vurdere dette videre med hensyn på transformatorløsning som kan gi kostnadsbesparelser for både investering og drift.

3 Kostnader for ladestrekningene

Kapittelet omhandler ladestrekningene med tiltaksbeskrivelser og kostnader, kapittelet beskriver også bakgrunn for kostnadene. Følgende infrastrukturobjekter behandles: overgangsbruer, tunneler, kontaktledning og kryssingsspor.

3.1 Kartlegging av overgangsbruer

Det er totalt 36 overgangsbruer og 2 fagverksbruer som blir innbefattet av ladestrekningene. Konsekvens for de enkelte bruene varierer. Bruarbeidene er kategorisert i type arbeider dvs. tiltak.

Totalt antar vi at det er minimum behov for en høyde på 4,85 m (kontaktledningshøyde ved dispensasjon fra regelverk) + 0,3 m (systemhøyde) + 0,25 m (isolasjonsavstand) totalt 5,40 m over SOK. Uten dispensasjon så er kontaktledning 5,05 m dvs. totalt 5,6 m over SOK.

Kostnader for bruarbeider er basert på følgende tiltaksliste:

Kostnadsdata er hentet fra arbeider gjort i forbindelse med "Elektrifisering av Trønder og Meråkerbanen se*" (Sweco, 2016 rapport) Det er lagt til 10 % for prisstigning siden 2017 og 30 % for byggherre kostnader. De enkelte kategorier av arbeider er forklart og priset nedenfor.

1. Riving av konstruksjonen. Ved sanering av en eksisterende konstruksjon er det antatt at behovet ikke lenger er tilstede for denne.

Det er beregnet en kostnad på 200 000 NOK pr stk. for dette arbeidet.

2. Nytt brurekkverk og skjerm for beskyttelse av kontaktledning. Dette arbeidet virker i utgangspunktet relativt enkelt, men i de fleste av tilfellene kreves det omlegging av trafikk og tilrigging på områder med dårlig tilgjengelighet. Alderen på bruene tilsier at de sannsynligvis er dimensjonert for et mye enklere brurekkverk. Bruas kantbjelke må derfor forsterkes for å håndtere nye laster. Eksisterende asfalt og membran vil i de fleste tilfellene måtte freses og legges på nytt. Fordi det ikke tillates vanndrypp ned på kontaktledning fra bruer vil eksisterende drencpunkter måtte flyttes eller tettes. Bruene må også jordes på grunn av elektrifiseringen.

Det antas en pris for disse arbeidene på 2 MNOK per vegbru. Fordi arbeidene på en GS-bru er enklere antas denne kostnaden å være noe redusert i forhold til en vegbru, det vil si 1,5 MNOK.

3. Nytt dekke, brurekkverk og skjerm for beskyttelse av kl. Noen av bruene har enten dekke som består av gitterrister eller tre. Disse dekketypene er ikke tette og må derfor utbedres. I tillegg må det som i punkt 2 monteres nytt rekkverk og skjerm.

Det beregnes en kostnad på 2,5 MNOK per vegbru som har behov for nytt dekke og forsterket brurekkverk med skjerm. Kostnaden for GS-bruer er som i punkt 2 halvparten av en vegbru og antas å være 1,25 MNOK.

4. Ny bru. Der frihøyden på bruene ikke tillater montasje av kontaktledning, må bruene rives og ny bru må bygges på et høyere nivå enten på samme sted eller sideforskjøvet for å oppnå tilstrekkelig geometri for veg iht. til regelverk. Dette kan i noen av tilfellene være svært kostnadskrevede.

Kostnader er estimert i hvert enkelt tilfelle. Antakelsene er grove om må kun sees på som en indikasjon på kostnadsnivå.

5. Løfte GS-bruer. I noen av tilfellene vil det være mulig å løfte opp GS-bruene ved å forlenge søyler og modifisere landkar. Kostnader for hver bru er i disse tilfellene satt til 2 MNOK per bru.

6. Jernbanebruer som ikke elektrifiseres. Det er to fagverksbruer som vil kreve betydelig innsats for å bytte ut.

7. Dobbel kontaktråd evt. strømskinne. Der det er mulig å beholde eksisterende overgangsbru, ved å senke kl ytterligere kan bruk av dobbel kontaktråd eller strømskinne være aktuelt. Kostnad for dette regnes ikke inn i dette avsnittet.

8. Senking av spor. Senking kan være mulig i noen tilfeller der sporets geometri tillater det og det ikke medfører sprengning.

Bruene varierer stort i alder, helt fra år 1905 til den nyeste som ble bygget i år 1995. Noen av bruene har sannsynligvis liten restverdi, andre dekker funksjonen og bør kunne gjøre nytten i flere tiår fremover.

Eksisterende 37 stk. bruer

Alle overgangsbruer og fagverksbruer på ladestrekningene er dokumentert i tabell 3 nedenfor, der finnes følgende informasjon: Om teknisk tegning finnes, posisjon (km), alder, om brua må bygges ny, laveste høyde, foreslått tiltaksnummer og estimert kostnad

Seksjon	Bru navn	Tegn. finnes	Fra km	Alder (år)	Ny-bygg	Lengde (m)	Lavest høyde (m)	Tiltak (nr.)	Kostnad (MNOK)
3LADE	Nordgård	ja	112,112	114	ja	19,0	4,78	4	10
3LADE	Mære	ja	114,944	28	ja	19,0	5,00	4	100
3LADE	Lænn	nei	118,650	-	nei		6,40	-	0,3
3LADE	Sannanbrua	nei	125,010	-	nei		ukjent	2	2
3LADE	Steinkjerelva ⁴	nei	125,919	114	nei	171,0	Ikke kl	6	0
3LADE	Våttabakken	ja	126,594	83	nei	23,0	6,40	2	2
3LADE	Fossem	ja	133,090	46	nei	20,5	6,09	2	1,5
5LADE	Harran	ja	235,273	52	nei	27,0	6,00	2	2
5LADE	Namsen ⁴	nei	265,100	81	nei	100,0	Ikke kl	6	0
5LADE	Flåttadal	Ja	265,920	24	nei		6,80	2	2
8LADE	Havnegata	ja	407,022	-	nei	15,0	5,54	2	2
8LADE	Baustein Halsøy	ja	407,917	69	nei	12,0	6,38	2	2
8LADE	Skjærflesa	ja	410,905	27	ja	15,0	5,00	4,8	5
10LADE	Hauknes tankanl.	ja	492,994	66	ja	11,0	5,43	4,8	5
10LADE	Ranan zinkverk	ja	494,472	78	nei	9,0	5,38	1	0,3
10LADE	Jernverks-banen	ja	497,246	70	nei	7,5	ukjent	2	1,5
10LADE	Mobekkbrua	ja	497,434	-	nei	40,0	ukjent	2	1,5
10LADE	Toranes	nei	498,614	-	-	-	5,10	-	5
10LADE	Mellomvika	ja	499,490	27	nei	10,0	6,45	2	2
10LADE	Annen hindring	nei	500,215	55	nei	-	8,80	OK	0
20LADE	Gangbru HPL	nei	633,930	-	nei	-	5,40	2	2
20LADE	Pothus Røklund	ja	634,267	66	nei	-	5,80	2	2
20LADE	Sundby-2	nei	641,987	25	nei	60,0	6,50	2	2
20LADE	Børåga	nei	643,083	25	nei	60,0	6,30	2	2
20LADE	Medby	nei	644,144	25	ja		6,20	2	1,5
20LADE	Næstby	nei	645,237	26	nei	60,0	6,20	2	2
20LADE	Nerauran	nei	646,520	-	nei	50,0	6,20	2	2
22LADE	Kvalvåg	nei	715,740	-	-	-	-	2	1,5
22LADE	Støver	nei	718,403	-	nei	20,0	6,20	2	1,5
22LADE	Messiosen	nei	720,718	-	ja	100,0	5,80	2	1,5
22LADE	Hundstad-krysset	ja	721,250	40	nei	85,0	6,80	2	2
22LADE	Hunstadmoen	ja	722,794	49	nei	11,0	5,60	2	2
22LADE	Stille Dal	nei	723,680	33	nei	75,0	8,00	2	1,5
22LADE	Svartlia GS	nei	724,489	23	nei	40,0	7,30	2	1,5
22LADE	Tjønndalen	ja	725,275	-	ja	16,0	5,30	2	2
22LADE	Junkerveien	ja	725,883	-	ja	11,0	5,90	2	1,5
22LADE	Kleivaveien	ja	726,281	53	ja	23,0	5,30	2	2
22LADE	Rønvikveien	ja	726,900	58	ja	5,7	5,20	2	2
22LADE	Nordstrandveien	nei	727,486	58	ja	23,0	5,10	2	2
Tiltak bruer 178,55 MNOK									

Tabell 3: Tiltak og kostnader på 37 overgangsruer og 2 fagverksruer

Total kostnad for utbedring av ruer estimeres til cirka 178,55 MNOK. (Inkl. rigg og drift, prisstigning på 10 % fra 2017 og 30 % byggherrekostnader).

⁴ Jernbanebru av type fagverksbru som ikke elektrifiseres

Kommentarer til bruarbeider og plassering av ladestrekning

Overgangsbrua Mære ved km 114,94 er svært kostbar å løfte. Brua ble etter våre opplysninger bygget i år 1991 og har sannsynligvis god restlevetid. Sweco viser se* (Sweco, 2016 rapport) en løsning der brua må flyttes. Totalt identifiseres det en entrepriskostnad på 86 MNOK. Dette vil øke med byggherre kostnader og sannsynligvis kunne ligge i området 100-110 MNOK. Det bør vurderes alternativer ved å enten senke sporet eller å ikke elektrifisere sporet ved brua.

Jernbanebru over Namsen ved km 265,067 er fra år 1938. Dette er en fagverksbru med overliggende avstivning som vil være i konflikt med kl. Vi har ikke kunnet finne tegninger eller høydedata på denne konstruksjonen. Bru over Steinkjerelva⁵ som starter på km 125,919 er også en fagverksbru, men har ikke overliggende tverravstivning. Denne brua ligger i Steinkjer og er svært synlig i bybildet og muligens også verneverdig. Det er ikke sikkert det vil bli tillatt å montere kontaktledning på denne uansett. Det er foreløpig antatt at disse to bruene ikke elektrifiseres, da kostnadene vil bli høye. Det er derfor ikke lagt inn kostnader for dette ved del-elektrifisering da omfanget er uklart og det vil for dette prosjektet ikke lønne seg å elektrifisere disse korte strekningene.

3.2 Kartlegging av tunneler

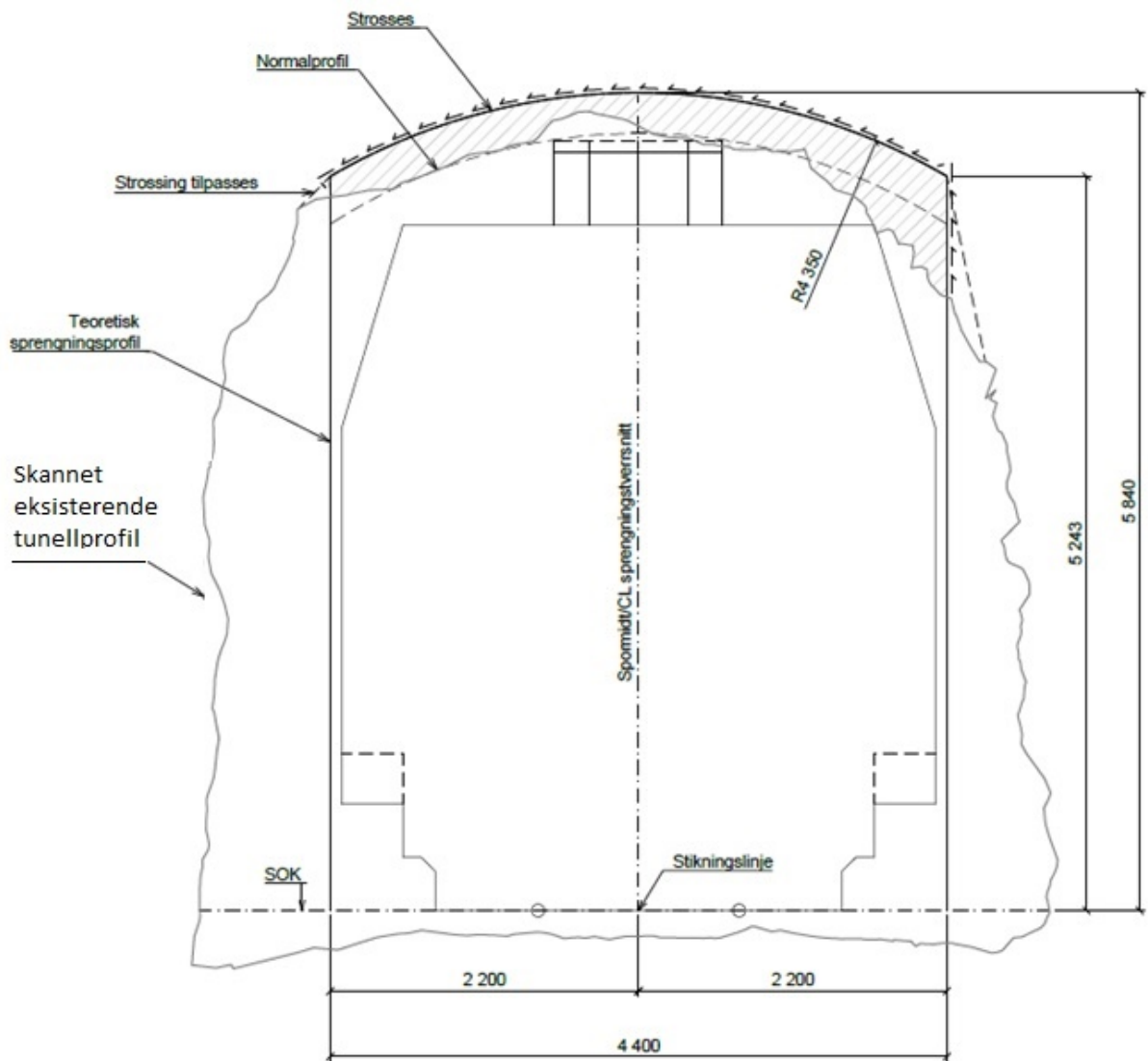
Totalt er det identifisert 17 tunneler på ladestrekningene. Tunnelene varierer i lengde fra 29 m til 333 m, totalt cirka 2640 m.

Ved elektrifisering av tunneler kreves større frihøyde enn ikke-elektrifiserte baner. I grunnlags data har eksisterende tunneler på strekningen typisk en frihøyde på 5,2 m til 5,7 m. Ved elektrifisering med kontaktledning kreves det minimum 4,85 m til kontaktledning, 0,3 m systemhøyde og 0,25 m mellom kontaktledning og berg (må dispensasjons behandles), totalt 5,40 m. I tillegg kreves det vanntett berg over tekniske installasjoner. Det betyr at det eventuelt må installeres vann og evt. frostsikring over kontaktledning totalt 5,84 m Se figur 4 tom. 6.

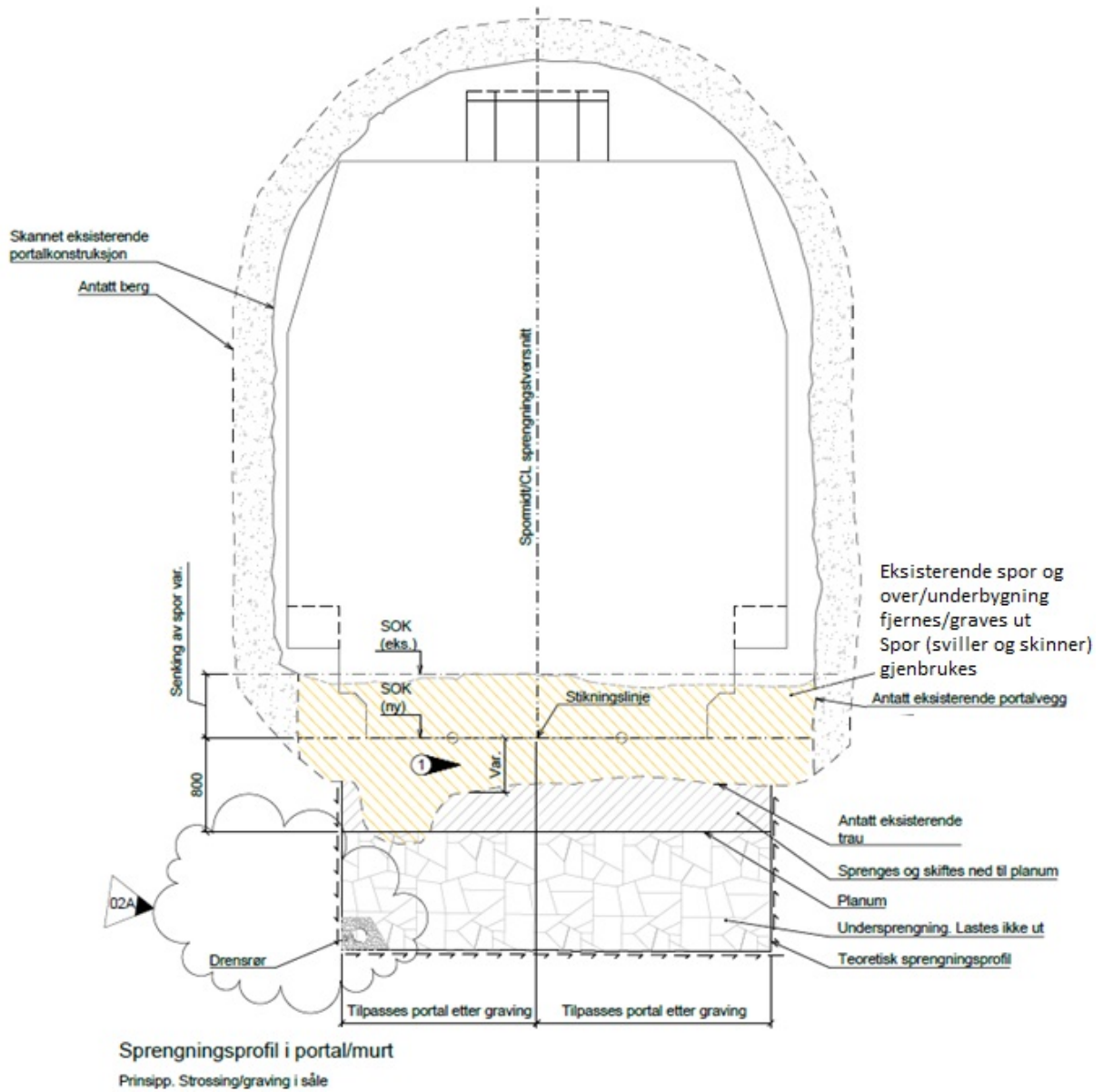
I prosjektet *Elektrifisering av Trønder og Meråkerbanen* ble det tegnet opp to mulige tverrsnitt som vil tilfredsstillere kravene til elektrifisering i tunneler. Total høyde over SOK (skinneoverkant) er i begge snitt satt til 5,84 m. Kun to av tunnelene på ladestrekningene tilfredsstiller dette kriteriet (Svalhella og Rishaugen). Skal alle tunnelene elektrifiseres vil det sannsynligvis være behov for å modifisere 2564 m med tunnel.

Alternativ 1. I denne løsningen strosses tunneltaket for å oppnå tilstrekkelig frihøyde. Deretter monteres ny vann- og frostsikring. Det er forbundet med risiko å strosse i eksisterende tunneler, da dette kan påvirke eksisterende sikringsbuer, portaler, økt behov for geologiske undersøkelser og i tilfeller er det lav overdekning opp til overflaten. Det kan derfor være mer aktuelt å senke sporet i tilfeller der sporgeometrien tillater dette, alternativ 2 illustrerer dette.

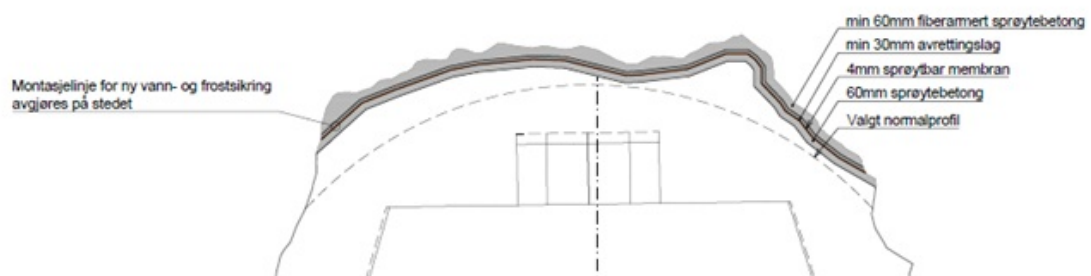
⁵ Endret navn på bru i denne rapporten



Figur 4: Alternativ 1, profil med høyde 5840mm



Figur 5: Alternativ 2, senking av spor



Figur 6: Byggetekniske tiltak for beskyttelse av kontaktledning

Det er ikke avklart hvilke fremdriftsmessige konsekvenser disse tunnelarbeidene vil ha for drift på banen. Det er mulig at mye av arbeidet med tunnelene kan gjøres i kortere stengeperioder enten natt eller helger. Hvilket omfang som er mulig må vurderes nærmere. Hva prosjektet lander på kan påvirke kostnadsanslaget vesentlig.

Kostnader for tunnelarbeider på ladestrekninger er basert på følgende eksempler

I prosjektet ETM - Elektrifisering av Trønder- og Meråkerbanen er det gjort kostnadsberegninger for utvidelse av tunneltverrsnittet. Kostnadsdataene gjelder for 2017. Disse dataene brukes for å etablere pris pr meter utbedret tunnel i dette prosjektet.

- Lunnan tunnel foreslått utbedret ved å senke sporet. Anslått entreprisekostnad er på 27 MNOK for 385 meter tunnel. Dette gir ca. 71000 kr/m som inkluderer 25 % rigg og drift. Antar 10 % prisstigning samt et tillegg for byggherrekost på 30 %. Totalt blir det da en pris på ca. 100 000 kr/m.
- Koabjørnga tunnel er foreslått utbedret ved å senke sporet. Tunnelen er 100 m lang og kostnadsanslaget ligger på 10,6 MNOK Dette er entreprisekostnad inkl. 25% rigg og drift. Antar 10 % prisstigning samt et tillegg for byggherrekost på 30 %. Totalt blir da pris på ca. 150 000 NOK pr m.
- Gudå tunnelen er ca. 115 m lang og er foreslått utbedret med strossing av heng. Her ligger kostnadsanslaget på 10,6 MNOK. Total løpemeterpris blir da ca. 130 000 NOK pr m. (inkl. rigg og drift, prisstigning og byggherrekost.)

Hvilken metode som benyttes for utbedring av de enkelte tunnelene, er åpenbart ikke avklart før videre undersøkelser og prosjektering utføres. Det tas derfor høyde for at utbedring av tunneler vil ha en kostnad på 150 000 NOK pr løpemeter i det videre arbeidet.

Seksjon	Tunnel navn	Fra km	Til km	Lengde (m)	Lavest høyde (m)	Kostnad (MNOK)
3LADE	Ingen tunnel på strekningen					0
5LADE	Lindset	258,967	259,102	135	5,46	21
8LADE	Fallan	385,738	385,969	231	5,35	35
8LADE	Turmo	386,300	386,474	174	4,98	26
8LADE	Eiterå	387,298	387,428	130	5,34	19
8LADE	Ravnå	389,134	389,295	161	5,02	24
8LADE	Forsfjord	391,093	391,423	330	5,36	50
10LADE	Andfiskåga	494,566	494,621	75	ukjent	8
12LADE	Storvoll	549,880	550,013	133	5,18	20
12LADE	Hjartåsen	552,784	553,112	328	5,41	49
12LADE	Rauberget	563,217	563,550	333	5,25	50
12LADE	Svahella	563,799	563,828	29	6,08 ⁶	0
22LADE	Vikan	713,836	714,003	167	ukjent	25
22LADE	Tostenlia	717,250	717,610	360	ukjent	54
22LADE	Jensvoll	724,071	724,113	42	5,62	6
22LADE	Rishaugen	724,729	724,776	47	5,80 ⁶	0
22LADE	Tjønndalen	725,008	725,078	70	5,23	11
22LADE	Kleiva	726,065	726,257	192	5,50	29
				2937		Sum kostnad 427

Tabell 4: Tunneler med kostnader for forberedelser til kl

Tabell 4 viser at 2 tunneler, se fotnote 5, har tilfredsstillende høyde etter profil som viser at man trenger cirka 5,85 m opp til fjell. Dette betyr at av den total lengde på disse tunnelene så er det 118 m som ikke får en kostnad med strossing. Det finnes ikke tegninger på tunnelene.

Merk! Tre tunneler har ukjent høyde da disse ikke var med i spørningen til Bane NOR. Kostnadene er tatt med som om de har for lav høyde.

Estimert kostnad for tunnelutvidelser/tiltak er på 427 MNOK. (Inkl. rigg og drift, prisstigning på 10 % fra 2017 og 30 % byggherrekostnader).

Kommentarer til tunnelarbeider

Videre optimalisering vil kunne gi ytterligere reduksjon i antall tunnelmeter som er nødvendig å utvide. Priser i markedet varierer i stor grad, da kapasitet i markedet ved utlysningstidspunkt av arbeidene kan være begrenset. Det må derfor antas relativt stor usikkerhet på disse tallene.

Optimalisering kan være å benytte dobbel kontaktråd, strømskinne eller forbipassere uten kontaktledning. Tiltakene vil kunne benyttes på fire tunneler eller flere. Av disse har to stk betongportaler som er for lave, men vi antar at de kan bygges om for å tilrettelegge for kontaktledning.

⁶ Tilstrekkelig høyde 5,85 m

3.3 Summerte kostnader for tunnel og bruarbeid

Tabellen nedenfor er summerte kostnadene pr ladestrekning og summert for del-elektrifisering:

Seksjon	Distanse	Kostnad tunnel T (MNOK)	Kostnad bru B (MNOK)	Sum T+B (MNOK)
3LADE	29,297 km	0	115,75	115,75
5LADE	45,153 km	21	4	25
8LADE	31,744 km	154	9	163
10LADE	17,639 km	8	15,3	23,3
12LADE	37,719 km	119	0	119
16LADE	12,244 km	0	0	0
18LADE	7,057 km	0	0	0
20LADE	20,054 km	0	13,5	13,5
22LADE	15,912 km	125	21	146
		Sum 427	Sum 178,55	Sum 605,55

Tabell 5: Summerte kostnader tunnel og bruarbeider

3.4 Kostnader kontaktledning inkludert elektrifisering av kryssingsspor

Det er vurdert at kontaktledning kan bygges uten returledning.

Kryssingsspor på ladestrekningene som bør elektrifiseres vises i tabell 6 under

Seksjon	Stasjon / kryssingsspor	Fra km	Til km	Lengde (km)
3LADE	Mære stasjon	114,141	114,942	0,80
3LADE	Steinkjer stasjon	124,894	125,667	0,77
5LADE	Harran stasjon	235,666	236,090	0,42
5LADE	Lassemoen stasjon	254,516	255,300	0,78
8LADE	Eiterstraum stasjon	387,930	389,012	1,08
8LADE	Mosjøen stasjon)	405,825	406,724	0,90
10LADE	Mo I Rana stasjon	497,662	499,517	1,85
12LADE	Dunderland stasjon	542,597	543,310	0,71
12LADE	Bolna stasjon	570,912	571,343	0,43
16LADE	Lønsdal stasjon	601,989	602,463	0,47
18LADE	Ingen	-	-	0
20LADE	Røklund stasjon	633,627	634,733	1,11
20LADE	Rognan stasjon	647,438	647,905	0,47
22LADE	Bodø stasjon			0
				Sum lengde 9,8

Tabell 6: Kryssingsspor på ladestrekningene

Tabell 7 under viser kostnader for kontaktledning på ladestrekninger inklusive kryssingssporene. Pris for del-elektrifisering er estimert til 7,028 MNOK pr km.

Seksjon	Fra km - Til km	Distanse med kl (km)	Lengde kl kryssing (km)	Kostnad kl (MNOK)
3LADE	108,703 - 138,000	29,297	1,9	219
5LADE	232,734 - 277,887	45,153	1,2	326
8LADE	379,313 - 411,057	31,744	2,4	240
10LADE	491,960 - 509,599	17,639	2,5	141
12LADE	538,162 - 575,881	37,719	1,5	276
16LADE	596,133 - 608,377	12,244	0,65	90
18LADE	616,988 - 624,045	7,057	0	50
20LADE	629,279 - 649,333	20,054	1,95	155
22LADE	712,838 - 728,750	15,912	2	126
		216,819	Sum 14,1	Sum 1623

Tabell 7: Oversikt kostnader kl per ladestrekning og totalt for alle ladestrekninger

Kostnadsberegningen av kryssingsspor er gjort med 14,1 km på del-elektrifisering. Denne lengden er noe mer enn oppgitt i tabell 6 som viser 9,8 km, forholdet utgjør en faktor på 1,4 som også benyttes for helelektrifisering.

4 Kostnader sammenlignes

4.1 Helelektrifisering kostnadsestimert

Kostnader kontaktledning ved helelektrifisering fra Stjørdal til Bodø. Kostnader for nytt kontaktledningsanlegg på strekningen med **AT system er 7,80 MNOK pr. km**. Prisene inkluderer rigg- og drift, byggherrekostnader.

695 km x 7,80 MNOK pr km = **5421 MNOK**.

Kostnader for kontaktledning kryssingsspor kommer i tillegg se tabell 9 under, vi har beregnet lengden på disse totalt og multipliserer med samme faktor som er gjort på del-elektrifisering dvs. 1,4.

Vi har 27151 meter kryssingsspor se tabell 9 og med faktor 1,4 så blir det 38011 meter (38 km)

38 km x 7,80 MNOK pr km = **296 MNOK**.

Alle kryssingsspor som må elektrifiseres ved helelektrifisering vises i tabell 9 under:

Kryssingsspor mellom Stjørdal og Bodø	Fra km	Til km	Lengde (m)
Skatval stasjon	41,064	42,066	1002
Langstein stasjon	50,245	50,646	401
Åsen stasjon	60,62	61,635	1015
Ronglan stasjon	69,488	69,912	424
Skogn stasjon	75,852	76,837	985
Levanger stasjon	83,471	84,221	750
Bergsgrav stasjon	93,003	93,786	783
Verdal stasjon	96,035	96,506	471
Røra stasjon	105,3	105,722	422
Mære stasjon	114,141	114,942	801
Steinkjer stasjon	124,894	125,667	773
Stod stasjon	144,286	145,94	1654
Starrgrasmyra stasjon	169,315	170,08	765
Snåsa stasjon	181,411	181,852	441
Agle stasjon	190,534	191,435	901
Grong stasjon	219,108	219,873	765
Harran stasjon	235,666	236,09	424
Lassemoen stasjon	254,516	255,3	784
Namsskogan stasjon	289,534	290,381	847
Majavatn stasjon	321,6	322,451	851
Svenningdal stasjon	354,49	355,168	678
Trofors stasjon	366,91	367,455	545
Eiterstraum stasjon	387,93	389,012	1082
Mosjøen stasjon	405,825	406,724	899
Drevvatn stasjon	440,634	441,01	376
Bjerka stasjon	468,509	469,389	880
Mo I Rana stasjon	497,662	499,517	1855
Skonseng stasjon	512,551	513,366	815
Dunderland stasjon	542,597	543,31	713
Bolna stasjon	570,912	571,343	431
Lønsdal stasjon	601,989	602,463	474
Røklund stasjon	633,627	634,733	1106
Rognan stasjon	647,438	647,905	467
Fauske stasjon	674,018	674,894	876
Oteråga stasjon	704		695
Sum kryssingsspor			27,2 km

Tabell 8: Alle kryssingsspor på helelektrifisert bane fra Stjørdal til Bodø

Overgangsbruere: Kostnader overgangsbruere baserer seg på beregninger for ladestrekningene og har en stor usikkerhet. Det er 94 overgangs- og 2 fagverksbruere i linjen. For overgangsbruere estimeres ca. 5 MNOK per bru. Tallet 5 MNOK er basert på del-elektrifisering med 170 MNOK dividert med 34 overgangsbruere. Alle overgangsbruere vil kreve tiltak ifra 1,5 MNOK og oppover.

Kravet til høyde er 5.4 m dvs. lavere enn for tunneler, Hvis overgangsbruene er lavere enn 5,4 m vil kostnaden bli høyere. Dette gir en estimert kostnad for bruere på 94 stk x 5 MNOK = **470 MNOK**

Tunneler: På hele strekningen Stjørdal - Bodø finnes det 47,7 km tunnel fordelt på 154 tunneler. Kostnad er basert en pris for «strossing» med 150 000 NOK per meter og at 5 % av tunnel lengder har tilfredsstillende høyde cirka 5,84 m som skal ivareta innvendig betongarbeider ol. Tallet 5 % er hentet fra hva som er kjent om høyder i tunneler på ladestrekningene og dette hensynet videreføres til helelektrifisering. Denne kostnadsreduksjonen på 5 % skiller seg fra Norconsult sin rapport. Dette gir en estimert kostnad for tunneler på 47700 m x 0,95 x 150 000 NOK= **6797 MNOK** og ikke 7155 MNOK.

Kostnader for omformerstasjoner er basert på en pris på 170 MNOK per omformerstasjon. Det beregnes en omformerstasjon per 120 km som resulterer i seks omformerstasjoner på strekningen. Dette igjen estimeres til en total kostnad på **1020 MNOK**

Kostnad knyttet til nettilknytning er satt likt med del-elektrifisering. Detaljering er fra kapittel 6 Kostnad estimert til **118 MNOK**

Tabell 8 under summerer alle kostnader for helelektrifisering

Nordlandsbanen	Kontaktledning + kl kryssingsspor (MNOK)	Overgangsbruere + tunneler (MNOK)	Omformersta- sjoner (MNOK)	Nettilknytning (MNOK)	Kostnad samlet (MNOK)
	5421+ 296 =5717	470 + 6797 =7267	1020	118	14122
14122 MNOK i sum for 695 km elektrifisering tilsvarer 20,3 MNOK pr km med alle kostnader					

Tabell 9: Kostnader helelektrifisering (MNOK)

4.2 Kostnadsfordeling sammenlignet med Danmark (Helelektrifisering)

For Nordlandsbanen er kostnad for kontaktledning, omformerstasjoner og nettilknytning 6855 MNOK (48%). Overgangsbruere og tunneler utgjør 7267 MNOK (52%). Forholdet er 48/52.

Viser til møte i København den 29.10.2019 mellom NULLFIB og Banedanmark. Banedanmark fortalte at kostnadsfordeling deres ble 40/60 på det store elektrifiseringsprosjekt på 1362 km som er under arbeid i perioden år 2014 - 2029. Der er det bruere og ikke tunneler som gir store kostnader. Kostnaden ble antatt å være totalt mellom 11000 MDKK til 12000 MDKK. Sammenligningen viser at på både del-elektrifisering og helelektrifisering i Danmark så utgjør kostnad til tunnel og bruere mer enn 50% av totale kostnad.

4.3 Kostnader for vedtatt helelektrifisering på deler av Nordlandsbanen

Følgende strekninger utgjør 114,5 km og er planlagt elektrifisert med ibruktaking 31.12.2024. Kostnaden er cirka 2000 MNOK se*(Bane NOR, 2019 Notat) det tilsvarer cirka 17,5 MNOK pr km.

- Nordlandsbanen: Trondheim S – Stjørdal - 35 km – 7 stasjoner og 2 blokkposter
- Nordlandsbanen: Stavne – Leangenbanen - 5,5 km
- Meråkerbanen: Hell – Riksgrensen - 74 km – 2 stasjoner

Disse tallene er valgt å ta med som interessante fordi de representerer nyste tall for prosjekteringskostnader av elektrifisering. Tallet 17,5 MNOK er noe lavere enn 20,3 MNOK i tabell 8 over.

4.4 Del-elektrifisering kostnadsestimert

Kostnader med mer oppdeling er hentet fra kap. 3. Tabell 10 under viser alle kostnader for del-elektrifisering:

Seksjon	Kontaktledning inkludert kl kryssingsspor (MNOK)	Overgangsbruer og tunneler (MNOK)	Omformerstasjoner (MNOK)	Nettilknytning (MNOK)	Kostnad samlet (MNOK)
3 Lade	219	116	170		505
5 Lade	326	27	170		523
8 Lade	240	163	170		573
10 Lade	141	13	170	100	374
12 Lade	276	59	-		385
16 Lade	90	0	-	18	96
18 Lade	50	0	-		56
20 Lade	155	14	170		345
22 Lade	126	139	170		435
	1623	605	1020	118	3292

Tabell 10: Kostnader del-elektrifisering

4.5 Resultat av kostnadssammenligning

Seksjon	Kontaktledning inkl. kl kryssingsspor (MNOK)	Overgangsbruer og tunneler (MNOK)	Omformerstasjoner (MNOK)	Nettilknytning (MNOK)	Kostnad samlet (MNOK)
Helelektrifisering	5717	7267	1020	118	14122 (100%)
Del-elektrifisering	1623	605	1020	118	3292 (23%)

Tabell 11: Kostnader sammenlignes

Dette nye konseptet med del-elektrifisering er estimert til å gi en kostnadsbesparelse på cirka 77 % sammenlignet med helelektrifisering. Hvis utviklingskostnad av batterilokomotiv og merkostnaden for batteridelen i 10 stk kjøretøy legges til så vill kostnadsbesparelsen være på cirka 70 %. Kostnader knyttet til dette er beskrevet i delrapport 2 batteritog.

Løsningen med del-elektrifisering har sikre tall knyttet til lengde av tunneler dvs. at kun 5% av tunneler blir berørt av elektrifisering. Største usikkerheten i kostnadsestimering er knyttet til valg av profil i tunneler og hvilke byggetiltak som man vil sette krav til. Eksempelvis er det lagt inn på den enkelte tunnel hvilke som har profilkonflikt med hensyn på dobbeltdekkere se* (Bane NOR, 2019 rapport)

Kravet til profil vil gi store kostnadsutslag for helelektrifisering men mindre for del-elektrifisering. Vi er også sikre på at vedlikehold av 217 km kontaktledning får en vesentlig lavere kostnad sammenlignet med 695 km kontaktledning.

Det er også stor usikkerhet knyttet til kostnader for utvikling av batterilokomotiv og merkostnader knyttet til dette. Vi mener likevel at en høyere enhetskostnader her vil ha liten betydning for forholdstallet.

5 Beskrivelse av ladestrekningene

Dette kapittelet beskriver ladestrekningene med tekst, tall, kart og fotoer. Eksempelvis er kostnader på infrastrukturtiltak hentet fra tabeller og vist sammen med fotoer. Eksempelvis er posisjon til de 17 tunellene på ladestrekningene vist på kart.

- Posisjon til alle tunneler på ladestrekningen er markert med hvit sirkel i kartene.
- Lengdeprofilen viser høydevariasjon på strekningen, hver grå linje er 100 m høydeforskjell.
- Ladestrekningen er markert med grønn farge og batteristrekningen med grå farge. Grønn pil marker hvor transformatorstasjonene finnes og hvor det er tenkt plassert matestasjon/ omformerstasjon.
- Ansvarlig nettselskap for området er vist med nettselskapets logo.
- Det er angitt km på fotoene i kapittel 5. Kilometer angivelsen på fotoenes tittelfelt er posisjon til målevogn og det er følgelig cirka 100 m før objektets offisielle plassering.
- Det er også lagt inn hvilke tunneler som har et utvidelsesbehov i forbindelse med vurderinger gjort i et annet prosjekt som heter se*(Bane NOR, 2019 rapport) «K02-33 Vurdering av lasteprofiler for sovevogn» (Gjelder også dobbeltdekkere). Hensikten med dette er å se behov for profilutvidelser i prosjekt sammenheng. Kostnader grunnet dette prosjektet er ikke kjent eller vurdert.
- Tilleggsinfo om høyder: Bane NOR Mosjøen har i oktober 2019 utført et stort antall manuelle målinger av høyde i tunneler og under overgangsbruer, de målte høyde fra høyre skinne og opp, fra midten og opp, fra venstre skinne og opp. Vi har oppgitt laveste høyde i tabeller men alle høydemålene er listet ved foto av objekt i kapittel 5. Eksempelvis slik: «Målinger av Bane NOR: 5,44/ 5,53/ 5,35 m»

Symbolforklaring

Alle overgangsbruer har behov for tiltaket nr. 2 «Nytt brurekkverk og skjerm for beskyttelse av kontaktledning». Kostnaden på tiltaket er i størrelse 1,5 MNOK til 2 MNOK men for at kostnader større enn 2 MNOK skal komme tydeligere frem i oversikten er det lagt til et kostnadsvurderingssymbol. Disse objektene bør følgelig vurderes med hensyn på alternative tiltak eksempelvis at objektet ikke får kontaktledning.

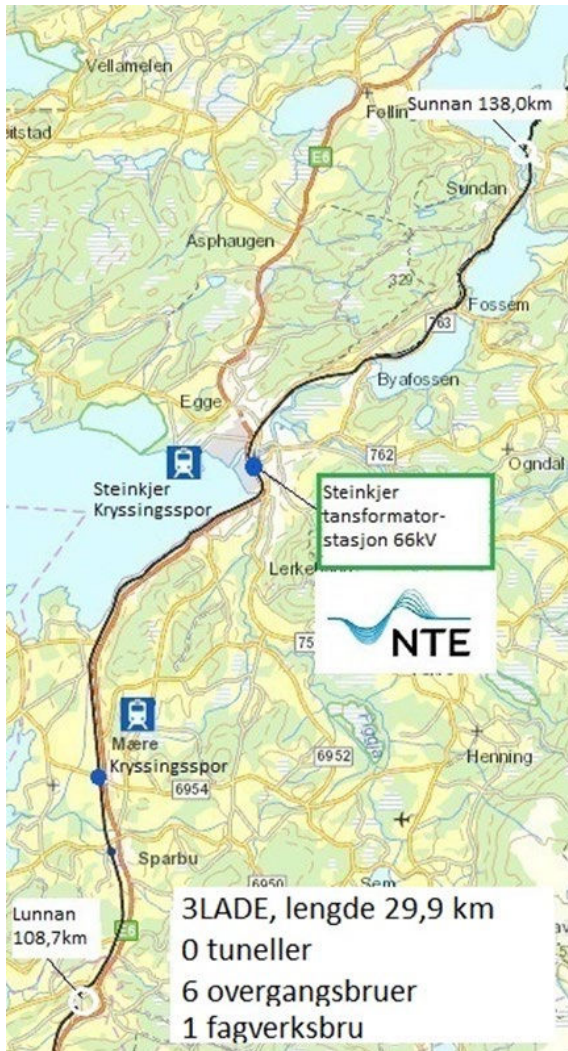


Symbol viser at kl kryssingsspor er tatt med som summert kostnad for kontaktledning.



5.1 Ladestrekningen 3LADE

Ladestrekningen er fra utgang Lunnan tunnel til inngang Sunnan tunnel, totalt 29,9 km. Strekningen har 0 tunneler, 6 overgangsbruer, 1 fagverksbro og kryssingsspor på Steinkjer og Mære.







Fagverksbru over Steinkjerelva er ikke beregnet elektrifisert.

Tilkobling til 66 kV skjer på Steinkjer transformatorstasjon cirka km 125,50 og nettselskap i området er NTE

Obj. type	Obj. navn	Tegn finnes	Fra km	Til km	Alder (år)	Ny-bygg	Lengde (m)	Laveste høyde (m)	Kostnad (MNOK)
OG	Nordgård	ja	112,112	-	114	ja	19,0	4,78	10
Kryssing	Mære stasjon	nei	114,141	114,942	-	-	801	-	NA
OG	Mære	ja	114,944	-	28	ja	19,0	5,00	100
OG	Lænn	nei	118,650	-	-	nei		6,40	0,3
OG	Sannanbrua	nei	125,010	-	-	-		ukjent	2
Kryssing	Steinkjer stasjon	nei	124,894	125,667	-	-	773	-	NA
Fagverks- bru	Bru over Steinkjerelva	nei	125,919	126,015	114	nei	171,0	Ikke kl	0
OG	Våttabakken	Ja	126,594	-	83	nei	23,0	6,40	2
OG	Fossem	Ja	133,090	-	46	nei	20,5	6,09	1,5
Sum tunneler og overgangsbruer (OG) = 115,75 MNOK									

Tabell 12: Infrastrukturobjekter på 3LADE

 <p style="text-align: right;">112,042 Nordgård</p>	<p>Høyde 4,78 m Ny bru Kostnad 10 MNOK</p> 
 <p style="text-align: right;">Mære stasjon 114,122km "Kryssingsspor 801m."</p>	<p>Elektrifisering av kryssingsspor Kostnad 7,9 MNOK</p> 



114,842 Mære

Høyde 5,0 m
Tiltak 4
Kostnad 100 MNOK

Denne er svært kostbar og alternative tiltak må vurderes nøye



118,542 Lænn

Høyde 6,4m
Tiltak «mindre»
Kostnad 0,3 MNOK



124,862 Sannanbrua

Høyde: Ukjent, trolig ok
Tiltak 2
Kostnad 2 MNOK






125,082 Steinkjer stasjon
" Kryssingsspor 773 m"

Elektrifisering av kryssingsspor.
Kostnad 7,6 MNOK



Hensettingsområdet bør også elektrifiseres. Dette er ikke medregnet

 <p data-bbox="767 618 1011 645">125,857 Bru Steinkjerelva 96m</p>	<p data-bbox="1066 197 1353 342">Høyde er ukjent. Fagverksbru. Antar at denne brua ikke blir elektrifisert. Kostnad 0 MNOK</p>
 <p data-bbox="794 987 986 1014">126,517 Vättabakken</p>	<p data-bbox="1066 674 1267 757">Høyde 6,4 m Tiltak 2 Kostnad 2 MNOK</p>
 <p data-bbox="802 1357 948 1384">132,957 Fossem</p>	<p data-bbox="1066 1043 1289 1126">Høyde 6,09 m Tiltak 2 Kostnad 1,5 MNOK</p>



Figur 7: NVE Atlas med målsatt avstand mellom transformatorstasjon og jernbanelinje

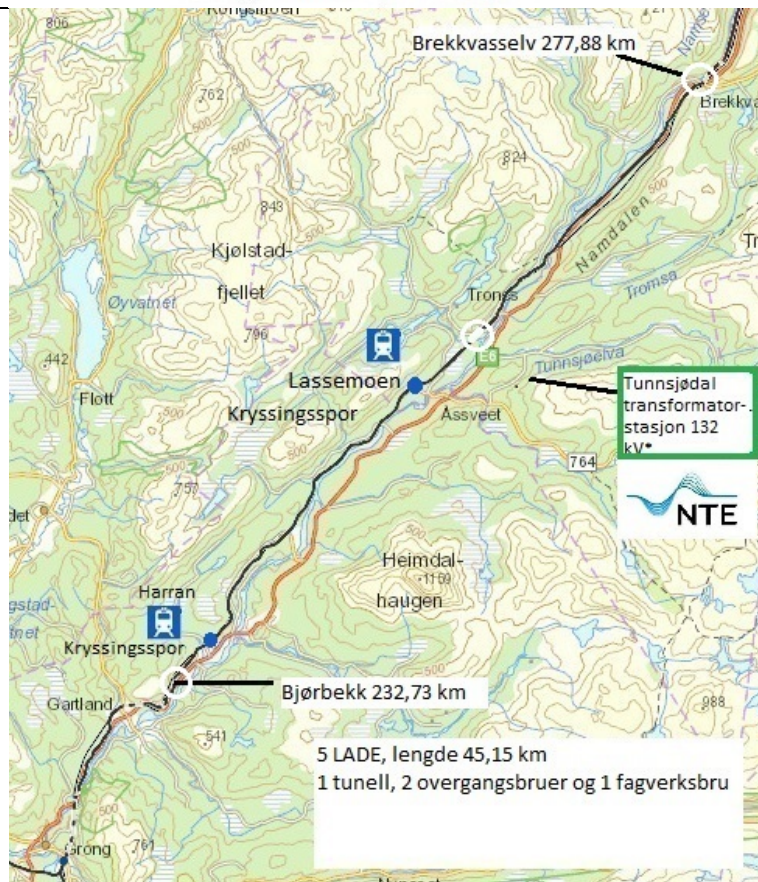
3LADE

Nettinvesteringer:
Ikke relevant ettersom det er kapasitet ved N-1.

Nettilknytning via Steinkjer transformatorstasjon som ligger ca. 150 m fra jernbanelinje og har 66 kV spenningsnivå. Netteier er NTE Nett AS. Stasjonen har forbindelse til 420 kV sentralnett via en 66 kV linje til Ogdal transformatorstasjon, og forbindelse til 66 kV nett med linjer mot nord, sør og vest.

5.2 Ladestrekningen 5LADE

Ladestrekningen er fra utgang Bjørbekk tunnel til inngang Brekkvasselv tunnel, totalt 45,15 km. Strekningen har 1 tunnel, 2 overgangsbruer, 1 fagverksbru og kryssingsspor på Harran og Lassemoen.






Fagverksbru over Namsen elva har ukjent høyde, den er ikke beregnet elektrifisert.

Tilkobling til 132 kV skjer på Tunnsjødal transformatorstasjon km 254,6 og nettselskap i området er NTE

Obj. type	Obj. navn	Tegn. finnes	Fra km	Til km	Alder (år)	Nybygg	Lengde (m)	Laveste h. (m)	Kostnad (MNOK)
OG	Harran	Ja	235,273		52	nei	27,0	6,00	2
Kryssing	Harran stasjon	-	235,666	236,090	-	-	424	-	NA
Kryssing	Lassemoen stasjon	-	254,516	255,300	-	-	784	-	NA
Tunnel	Lindset	-	258,967	259,102	-	-	135	5,46	21
Fagverksbru	Bru over Namsen	-	265,100	-	81	ja	100,0	ukjent	0
OG	Flåttadal	Ja	265,920	-	24	nei	-	6,80	2
Sum tunneler og overgangsbruer (OG) = 25 MNOK									

Tabell 13: Infrastrukturobjekter på SLADE

	<p>Høyde 6,0 m Tiltak 2 Kostnad 2 MNOK</p>
	<p>Elektrifisering av et kryssingsspor. Kostnad 4,2 MNOK</p> 



254,508 Lassemoen stasjon1
"Kryssingsspor 784m"

Elektrifisering av et kryssingsspor.
Kostnad 7,7 MNOK



258,868 Lindset 135m

Høyde 5,46 m
Kostnad 21 MNOK.



Utvidelsesbehov
se K02-33.

Målinger av Bane NOR:
5,61/ 5,71/ 5,60 m
5,46/ 5,66/ 5,82 m
5,54/ 5,98/ 5,79 m

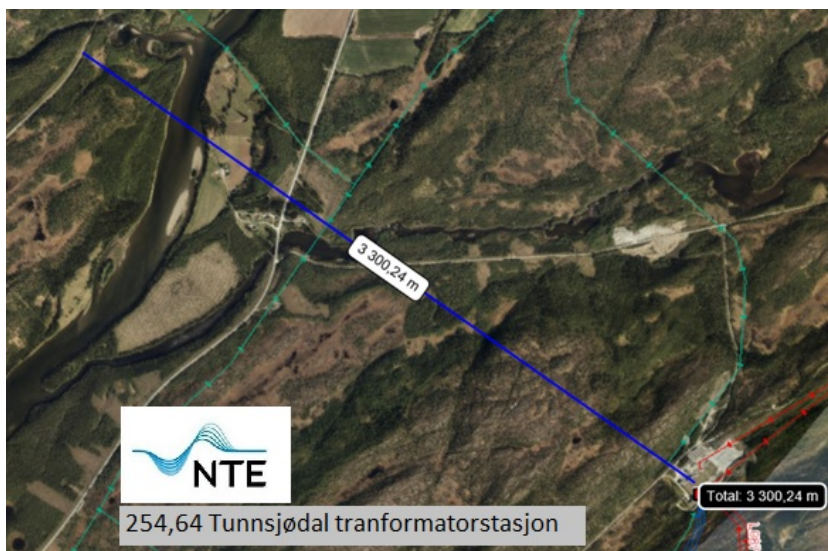


265,067 Bru over
Namsen (Fagverksbru)

Høyde er ukjent.
Fagverksbru.
Antar at denne brua ikke blir
elektrifisert.
Kostnad 0 MNOK



Høyde 6,8 m
Tiltak 2
Kostnad 2 MNOK



5LADE:

Nettinvesteringer:
Ikke relevant ettersom det er kapasitet ved N-1

Figur 8: NVE Atlas med målsatt avstand mellom Tunnsjødal transformatorstasjon og jernbanelinje

Nettilknytning via Tunnsjødal transformatorstasjon:

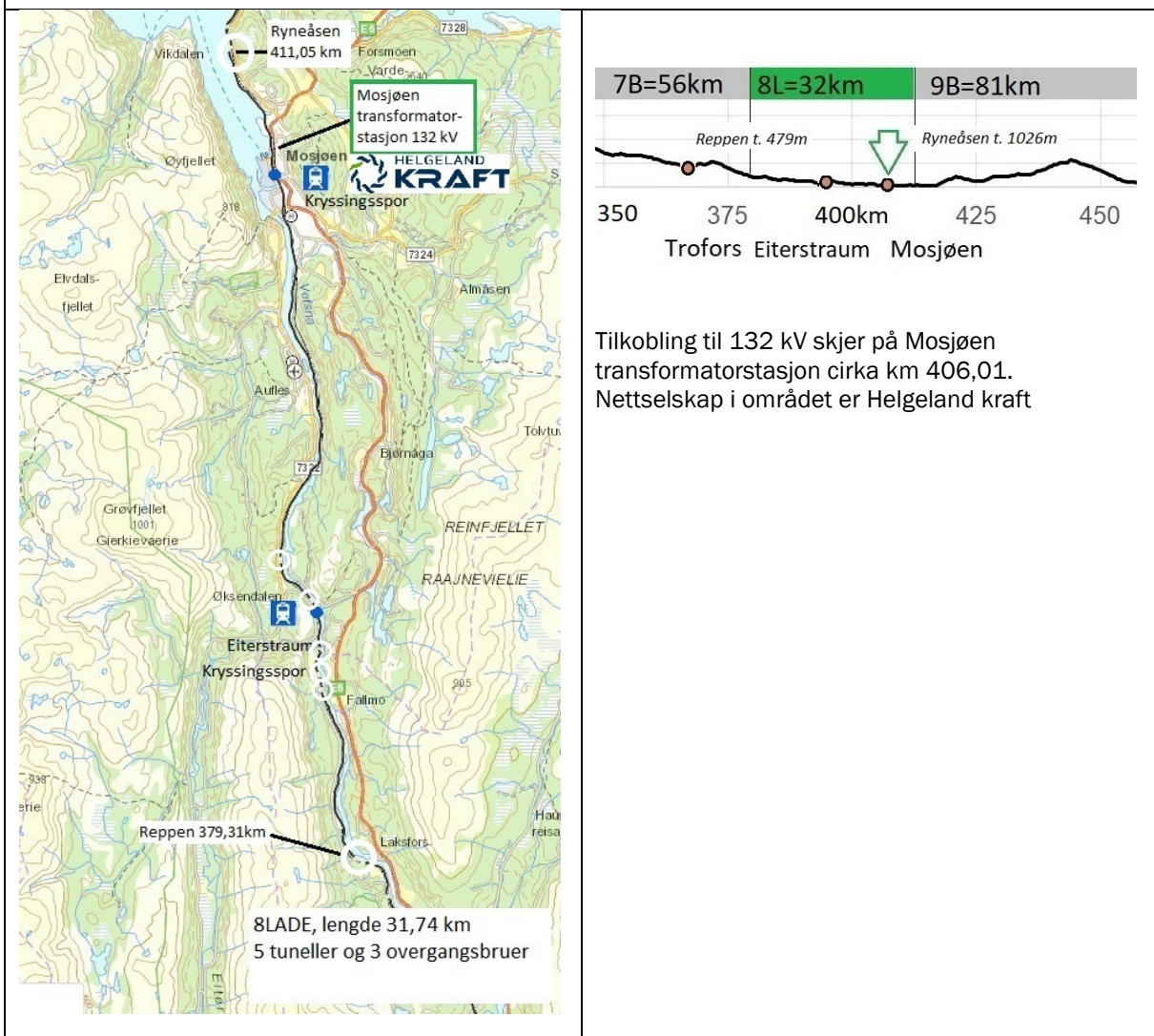
For å minimere kostnadene er det ønskelig med kortere avstand mellom tilknytningspunkt og jernbanelinje. Av den grunn er det vurdert andre aktuelle tilknytningspunkt nordover og sørover langs jernbanen. Nordover finnes det ikke nærhet mellom jernbanen og regionalnett (66 kV eller 132 kV) før Mosjøen. Det er derfor ikke aktuelt å forskyve dette tilknytningspunktet nordover. Sørover er det 1- 2 km avstand mellom 66 kV linje og jernbanen helt fram til Nedre Fiskumfoss der det er ca. 150 m mellom jernbanelinje og Nedre Fiskumfoss transformatorstasjon.

Nedre Fiskumfoss er ca. 25 km sør for Tunnsjødal i luftlinje. Nedre Fiskumfoss har i dag 66 kV spenningsnivå og det er 4 stk. 66 kV linjer tilknyttet stasjonen. Det er planlagt ny 132 kV linje mellom Nedre Fiskumfoss og Namsos transformatorstasjon som er tilknyttet 420 kV.

Det er ønskelig med tilknytning midt på ladestrekningen og høy grad av redundans i tilknytningspunktet. Tunnsjødal framstår som det punktet som best oppfyller dette, og er derfor lagt til grunn. Tilknytning lenger sør kan eventuelt vurderes i en senere fase.



5.3 Ladestrekningen 8LADE

Ladestrekningen er fra utgang Reppen tunnel til inngang Ryneåsen tunnel, totalt 31,74 km. Strekingen har 5 tunneler, 3 overgangsbruer og kryssingsspor på Eiterstraum og Mosjøen



Obj. type	Obj. navn	Tegn. finnes	Fra km	Til km	Alder (år)	Ny-bygg	Lengde (m)	Laveste h. (m)	Kostnad (MNOK)
Tunnel	Fallan	-	385,738	385,969	-	-	231	5,35	35
Tunnel	Turmo	-	386,300	386,474	-	-	174	4,98	26
Tunnel	Eiterå	-	387,298	387,428	-	-	130	5,34	19
Kryssing	Eiterstraum stoppested	-	387,930	389,012	-	-	1082	-	NA
Tunnel	Ravnå	-	389,134	389,295	-	-	161	5,02	24
Tunnel	Forsfjord	-	391,093	391,423	-	-	330	5,39	50
Kryssing	Mosjøen stasjon)	-	405,825	406,724	-	-	899	-	-
OG	Havnegata	Ja	407,022		-	nei	15,0	5,54	2
OG	Baustein Halsøy	Ja	407,917		69	nei	12,0	6,38	2
OG	Skjærflesa	Ja	410,905		27	ja	15,0	5,00	5
Sum tunneler og overgangsbruere (OG) = 163 MNOK									

Tabell 14: Infrastrukturobjekter på 8LADE

 <p style="text-align: right; background-color: white; padding: 2px;">385,634 Fallan 231m</p>	<p>Høyde 5,35 m</p> <p>Kostnad 35 MNOK.</p>  <p>Utvidelsesbehov se K02-33.</p> <p>Målinger av Bane NOR: 5,44/ 5,53/ 5,35 m</p>
--	---



386,195 Turmo 174m

Høyde 4,98 m

Kostnad 26 MNOK.



Utvidelsesbehov
se K02-33.

Målinger av Bane NOR:
5,10/ 5,32/ 4,98



387,214 Eiterå 130m

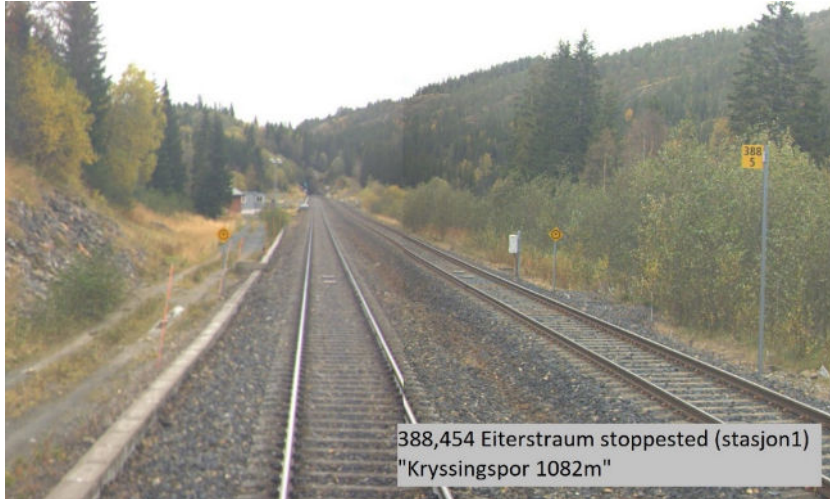
Høyde 5,34 m

Kostnad 19 MNOK.



Utvidelsesbehov
se K02-33.

Målinger av Bane NOR:
5,34/ 5,54/ 5,64 m



388,454 Eiterstraum stoppested (stasjon1)
"Kryssingspor 1082m"

Elektrifisering av
kryssingsporet

Kostnad 10,2 MNOK



389,054 Ravnå 161m

Høyde 5,02 m

Kostnad 24 MNOK.



Utvidelsesbehov
se K02-33.

Målinger av Bane NOR:
5,14/ 5,44/ 5,02 m



390,975 Forsfjord 330m

Høyde 5,36 m

Kostnad 5 MNOK.



Utvidelsesbehov
se K02-33

Målinger av Bane NOR:
5,39/ 5,58/ 5,36 m



405,812 Mosjøen stasjon1
"Kryssingsspor 899m"

Elektrifisering av
kryssingssporet
Kostnad 8,8 MNOK



406,959 Havnegata

Høyde 5,54 m
Tiltak 2
Kostnad 2 MNOK



407,838 Baustein

Høyde 6,38 m
Tiltak 2
Kostnad 2 MNOK



Høyde 5,0 m
Tiltak 4 eller 8
Ny bru eller løfte bru
Kostnad 5 MNOK.



Figur 9: NVE Atlas med målsatt avstand mellom Mosjøen transformatorstasjon og jernbanelinje.

ØLADE
Har ikke N-1.

Nettinvesteringer:
Anleggsbidrag, som eventuelt vil belastes prosjektet, er regulert av forskrift om kontroll av nettvirksomhet og er ikke beregnet i denne fasen.



Nettilknytning via Mosjøen transformatorstasjon som ligger ca. 100 m fra jernbanelinja og har per i dag 66 og 132 kV spenningsnivå. Netteier er Helgelandskraft Nett AS. Det er to 132 kV linjer mellom Marka og Mosjøen transformatorstasjoner. Marka er tilknyttet sentralnettet med en nordgående og en sørgående 300 kV linje. Til Mosjøen er det så en 132 kV linje fra Nedre Røssåga transformatorstasjon, som er tilknyttet sentralnettet med fire linjer.

5.4 Ladestrekningen 10LADE

Ladestrekningen er fra utgang Bjørnvik tunnel til inngang Trollaldalen tunnel, totalt 17,63 km. Strekningen har 1 tunnel, 7 overgangsbruer og kryssingsspor ved Mo I Rana



10LADE

Strekningen 10LADE får banestrøm via kabel fra 11BATT og tilkobling til 132 kV skjer på Storforshei transformatorstasjon km 520,00 og nettselskap i området der er MIP Industrinett AS.

Elektrifisering i området må hensynta behovet til Rana Gruber da det gjelder elektrifisering.

Obj. type	Obj. navn	Tegn. finnes	Fra km	Til km	Alder (år)	Ny-bygg	Lengde (m)	Laveste h.(m)	Kostnad (MNOK)
OG	Hauknes tankanlegg	Ja	492,994	-	66	ja	11,0	4,8	5
OG	Ranan zinkverk	Ja	494,472	-	78	nei	9,0	5,38	0,3
Tunnel	Andfiskåga	-	494,566	494,621	-	-	75	ukjent	8
OG	Jernverksbanen	Ja	497,246	-	70	nei	7,5	ukjent	1,5
OG	Mobekkbua	Ja	497,434	-	-	nei	40,0	ukjent	1,5
Kryssing	Mo I Rana stasjon	-	497,662	499,517	-	-	1855	-	NA
OG	Toranes	-	498,614	-	-	-		5,10	5
OG	Mellomvika	Ja	499,490	-	27	nei	10,0	6,45	2
OG	Annen hindring	-	500,215	-	55	nei		8,8	0
Sum tunneler og overgangsbruere (OG) = 23,3 MNOK									

Tabell 15: Infrastrukturobjekter på 10LADE

 <p>492,889 Hauknes tankanlegg</p>	<p>Høyde 5,0 m</p> <p>Ny bru eller løfte. Tiltak 4 eller 8 Kostnad 5 MNOK</p> 
 <p>494,389 Ranan Zinkverk</p>	<p>Høyde 5,38.</p> <p>Riving Tiltak 1 Kostnad 0,3 MNOK</p>



494,430 Andfiskåga 55m

Høyde ukjent.

Kostnad 8 MNOK



Utvidelsesbehov
se K02-33



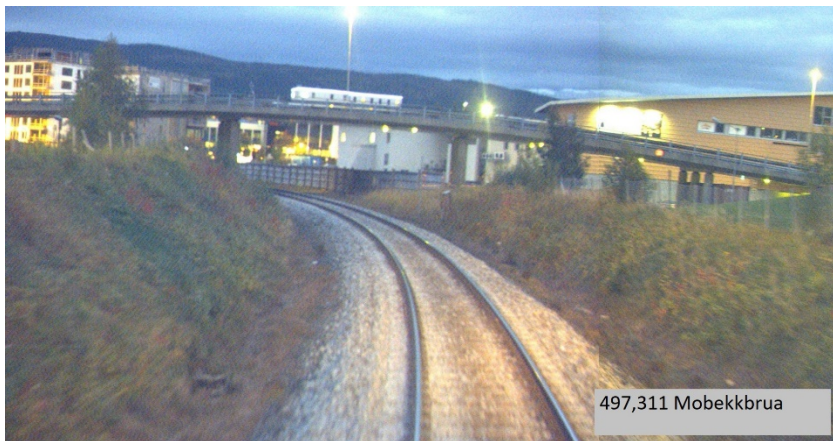
497,151 Jernverksbanen

Høyde ukjent.

Har antatt OK

Tiltak 2

Kostnad 1,5 MNOK



497,311 Mobekkbrua

Høyde ukjent.

Har antatt OK.

Tiltak 2

Kostnad 1,5 MNOK



Elektrifisering av
kryssingssporet
Kostnad 18,2 MNOK



Høyde 5,1 m
Tiltak 5 Løfte bru
Kostnad 5 MNOK



Målinger av Bane NOR:
5,10/ 5,20/ 5,10 m



Høyde 6,45 m
Tiltak 2
Kostnad 2 MNOK



Høyde 8,8 m

Antatt OK
Ingen tiltak
Kostnad 0 MNOK



Figur 10: NVE Atlas med målsatt avstand mellom Storforshei transformatorstasjon og jernbanelinje

10LADE:
Har ikke N-1

Nettinvesteringer: Estimert til 100 MNOK fordelt på 10LADE og 12LADE som får banestrøm via kabel fra 11BATT km 520,00 Storforshei.

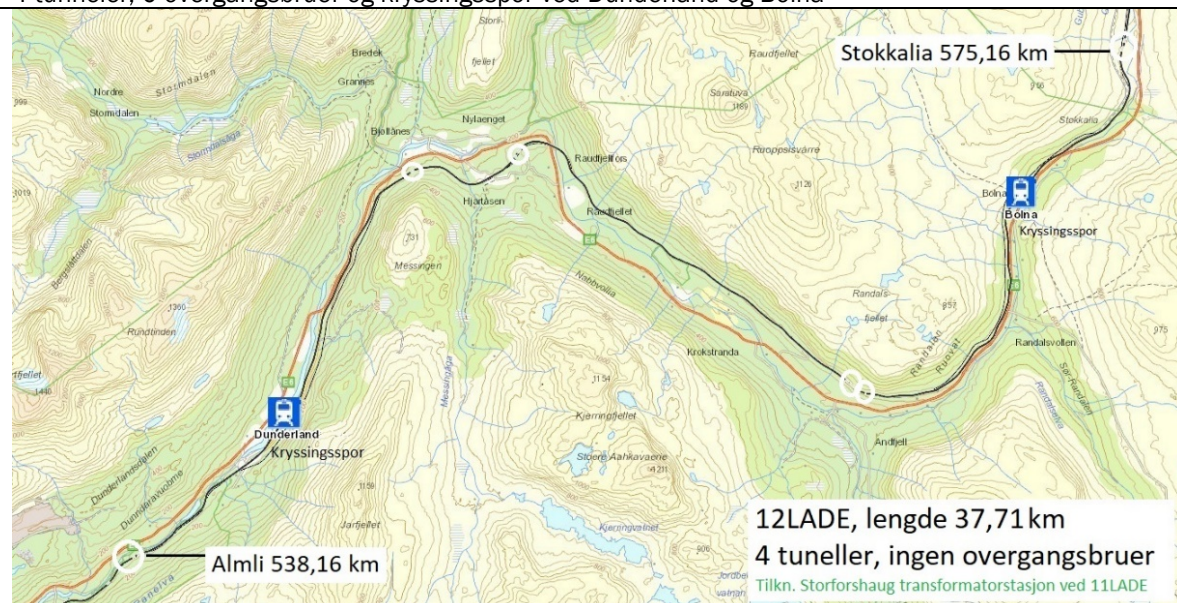
For videre arbeid med del-elektrifisering av Nordlandsbanen, bør nettilknytning i Storforshei og kostnader for denne vies oppmerksomhet for å avklare kostnader



Nettilknytning via Storforshei transformatorstasjon (Ørtfjellvegen) som ligger ca. 500 m fra jernbanelinje og har 132 kV spenningsnivå. Netteier er MIP Industrinett AS. Storforshei transformatorstasjon har ensidig mating via 132 kV linje fra Svabo transformatorstasjon i Mo i Rana. Fotoet viser Storforshei transformatorstasjon og avstanden mellom denne og jernbanelinje.

5.5 Ladestrekningen 12LADE

Ladestrekningen er fra utgang Almli tunnel til inngang Stokkalia tunnel, totalt 37,71 km. Strekningen har 4 tunneler, 0 overgangsbruere og kryssingsspor ved Dunderland og Bolna



12LADE

Strekningen får banestrøm via kabel fra 11BATT og tilkobling til 132 kV skjer på Storforshei transformatorstasjon km 520,00 og nettselskap i området der er MIP Industrinett AS

Kostnader med å få frem kjørestrøm til 10L og 12L er ikke tatt med

Obj. type	Obj. navn	Tegn. finnes	Fra km	Til km	Alder (år)	Ny-bygg	Lengde (m)	Laveste h.(m)	Kostnad (MNOK)
Kryssing	Dunderland stasjon	-	542,597	543,310	-	-	713	-	NA
Tunnel	Storvoll	nei	549,880	550,013	-	-	133	5,18	20
Tunnel	Hjartåsen	nei	552,784	553,112	-	-	328	5,41	49
Tunnel	Rauberget	nei	563,217	563,550	-	-	333	5,25	50
Tunnel	Svahella	nei	563,799	563,828	-	-	29	6,08	0
Kryssing	Bolna stasjon	-	570,912	571,343	-	-	431	-	NA
Sum tunneler og overgangsbruere (OG) = 119 MNOK									

Tabell 16: Infrastrukturobjekter på 12LADE



542,567 Dunderland stasjon1
"Kryssingsspor 713m"

Elektrifisering av kryssingssporet

Kostnad 7,0 MNOK



549,768 Storvoll 133m

Høyde 5,18 m

Denne kan være ok, se målinger under.

Kostnad 20 MNOK



Utvidelsesbehov
se K02-33.

Målinger av Bane NOR:
Fjell: 6,05/ 6,21/ 6,10 m
Betonghvelv: 5,18/ 5,53/
5,23 m



552,667 Hjartåsen 328m

Høyde 5,41 m

Kostnad 49 MNOK.



Utvidelsesbehov
se K02-33.

Målinger av Bane NOR:
5,41/ 5,66/ 5,41 m



Høyde 5,25 m

Denne kan være ok!
Kostnad 50 MNOK.



Målinger av Bane NOR:
Fjell: 5,91/ 5,63/ 5,97
Betonghvelv: 5,29/ 5,49/
5,25 m



Høyde 6,08 m

I første omgang OK
Kostnad 0 MNOK

Det er ikke vurdert kostnad
knyttet til K02-33!
Utvidelsesbehov
se K02-33.

Målinger av Bane NOR:
6,08/ 6,19/ 6,13 m

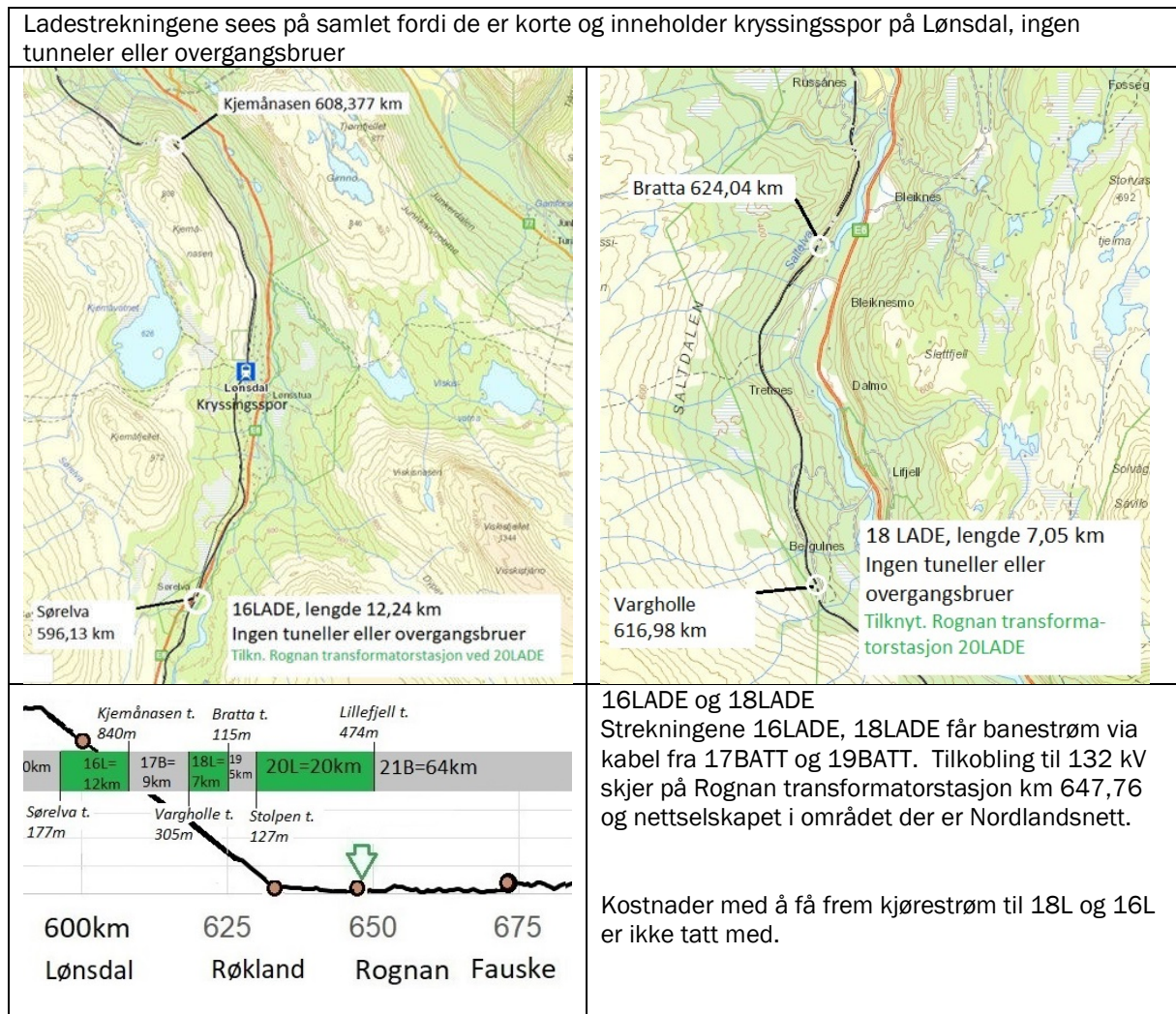


Elektrifisering av
kryssingssporet

Kostnad 4,2 MNOK



5.6 Ladestrekningene 16LADE og 18LADE

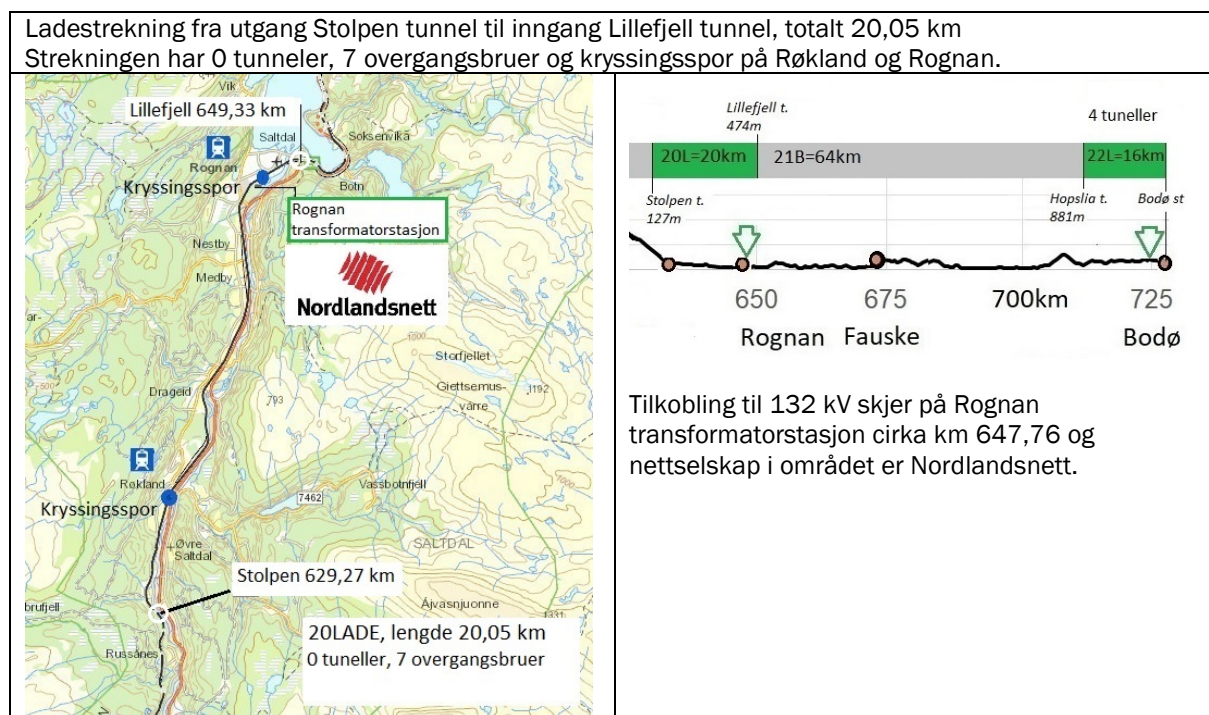


Obj. type	Obj. navn	Tegn. finnes	Fra km	Til km	Alder (år)	Nybygg	Lengde (m)	Laveste h. (m)	Kostnad (MNOK)
Kryssing	Lønsdal stasjon	nei	601,989	602,463	-	-	474	-	NA

Tabell 17: Infrastrukturobjekter på 16LADE og 18LADE



5.7 Ladestrekningen 20LADE



Obj. type	Obj. navn	Tegn. finnes	Fra km	Til km	Alder (år)	Nybygg	Lengde (m)	Laveste h.(m)	Kostnad (MNOK)
OG	Gangbru HPL	nei	633,930	-	-	nei	-	5,40	2
Kryssing	Røkland stasjon	nei	633,627	634,733	-	NA	1106	-	NA
OG	Pothus Røkland	ja	634,267	-	66	nei	-	5,80	2
OG	Sundby-2	nei	641,987	-	25	nei	60,0	6,50	2
OG	Børåga	nei	643,083	-	25	nei	60,0	6,30	2
OG	Medby	nei	644,144	-	25	nei	-	6,20	1,5
OG	Næstby	nei	645,237	-	26	nei	60,0	6,20	2
OG	Nerauran	nei	646,520	-	-	nei	50,0	6,20	2
Kryssing	Rognan stasjon	nei	647,438	647,905	-	NA	467	-	NA
Sum tunneler og overgangsbruere (OG) = 13,5 MNOK									

Tabell 18: Infrastrukturobjekter på 20LADE



Elektrifisering av
kryssingssporet
Kostnad 10,8 MNOK



Høyde 5,4 m
Tiltak 2
Kostnad 2 MNOK
Målinger av Bane NOR:
5,4/ 5,6/ 5,4 m



Høyde 5,8 m
Tiltak 2
Kostnad 2 MNOK



Høyde 6,5 m
Tiltak 2
Kostnad 2 MNOK

Målinger av Bane NOR:
6,5/ 6,7/ 6,5 m



Høyde 6,3 m
Tiltak 2
Kostnad 2 MNOK

Målinger av Bane NOR:
6,3/ 6,5/ 6,3 m



Høyde 6,2 m
Tiltak 2
Kostnad 1,5 MNOK

Målinger av Bane NOR:
6,2/ 6,4/ 6,2 m



645,078 Næstby

Høyde 6,2 m
Tiltak 2
Kostnad 2 MNOK

Målinger av Bane NOR:
6,2/ 6,4/ 6,2 m



646,317 Nerauran

Høyde 6,2 m
Tiltak 2
Kostnad 2 MNOK

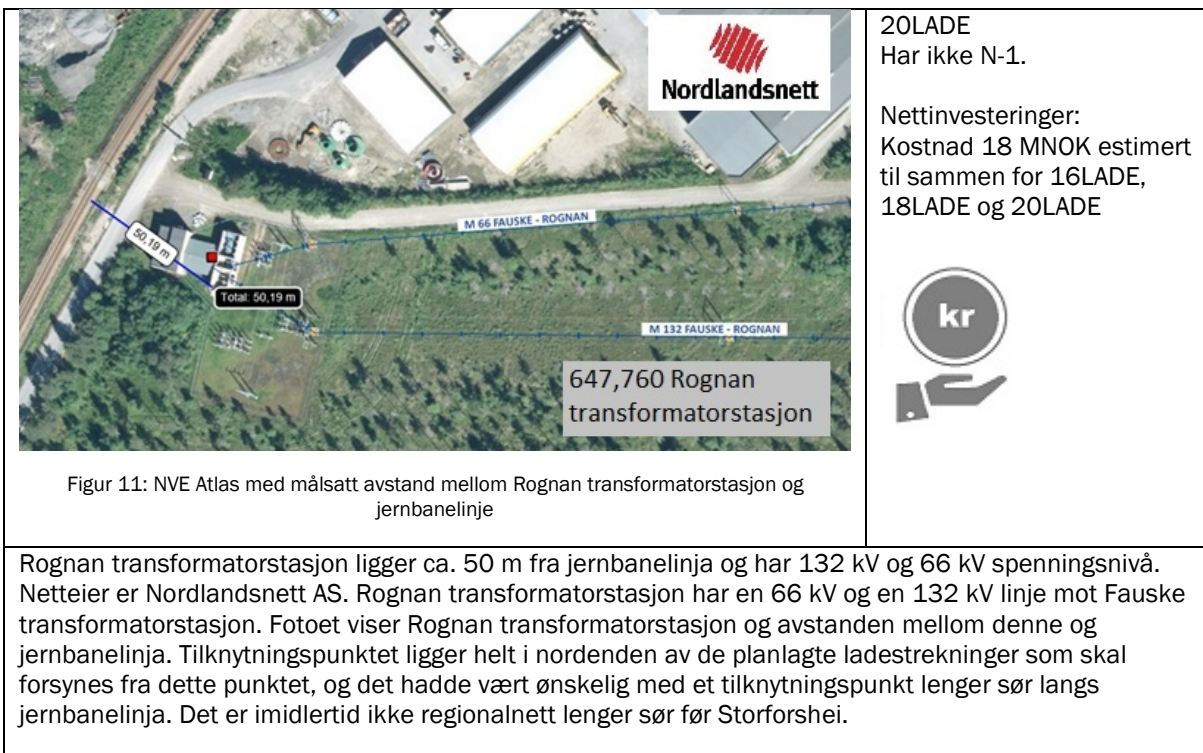
Målinger av Bane NOR:
6,2/ 6,4/ 6,2 m



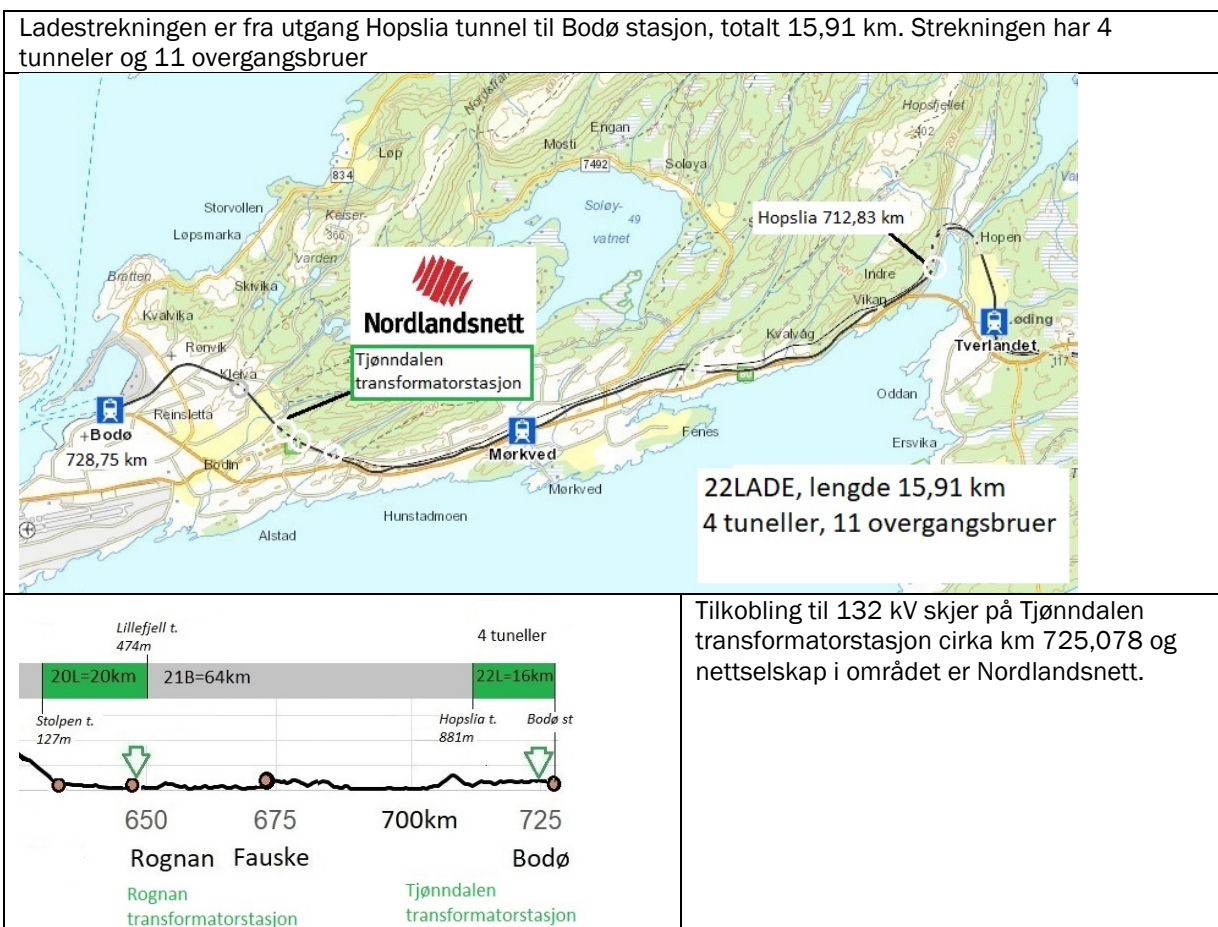
647,365 Rognan stasjon1
"kryssingsspor 467m"

Elektrifisering av
kryssingssporet
Kostnad 4,6 MNOK







5.8 Ladestrekningen 22LADE



Obj. type	Obj. navn	Tegn. finnes	Fra km	Til km	Alder (år)	Nybygg	Lengde (m)	Laveste h. (m)	Kostnad MNOK
Tunnel	Vikan tunnel	-	713,836	714,003	-	-	167	Ukjent	25
OG	Kvalvåg	-	715,740	-	-	nei		Ukjent	1,5
Tunnel	Tostenlia	-	717,250	717,610	-	-	360	Ukjent	54
OG	Støver	-	718,403	-	-	nei	20,0	5,50	1,5
OG	Messiosen	-	720,718	-	-	ja	100,0	5,80	1,5
OG	Hundstad-krysset	Ja	721,250	-	40	nei	85,0	6,80	2
OG	Hunstadmoen	Ja	722,794	-	49	nei	11,0	5,60	2
OG	Stille Dal	-	723,680	-	33	nei	75,0	8,00	1,5
Tunnel	Jensvoll	-	724,071	724,113	-	-	42	5,62	6
OG	Svartlia GS	-	724,489	-	23	nei	40,0	7,30	1,5
Tunnel	Rishaugen	-	724,729	724,776	-	-	47	5,80	0
Tunnel	Tjønndalen	-	725,008	725,078	-	-	70	5,23	11
OG	Tjønndalen	Ja	725,275	-	-	ja	16,0	5,30	2
OG	Junkerveien	Ja	725,883	-	-	ja	11,0	5,90	1,5
Tunnel	Kleiva	-	726,065	726,257	-	-	192	5,50	29
OG	Kleivaveien	Ja	726,281	-	53	ja	23,0	5,30	2
OG	Rønvikveien	Ja	726,900	-	58	ja	5,7	5,20	2
OG	Nordstrand-veien	-	727,486	-	58	ja	23,0	5,10	2
Sum tunneler og overgangsruer (OG) = 146 MNOK									

Tabell 19: Infrastrukturobjekter på 22LADE

	<p>Høyde ukjent.</p> <p>Kostnad 25 MNOK</p> 
--	---



Høyde ukjent.
Tiltak 2
Kostnad 1,5 MNOK



Høyde ukjent
Kostnad 54 MNOK



Høyde 5,5 m
Tiltak 2
Kostnad 1,5 MNOK

Målinger av Bane NOR:
5,5/ 5,7/ 5,5 m



Høyde 5,8 m
Tiltak 2
Kostnad 1,5 MNOK

Målinger av Bane NOR:
5,8/ 6,0/ 5,8 m



Høyde 6,8 m
Tiltak 2
Kostnad 2 MNOK



Høyde 5,6 m
Tiltak 2
Kostnad 2 MNOK



723,521 Stille Dal ved Bodøveien (Riksvei 50)

Høyde 8,0 m
Tiltak 2
Kostnad 1,5 MNOK

Målinger av Bane NOR:
8,0/ 8,2/ 8,3 m



723,942 Jensvoll 42m

Høyde 5,62 m
Kostnad 6 MNOK.



Målinger av Bane NOR:
5,62/ 5,88/ 5,81 m



724,341 Svartlia G/S

Høyde 7,3 m
Tiltak 2
Kostnad 1,5 MNOK

Målinger av Bane NOR:
7,3/7,5/7,3 m



724,581 Rishaugen 47m

Høyde 5,8 m
Vurdert OK
Kostnad 0 MNOK

Målinger av Bane NOR:
5,80/ 6,15/ 5,93 m



724,861 Tjønndalen 70m

Høyde 5,23 m
Kostnad 11 MNOK



Utvidelsesbehov
se K02-33.

Målinger av Bane NOR:
5,38/ 5,51/ 5,23 m



725,141 Tjønndalen

Høyde 5,3 m
Kostnad 2 MNOK

Men den må vurderes på
nytt grunnet lav høyde





725,742 Junkerveien

Høyde 5,9 m



725,881 Kleiva 192m

Høyde 5,5 m
Kostnad 29 MNOK



Målinger av Bane NOR:
5,63/ 5,74/ 5,50 m



726,347 Kleivaveien
NB! sett i sydgående retn.

Høyde 5,3 m
Kostnad 2 MNOK

De tre siste overgangsbruene før Bodø er alle litt for lave og tiltak må vurderes, kostand er satt til 2 MNOK pr stk og kan synes å bli for lavt





Høyde 5,2 m

Tiltak 2
Kostnad 2 MNOK



Høyde 5,1 m

Tiltak 2
Kostnad 2 MNOK, trolig satt
for lav, se høyde!



Målinger av Bane NOR:
5,1/ 5,2/ 5,2 m



22LADE

Nettinvesteringer:
Ikke relevant ettersom det
er kapasitet ved N-1.

Figur 12: NVE Atlas med målsatt avstand mellom Tjønndalen transformatorstasjon og jernbanelinje

Tjønndalen transformatorstasjon ligger ca. 50 m fra jernbanelinje og har 132 kV og 66 kV spenningsnivå. Netteier er Nordlandsnett AS. Tjønndalen transformatorstasjon har en 132 kV linje fra Hopen og en 132 kV linje fra Messiosen transformatorstasjon. Det er i tillegg gitt konsesjon for en ny 132 kV linje fra Hopen til Tjønndalen. Se flyfoto av Tjønndalen transformatorstasjon og avstanden til jernbanelinje.

6 Nettilknytning og kapasitet

6.1 Plassering av matestasjoner

Bane NOR har utført beregning av energiomsetning for kjøring med batteritog på Nordlandsbanen. Denne beregningen viser behov for å plassere matestasjoner som tilknyttes overliggende nett i punktene vist i tabell 20 under:

Transformatorstasjon	Spenningsnivå (kV)	Netteier
Steinkjer	66	NTE Nett AS
Tunnsjødal	132 ⁷	NTE Nett AS
Mosjøen	132	Helgelandskraft Nett AS
Storforshei	132	MIP Industrinett AS
Rognan	132	Nordlandsnett AS
Tjønndalen	132	Nordlandsnett AS

Tabell 20: Tilknytningspunkt for del-elektrifisering

6.2 Kapasitet og kortslutningsytelse i aktuelle tilknytningspunkt

De viktigste egenskapene ved tilknytningspunktene til overliggende nett er om det er nok ledig kapasitet til å mate togene og om korslutningsytelsen (spennings-stivheten til nettet) er god nok for de ulike typene matestasjoner.

Norconsult innhentet opplysninger fra NTE Nett AS, Helgelandskraft Nett AS, MIP Industrinett AS, Nordlandsnett AS og Statnett. Det er etterspurt opplysninger om ledig kapasitet i tilknytningspunktene for en last på 16 MVA. Det er så kartlagt om denne kapasiteten er tilgjengelig med N-1, det vil si at forsyningen vil opprettholdes selv om en enkelt komponent i overliggende nett er ute av drift. Svar fra områdekonsesjonærer er ikke ansett som bindende på dette stadiet.

For tilknytningspunkt uten ledig kapasitet med N-1, er det innhentet opplysninger om historisk utetid for komponenter i overliggende nett. Dette for å kunne angi forventet utetid i tilknytningspunktet. Tiltak for å oppnå kapasitet med N-1 er så vurdert, og kostnader for dette er estimert. Merk at for beregning av forventet utetid for ikke-varslede avbrudd er det ikke innhentet enlinjeskjema for de aktuelle transformatorstasjonene.

Det er så etterspurt informasjon om kortslutningsytelse i tilknytningspunktene. Dette for å kunne vurdere mulighet for å benytte transformatorløsning framfor andre og dyrere løsninger for forsyning av banestrøm.

Steinkjer transformatorstasjon

NTE Nett oppgir at det er tilstrekkelig kapasitet, både ved N-0 og N-1, til å forsyne et uttak på 16 MVA under Steinkjer transformatorstasjon.

Minimum kortslutningsytelse er beregnet for ulike driftssituasjoner i nettet. Dette er vist i tabell 21 under:

Driftssituasjon	Minimum kortslutningsytelse Megavoltampere (MVA)
Med transformatoren i Ogdal i drift	700
Steinkjer forsynes fra Verdalen	360
Steinkjer forsynes fra Namsos via Follafoss	190

Tabell 21: Tilknytningspunkt for del-elektrifisering

⁷ fra fjerde kvartal 2021

Minimum kortslutningsytelse i Steinkjer ved ulike driftssituasjoner

At transformatoren i Ogndal er i drift, vil være normalsituasjonen. Ved feil eller planlagt utkobling av transformatoren i Ogndal eller linjene mellom Ogndal og Steinkjer, vil Steinkjer forsynes fra Verdal. Som et tredje alternativ kan Steinkjer forsynes fra Namsos via Follafoss, men dette er lite trolig.

Forventet utetid ved N-0 er Ikke relevant ettersom det er kapasitet ved N-1.

Nettinvesteringer er ikke relevant ettersom det er kapasitet ved N-1.

Tunnsjødal transformatorstasjon

NTE Nett oppgir at det er tilstrekkelig kapasitet, både ved N-0 og N-1, til å forsyne et uttak på 16 MVA under Tunnsjødal transformatorstasjon.

Minimum kortslutningsytelse er estimert til ca. 700 MVA for framtidig 132 kV i Tunnsjødal. Denne vil være avhengig av konstruksjon for transformatoren, som per tidspunkt ikke er bestemt. Det er derfor usikkerhet knyttet til beregnet kortslutningsytelse.

Forventet utetid ved N-0 er Ikke relevant ettersom det er kapasitet ved N-1.

Nettinvesteringer er ikke relevant ettersom det er kapasitet ved N-1

Mosjøen transformatorstasjon

Helgelandskraft Nett oppgir at det sannsynligvis ikke vil være kapasitet i Mosjøen med N-1 om 10 år eller mer, uten at det foretas investeringer i nettet. Det er sannsynlig at det er kapasitet i nettet dersom man aksepterer forsyning med N-0. En forutsetning for tilknytning med N-0 er da at lasten er uprioritert, dvs. utkoblbar.

Kraftsystemutredningen (HEL18) omhandler framtidig utvikling av nettet på Helgeland. Kraftkrevende industri på Mo og i Mosjøen planlegger økning i energibruk, og det er utviklet to prognoser for framtidig utvikling. Det er så planlagt økning i produksjonskapasitet i området og det er utviklet tre prognoser for ny produksjon. Det er analysert to scenarier: Underskudd og Overskudd. Scenariet Underskudd er ansett som mest sannsynlig. Dette innebærer at andre prosjekter i området kan utløse nettinvesteringer, men dette er per i dag ikke avklart.

Minimum kortslutningsytelse i Mosjøen og nærliggende transformatorstasjoner er vist i tabell 22 under.

Transformatorstasjon	Spenningsnivå (kV)	Minimum kortslutningsytelse Megavoltampere (MVA)
Mosjøen	132	900
Mosjøen	66	190
Holandsvika	66	151 ⁸
Kaldåga/Drevvatn	66	118 ⁸

Tabell 22: Minimum kortslutningsytelse i Mosjøen og nærliggende transformatorstasjoner

Forventet utetid ved N-1: Mosjøen transformatorstasjon har ikke ledig kapasitet ved N-1 til å forsyne Bane NOR gjennom hele året, men det er ikke kjent hvor ofte det ikke er N-1. Av den grunn er det i beregningene av utetid for tilknytningspunktet forutsatt at feil på en av de tre 132 kV forbindelsene inn til Mosjøen

⁸ Lavere ved eventuell separatudrift i området

transformatorstasjon vil medføre utfall av forsyningen til Bane NOR. Merk at dette representerer et verst tenkelig scenario, og det i realiteten vil være perioder i løpet av året med N-1.

For å beregne utetid på forsyning ved fravær av N-1, er det tatt utgangspunkt i feilstatistikk mottatt fra Bane NOR, for følgende anleggsdeler:

- Ca. 4,3 km 132 kV luftlinje Mosjøen-Marka 2
- Ca. 4,3 km 132 kV luftlinje Mosjøen-Marka 1
- Ca. 37,1 km 132 kV luftlinje Mosjøen-Røssåga
- 6 stk. 132 kV effektbrytere
- 6 stk. 132 kV/66kV skillebrytere

Utetid grunnet varslede avbrudd på de tre 132 kV linjene inn til Mosjøen transformatorstasjon er beregnet basert på historiske data de siste fem årene mottatt fra Statnett.

Beregnet forventet utetid både for varslede og ikke varslede avbrudd i tilknytningspunktet under Mosjøen transformatorstasjon er presentert i tabell 23 under. Utetiden er summert for alle tre forbindelsene da det er forutsatt at feil på en linje uansett vil gi utfall av forsyningen til Bane NOR.

Utetid	Varslede avbrudd	Ikke varslede avbrudd
Gjennomsnittlig varighet pr feil	2 dager 4 timer 55 minutter	-
Gjennomsnittlig utetid per år	11 dager 23 timer 17 minutter	1 dag 4 timer 5 minutt

Tabell 23: Utetid 132 kV linjer mellom Marka og Mosjøen og Røssåga og Mosjøen

Nettinvesteringer: For å oppnå forsyning med N-1, er et mulig tiltak ny 132 kV linje mellom Marka transformatorstasjon og Mosjøen transformatorstasjon. Lengde på denne vil være ca. 4,5 km. I tillegg kan det være at transformator kapasitet mellom 300 kV sentralnett og 132 kV regionalnett må økes i Marka transformatorstasjon. Estimerte kostnader for dette er vist i tabell 24 under. Angitte kostnader må anses som en orientering om størrelsesorden for de totale investeringene. Anleggsbidrag, som eventuelt vil belastes prosjektet, er regulert av forskrift om kontroll av nettvirksomhet og er ikke beregnet i denne fasen.

Komponent	Kostnad	Antall	Kostnad (MNOK)
132 kV linje	4 MNOK/km	4,5 km	18
Linjefelt	10 MNOK/stk	2 stk	20
Økt transformator kapasitet	200 MNOK	RS	200
Total estimert investeringskostnad ≈ 250 MNOK			

Tabell 24: Estimert investeringskostnad for å oppnå forsyning med N-1 i Mosjøen

For videre arbeid med del-elektrifisering av Nordlandsbanen, bør nettilknytning i Mosjøen og kostnader for denne vies oppmerksomhet for å avklare løsning for forsyning med N-1 til jernbanen og aktuelt anleggsbidrag for dette.

Storforshei transformatorstasjon

Det er ledig kapasitet på 132 kV linjen fra Svabo transformatorstasjon til Storforshei og videre inn mot Rana Gruber til et lastuttak på 16 MVA (Husnes 2019). Det er Helgelandskraft Nett som har utredningsansvar i området og som eier og driver overliggende nett som forsyner Svabo transformatorstasjon.

Det er flimmerproblematikk som per dags dato påvirker kapasiteten i forsyningen inn mot Svabo transformatorstasjon. Stålovn i Mo Industripark forårsaker flimmernivå over grenseverdi angitt i Leveringskvalitetsforskriften. Flimmer er den synlige variasjonen i lys hvor luminansen eller spektralfordelingen varierer med tiden. For å redusere problemene med flimmer for andre sluttbrukere i nettet, er det innført en driftskobling i Svabo som innebærer at stålovn er separert fra annen last i området. Denne driftskoblingen legger beslag på kapasitet i overliggende nett. Det er utredet installasjon av STATCOM på 20 kV nivå i tilknytning til stålovn for å redusere flimmernivået. Det er ikke bestemt om

eller når tiltaket iverksettes. Dersom tiltaket iverksettes, vil det ikke være nødvendig at stålovnene er separert fra annen last i området og dette vil øke kapasiteten inn mot Svabo betraktelig.

Minimum kortslutningsytelse er per i dag 850 MVA i Svabo transformatorstasjon. I Storforshei vil den være mindre enn dette. Dersom stålovnene ikke er separert fra annen last i området, vil kortslutningsytelsen øke.

Kraftkrevende industri tilknyttet Svabo gir asymmetri mellom fasespenningene, og det er tidvise overskridelser av Leveringskvalitetsforskriftens krav om maks 2 % asymmetri i 132 kV nettet. Loggerte verdier viser at ubalansen var over 2 % ved to tilfeller 15 og 16. september i år. Det er ikke planer om tiltak for å endre situasjonen.

Forventet utetid ved N-0: Storforshei transformatorstasjon har ensidig mating via 132 kV linje fra Svabo transformatorstasjon i Mo i Rana. Ved feil enten på selve linjen, eller en bryter i serie med linjen vil det føre til at Bane NOR mister forsyningen. For å beregne utetid på forsyning ved fravær av N-1 er det tatt utgangspunkt i feilstatistikk mottatt fra Bane NOR, for følgende anleggsdeler:

- Ca. 19,7 km 132 kV luftlinje Storforshei - Svabo
- 2 stk. 132 kV effektbrytere
- 2 stk. 132 kV/66kV skillebryter

Utetid grunnet varslede avbrudd på 132 kV linjen mellom Svabo og Storforshei er beregnet basert på historiske data de siste fem årene mottatt fra Statnett.

Beregnet forventet utetid både for varslede og ikke varslede avbrudd i tilknytningspunktet under Storforshei transformatorstasjon er presentert i tabell 25 under:

Utetid	Varslede avbrudd	Ikke varslede avbrudd
Gjennomsnittlig varighet per avbrudd	5 dager 1 time 45 minutter	
Gjennomsnittlig utetid per år	12 dager 15 timer 34 minutter	11 timer 26 minutter

Tabell 25: Utetid 132 kV linje mellom Svabo og Storforshei

Nettinvesteringer: For å oppnå forsyning med N-1 til Storforshei, må det bygges en ny 132 kV linje i parallell med eksisterende 132 kV linje. Lengde på denne vil være ca. 20 km (Plassholder 1). Estimerte kostnader for dette er vist i tabell 26 under. Angitte kostnader må anses som en orientering om størrelsesorden for de totale investeringene. Anleggsbidrag, som eventuelt vil belastes prosjektet, er regulert av «forskrift om kontroll av nettvirksomhet» og er ikke beregnet i denne fasen.

Komponent	Kostnad per stk	Antall	Kostnad (MNOK)
132 kV linje	4 MNOK/km	20 km	80
Linjefelt	10 MNOK/stk.	2 stk.	20
Total estimert investeringskostnad 100 MNOK			

Tabell 26: Estimert investeringskostnad for å oppnå forsyning med N-1 i Storforshei

For videre arbeid med del-elektrifisering av Nordlandsbanen, bør nettilknytning i Storforshei og kostnader for denne vies oppmerksomhet for å avklare løsning for forsyning med N-1 til jernbanen. Det forventes at Bane NOR må ta hele kostnaden for denne nettilknytningen da det ikke er andre kjente interessenter i området.

Rognan transformatorstasjon

Analyser utført av Nordlandsnett viser at det vil være tilstrekkelig kapasitet ved N-0, til å forsyne et uttak på 16 MVA under Rognan transformatorstasjon, på det tidspunkt det kan bli aktuelt med del-elektrifisering av Nordlandsbanen. Det vil ikke være kapasitet vedr N-1 til å forsyne et uttak på 16 MVA. For å få til dette, vil det måtte etableres en ny 132 kV forbindelse til Rognan.

Minimum kortslutningsytelse på 132 kV nivå under Rognan transformatorstasjon er 213 MVA, når stasjonen er forsynt fra 132 kV linje Rognan-Fauske.

Forventet utetid ved N-0: Rognan transformatorstasjon har ikke ledig kapasitet ved N-1 til å forsyne Bane NOR. Feil enten på selve 132 kV linjen mellom Fauske og Rognan, eller på en bryter i serie med linjen vil føre til at Bane NOR mister forsyningen. For å beregne utetid på forsyning ved fravær av N-1 er det tatt utgangspunkt i feilstatistikk mottatt fra Bane NOR, for følgende anleggsdeler:

- Ca. 25,1 km 132 kV luftlinje Rognan - Fauske
- 2 stk. 132 kV effektbryter
- 2 stk. 132 kV/66 kV skillebryter

Utetid grunnet varslede avbrudd på 132 kV linjen mellom Rognan og Fauske er beregnet basert på historiske data de siste fem årene mottatt fra Statnett.

Beregnet forventet utetid både for varslede og ikke varslede avbrudd i tilknytningspunktet under Rognan transformatorstasjon er presentert i tabell 27 nedenfor:

Utetid	Varslede avbrudd	Ikke varslede avbrudd
Gjennomsnittlig varighet	5 dager 18 timer 1 minutt	
Utetid per år	8 dager 10 timer 12 minutt	13 timer 56 minutt

Tabell 27: Utetid 132 kV linje mellom Fauske og Rognan

Nettinvesteringer: Nordlandsnett har grovt vurdert hva kostnadene og anleggsbidraget vil være for en oppgradering av dagens 66 kV linje Fauske - Rognan til 132 kV. Det vil totalt være ca. 26 km linje som må oppgraderes. I tillegg må det etableres ett nytt 132 kV effektbryterfelt i Fauske transformatorstasjon og ett nytt 132 kV effektbryterfelt i Rognan transformatorstasjon.

Den samlede investeringskostnaden vil være i størrelsesordenen 124 MNOK. Anleggsbidraget som må dekkes av prosjektet, vil avhenge av når investeringen foretas. Dersom investeringen kommer tidligere, vil kostnadene som må dekkes av kunden øke noe, da eksisterende anlegg vil ha lengre restlevetid. Tilsvarende vil kostandene reduseres dersom prosjektet kommer senere. Anleggsbidrag for ulike investeringstidspunkt er som følger:

2024: Anleggsbidrag ca. 26 MNOK

2029: Anleggsbidrag ca. 18 MNOK

2034: Anleggsbidrag ca. 10 MNOK

Kostnadsoverslaget vil i alle tilfeller ikke bli lavere enn ca. 10 MNOK, da dette er kostnaden for nødvendige nyanlegg. Dette er et veldig grovt kostnadsoverslag, og det må presiseres at dersom det blir aktuelt å gjennomføre del-elektrifisering av Nordlandsbanen, så bør endelig løsning utredes nærmere, samt at beregning av anleggsbidrag må gjøres med høyere detaljeringsgrad.

Tjønndalen transformatorstasjon

Analyser utført av Nordlandsnett viser at det vil være tilstrekkelig kapasitet, både vedr N-0 og N-1, til å forsyne et uttak på 16 MVA under Tjønndalen transformatorstasjon på det tidspunkt det kan bli aktuelt med del-elektrifisering av Nordlandsbanen.

Minimum kortslutningsytelse på 132 kV nivå under Tjønndalen transformatorstasjon er 325 MVA. Minimum kortslutningsytelse på 132 kV nivå under Hopen transformatorstasjon er 295 MVA.

Forventet utetid ved N-0 er ikke relevant ettersom det er kapasitet ved N-1.

Nettinvesteringer er ikke relevant ettersom det er kapasitet ved N-1.

Overordnet tilbakemelding fra Statnett

Statnett oppgir at det i deres overliggende nett på 300 kV og 420 kV er ledig kapasitet til den planlagte lasten. (Jenssen, 2019) Generelt sett er det et overskuddsområde i nord slik at økt uttak som regel vil representere redusert belastning på sentralnettsforbindelsene.

6.3 Oppsummering nettilknytning for alle 6 lokasjoner

Det er innhentet opplysninger om kapasitet, redundans og kortslutningsytelse i de aktuelle tilknytningspunktene fra netteiere og ansvarlig for overliggende nett. Informasjonen er sammenfattet i tabell 28 under. Svar fra områdekonsesjonærer er ikke ansett som bindende på dette stadiet.

Transformatorstasjon	Spennings-nivå	Netteier	Kapasitet med N-0	Kapasitet med N-1	Kortslutningsytelse Megavoltampere (MVA)
Steinkjer	66 kV	NTE Nett AS	Ja	Ja	190
Tunnsjødal	132 kV ⁹	NTE Nett AS	Ja	Ja	700 ¹⁰
Mosjøen	132 kV	Helgelandskraft Nett AS	Ja	Nei	900
Storforshei	132 kV	MIP Industrinett AS	Ja	Nei	< 850 ¹¹
Rognan	132 kV	Nordlandsnett AS	Ja	Nei	213
Tjønndalen	132 kV	Nordlandsnett AS	Ja	Ja	325

Tabell 28: Tilknytningspunkt for del-elektrifisering.

Ved forsyning med N-0 forventes en gjennomsnittlig utetid på opptil ca. 13 dager per år. Det meste av dette vil være varslede avbrudd, mens det forventes at ca. 10 – 28 timer er ikke-varslede avbrudd.

Mulige tiltak for å etablere forsyning med N-1 er beskrevet og kostnad for dette grovt estimert i kap. 8.1.

⁹ Fra fjerde kvartal 2021

¹⁰ Estimert verdi, avhenger av endelig transformatorkonstruksjon

¹¹ S_{kmin} er for samleskinne i Svabo transformatorstasjon

7 Spesielle forhold ved mating av del-elektrifisert bane

7.1 Spesielle forhold ved del-elektrifisering med batteri

Ved del-elektrifisering vil det ikke være sammenhengende kontaktledning mellom ladestrekningene. Hver ladestrekning vil være helt uavhengig de andre. Dette betyr at nabomatestasjoner ikke kan hjelpe eller avlaste hverandre, slik det ellers er i det norske banenettet. Det vil ikke være mulig, slik det ellers er, å kjøre med forsiktig pådrag for å kunne få trafikk forbi en matestasjon som ikke fungerer. Togtrafikken er altså helt avhengig av at hver eneste matestasjon fungerer til enhver tid.

Det andre spesielle forholdet er at effektbehovet for hvert tog blir ca. tre ganger større enn for konvensjonelle tog. Dette fordi toget skal lade batteriet for en lang batteristrekning samtidig som det skal kjøre på ladestrekningen.

Det tredje spesielle forholdet er at togets effektbehov på ladestrekningen er konstant høyt (8 MW) helt til batteriet er oppladet. Deretter blir effektbehovet mindre og likt med konvensjonelle tog. Effektbehovet blir da lavere, men svært variabelt i forhold til akselerasjoner, retardasjoner, stigninger og helninger. Slik hurtig variasjon i last kan være utfordrende å håndtere for overliggende nett. Tog med batteri kan imidlertid programmeres slik at effektbehovet blir mer jevnt, også når det ikke lader for fullt, og det kan gi mindre forstyrrelser på overliggende nett.

7.2 Redundans

Alt teknisk utstyr vil ha nedetid på grunn av feil eller vedlikehold. Jernbanedrift foregår etter faste ruteplaner og er spesielt sårbar for svikt i strømforsyningen. Forsinkelser er svært uønsket. For å unngå forsinkelser må alle matestasjonene på en del-elektrifisert Nordlandsbane levere.

En vanlig løsning i matestasjoner med frekvensomformere er å installere to like omformeraggregater, som hver har tilstrekkelig kapasitet til å forsyne banen. Ved feil eller vedlikehold veksles det automatisk eller fjernstyrt over til en frisk enhet. Frekvensomformere er kostbare i seg selv, og to omformere i hver stasjon bidrar til at matestasjonene blir kostbare.

Ved bruk av 50 Hz 25 kV banestrømforsyning er det ikke behov for komplekse omformere. Da kan matestasjonene bestå av kun brytere og transformatorer, men bare dersom forhold i overliggende nett tillater dette. Denne løsningen består av færre, rimeligere og mer pålitelige komponenter. Ettersom komponentene er mer pålitelige, kan det vurderes enklere redundans. Matestasjoner uten frekvensomformere har imidlertid en betydelig ulempe ved at de krever et overliggende nett med stor kortslutningsytelse.

7.3 Asymmetri og kortslutningsytelse

Elektriske tog går på enfaset strøm, mens det overliggende nett har tre faser. Når det overliggende nettet bare blir belastet på en fase skapes det asymmetriske spenninger og strømmer i tilknytningspunktet. Dette skaper igjen problemer for andre trefasekunder i nettet. Høy prosent asymmetri i overliggende nett vil gi varmgang i motorer og generatorer og kan skade utstyr.

Paragraf 3-6 i «Forskrift om leveringskvalitet i kraftsystemet» setter krav til nettselskap om maksimal asymmetri. Det heter: Nettselskap skal sørge for at grad av spenningsasymmetri ikke overstiger 2 % i tilknytningspunkt, målt som gjennomsnitt over ti minutter. Spenningsasymmetri er en tilstand der linjespenningenes effektivverdier, eller fasevinklene mellom etterfølgende linjespenninger, ikke er helt like.

Ettersom det kan være annen asymmetri i nettet, kan ikke jernbanen regne med å få lov til å disponere rammen for asymmetrien i tilknytningspunktet alene. Det er her antatt at matestasjonen ikke kan belaste nettet med mer enn 1% asymmetri i tilkoblingspunktet.

I hvor stor grad en gitt last påvirker spenningene i et system, bestemmes av hvor stivt nettet er. Den såkalte kortslutningsytelsen på et tilknytningspunkt er et mål på hvor stivt et nett er på dette stedet. Kortslutningsytelsen vil variere over året med nettkonfigurasjon (koblingsbilde i nettet) og roterende maskiner som er tilknyttet. Spesielt om sommeren kan det være færre kraftstasjonsgeneratorer i drift og

linjer kan være utkoblet for vedlikehold. Den forventede minimum kortslutningsytelse må tas hensyn til ved utforming av matestasjonene. Verdier for denne er innhentet fra de aktuelle nettselskapene og angitt i foregående kapittel.

Dersom asymmetrien fra en enfaselast skal holdes under 1 % krever det at denne lasten er under 1 % av minimum kortslutningsytelse. En enfaset matestasjon som skal levere til tog med 2x8 MVA krever minimum kortslutningsytelse på minst 1600 MVA i tilknytningspunktet.

Nettselskapene er ansvarlig for at forskriftskravet overholdes. Hvor stor asymmetri som faktisk kan tillates fra en bestemt kunde, må derfor vurderes av nettselskapene for det aktuelle tilknytningspunktet.

8 Teknologier for matestasjoner

Det finnes to hovedtyper teknologi for matestasjoner. -Matestasjoner med frekvensomformere og matestasjoner uten frekvensomformere.

Begge disse typene er aktuelle for del-elektrifisering av Nordlandsbanen. Teknologiene med undertyper er beskrevet i det følgende.

8.1 Matestasjoner med frekvensomformere

Denne teknologien er karakterisert ved at den belaster overliggende nett symmetrisk. Den er ikke avhengig av et stivt overliggende nett med høy kortslutningsytelse. Den innebærer imidlertid bruk frekvensomformere med et større antall halvlederkomponenter og med avansert utstyr for styring og kjøling.

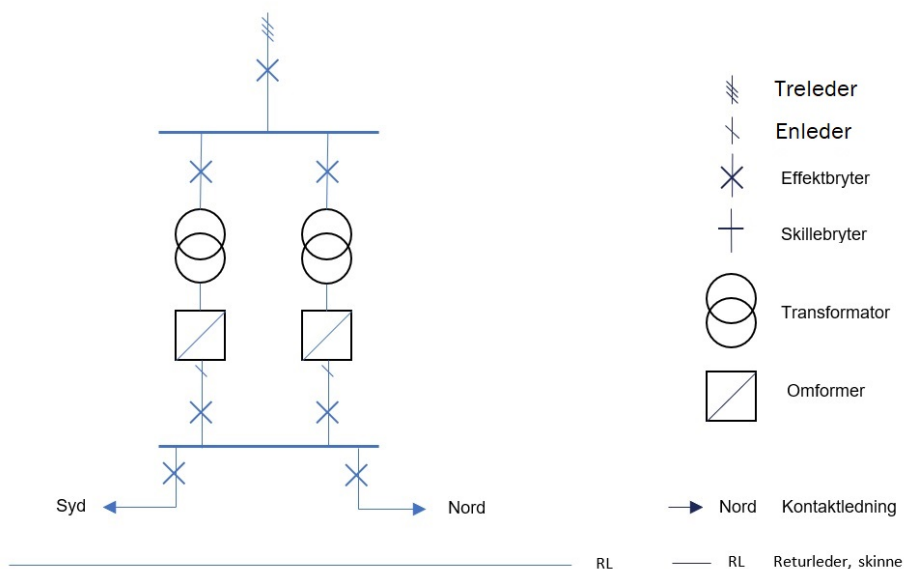
Matestasjoner med frekvensomformere brukes fortrinnsvis der jernbanen mates med en annen frekvens (Nord Europa 16 2/3 Hz) enn overliggende nett (Europa 50 Hz). Men slike matestasjoner kan også brukes til å mate 50 Hz jernbanenett som ikke er synkront med overliggende nett. Det er med andre ord ingenting i veien for å bruke matestasjon med frekvensomformere til å mate 50 Hz jernbanenett, der overliggende nett ikke er stivt nok, slik det kan være langs Nordlandsbanen.

Utfordringen med frekvensomformere, i tillegg til investeringskostnadene, er noe lavere pålitelighet. Dette må løses ved å installere ekstra enhet, såkalt redundans.

Matestasjoner med frekvensomformere med parallell redundans

Denne løsningen benyttes av Bane NOR for forsyning av banestrøm på 16,7 Hz 15 kV.

Figuren under viser en typisk forenklet enlinjeskjema for matestasjon med omformer og parallell redundans. Hver omformer med tilhørende transformator og brytere har tilstrekkelig kapasitet til å forsyne jernbanens effektbehov.



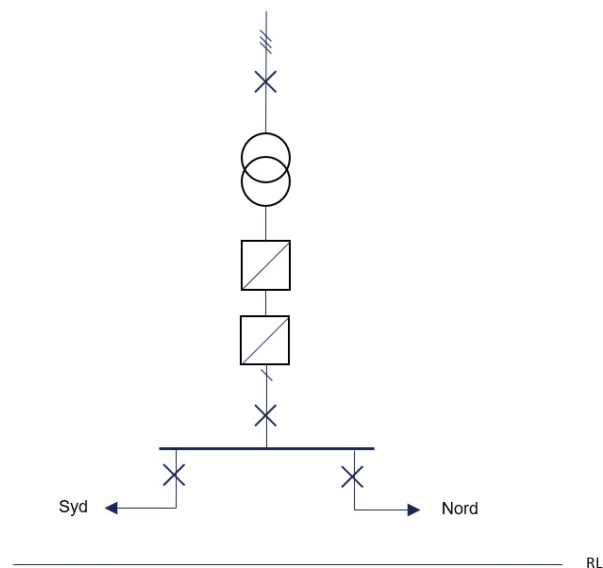
Figur 13: Enlinjeskjema for matestasjon med parallell redundans

Erfaringsmessig er nedetid for denne løsningen i gjennomsnitt over mange år ca. 1 time per år. Erfaringstallet er fra eksisterende roterende og statiske omformerstasjoner med til dels ulik teknologi i forhold til det som bygges nå.

Matestasjoner med frekvensomformere og full parallell redundans er kostbare, men har den egenskapen at de belaster overliggende nett symmetrisk. Løsningen har derfor ingen krav til minimum kortslutningsytelse i tilknytningspunktet.

Matestasjoner med frekvensomformere med seriell redundans

De to siste omformerne som Bane NOR har bygget, har i tillegg til parallell redundans også seriell redundans. Dette innebærer at hver omformer består av en kjede med like moduler, der en eller flere moduler er redundant, overflødig. Ved feil på en modul kobles denne automatisk forbi, og omformereren fortsetter å levere som normalt. Figuren under viser en matestasjon med kun seriell redundans.



Figur 14: Enlinjeskjema for matestasjon med seriell redundans

Figuren over er sterkt forenklet. I virkelige installasjoner vil det være i størrelsesorden 10 omformermoduler i serie i hver av de tre fasebenene. Defekte moduler kan skiftes ut av vanlig driftspersonell, men en del av utstyret i matestasjonen kan bare feilrettes av spesialister.

Dette er en relativt ny teknologi og det foreligger ikke tilstrekkelig driftserfaring til å angi nedetid. En slik løsning vil være rimeligere enn en med parallell redundans. Over tid vil det opparbeides mer driftserfaring med tanke på feil, reparasjonstider, vedlikehold og nedetider. Svakheten med dagens utførelse er at det tar cirka en dag å bytte modul. En dag nedetid er uakseptabel for togdrift, og også her må det installeres en parallell enhet som redundans. Det anbefales likevel å vurdere denne løsningen nærmere for del-elektrifisering med batteritog på et senere tidspunkt, hvis utskifting av modul kan gjøres raskt.

Også denne løsningen gir symmetrisk belastning på overliggende nett og den kan dermed benyttes uavhengig av minimum kortslutningsytelse i tilknytningspunktet.

Begge de to løsningene med frekvensomformere inneholder svært mange avanserte komponenter med kompliserte styring- og kontrollanlegg. Slike anleggene forventes å trenge mer vedlikehold og ha kortere levetid enn de enklere matestasjoner uten frekvensomformere.

8.2 Matestasjoner uten frekvensomformere

I Danmark, Finland og flere land i Midt- og Sør-Europa drives togene med 50 Hz og 25 kV. Som oftest inneholder matestasjonen da kun trafoer og brytere, og ikke frekvensomformere.

Maksimal tillatt asymmetri i overliggende nett er en viktig faktor som må tas hensyn til under utforming av en slik strømforsyning. En løsning for å redusere asymmetrien er bruk av en Scott eller LeBlanc transformator. Disse er konstruert slik at ved ett tog på hver av strekningene i hver retning fra matestasjonen motvirker asymmetrien fra det andre toget. I beste fall (ved lik belastning) elimineres asymmetrien mot overliggende nett. Asymmetrien kan så reduseres ved å benytte revolvert tilknytning langs jernbanelinjen. Dette innebærer at en veksler på fasen som ikke belastes og en del av usymmetrien kanselleres dermed i overliggende nett.

I tett befolkede områder i utviklede land vil det ofte være sterke kraftnett slik at krav asymmetri ikke vil være avgjørende for valg av løsning. På Nordlandsbanen er kraftnettene relativt svake.

Selv i områder med sterke nett velges ofte løsninger med kontaktlednings-seksjoner som mates fra hver ende med kompliserte bryterløsninger for å håndtere den enkelte fasen.. Gjennomgående elektrifisering gir mulighet for koblinger som igjen reduserer asymmetrien mot overliggende nett.

Løsninger og erfaringer fra andre land med 50 Hz banestrømforsyning kan altså ikke direkte brukes ved del-elektrifisering av Nordlandsbanen. Her nevnes de forhold som må tas hensyn til ved valg av teknisk løsning for stasjoner på Nordlandsbanen:

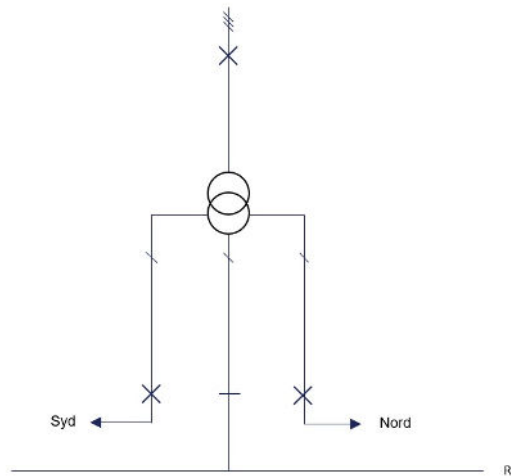
- lav trafikk tetthet
- høy belastning fra enkelt-tog
- enkeltporet drift, ikke sammenhengende kontaktledning
- lang avstand mellom matestasjoner
- togtrafikken helt avhengig av at alle stasjoner leverer
- lav og minimum kortslutningsytelse på tilkoblingspunkter
- lang uttrykningstid for vedlikeholds personell
- vintre med snø og mørke
- resterende jernbanenett i Norge har 16 2/3 Hz banestrømforsyning

Bruk av matestasjoner uten frekvensomformere kan likevel ikke utelukkes på dette planstadiet. Mer detaljerte analyser og vurderinger kan vise at dette er mulig for flere av matestasjonene. Ved å bruke spesialtransformatorer, spesielle koblinger eller spesielle driftsrestriksjoner, så kan kortslutningsytelsen være tilstrekkelig på enkelte tilkoblingspunkter. Etter som nettet stadig styrkes, kan kortslutningsytelse bli tilstrekkelig på enkelte tilkoblingspunkter når del-elektrifisering er aktuell.

I det følgende er det vist forskjellige teknikker for å redusere asymmetrien slik at matestasjoner uten frekvensomformere også kan brukes på relativt svake nett.

Enkel transformatorløsning med to seksjoner

Under vises enlinjeskjema for matestasjon med den enkleste form for transformatorløsning:



Figur 15: Enlinjeskjema over matestasjon med seksjonering og enkel transformatorløsning

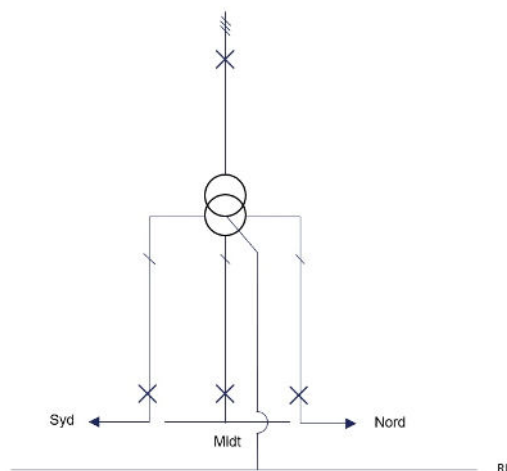
Kontaktledningen er her seksjonert på midten av ladestrekningen. De to seksjonene er tilknyttet hver sin fase med den tredje fase som felles tilbakeleder. Belastningen fra ett tog vil ligge mellom fase 1 og fase 3. Belastningen fra et annet tog på den andre seksjonen vil ligge mellom fase 2 og fase 3. Det er ingen belastning mellom fase 1 og 2, og løsningen vil gi en stor usymmetrisk belastning. Ett tog som trekker 8 MW på en av seksjonene vil gi en usymmetri på 8 MW.

På grunn av seksjoneringen vil imidlertid ett tog på 8 MW på en seksjon og ett tog på den andre seksjonen bare fortsatt gi total usymmetrisk belastning på 8 MW.

Dette er altså en måte å redusere den totale usymmetriske belastningen, men det gir operasjonelle begrensninger for togene. Togene bør møtes omtrent på midten.

Enkel transformatorløsning med tre seksjoner

En variant av overnevnte løsning gir noe mer fleksibilitet:



Figur 16: Enlinjeskjema der ladestrekningen er seksjonert i tre deler og hver er tilknyttet ulike faser

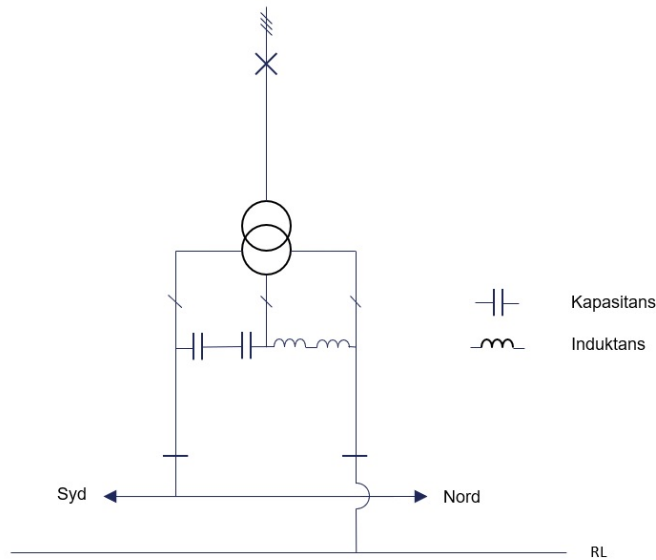
Her er det også slik at to tog på forskjellig delstrekning ikke vil gi usymmetrisk last på mer enn 8 MW. Løsningen er mer fleksibel ved at delstrekningene er kortere og tillater tettere tog.

Ved en mulig framtidig trafikkøkning og tetthet vil tre tog kunne kjøre samtidig på hver sin delstrekning uten at usymmetrisk belastning er mer enn 8 MW. Hvis alle togene trekker like mye vil faktisk usymmetrien falle til 0.

Løsningen er noe mer kostbar ved at ekstra leder til ytterstrekninger må føres langs den midterste strekningen, og den krever to seksjonerings.

Steinmetz metode

En kjent måte å fjerne usymmetri fra enfaselaster er å bruke Steinmetz metode.



Figur 17: Eliminering av usymmetri ved Steinmetz metode

Ved å knytte den tredje faselederne til de to andre med henholdsvis kondensatorer og spoler kan en lage en kunstig reaktiv belastning på tredje fase. Med riktig dimensjonering av kapasitansen og induktansen vil belastningen sett fra trefasesiden se symmetrisk ut.

Hvis lastens admittans tallverdi er lik G må den kapasitive suseptansen være lik $G/\sqrt{3}$ og den induktive suseptansen være lik $-G/\sqrt{3}$

Hvis lasten er konstant er dette en mulig metode. Ved del-elektrifisering vil togene trekke konstant effekt mens de lader. Når de ikke lader vil de ha et betydelig lavere effektbehov, slik at de må suseptansene tilpasses. Dette kan gjøres ved å dele opp kondensatorene og spolene i mindre enheter, der hver kan kortsluttes ved bryter. Alle komponentene, transformator, kondensator, spole og lastbrytere er svært pålitelige enheter. Slik kan en oppnå en betydelig lavere usymmetri.

Ulempen er at store spoler og kondensatorer er kostbare og at teknikken er ikke kjent brukt i forbindelse med matestasjoner og jernbane.

8.3 Matestasjoner - Avanserte teknologier for å redusere asymmetri

Høyhastighetsjernbanene som nå bygges ut i mange land krever meget store matestasjoner. Asymmetri fra enfaset jernbane er også blitt en utfordring i sterke nett. Dette har ført til meget kostbare tilkoblinger i sentralnettet på spenninger over 220 kV. Det er også utviklet løsninger basert på halvlederteknologi som kompenserer for asymmetri i overliggende nett (STATCOM) eller i matestasjonen (RPC – Railway Power Conditioner). Felles for disse er at de er kompliserte, kostbare, lite brukt og det er kort driftserfaring.

Slike løsninger kunne være anvendelig ved del-elektrifisering av Nordlandsbanen. Imidlertid er fordelene med 50 Hz forsyningen, -enklere, rimeligere, mer robuste og vedlikeholdsfrie matestasjoner, da borte.

8.4 Andre tiltak for å sikre pålitelighet

Ettersom togdriften er helt avhengig av at hver matestasjon er i drift og leverer effekt, må kompliserte matestasjoner med mange komponenter ha installert redundans. For matestasjoner som kun inneholder enkle, robuste komponenter kan man akseptere en enklere form for redundans.

Dette kan for eksempel være:

- Reservekomponenter på lager som raskt kan brukes til utskifting
- Komplette matestasjon montert på togvogner klar til å rykke ut for plassering på forberedt sidespor
- Hele matestasjonen montert i containere som enkelt og raskt kan skiftes ut med reserve
- Større batterikapasitet montert i lokomotiv/motorvogn, slik at toget kan komme seg til den neste ladestrekningen uten å gå tom.
- Diesellokomotiv i beredskap som kan trekke tog forbi ladestrekning der matestasjon er ute av drift
- Kombinasjoner av tiltakene over

8.5 Valg av spenningssystem og teknologi

Valg av teknologi for matestasjoner er avhengig av en rekke forhold, som nevnt over. Valg av teknologi for matestasjoner henger også gjensidig sammen med valg av spenningssystem, 50 Hz eller 16 2/3 Hz. Valg av spenningssystem har igjen innvirkning på togene, ved at de må utstyres med større transformatorer (16 2/3 Hz) eller større isolasjonsavstander/dyrere komponenter (50 Hz 25 kV). Tog som kan bruke begge systemer koster mer. Togene må kunne kjøre på det øvrige norske nettet. Kostnader for tilpasning av tunneler og bruer kan også påvirkes ved at 50 Hz 25 kV krever 10 cm mer isolasjonsavstand. Mange steder er det små marginer og store kostnader.

Matestasjonskostnaden utgjør grovt sett en tredjedel av investeringskostnadene ved del-elektrifisering.

Valg av 50 Hz spenningssystem uten frekvensomformere har potensiale til å minst halvere matestasjonskostnadene. Det samme gjelder for vedlikeholdskostnader og elektriske tapkostnader. Det er derfor vel verdt å gå dypere inn i disse problemstillingene senere. Ettersom det ikke finnes gode tilsvarende eksempler på slik del-elektrifisering, vil det være behov for studier og eventuelt prototyper.

Dette prosjektet, som er en mulighets-studie, må legge følgende konservative forutsetninger til grunn: Minimum kortslutningsytelse for tilkoblingspunktene langs Nordlandsbanen er for liten til at matestasjoner uten frekvensomformer med sikkerhet kan brukes.

Det er derfor gjort en forutsetning om at de del-elektrifiserte strekningene skal ha matestasjoner med frekvensomformere. Det er videre valgt spenningssystem 50 Hz 25 kV, selv om 16 2/3 Hz 16,5 kV også kan brukes. 25 kV kontaktledningsanlegg krever 10 cm mer overhøyde i tunneller og overgangsbruer, og dette vil gi ekstra kostnader. Slik høy spenning er likevel valgt, ettersom det vil gi et konservativt kostnadsestimat.

I denne rapporten er det derfor valgt å legge til grunn en løsning med matestasjoner som inneholder to parallelle omformeraggregater med utmating av 50 Hz 25 kV, installert effekt per stasjon er 2 x 16 MVA.

9 Dimensjonering av batterier og ladestrekninger

9.1 Beregningsprogram

De siste årenes utvikling av batterier har gjort det mulig å kjøre batteridrevne biler lange strekninger, opptil 50 mil. Det er nå laget lettere persontog (motorvognsett) som kan kjøre opp mot 10 mil på batteri.

Men er det mulig å tenke seg et godstog på 1000 tonn med batteridrevet lokomotiv som kan kjøre over 70 mil med stigning på over 680 m, slik det er på Nordlandsbanen? Eller må det lades underveis. I så fall, kan det lades i fart og uten stopp på delstrekninger med kontaktledning?

For å finne ut av dette har dette prosjektet laget et beregningsprogram som regner ut og viser strømmer, effekter og batteriets energistatus langs banen som funksjon av en rekke parametere som:

- Hastighet
- Stigning
- Togvekt
- Grunnmotstand
- Laminærmotstand
- Turbulensmotstand
- Akselerasjon
- Innmating
- Lading
- Tilbakemating
- Virkningsgrader
- Batteri ladefaktor
- Hjelpestrømforbruk

Regnearket har gjort det mulig å dimensjonere nødvendig batterikapasitet på et slikt godstog og bestemme lengde og antall på ladestrekninger. Regnearket tydeliggjør også hvordan de meget krevende opp- og nedstigningene på Saltfjellet kan håndteres. På turen over Saltfjellet forekommer det samtidig opplading i oppstigninger, batteridrift i oppstigninger, tilbakemating til nett og til batteri i nedstigninger. Beregningene gjør det så mulig å se hvordan belastningen underveis er i pantograf, transformator, AC/DC omformer, DC/AC omformer og motor. Dessuten hvilken effekt matestasjonene må kunne levere.

Programmet har gjort det enklere å undersøke varianter med flere og færre ladestrekninger, og ikke minst, ulike plasseringer og lengder av ladestrekninger.

Dette er nødvendig for å tilpasse ladestrekningene til tunneller og mulige tilknytningspunkter i det overliggende kraftnettet.

Som vist tidligere, er det utarbeidet en oversikt over tunneler og bruer som kan være kostnadskrevede hindringer for elektrifisering. Denne oversikten er brukt til å finne åpne strekninger som egner seg for rimelig elektrifisering. Ut fra denne oversikten og beregningsprogrammet er det valgt ut de best egnede plasseringer av ladestrekninger.

9.2 Resultat fra beregningsprogram

En aktuell energiberegning tar utgangspunkt i verdiene gitt under. Beregningen er forenklet og det er forutsatt 80 km/h hastighet hele veien.

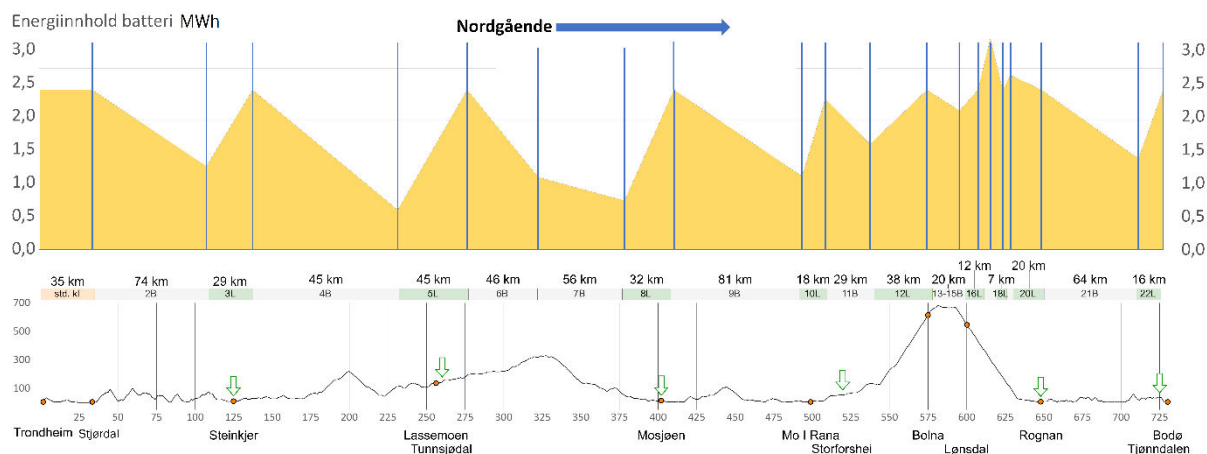
Togspesifikke inputverdier		
Togvekt	1000	tonn
Grunnfriksjon	15200	N
Hastighetsavhengig	158	Ns/m
Turbulens	64	Ns ² /m ²
Pantograf spenning	25	kV
Total batterikapasitet	2,6	MWh
Max opplading til	2,4	MWh
Forhold mellom batterikap. og lading (C-verdi)	3	
Maksimal ladeeffekt blir da (P)	7,8	MWh
Virkningsgrad batteri til hjul	0,9	
Virkningsgrad fra kontakt. til hjul og batteri	0,8	

Figur 18: Togspesifikke inputverdier

Figur 19 og 20 under består av 2 sammenstilte grafer. Øverste graf viser løpende energistatus i MWh på en togreise mellom Trondheim og Bodø. Y - aksene viser energistatus i batteriet opp til 3 MWh.

Nederste graf viser lengdeprofilen for banestrekningen. Høyde i moh på y-aksen og km målt fra Trondheim i X-aksen. Lyse grønne felter viser strekninger som er ladestrekninger (L), strekninger imellom er hvor toget kjører på batteridrift uten kontaktledning (B). Grønne piler er innmatingspunkter fra matestasjoner til kontaktledning.

Nordgående tog



Figur 19: Energistatus for nordgående tog

Tolkningen er at toget starter i Trondheim og går på elektrifisert bane til Stjørdal (km 34,339) rett etter Værnes (km 33,000). Strekningen frem til Stjørdal er helelektrifisert ref. annet prosjekt se* (Bane NOR 2019, notat). Batteriet er ladet opp til 2,4 MWh, som er noe under full kapasitet (2,6 MWh). Dette fordi mange gjentakende oppladninger til full kapasitet vil redusere batteriets levetid.

Deretter går det på batteri forbi Verdal (km 96,035) Energiinnholdet synker da til cirka 1,3 MWh.

Toget møter så en elektrifisert strekning 3L med lengde 29 km som mates fra matestasjon ved Steinkjer. Batteriet lades opp til 2,4 MWh. Deretter følger en lang batteristrekning 4B på 94 km og batteriet når sitt laveste nivå på cirka 0,6 MWh. Et slikt lavt nivå kan unngås ved å forlenge de elektrifiserte strekningene foran eller bak denne lange batteristrekningen, men på begge sider er det tunneler. En optimalisering må gjøres i en eventuell senere fase i et del-elektrifiseringsprosjekt. Det viktigste her er å vise at batteridrift med del-elektrifisering er realistisk. Som det går fram av figur 19, så er turen over Saltfjellet spesielt krevende. Her er det også mulig med en videre optimalisering ved å lade mindre på vei oppover slik at det

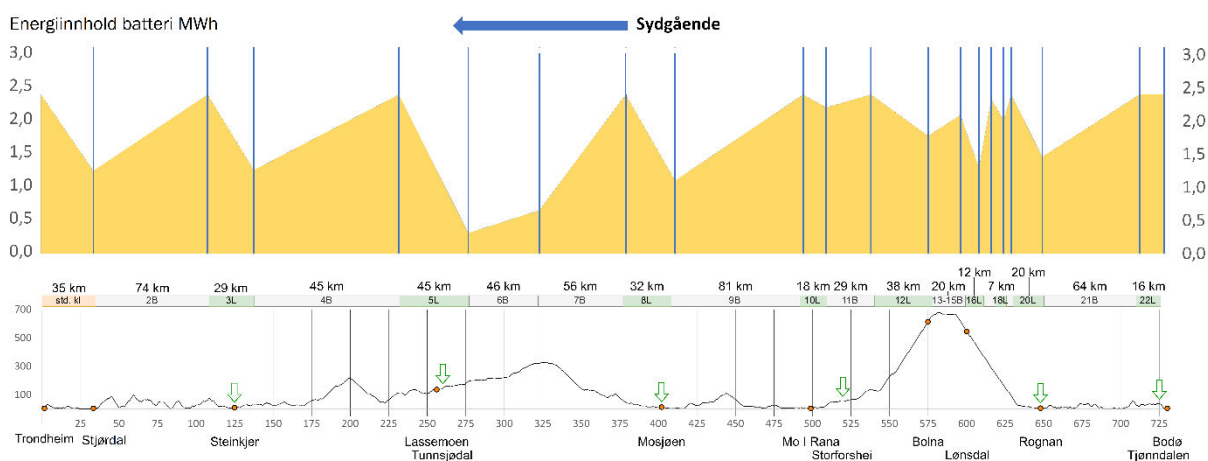
blir plass til tilbakematet energi i batteriet på vei nedover på batteristrekninger. Den ekstra høye toppen i batteristatus på nedtur fra Saltfjellet er et uttrykk for at batteriet ikke kan ta mot hele den energimengden som genereres akkurat der.

Til slutt er det en kort ladestrekning som går helt fram til Bodø. Dette sikrer at toget er fulladet når det skal henses og senere returnere.

Forøvrig så er energistatus kun beregnet per punkt i figuren. Linjene for energistatus mellom punktene vises derfor som rette linjer. I virkeligheten vil linjene være en kurve som varierer mellom punktene, avhengig av stigning, akselerasjon og retardasjon. Togene vil være konstruert slik at de lader maksimalt i starten av en ladestrekning og totalt trekke 8 MW. Etter at batteriene er ladet opp vil batteristatusen være konstant fulladet til neste batteristrekning starter.

Sydgående tog

Tilsvarende figur for sydgående tog vises under. Toget starter i Bodø med 2,4 MWh i batteriene. Det er behov for å elektrifisere en kortere strekning 22L ved endestasjonen for å sikre at togene kan starte ut fulladet. Deretter går toget på batteristrekning 21B til Rognan. Veien opp langs Saltfjellet har tre ladestrekninger 20L, 18L og 16L, ettersom det er svært energikrevende å løfte toget 680 m.



Figur 20: Energistatus for sydgående tog

Som figur 20 over viser er det oppnådd en relativ jevn ladestatus på turen. Unntaket er ved Brekkvasselv ved 5L og 6B (km 277,887), der batteriet bare har cirka 0,3 MWh energi i batteriene. Dette kan unngås ved å elektrifisere en åpen strekning før Trofors. Dette er mulig, men figuren er vist slik for å illustrere utfordringene med del-elektrifisering. Mer detaljerte prosjektering vil vise om noen av de elektrifiserte strekningene som ligger langt fra matepunktet bør forsynes via AT-anlegg.

9.3 Optimalisering av batteristørrelse

Det bør være 20 % restlading i bunnene og 10 % igjen til fullading på toppene for å gi god batterilevetid, ifølge noen av leverandørene. Batteristørrelsen på toget kan likevel reduseres dersom fordeling og lengde på ladestrekningene prosjekteres for å oppnå en jevnere fordeling av topper og bunner. Utfordringen blir da at flere tunneler må elektrifiseres.

På en senere prosjektfase vil det også være mulig å optimalisere effektdimensjoneringen av tog og matestasjoner. Dette vil kreve noe mer elektrifisering på vei opp og ned Saltfjellet, men kan gi rimeligere matestasjoner. Det behøves da mer detaljerte opplysninger om togfølgetider, tillatte restriksjoner på trafikk, varighet av kortslutningsytelser, tunnelstrossing etc.

Det er regnet med at batteriteknologien vil utvikle seg videre i løpet av en tiårsperiode før realisering. Det er forsiktig antatt at energitettheten i forhold til vekt og volum vil forbedres med 20%. Denne gevinsten kan bli spist opp av aldringen av batteriet. Ved slutten av levetiden er det antatt at batteriet vil ha 20 % redusert kapasitet.

10 Klima- og energiforbruk

Dette arbeidet har ikke som mål å diskutere alle miljøfordeler ved elektrifisering av bane mot bruk av fossil diesel. Det kan likevel være nyttig å sette bespart klimagassutslipp ved elektrifisering opp mot klimagassutslipp fra alle arbeider med tunnel, bru, veg og kl som skal til for å elektrifisere banen.

For å få et overordnet bilde på hvilket klimagassutslipp som kan antas bespart ved en elektrifisering av banen brukes tall fra rapporten Nordlandsbanen på biogass, Utarbeidet av Rambøll 2018 på oppdrag fra Norsk Gassforum. Der opplyses det at Nordlandsbanens årlige dieselforbruket ligger på 12,51 millioner liter. Dette årlige forbruket, forutsatt bruk av fossil diesel, vil medføre et klimagassutslipp på ca. 12,51 millioner liter*2,7 kg CO₂/liter= ca. 34 000 tonn CO₂.

I samme rapport er det anslått en kostnad på minst 8000 MNOK (2015-tall) for å elektrifisere hele banen. Erfaring fra baneprosjekter som er konstruksjonstunge viser at klimagassutslippet pr MNOK investert ligger på ca. 50 tonn CO₂. Klimagassutslippet fra en elektrifisering kan derfor overstige 400 000 tonn CO₂. Til sammenligning er klimagassutslippet fra Fellesprosjektet E16 Ringeriksbanen anslått til ca. 40 tonn¹² CO₂ pr MNOK.

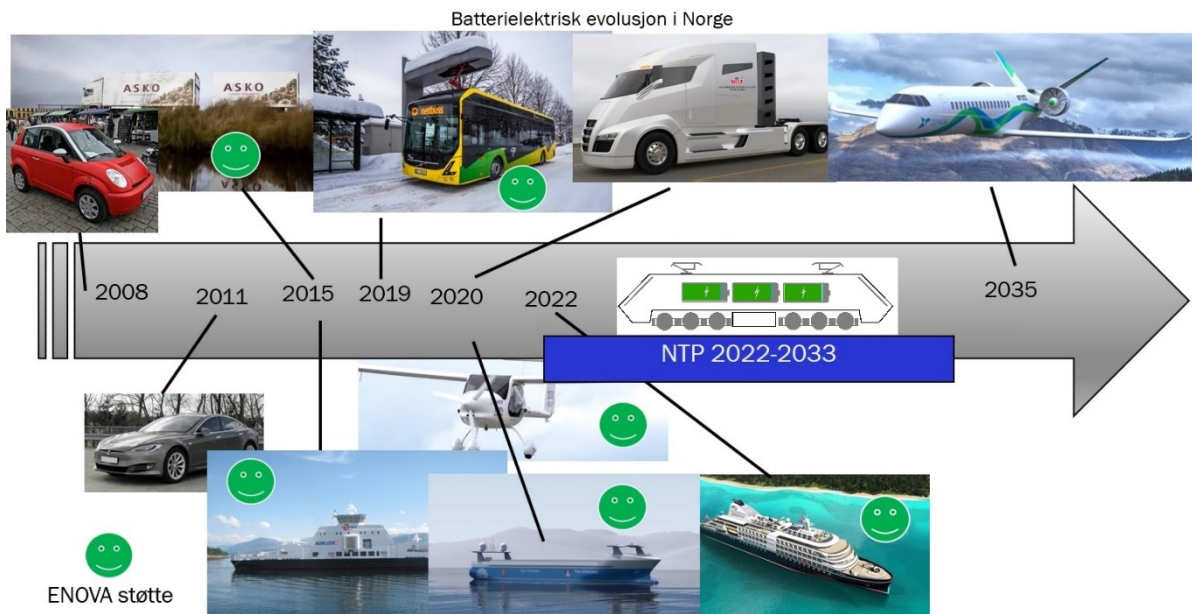
Med disse svært grove antakelsene vil det gå mer enn 12 år før klimagassutslippet fra en komplett elektrifisering være «tilbakebetalt». Gitt kostnadsoverslag for en del-elektrifisering på ca. 2000 til 3000 MNOK, vil klimagassutslippet reduseres til ca. 100 000 - 150 000 tonn CO₂ og være «tilbakebetalt i løpet av 3-4 år.

¹² Det bemerkes at del-elektrifisering ikke er konstruksjonstung slik som Ringeriksbanen og at 20 tonn burde være tilstrekkelig. Teksten som er brukt er fra Norconsult.

11 Konklusjon og forslag til videre arbeid

Del-elektrifisering kan gjennomføres til en mye lavere investeringskostnad enn helelektrifisering. Konseptet drar fordel av ny batteriteknologi som er på full fart inn i transportsektoren.

Det anbefales at konseptet videreutvikles for alle dieselstrekninger samlet. Samtidig utbygging og kjøretøyanskaffelser er viktig for å få lavest mulig priser og oppnå klimamål i tide. Arbeidet i prosjektet har vist at det må en produktutvikling til før del-elektrifisering kan realiseres. Det finnes ikke hyllevare for matestasjoner (transformatorløsning) og batterikjøretøy. Vurderinger er at finansiering og utvikling av kjøretøy er de største utfordringene.



Figur 21: Batterilokomotiv i tidsaksen

Forslagene nedenfor forutsetter beslutning om at prosjektet videreføres.

Veien videre, administrativt:

1. Mulig batterikapasitet i kjøretøyet er avgjørende for mengde infrastrukturtiltak. Siden batteriteknologien har en rask utvikling så må også årstall for anskaffelse bestemmes.
2. Utrede infrastruktur og nettilknytning på alle dieselstrekninger samlet

Veien videre, metodeutvikling av infrastruktur:

3. Utrede kostnadsreduserende tiltak på elektrifisering av ladestrekninger, dette gjelder tunneler, overgangsbruer og jernbanebruer.
4. Utrede teknisk løsning der elektrifisering stopper midlertidig ved inngang til tunnel eller overgangsbru og deretter fortsetter.
5. Utrede alternativer til dagens omformerstasjoner med frekvensomformere. Dette er et viktig kostnadsbesparende tiltak både med hensyn på investering og drift.

12 Vedlegg

Figurer:

Figur 1: Illustrasjon av del-elektrifisering laget av Jernbanemagasinet desember 2019	2
Figur 2: Tunnelfrie strekninger mellom Trondheim og Bodø	10
Figur 3: Løsningsforslag Nordlandsbanen med seksjonene 2-22 vist på lengdeprofil	11
Figur 4: Alternativ 1, profil med høyde 5840mm	18
Figur 5: Alternativ 2, senking av spor	19
Figur 6: Byggetekniske tiltak for beskyttelse av kontaktledning	19
Figur 7: NVE Atlas med målsatt avstand mellom transformatorstasjon og jernbanelinje	33
Figur 8: NVE Atlas med målsatt avstand mellom Tunnsjødal transformatorstasjon og jernbanelinje	37
Figur 9: NVE Atlas med målsatt avstand mellom Mosjøen transformatorstasjon og jernbanelinje	43
Figur 10: NVE Atlas med målsatt avstand mellom Storforshei transformatorstasjon og jernbanelinje	48
Figur 11: NVE Atlas med målsatt avstand mellom Rognan transformatorstasjon og jernbanelinje	57
Figur 12: NVE Atlas med målsatt avstand mellom Tjønndalen transformatorstasjon og jernbanelinje	64
Figur 13: Enlinjeskjema for matestasjon med parallell redundans	73
Figur 14: Enlinjeskjema for matestasjon med seriell redundans	74
Figur 15: Enlinjeskjema over matestasjon med seksjonering og enkel transformatorløsning	76
Figur 16: Enlinjeskjema der ladestrekningen er seksjonert i tre deler og hver er tilknyttet ulike faser	76
Figur 17: Eliminering av usymmetri ved Steinmetz metode	77
Figur 18: Togspesifikke inputverdier	80
Figur 19: Energistatus for nordgående tog	80
Figur 20: Energistatus for sydgående tog	81
Figur 21: Batterilokomotiv i tidsaksen	83

Tabeller:

Tabell 1: Start og stop alle ladestrekninger og distanser	11
Tabell 2: Berørte tunneler og overgangsbruer ved helelektrifisering og del-elektrifisering	12
Tabell 3: Tiltak og kostnader på 37 overgangsbruer og 2 fagverksbruer	16
Tabell 4: Tunneler med kostnader for forberedelser til kl	21
Tabell 5: Summerte kostnader tunnel og bruarbeider	22
Tabell 6: Kryssingsspor på ladestrekningene	23
Tabell 7: Oversikt kostnader kl per ladestrekning og totalt for alle ladestrekninger	23
Tabell 8: Alle kryssingsspor på helelektrifisert bane fra Stjørdal til Bodø	25
Tabell 9: Kostnader helelektrifisering (MNOK)	26
Tabell 10: Kostnader del-elektrifisering	27
Tabell 11: Kostnader sammenlignes	27
Tabell 12: Infrastrukturobjekter på 3LADE	30
Tabell 13: Infrastrukturobjekter på 8LADE	35
Tabell 14: Infrastrukturobjekter på 8LADE	39
Tabell 15: Infrastrukturobjekter på 10LADE	45
Tabell 16: Infrastrukturobjekter på 12LADE	49
Tabell 17: Infrastrukturobjekter på 16LADE og 18LADE	52
Tabell 18: Infrastrukturobjekter på 20LADE	53
Tabell 19: Infrastrukturobjekter på 22LADE	58
Tabell 20: Tilknytningspunkt for del-elektrifisering	65
Tabell 21: Tilknytningspunkt for del-elektrifisering	65
Tabell 22: Minimum kortslutningsytelse i Mosjøen og nærliggende transformatorstasjoner	66
Tabell 23: Utetid 132 kV linjer mellom Marka og Mosjøen og Røssåga og Mosjøen	67
Tabell 24: Estimert investeringskostnad for å oppnå forsyning med N-1 i Mosjøen	67
Tabell 25: Utetid 132 kV linje mellom Svabo og Storforshei	68
Tabell 26: Estimert investeringskostnad for å oppnå forsyning med N-1 i Storforshei	68
Tabell 27: Utetid 132 kV linje mellom Fauske og Rognan	69
Tabell 28: Tilknytningspunkt for del-elektrifisering	70

Referanser:

- Norconsult, 2019 rapport: Utredning Del-elektrifisering av Nordlandsbanen. Jernbanedirektoratet saksnummer: 201900403- Delmål 3- Del-elektrifisering-infrastruktur tiltak. Saksnummer i 360: 201900403
- NULLFIB, 2019 infrastrukturoversikt: Oversikt over infrastruktur på Nordlandsbanen med link til bilder og tegninger. Saksnummer i 360: 201900403
- Sweco, 2016 rapport: Elektrifisering Trønder- og Meråkerbanen. Fagrapport konstruksjoner. JBV ETM-00-K-00001
- JDir, 2019, rapport: Hensettingskonsept Norge 2022-2035
- Bane NOR, 2019 teknisk regelverk: Kontaktledning/Prosjektering og Bygging/Mekanisk
- Bane NOR, 2019 rapport: Trafikkpakke 2. Vurdering av lasteprofiler for sovevogner. Avtale K02-33 mellom Bane NOR og JDir.
- Bane NOR 2019, notat: K03-62 Elektrifisering av Trønder- og Meråkerbanen (Trondheim-Stjørdal, Hell-Riksgrensen)