



Jernbane-
direktoratet

Samfunnsøkonomisk analyse

Vedlegg 6.1 KVV GREEN

Dokument nr: 202300894-10

Dato: 03.10.2023

Sammendrag

Det er gjennomført en samfunnsøkonomisk analyse av 4 konsepter i konseptvalgutredningen for reduserte klimagasser på jernbanens dieselstrekninger, kalt KVVU GREEN. For Røros- og Solørbanen er disse banene så sterkt knyttet sammen for godstrafikken at vi velger å se disse banene sammen i den samfunnsøkonomiske analysen. Referansealternativet og de 4 konseptene på Nordlandsbanen, Raumabanen og Røros- og Solørbanen er:

Konseptene er:

- K0 – Referanse (Diesel)
- K2a – Hydrogen
- K2b – Hydrogen med deelektrifisering
- K3 – Batteri
- K4 – Elektrifisering

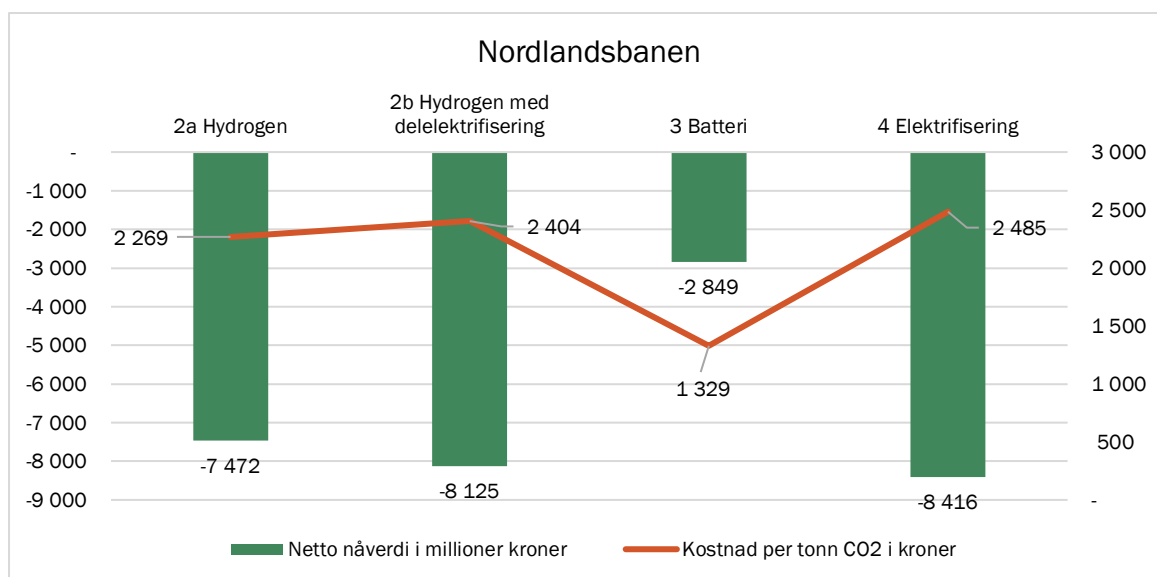
Hvert alternativ/konsept skal ifølge vanlig praksis for samfunnsøkonomiske analyser sammenlignes med et referansealternativ som her er dagens dieseldrift. CO₂ utslipp og lokale utslipp er prissatt. Det betyr at om et konsept kommer ut i negativ nåverdi er dagens dieseldrift mer lønnsom samfunnsøkonomisk enn ny energibærer. Motsatt er det om nåverdien er positiv, da er ny energibærer samfunnsøkonomisk lønnsom. Dette forutsetter at inndataene til den samfunnsøkonomiske analysen er realistiske.

Det er gjort et omfattende arbeid i KVVU-en med innsamling av data og energisimuleringer. Ved hjelp av dette er det beregnet de parametre som endrer seg ved å gå bort fra dieseldriften. De viktigste parametrene er:

- Investeringskostnader på infrastrukturen
- Kjøretøymateriell
- Energi- og vedlikeholdskostnader på kjøretøyene
- Kjøretidsreduksjoner godstog
- Prissatte lokale og globale utslipp

Det som kjennetegner konseptene med batteritog og elektriske tog er at de er mye mer energieffektive og koster mindre å fremføre togene for operatørene enn dieseldriften. Hydrogenkonseptene, spesielt 2a, gir ikke slike store reduksjoner i driftskostnadene for operatørene. Men i en samfunnsøkonomisk analyse har investeringskostnadene ofte vel så stor betydning, og her er det langt mindre investeringer ved hydrogenkonseptene. Dette tilsier at hvis det er relativt mye togtrafikk så vil det favorisere alternativene elektriske tog og batteritog, mens hvis det er relativt lite togtrafikk, så vil det favorisere alternativene med hydrogen.

Nedenfor vises resultatene på Nordlandsbanen.



Figur 1 Netto nåverdier og kostnader pr tonn CO₂ redusert for konseptene på Nordlandsbanen.

Beregningen viser at batterikonseptet kommer best ut på Nordlandsbanen med en netto nåverdi på - 2 849 millioner kroner. Ingen av konseptene er samfunnsøkonomisk lønnsomme med positiv netto nåverdi. Alternativet som kommer best ut er diesel som er nullalternativet ifølge denne samfunnsøkonomiske beregningen med prissetting av CO₂ utslipp etter hovedalternativet til Finansdepartementet. Det som prissettes er kun utslipp direkte fra dieselforbruk på anleggsplassen og til massetransport. Utslippene knyttet til anleggsplassen er begrensede og utgjør mest for elektrifisering med 45 000 tonn CO₂ på Nordlandsbanen. Andre utslipp som er innenfor kvotesystemet for CO₂ utslipp antas fanget opp i investeringskostnadene.

Kostnaden pr tonn CO₂ viser netto nåverdi ekskludert CO₂ prissetting delt på antall tonn CO₂ redusert fra byggestart og ut driftsperioden på 75 år. Batteri kommer klart best ut på Nordlandsbanen med 1 329 kr pr tonn CO₂ redusert. Denne størrelsen blir mindre desto mindre negativ netto nåverdien er. Så batteri er det klart mest kostnadseffektive tiltaket for å redusere CO₂ utslipp på Nordlandsbanen.

Det er forholdsvis store investeringer i infrastruktur som kontaktledninger, omformerstasjoner med mer på omtrent 6,4 milliarder kroner for batteri, men effekten via billigere og mer effektiv drift gjør at batterikonseptet kommer best ut på Nordlandsbanen, der det kjøres relativt mye tog sammenlignet med andre jernbanestrekninger det kjøres dieseltog. Infrastrukturen har en levetid på 75 år for KL-anlegg og det er derfor regnet slike positive virkninger så langt frem i tid fra antatt åpningsår for drift i 2033.

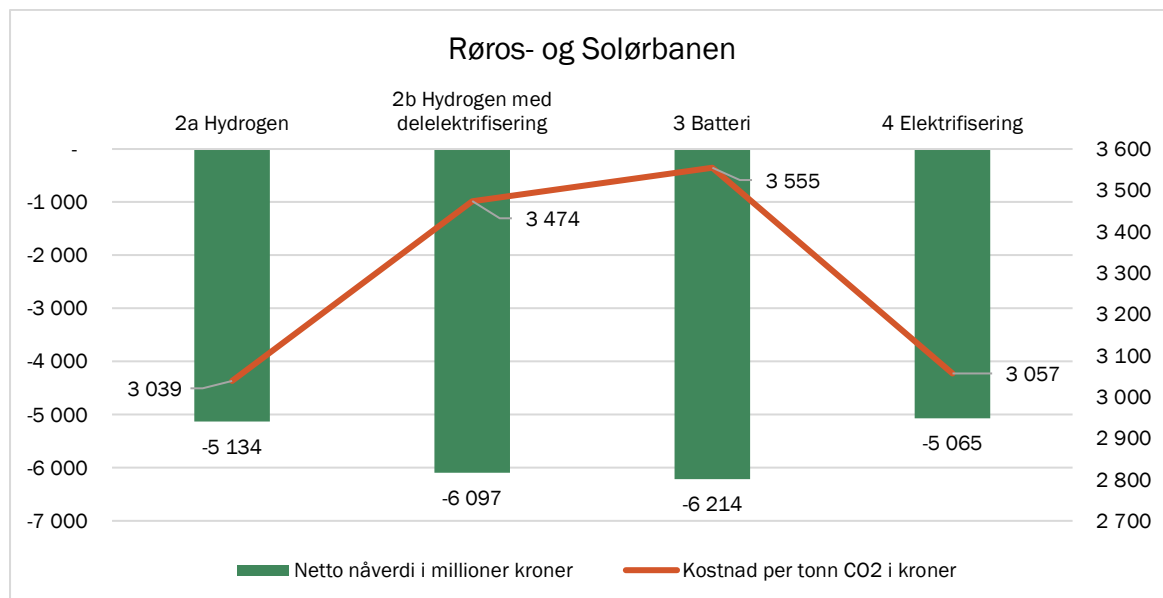
Til sammenligning har hydrogen 2a investeringer i infrastruktur som blant annet hydrogen fyllestasjoner og jernbanespor tilknyttet disse samt verksteder og beredskapstiltak på 2,8 milliarder kroner, altså godt under halvparten av batterikonseptet. Men hydrogen 2a kommer dårligere ut på grunn av høye driftskostnader for togene. Både batteri og hydrogen har dyrere togmateriell enn diesel, men det er kostnaden ved å fremføre togene som blir avgjørende. Det er også regnet godsnytte av at togene kjører fortere på Nordlandsbanen med ca. 25 minutter mellom Bodø og Trondheim for batterikonseptet og hydrogen 2b samt 50 minutter for elektriske lokomotiv. Elektrisk er mest effektive driftsform. Men høye investeringer på infrastrukturen på 21,3 milliarder kroner, gjør at de andre tre konseptene kommer bedre ut.

Hydrogenkonseptet med deelektrifisering er ikke så effektivt, og det er dyrere å fremføre togene enn for batterikonseptet. Det krever mer investeringer enn konsept 2a på grunn av deelektrifiseringen. Det er investeringer på jernbaneinfrastrukturen på 4,6 milliarder kroner for konsept 2b på Nordlandsbanen. Hydrogen med deelektrifisering gir i nærheten av samme energi- og vedlikeholdskostnader for godstog som dagens dieseldrift og en forbedring for persontogene på Nordlandsbanen. For batteri er det store reduksjoner i fremføring av togene for godsoperatørene som en antar slår ut i nytte for godskundene gjennom at de betaler mindre for transporten. Det er også store reduksjoner for persontransportoperatørene.

Det er gjennomført beregninger med nasjonal godsmodell for elektrifisering av Nordlandsbanen og det viser en god del overføring fra veg. Vi har ikke regnet inn en slik gevinst på nytte i batterikonseptet da

godsmodellen ikke har batteri som energiform. Men resultatet for netto nåverdi for elektrifisering med bruk av godsmodellen viser i nærheten av samme netto nåverdi når vi har gjennomført en egen beregning.

Nedenfor er resultatene for Røros- og Solørbanen:

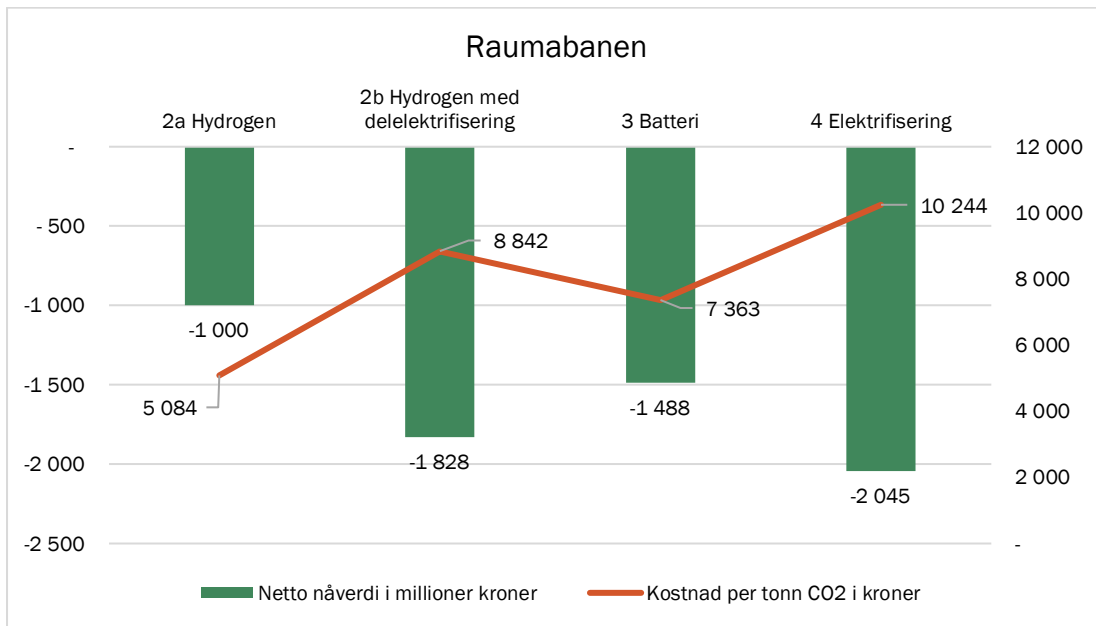


Figur 2 Netto nåverdier og kostnad pr tonn CO2 redusert på Røros- og Solørbanen.

For Røros- og Solørbanen kommer elektrifisering knapt bedre ut enn nest beste konsept Hydrogen 2a etter netto nåverdi. Selv om elektrifisering har en investeringskostnad på 8,6 milliard kroner. Det skyldes at hydrogenkonseptene har så mye større negative konsekvenser for driften gjennom dyrere togmateriell og at det er dyrere å kjøre hydrogentog enn elektriske tog. Dessuten har hydrogenkonseptene betydelige investeringer på infrastrukturen, særlig konsept 2b med 2,4 milliarder kroner. Batterikonseptet kommer dårligst ut på grunn av relativt høye investeringer på infrastrukturen på 5,4 milliarder kroner og kostbart togmateriell samt batterikostnader.

Det presiseres at ingen av konseptene er samfunnsøkonomisk lønnsomme på Røros- og Solørbanen, da netto nåverdien er klart negativ, det vil si at referansealternativet diesel kommer best ut. Miljødirektoratet opererer med tre tiltakskategorier for tiltakskostnader målt i kr pr tonn redusert CO₂ og det er under 500 kr, mellom 500-1 500 kr og over 1 500 kr. For Røros- og Solørbanen havner alle konsepter i tiltakskategori 3 over 1 500 kr pr tonn redusert CO₂. Hydrogen 2a kommer så vidt bedre ut enn elektrifisering rangert etter kostnad per tonn redusert CO₂. For hydrogen vil det være betydelige utslipp i forbindelse med drift og vedlikehold som ikke fanges opp i kostnaden per tonn CO₂. Utslipp i forbindelse med byggefase, både direkte og indirekte, fanges derimot opp i kostnaden per tonn CO₂, og denne er betydelig større for elektrifisering. I tillegg er elektrifisering å foretrekke av hensyn til tilsvarende driftsform på tilstøtende banestrekninger som Kongsvinger- og Dovrebanen.

Nedenfor er resultatene for Raumabanen:



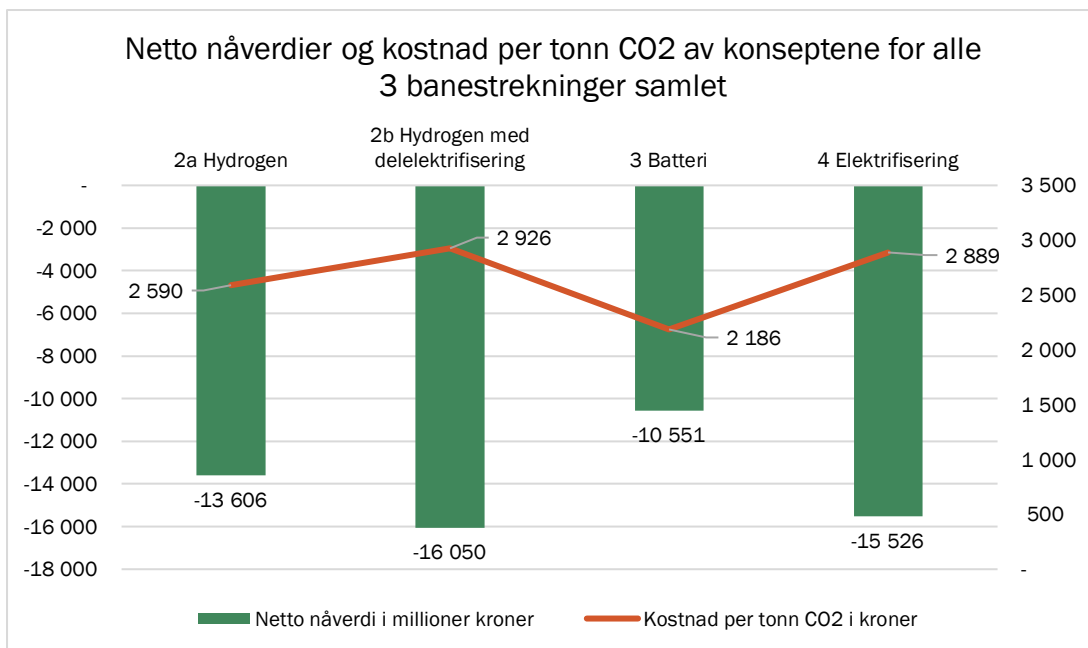
Figur 3 Netto nåverdier og kostnader per tonn redusert CO₂-utslipp på Raumabanen

Heller ikke for Raumabanen kommer noen konsept ut i positiv samfunnsøkonomisk netto nåverdi. Hydrogen 2a kommer best ut med en netto nåverdi på fremtidige nytte- og kostnadsvirkninger i 75 år på -1 million kroner og en tiltakskostnad på 5 084 kr pr tonn redusert CO₂. Raumabanen er korteste banestrekning og i forhold til Røros- og Solørbanen er det betydelig mindre investeringer. Men tiltakskostnaden pr tonn redusert CO₂ blir mye høyere på Raumabanen på grunn av lite togtrafikk på strekningen.

Batterikonseptet er beregnet å kreve 1,1 milliard kroner i investeringer på jernbaneinfrastrukturen. Det gir positive virkninger for godskundene med en nedgang på -21 millioner kroner i sparte transportkostnader i 2060. Da er også kjøretidsgevinster på 19 minutter fra Åndalsnes og opp til Dombås tatt med.

Hydrogenkonsept 2a krever mindre investeringer på infrastrukturen enn 2b, og kommer derfor best ut av hydrogenkonseptene.

Figuren nedenfor viser samlet netto nåverdi og kostnad per tonn CO₂ av konseptene for de tre aktuelle jernbanene samlet.



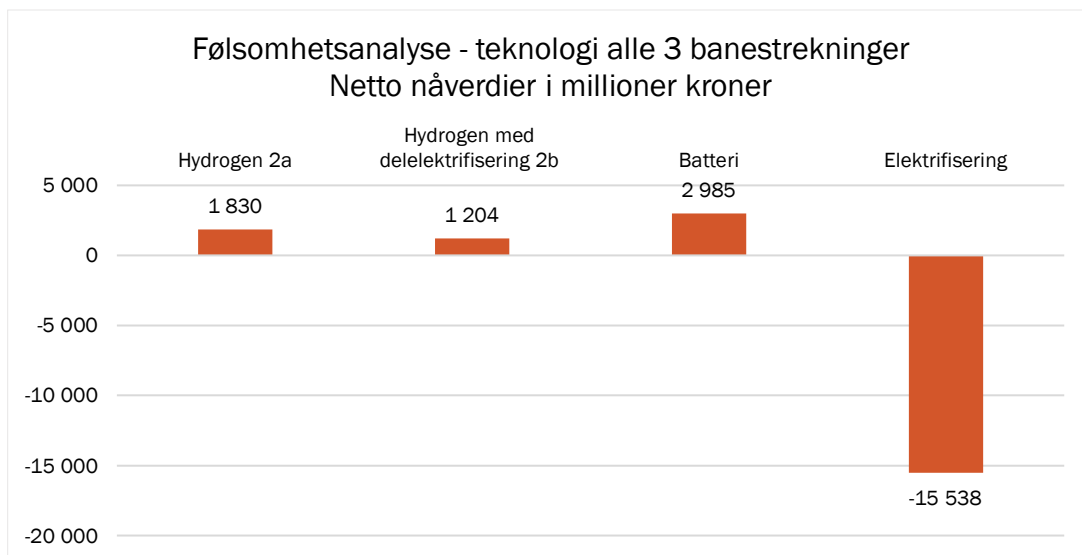
Figur 4 Netto nåverdier og kostnad per tonn CO2 av konseptene for alle 3 banestrekninger samlet

Samlet sett kommer batteri best ut med minst negativ nåverdi på – 10 551 millioner kroner, eller -10,5 milliarder kroner. Nest best kommer hydrogen 2a med – 13,6 milliarder kroner. Siden nåverdien av alle alternativ er negativ kommer referansealternativet diesel best ut når en prissetter CO₂ utslipp etter hovedalternativet for karbonprisbane.

Det er særlig at batterikonseptet kommer klart best ut av alle nye energiformer der det kjøres mest tog på Nordlandsbanen som betyr mest for at netto nåverdien for batteri er ca. 3 milliarder kroner bedre enn hydrogen 2a som kommer nest best ut. Hydrogenkonseptene kommer dårligere ut enn batteri som er en følge av høye driftskostnader og kostbart togmateriell, da investeringene på infrastrukturen er høyere for batteri og elektrisk.

Det er også gjort følsomhetsanalyser med en mer optimistisk teknologiutvikling og endrede energipriser som endrer på rangeringen av konsepter i favør av hydrogen ved lave energipriser. Så resultatene ovenfor er beheftet med usikkerhet.

Spesielt er det sett på følsomhetsanalyser der umodne teknologier som hydrogen og batteri får en mer optimistisk teknologiutvikling mens det antas at for diesel og elektrisk drift er det tilnærmet som i dag. Figuren nedenfor viser resultatet med en optimistisk teknologiutvikling for alle baner der det er lagt til grunn mer effektivitet i togfremføringen, rimeligere kjøretøy, mindre kostnader til batteri/deelektrifisering og fyllestasjoner hydrogen for batteri og/eller hydrogendrift, mens det ikke er tilsvarende endringer for referansealternativet diesel og elektrisk drift.

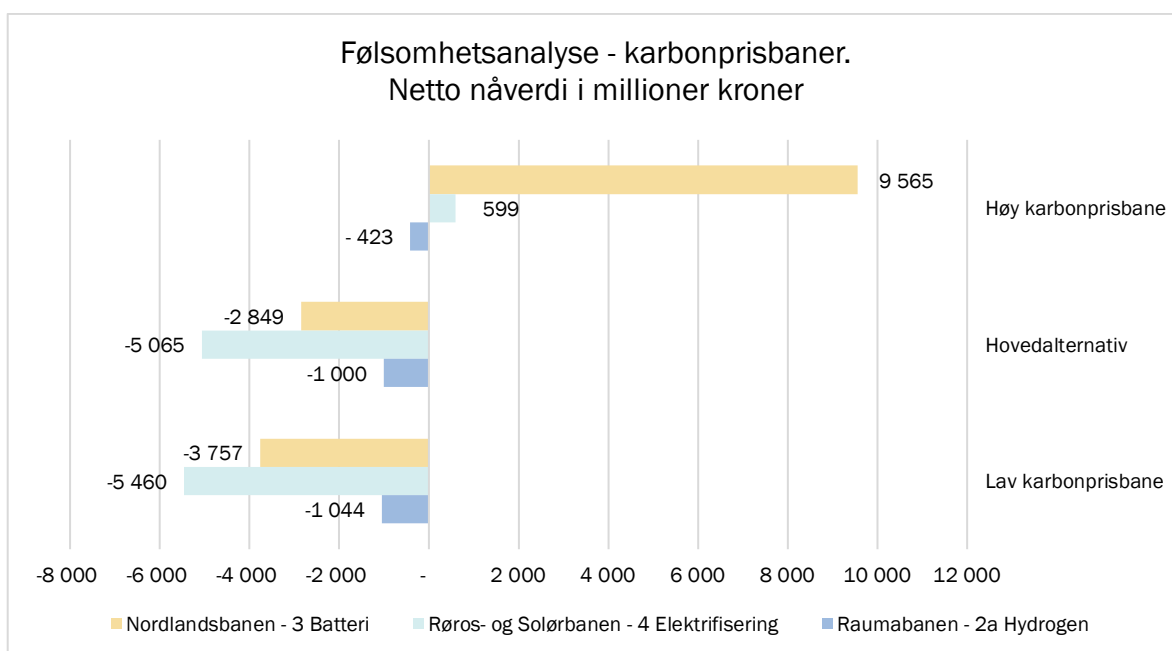


Figur 5 Følsomhetsanalyse - teknologi alle 3 banestrekninger

Med et slikt scenario blir både batteri- og hydrogenkonseptene klart samfunnsøkonomisk lønnsomme. Det er imidlertid hydrogenkonsept 2a som får mest fordeler av en slik optimistisk teknologisk utvikling som reduserer driftskostnadene, da det er her potensialet for effektivisering av driften er størst. Derfor viser figuren at hydrogen kommer adskillig nærmere batteri i netto nåverdi enn i basisalternativet ovenfor.

Batteri kommer best ut for alle 3 banestrekningene i basisalternativet, følsomhetsanalyser med trafikkvekst, høye energipriser og optimistisk teknologiutvikling. Mens hydrogen 2a kommer best ut kun ved lave energipriser. Det synes rimelig da å konkludere med at batterikonseptet er beste konsept om det blir aktuelt å innføre samme energiform på alle 3 banestrekningene.

I denne nyttekostnadsanalysen har karbonprisbaner stor betydning. Karbonprisen/CO₂ prisen avgjør nyttegevinsten av reduserte CO₂ utslipp. Det er lagt opp til følsomhetsanalyser med lav og høy karbonprisbane i retningslinjene for samfunnsøkonomiske analyser til Finansdepartementet. Det er sett på hvilke utslag dette gir for de beste konseptene målet etter nåverdi på hver banestrekning. Resultatet ble som i tabellen nedenfor.



Figur 6 Følsomhetsanalyse - karbonprisbaner

Prisene er usikre. Den høye prisbanen tar utgangspunkt i det FNs klimapanel (IPCC) mener er nødvendig for å begrense global oppvarming til 1,5 grader. Med en slik prissetting blir batterikonseptet på Nordlandsbanen svært lønnsomt med en netto nåverdi på 9,6 milliarder kroner. Elektrifisering av Røros- og Solørbanen kommer også ut i samfunnsøkonomisk lønnsomhet. Dette illustrerer hva usikkerheten om anslag i karbonpris gir som utslag her. En ny artikkel i tidsskriftet Samfunnsøkonomen nr 3 2023 konkluderer med at hovedalternativet for karbonprisbane ligger for lavt, og forfatterne anbefaler en karbonprisbane som ligger i nærheten av banen FNs klimapanel anbefaler (Rosendal K. E., 2023).

Det er gjort en analyse av ikke prissatte konsekvenser, som antas relativ små i dette prosjektet da det ikke skal bygges nye jernbaner. Men det er en del konsekvenser særlig knyttet til elektrifisering og infrastruktur knyttet til fyllestasjoner for hydrogen. Problemstillingen knyttet til samfunnssikkerhet antas å være av betydning i vurderingen av hydrogen som driftsform.

Tabellene nedenfor sammenstiller rangeringen av konsept for den enkelte banestrekning etter både prissatte og ikke prissatte konsekvenser i basisalternativet. Konklusjonen er at de ikke prissatte virkninger ikke vil endre rangeringen etter prissatte virkninger for beste konsept på de 3 jernbanene, men det blir noen endringer i rekkefølgen under beste konsept.

Nordlandsbanen

Tabell 1: Rangering av konsepter etter både prissatte og ikke-prissatte virkninger på Nordlandsbanen

Rangering etter prissatt kostnad	Netto nåverdi (Mill NOK)	Samfunnsøkonomisk kostnad per tonn redusert CO ₂ -utslipp i kr	Rangering etter ikke-prissatt påvirkning	Endrer vurderingen av IPV den prissatte rangeringen?	Foreslått rangering
3 Batteri	-2 849	1 329	3	Vurdert å være sammenfallende for batteri som beste konsept i IPV og etter prissatte. Hydrogen 2a har ca. 1 milliard kroner i bedre netto nåverdi enn 4 elektrifisering og vi vurderer det slik at 2a samlet sett kommer bedre ut. For 2b og 4 er forspranget på 369 millioner kroner for 2b så vidt lite at vi rangerer 4 foran.	3
2a Hydrogen	-7 472	2 269	4		2a
2b H ₂ med del-elektrifisering	-8 125	2 404	2a		4
4 Elektrifisering	-8 416	2 485	2b		2b

Røros- og Solørbanen

Tabell 2 Rangering av konsepter etter både prissatte og ikke-prissatte virkninger på Røros- og Solørbanen

Rangering etter prissatt kostnad	Netto nåverdi (Mill NOK)	Samfunnsøkonomisk kostnad per tonn redusert CO ₂ -utslipp i kr	Rangering etter ikke-prissatt påvirkning	Endrer vurderingen av IPV den prissatte rangeringen?	Foreslått rangering
4 Elektrifisering	-5 065	3 057	3	4 er marginalt bedre enn 2a vurdert etter de prissatte virkningene. Det samme er 2b sammenlignet med 3. Men hydrogenkonseptene 2a og 2b skårer dårligst på IPV, spesielt for naturmangfold. Fyllestasjonen på Støren er lagt til et svært viktig naturområde hvor flere utredninger konkluderer med at området bør spares for alle typer inngrep. Dette tilsier at 4 bør rangeres foran 2a og 3 foran 2b. Vår vurdering er at forskjellen mellom batteri og elektrisk er for stor etter prissatte til at rangeringen endres når ikke-prissatte tas i betraktning. Elektrisk kommer ut med en netto nåverdi som er 1147 mill kr bedre enn batteri. Forskjellen mellom batteri og 2a er på over 1 milliard kroner. Usikkerheten knyttet til plassering og ulikheten i netto nytte gjør at vi anbefaler en rangering der 2a settes foran 3. Samtidig er forskjellen mellom 3 og 2b mindre, og de negative virkningene på naturmangfold gjør at 2b kommer dårligst ut i rangeringen etter IPV. Det understrekes at virkningen 2a og 2b har på naturmangfold, slik konseptene foreligger, gir arealbeslag av særlige viktige naturtyper av både lokal og nasjonal interesse.	4
2a Hydrogen	-5 134	3 039	4		2a
2b H ₂ med del-elektrifisering	-6 097	3 474	2a		3
3 Batteri	-6 214	3 555	2b		2b

Raumabanen

Tabell 3 Rangering av konsepter etter både prissatte og ikke-prissatte virkninger på Raumabanen

Rangering etter prissatt kostnad	Netto nåverdi (Mill NOK)	Samfunnsøkonomisk kostnad per tonn redusert CO ₂ -utslipp i kr	Rangering etter ikke-prissatt påvirkning	Samfunnsøkonomisk vurdering, endrer IPV den prissatte rangeringen?	Foreslått rangering
2a H ₂	-1 000	5 084	2a	Vurdert å være sammenfallende, IPV har samme rangering som de prissatte og endrer dermed ikke rangeringen.	2a
3 Batteri	-1 488	7363	3		3
2b H ₂ med del-elektrifisering	-1 828	8 842	2b		2b
4 Elektrifisering	-2 045	10 244	4		4

Utarbeidet av: Nils Henning Anderssen	Kontrollert av: Mari Baklund Størseth
Godkjent av: Stephen Oommen	Dokumentnummer: 202300894-10
Dato: 03.10.23	Versjon: 03
Endringslogg: V2- Rapporten er oppdatert med bakgrunn i 2.usikkerhetsanalyse. V3- Rapporten er oppdatert med nye forutsetninger om at prissetting av CO ₂ ikke skal inngå i størrelsen samfunnsøkonomisk kostnad pr redusert tonn CO ₂ utslipp, jfr. vedlegg 4.	

Innhold

1	Innledning - mandat for analysen.....	12
2	Forutsetninger.....	15
2.1	Generelle forutsetninger i nyttekostnadsanalysen.....	15
2.2	Investeringer og drift av jernbaneinfrastruktur.....	15
2.3	Investeringer kjøretøy.....	16
2.4	Transportkostnader gods/godsnytte – beregninger i Nasjonal godsmodell (NGM).....	17
2.4.1	Generelt om godsmodellen og beregninger av nytte av standard kontaktledning.....	17
2.4.2	Tilleggsnytte raskere transport på jernbanen ved overgang til ny energiform.....	18
2.5	Driftskostnader kjøretøy persontog og trafikantnytte.....	20
2.6	Forutsetninger antall togkilometer.....	21
2.7	Nåverdi og beregningsperiode.....	21
2.8	Forutsetning om globale utslipp av CO ₂ og håndtering i den samfunnsøkonomiske analysen.....	22
2.9	Fordelingsvirkninger.....	23
3	Investering jernbaneinfrastruktur og endring i driftskostnader togmateriell for de ulike strekningene	24
3.1.	Kostnader ved innføring av ny energiform.....	24
4	Samfunnsøkonomisk analyse.....	28
4.1	Nordlandsbanen.....	29
4.1.1	Basisresultat konsept 2a hydrogen på Nordlandsbanen.....	29
4.1.2	Basisresultat konsept 2b hydrogen med delelektrifisering på Nordlandsbanen.....	30
4.1.3	Basisresultat konsept 3 batteri på Nordlandsbanen.....	30
4.1.4	Basisresultat konsept 4 elektrifisering av Nordlandsbanen.....	31
4.1.5	Resultater på Nordlandsbanen.....	31
4.2	Røros- og Solørbanen.....	32
4.2.1	Basisresultater konsept 2a hydrogen på Røros- og Solørbanen.....	32
4.2.2	Basisresultater konsept 2b hydrogen med delelektrifisering på Røros- og Solørbanen.....	32
4.2.3	Basisresultater konsept 3 batteri på Røros- og Solørbanen.....	33
4.2.4	Basisresultater konsept 4 elektrifisering av Røros- og Solørbanen.....	33
4.2.5	Sammenligninger av godsmodellberegninger (NGM) og beregninger uten NGM.....	34
4.2.6	Resultater på Røros- og Solørbanen.....	35
4.3	Raumabanen.....	36
4.3.1	Basisresultater konsept 2a hydrogen på Raumabanen.....	36
4.3.2	Basisresultater konsept 2b hydrogen med delelektrifisering på Raumabanen.....	36
4.3.3	Basisresultater konsept 3 batteri på Raumabanen.....	37
4.3.4	Basisresultater konsept 4 elektrifisering av Raumabanen.....	37
4.3.5	Resultater på Raumabanen.....	38
4.3.6	Resultat for alle 3 banestrekninger samlet.....	38
4.4	Samfunnsøkonomiske kostnader pr tonn redusert CO ₂ utslipp.....	39
4.5	Analyse av ikke-prissatte virkninger.....	41
4.5.1	Kort om metoden.....	41
4.5.2	Indikatorene i analysen.....	42
4.5.3	Banevise resultater fra IPV-analysen.....	43
4.6	Sammenstilling av de prissatte og ikke-prissatte virkningene.....	48
5	Følsomhetsanalyser.....	51
5.1	Følsomhetsanalyse karbonprisbaner.....	51
5.2	Følsomhetsanalyse energipriser.....	52
5.3	Følsomhetsanalyse optimistisk teknologiutvikling.....	54
5.4	Følsomhetsanalyse 30% vekst i persontrafikken.....	57
6	Figurliste.....	60
7	Tabelliste.....	62

8	Referanser.....	63
	Vedlegg 1 – Notat om godsmodell-beregninger.....	65
	Vedlegg 2: Kjøretidsgevinst ved elektrifisering.....	67
	Vedlegg 3: Notat om energikostnader.....	70
	Vedlegg 4 Vedrørende samfunnsøkonomisk kostnad pr. tonn CO2 som er lagt til grunn i KVU GREEN etter overlevering.....	74
	Vedlegg 5 Rettinger og hendelser etter at rapporten kom 18.september 2023.....	76

1 Innledning - mandat for analysen

I forbindelse med Statsbudsjettet 2022 har Samferdselsdepartementet kommet med et supplerende tildelingsbrev av 4. april 2022 med oppdrag til Jernbanedirektoratet om flere konseptvalgutredninger (KVU). Et av disse oppdragene er KVU for reduserte utslipp av klimagasser på jernbane. I dag er det i hovedsak Nordlandsbanen, Rørosbanen, Raumabanen og Solørbanen som ikke er elektrifisert. I tillegg bruker arbeidsmaskiner og skiftelokomotiver i dag diesel, også på elektrifiserte strekninger. For å vurdere hvordan utslipp fra jernbanen kan reduseres ønsker Samferdselsdepartementet å få utarbeidet en KVU for å vurdere hvilken energibærer som passer for den enkelte bane/jernbanekjøretøy, og om en differensiert energiløsning er hensiktsmessig.

Ifølge det supplerende tildelingsbrevet er det bl.a. stilt følgende krav til utredningen:

- En vurdering av alternativer som reduserer utslipp fra jernbanen, samt de samfunnsøkonomiske kostnadene ved disse.
- En vurdering av driftsform (dagens løsning vurdert opp mot el, batteri, hybrid, hydrogen etc.) og tilknyttede behov for investeringer.
- En vurdering av behov for ombygging eller utskifting av eksisterende jernbanekjøretøy.
- Kartlegge behov for infrastrukturtiltak for energiforsyning
- En vurdering av fordeler og ulemper ved ulike teknologier skal belyses, herunder energieffektiviteten til ulike energibærere.
- En vurdering av rekkefølgen av tiltak basert på samfunnsøkonomisk kostnad per tonn CO₂.

Utredningen skal belyse utslipp som teller på det norske klimaregnskapet. De samfunnsøkonomiske analysene skal gjennomføres i tråd med krav i Finansdepartementets rundskriv R-109 Prinsipper og krav ved utarbeidelse av samfunnsøkonomiske analyser mv. Det skal utarbeides kostnadsestimater i tråd med krav i punkt 5.6 i rundskriv R-108/19 om statens prosjektmodell.

Det er i denne rapport gjennomført en samfunnsøkonomisk lønnsomhetsanalyse av de ulike alternativene. For hvert enkelt alternativ med ny nullutslippsteknologi beregnes endringer i nytte og endringer i kostnader *i forhold til referansealternativet* som er å fortsette med dieseldrift. Differansen mellom endring i nytte og endring i kostnad gir oss endring i netto nåverdi. Dersom endringen i netto nåverdi er positiv betyr det at alternativet er samfunnsøkonomisk mer lønnsomt enn referansealternativet; er endringen i netto nåverdi derimot negativ så er alternativet samfunnsøkonomisk sett mindre lønnsomt enn referansealternativet. Dersom alle alternativer måles opp mot det samme referansealternativet, så vil man kunne rangere alternativene etter netto nåverdi. Dersom de ulike alternativene som skal sammenlignes har alle samme nytte, kan man sammenligne alternativene basert på kostnader alene. Analysen kalles da en kostnadseffektivitetsanalyse.

Samfunnsøkonomiske analyser er en nødvendig del av beslutningsgrunnlaget for tiltak som gir store samfunnsøkonomiske virkninger. Uten slike analyser er det vanskelig å avveie ulike typer virkninger mot hverandre. En samfunnsøkonomisk analyse i seg selv munner ikke ut i en avgjørelse, men er en del av beslutningsgrunnlaget. Selv om det er knyttet noe usikkerhet til beregningene, samt at ikke alt kan verdsettes, ser vi på nytte-kostnadsanalyse som et nyttig verktøy for anbefaling av tiltak basert på om og hvor mye nytteverdiene er større enn kostnadene. Målet er mest mulig velferd ut fra effektiv utnyttelse av samfunnets knappe ressurser ([J \(Jernbanedirektoratet, 2023\)](#))

I dette tilfellet vil antagelig rangeringen av ulike teknologier og banestrekninger være vel så viktig som spørsmålet om tiltak kommer i pluss eller minus samfunnsøkonomisk. Dette ut fra en problemstilling om at drift av diesel tog ikke er aktuelt i fremtiden på grunn av krav om reduserte klimagassutslipp. Uansett kan nyttekostanalysen være relevant for prioritering av banestrekninger og teknologi. Det dreier seg her om forholdsvis store milliardinvesteringer, og sett ut fra et samfunnsøkonomisk perspektiv vil det være best å prioritere banestrekninger med best samfunnsøkonomisk resultat først, forutsatt at ikke alt skal investeres på en gang.

Nordlandsbanen, Raumabanen, Rørosbanen og Solørbanen driftes i dag ved hjelp av dieseltog som har store CO₂ utslipp. Disse togene har også høyere driftskostnader enn elektriske tog, både for persontrafikk og godstrafikk. En overgang til bruk av elektriske tog vil derfor både ha en klimagevinst og en gevinst for driftskostnader ved kjøretøyene. Problemene med standard kontaktledning er at investeringskostnadene på jernbaneinfrastrukturen er høye.

Følgende alternativer var med i alternativanalysen:

- 0 – Fossil diesel (referansealternativet)
- 1a – Ikke-fossil diesel
- 1b – Ikke-fossil diesel med deelektrifisering
- 2a – Hydrogen
- 2b – Hydrogen med deelektrifisering
- 3 – Batteri
- 4 – Elektrifisering

I utgangspunktet var biodiesel (ikke-fossil diesel) en aktuell teknologi. Men denne er silt ut i alternativanalysen, det vises til hovedrapporten for begrunnelsen for dette. Begrunnelsen går ut på at konseptet ikke gir nasjonale eller globale reduksjoner i klimagassutslipp, og at det dermed ikke er hensiktsmessig å gå videre med konseptet, ettersom dette kan ivaretas av iblandingskravet. Biogass er også silt ut fordi kjøretøybransjen ikke satser på biogass for tog.

Spørsmålet er om det er mest riktig å bruke en såkalt *kostnadseffektivitetsanalyse* eller *nyttekostnadsanalyse* i denne sammenheng¹? En kostnadseffektivitetsanalyse forutsetter et likt mål om nullutslipp som gir samme nytte for ulike teknologier, og der formålet blir å minimere de samlede kostnader til investering og drift for å oppnå målet. Det er nyanser i dette.

En vanlig antagelse er at en nedgang i kostnader til godstransport, som for eksempel vil skje ved endringer i overgang fra diesel til elektrisk togdrift, slår ut i lavere priser for godstransport og dermed blir dette en nytte for godskundene. Og det kan være en annen nytte ved overgang til hydrogen for eksempel om driftskostnadene her er forskjellig fra elektrisk drift. Ut fra dette er det hensiktsmessig å benytte en nyttekostnadsanalyse da nytten ved å innføre forskjellige teknologier blir forskjellig. I beregningene vil Nasjonal Godstransportmodell (NGM) bli benyttet for standard kontaktledning som alternativ til dieseldrift. Denne modellen får frem nytte for godskundene, men også effekter på økt godstrafikk og overført trafikk fra vei og via dette effekter på den prissatte reduserte CO₂ utslippseffekten og andre samfunns effekter. Disse effektene kan bli annerledes ved overgang til andre driftsformer som har annerledes driftskostnader enn standard KL og vil bli analysert nærmere. Dette tilsier at de ulike teknologiene ikke har lik nytte for samfunnet og det er formålstjenlig med en nyttekostnadsanalyse.

Jernbanedirektoratets nyttekostnadsverktøy SAGA benyttes i beregningene. En del satser i SAGA som gjelder dieseldrift og elektrisk drift vil bli justert for å få det til å passe med de nye teknologiene som er aktuelle i denne KVUen. Det antas uendret nytte for passasjerer. Dette som en følge av antagelsen om at en endring i driftskostnadene til operatørene slår ut i en endring i offentlig kjøp av persontransport, slik at vi antar at totalinntekten for operatørene og billettprisene ikke blir påvirket. Det antas ingen endring i reisetid. Godskunder får som nevnt en antatt endring i nytte ut fra endring i transportkostnader ved overgang til nye teknologier med ulike kostnader knyttet til driften. Det beregnes og en nytte av reduserte klimagassutslipp (CO₂).

Nyttekostanalysen skal vise om det er en samfunnsøkonomisk positiv netto nytte/netto nåverdi av å erstatte dagens dieseldrift med biodiesel, standard kontaktledning, batteridrift med deelektrifisering, eller hydrogen, og hvilken teknologi som gir best samfunnsøkonomisk resultat på de ulike banestrekningene. Det vil også bli vurdert hvilke banestrekninger som gir best netto nåverdi som er det samfunnsøkonomiske resultatet av fremtidige nytte- og kostnadsverdier av å innføre ny teknologi. Det beregnes en samfunnsøkonomisk kostnad pr reduserte tonn CO₂ utslipp.

I forhold til oppdraget fra Samferdselsdepartementet antas det at å rangere tiltak etter netto nåverdi vil gi samme rangering som etter samfunnsøkonomisk kostnad. Netto nåverdi er en metode for å sammenligne ulike alternativer basert på fremtidige nytte- og kostnadsverdier. En rangering av tiltak basert på samfunnsøkonomisk kostnad pr CO₂ bør baseres på en «netto-samfunnsøkonomisk kostnad» der både nytte og kostnader ved nye teknologier tas i betraktning, som for eksempel investeringskostnader, driftskostnader og nytte for godskunder, samt samfunnsøkonomisk gevinst av redusert klimagassutslipp

¹ For forklaring av forskjellen her, se for eksempel veileder for samfunnsøkonomiske analyser i Jernbanesektoren kapittel 2,3 [her](#).

tas i betraktning. En nyttekostnadsanalyse kan få frem om det er samfunnsøkonomisk lønnsomt å erstatte dagens dieseldrift med ny teknologi.

Det beregnes en samfunnsøkonomisk kostnad pr redusert utslipp CO₂ som Samferdselsdepartementet etterspør. Det presiseres at i prinsippet kan en slik størrelse bli negativ, det vil si at det er en nytteverdi pr tonn redusert utslipp CO₂. For eksempel om en ny teknologi gir sterkt redusert driftskostnad for togdrift som sammen med en prissatt effekt på redusert CO₂ utslipp gir en positiv endring i «netto samfunnsøkonomisk kostnad» selv om det er en del kostnader ved investeringer på jernbaneinfrastrukturen.

For videre utdyping av teorien og dokumentasjonen bak en slik samfunnsøkonomisk analyse vises til Jernbanedirektoratets nettsider og veileder i samfunnsøkonomiske analyser i jernbanesektoren og dokumentasjon av nyttekostnadsverktøyet SAGA her: [Samfunnsøkonomiske analyser og transportanalyser \(jernbanedirektoratet.no\)](#)

2 Forutsetninger

2.1 Generelle forutsetninger i nyttekostnadsanalysen

Beregningen her vil følge i stor grad retningslinjer for virksomhetenes transport- og samfunnsøkonomiske analyser til Nasjonal transportplan (NTP) 2025-2036. Vi bruker imidlertid det vi anser som mest mulig realistiske åpningsår for en ny teknologi på dieselstrekningene, og ikke det som følger av NTP, enten 2029 eller 2037. Når det gjelder prisår og diskonteringsår bruker vi 2023 priser (dagens priser) da dette er naturlig da det er hentet inn kostnadsestimat for både investeringer og drift i dagens priser.

Her nevnes noen sentrale forutsetninger:

Transporttilbud i referansealternativet	Se vedlegg 1 for bundne prosjekter
Beregningsår	2030 og 2060 (avvik fra NTP-forutsetningene)
Diskonteringsår	2023
Åpningsår	2033
Prisår	2023
Investeringskostnader	P50 verdi benyttes
Levetid infrastruktur	Vurderes konkret i dette prosjektet for hver energiform.
Klimagassutslipp	Karbonprisbaner oppdatert fra Finansdepartementet
Realprisjustering	Realprisjusteringen skjer i takt med veksten i BNP per innbygger i siste tilgjengelige perspektivmelding. Konkret vekst i BNP legges inn. Etter 2060 avtar veksten som legges til grunn mot 0 i år 2100. Følgende kalkulasjonspriser blir realprisjustert: <ul style="list-style-type: none">• Tidskostnader for personer• Ulempekostnader• Verdien av et statistisk liv og personskader• Støykostnader
Trafikkvekst	Trafikkvekst i henhold til transportmodellberegninger legges til grunn frem til 2060, deretter avtar veksten mot 0 i år 2100, som for realprisene
Kalkulasjonsrente	Følger R 109/21 . Nedtrappingen av kalkulasjonsrenten starter fra åpningsår.

KVU GREEN følger som nevnt i stor grad retningslinjer i stor grad for virksomhetenes arbeide med Nasjonal Transportplan for å sikre sammenlignbarhet med samfunnsøkonomiske beregninger for prosjekter som inngår i NTP. KVUen anses imidlertid ikke som bundet av beregningene og inngår ikke i leveransen fra virksomhetene i samfunnsøkonomiske beregninger som allerede er levert til Samferdselsdepartementet. Den samfunnsøkonomiske analysen her kommer som et grunnlag for arbeidet med ny NTP høsten 2023. Det vil antagelig ikke være store avvik for samfunnsøkonomisk lønnsomhet ved konsekvent å bruke NTP-forutsetningene. Vi ser det som et poeng å bruke realistisk åpningsår og dagens priser og diskonteringsår 2023 da dette er lettest å forholde seg til for tolking av resultat og for beslutningstakere.

2.2 Investeringer og drift av jernbaneinfrastruktur

Det er beregnet i prosjektet hva det koster i investeringer på jernbaneinfrastrukturen for de ulike energiformene på Nordlandsbanen, Raumabanen og Røros- og Solørbanen. Samt årlige vedlikeholdskostnader på jernbaneinfrastrukturen dieseldriften.

Strekningen Stjørdal-Trondheim anses som ett bundet prosjektet. Det vil si at det er allerede bevilget penger til oppstart av elektrifisering av strekningen Stjørdal-Trondheim, og kostnadene holdes utenom i denne sammenheng.

Levetiden på investeringer på jernbaneinfrastrukturen har betydning for samfunnsøkonomisk lønnsomhet. Levetiden bestemmer hvor mange år det skal beregnes nytte- og kostnadsverdier av infrastrukturen. Transportvirksomhetene mener at levetiden skal vurderes individuelt for hvert prosjekt i de

samfunnsøkonomiske analysene til Nasjonal transportplan. Med levetid menes her økonomisk levetid (felles brev fra transportvirksomhetene til Samferdselsdepartementet av 1. oktober 2022).

Vi skiller mellom teknisk og økonomisk levetid. Den tekniske levetiden angir hvor mange år den fysiske infrastrukturen kan benyttes i henhold til teknisk tilstand og gjeldende sikkerhetskrav. Mens den økonomiske levetiden betegner hvor lenge tiltaket kan betjene prosjektets formål. I en fersk rapport fra Concept (Tveter E., 2022) fremgår det at en levetid på 75 år for jernbane virker som et konservativt anslag.

Historisk har levetiden vært godt over 100 år, og de fleste strekningene har overlevd flere trinn av den teknologiske utviklingen. I gjennomsnitt er levetid før strekningene har blitt lagt ned over 120 år, mens det typisk har gått 60 år fra åpningsåret til betydelige ombygginger (hendelser) har skjedd. Historisk har altså levetiden, som gjennomsnitt, vært godt over 75 år. En levetid på 75 år virker som et konservativt anslag for jernbanestrekningers levetid som også inkluderer risiko for uventede hendelser og forhold som ikke kan prognostiseres i dag (Tveter E., 2022).

Men vi skal huske på at i denne sammenheng er det ikke hele jernbaneinfrastrukturen det skal investeres i, men bare investeringer som er nødvendige for innføring av nye energiformer for togdriften.

I ovennevnte rapport (Tveter E., 2022) er det vist til en tabell for levetid for kontaktledningsanlegg (KL-anlegg), der tallene er hentet fra dokumentasjon av nyttekostnadsverktøyet SAGA.

Tabell 4 Teknisk levetid for ulike jernbanekomponenter

Komponent	Utgave av håndbok				
	2001	2006	2011	2015	2020
Underbygning	75	75	75	100	100
Overbygning	40	40	40	40	40
Elektroanlegg (lav spenning)	40	40	40	40	40
Stasjonsanlegg		40	40	40	
Signalanlegg		30	30	25	25
Teleanlegg				15-20	
Kontaktledningsanlegg		40	60	75	50

Ved overgang fra diesel til elektrisk/batterelektrisk drift er levetiden pr nå satt til 50 år i SAGA. Den har før vært satt til en både lavere og høyere levetid. I denne Kraftsystemutredningen fra Bane NOR (NOR, 2017) er det antatt en teknisk levetid på 60 år for mesteparten av KL-anlegget som er bygd på midten av 60 årene mellom Hønefoss og Voss på Bergensbanen, og det betyr da at den tekniske levetiden er utløpt rundt 2025. På deler av strekningen mellom Voss og Bergen er KL-anlegget av enda eldre dato, og antatt teknisk levetid er allerede utløpt. Siden det ikke foreligger konkrete planer om å skifte ut disse KL-anleggene tyder det på at en teknisk levetid på minst 60 år ikke er urealistisk.

I mandatet for prosjektet KVVU GREEN er det forutsatt en levetid på 75 år for KL-anleggene. Dette er som vi ser av tabell 1 det samme som ble lagt til grunn i 2015. Dette sammen med den ovenfornevnte rapporten (Tveter E., 2022) gjør at både en teknisk og økonomisk levetid for KL-anlegg på 75 år synes rimelig.

Hvilken levetid som settes vil ha betydning for rangering av teknologier. Om det er slik at investeringer på jernbaneinfrastrukturen som kreves for å kjøre hydrogen tog har en kortere levetid en 75 år, må det beregnes en reinvestering, og det er en kostnad som i så fall gjør at hydrogen får økte kostnader i forhold til standard kontaktledning. For å kunne sammenligne teknologier i samfunnsøkonomisk analyse i KVVU GREEN settes levetiden til 75 år som er den antatte lengste tid infrastrukturen kan oppfylle prosjektets formål, og om noen teknologier som krever omfattende reinvesteringer før denne tiden vil dette bli lagt inn som en kostnad i nyttekostnadsanalysen.

2.3 Investeringer kjøretøy

Det er beregnet egne priser på kjøretøy av basert på forespørsler i markedet (RFI – Request for information) i dette prosjektet for redusert klimagassutslipp på jernbane. Prisen på fremtidige kjøretøy for tog for de ulike teknologiene antas imidlertid usikker.

Rente og avskrivningskostnader belastes driftskostnadene til operatørene for både gods- og persontransport. For å finne et anslag på denne kostnaden er det tatt utgangspunkt i kapitalgjenvinningsfaktoren (CRF) som beregnes på følgende måte der r er rentenivået og n er materiellets levetid.

$$CRF = \frac{r(1+r)^n}{(1+r)^n - 1}$$

Ved å multiplisere materialkostnaden (pris på kjøretøyet) med CRF beregnes en årlig, konstant kostnad for materiellet som gjenspeiler både den rentekostnaden som påløper og avskrivninger over hele perioden.

CRF multiplisert med verdien på materiellet gir en årlig kostnad som tar høyde for både renter og avskrivninger. Nåverdien av denne kostnaden, beregnet over antall år og forventet levetid, er lik materiellprisen. Denne størrelsen antas å variere mellom ulike energiformer.

2.4 Transportkostnader gods/godsnytte – beregninger i Nasjonal godsmodell (NGM)

2.4.1 Generelt om godsmodellen og beregninger av nytte av standard kontaktledning

Når en får endringer i kostnader ved transport av gods antas det at dette slår ut i nytten til godskundene. Grunnen til dette er at det antas et vel fungerende konkurransemarked for frakt av gods. Denne antagelsen innebærer at operatørene ikke får mer i overskudd enn det de allerede har, og at nytten i form av lavere kostnader ved for eksempel elektrisk drift i forhold til dieseldrift fører til at operatørene setter ned prisen på sitt godstransporttilbud for å stå sterkere i konkurransen mot for eksempel lastebiltransport, noe som er en nytte for godskundene/næringslivet.

For å estimere hvordan totale logistikk-, og transportkostnader og transportmiddelfordeling vil endres ved et tiltak, benyttes ofte transportmodeller. For analyser rettet mot godstransportmarkedet er den vanligste Nasjonal Godstransportmodell, og denne modellen er mye brukt for eksempel innen transportanalyse og som input til nyttekostnadsanalyser for samferdselsprosjekter, konsekvensutredninger og/eller prognoser.

Det vises til nettsiden [Artikkel om Nasjonal Godstransportmodell - ntpmetode](#) for en nærmere beskrivelse av modellen.

Modellen kan oppsummeres i følgende punkter:

1. Basismatriser som tallfester varestrømmene i Norge mellom ulike geografiske soner.
2. Informasjon om antall sendere og mottakere i de geografiske sonene.
3. En nettverksmodell som innehar viktig informasjon om de ulike transportkjedene, som for eksempel distanser.
4. En kostnadsmodell med kostnadsfunksjoner for alle transportformer til å beregne transportkostnader.
5. Selve logistikkmodellen som beregner kostnader knyttet til transporten, og velger transport for varen basert på minimering av disse kostnadene.

Logistikkmodellen kan gjøre beregninger for ulike referanseår som er bestemt av brukeren. Et referanseår kan for eksempel være 2030. Etter at modellen kjøres lager den ulike filer som inneholder hovedresultater fra modellkjøringen. Hovedresultatene kan sammenlignes med en referanse, og man vil kunne se hvordan transportmiddelfordelingen og transportkostnadene har endret seg.

Endringene modellen beregner kan benyttes i samfunnsøkonomiske analyser Her vil data tas ut fra modellen ved hjelp av et godsnytteverktøy som er på nettsiden [SAGA – Nytttekostnadsverktøy \(jernbanedirektoratet.no\)](#). De viktigste størrelsene her er reduksjon i transportkostnader ved overgang fra diesel (referanse) til standard kontaktledning (tiltak), samt effekter på trafikkarbeid som får betydning for CO₂ utslipp og lokale utslipp som er prissatt og kø på veiene som også er prissatt. I og med at det antas at en reduksjon i transportkostnader slår ut i prisene gir dette en nytte for godskundene og det kan gi økt etterspørsel etter godstransport på bane i modellen på grunn av at konkurransekraften mot veg og skip økes.

For godskundene antas det en nytte som er forskjellig med teknologiene, da det antas at endring i operatørkostnadene slår ut i endrede priser godskundene må betale for å frakte gods. Det vil bli gjort visse forsøk på beregninger i godsnytte som for standard KL utenfor modellen. NGM har bare to aktuelle teknologier, diesel og standard KL. Om en teknologi har omtrent samme driftskostnader for godsoperatørene som diesel for eksempel kan det antas at det ikke blir en nytte for godskunder, men at det vil gi positive effekter på utslipp om det er en nullutslippsteknologi.

Når det gjelder spesifikke forutsetninger om NGM-beregningene i KVV GREEN viser vi til et notat fra Stein Erik Grønland som har utført godsmodellberegningene i vedlegg 1. Notatet datert 08.01.2023 er kortfattet og beskriver de sentrale forutsetningene og resultatene fra modellkjøringene.

Nasjonal godsmodell har bare muligheten til å beregne godsnytte og virkninger av overført trafikk fra veg på CO2 utslipp for standard kontaktledning. Sentrale parametere som energikostnader og vedlikeholdskostnader pr togkilometer varierer mye mellom ulike energiformer. Det er dessuten slik at prosjektet beregner egne satser for både pris på kjøretøy og energikostnader og vedlikeholdskostnader av disse som avviker fra satsene i godsmodellen.

Vi vil derfor bare bruke godsmodellen for standard kontaktledning. For de andre energiformene gjør vi egne beregninger basert på tallgrunnlaget i prosjektet. Beregningene vil likevel være til nytte for å få bedre fremringvirkninger på det totale transportsystemet og overføring av trafikk fra veg som har betydning i klimasammenheng, samt for sammenligning med våre egne beregninger. En kan anta at disse effektene er nær det maksimale med standard kontaktledning som er mest effektive energiform driftsmessig. Både kjøretøyene for standard KL og energikostnader og vedlikeholdskostnader av elektriske kjøretøy ligger lavere enn for hydrogen og batteriteknologi.

2.4.2 Tilleggsnytte raskere transport på jernbanen ved overgang til ny energiform

Det er i prosjektet KVV GREEN beregnet raskere fremdrift for elektriske og batterielektriske tog sammenlignet med dagens dieseldrift, også når kapasitetsmessige forhold er tatt i betraktning. I kjøringene med godsmodellen, er det lagt til grunn samme kjøretid i referanse med diesel som i tiltak med elektrisk tog. Så dette blir en tilleggseffekt. For å ha grunnlag for en slik beregning benyttes tidverdistudiene fra Transportøkonomisk institutt for gods (Halse A.H, 2019) og tidsverdistudien for persontransport (Flugel S., 2020).

Disse studiene er basert på «stated preferences», der respondentene foretar hypotetiske valg mellom alternativer med ulike egenskaper i såkalte valgekspesimenter. Figuren nedenfor viser et eksempel på en valgsituasjon for gods, der de to alternativene har ulik transporttid og kostnad.

Vennligst velg et av alternativene		
	Transport A	Transport B
Framføringstid	6 time(r) og 30 min.	8 time(r) og 30 min.
Kostnad	3790 kr	3500 kr
	<input type="radio"/> Transport A	<input type="radio"/> Transport B

Figur 7 Eksempel på valgsituasjon i tidsverdistudie gods

I undersøkelsen får bedriften/vareeier et valg mellom en transport som er mer kostbar (A) enn en annen (B), men der den mest kostbare tar kortere tid. På denne måten utledes tidsverdiene for gods pr tonntime. For persontrafikk dreier tilsvarende valgsituasjoner om å velge mellom en transport som tar kortere tid enn den andre, men der den første er mer kostbar. Slik utledes slike tidsverdier.

Tabellen nedenfor viser resultat fra gods-tidsverdistudien for ulike tidsverdier for gods.

Tabell 5 Anbefalte tidsverdier for hver varegruppe. Kroner pr tonntime (2018)

Varegruppe	Anbefalt tidsverdi
Fersk fisk	193,6
Andre termovarer	110,2
Høyverdivarer	106,1
Elektrisk utstyr, husholdningsartikler, maskiner og transportmidler	74,2
Andre matvarer/næringsmidler	32,2
Annet stykkgoods	19,5
Frossen fisk	19,4
Byggevarer	14,0
Metaller og metallvarer	13,6
Petroleumsprodukter	7,8
Massevarer	4,8
Andre industrivarer	4,7
Kjemiske produkter	4,5
Tømmer og andre skogprodukter	2,0

Her ser en ulike verdsettinger av å få varer raskere frem. For eksempel har en fersk fisk som er viktig for Nordlandsbanen. Det er den varegruppen med høyest verdi, her kan en si at uttrykket «ingen har så dårlig tid som en død laks» stemmer! For tømmer som er særlig relevant for Røros- og Solørbanen haster det minst og dette godset har lavest tidsverdi med 2 kroner pr tonntime i 2018-priser. Vi legger til grunn følgende tidsverdier til grunn ved at vi oppjusterer prisene i tabellen ovenfor med konsumprisindeksen og får da 2022 priser:

Nordlandsbanen fra Bodø og sørover: tidsverdi for fersk fisk for 80 % av lasten og 20 % 29,3 kroner pr tonntime. Nordlandsbanen fra Trondheim og nordover: 29,3 kroner pr tonntime. Raumabanen begge veier: 29,3 kroner pr tonntime. Rørosbanen: 2,3 kroner pr tonntime som for tømmer og andre skogprodukter

Argumentet for disse verdiene er at på Nordlandsbanen er det antatt at mesteparten er fersk fisk av kombigods som transporteres sørover. Dette kommer frem blant annet i en rapport som er utarbeidet i 2022 for KVV transportsystemet i Nord-Norge av Transportutvikling AS der det står på side 22 at togtransportene er i stor grad organisert ved at sjømat sendes sørover og at dagligvarer sendes nordover. Dette bidrar til en fornuftig utnyttelse av termomateriell og retningsbalanse (Transportutvikling AS, 2022). For kombigods fra Bodø og sørover og på Raumabanen er det antatt at disse inneholder andre matvarer/næringsmidler og annet stykkgoods for det meste og det beregnes en gjennomsnittssats for disse verdiene som blir 29,3 kroner pr tonntime.

De beregnede kjøretidsreduksjonene er som i tabellen nedenfor:

Tabell 6 Beregnet kjøretidsreduksjon på dieselstrekningene ved standard kontaktledning (Kilde: WSP)

		Antall avganger per år	Kjøretid (minutter)		Tidsgevinst (minutter og prosent)			
			Diesel		Hel-elektrifisert			
			Ascending Minutter	Descending Minutter	Ascending Minutter	Descending Minutter	Ascending Prosent	Descending Prosent
Godstog	GK25 Trondheim-Bodø	1127	531	527	-51	-50	-10%	-9%
	Malmtog Mo I Rana-Ørtfjell	2190	27	26	-1	0	-4%	-1%
	GST 18 Koppang-Skogn (Nord+Rør)	254	298	295	-11	-14	-4%	-5%
	GST13 Kongsvinger-Koppang	2190	128	125	-4	-3	-3%	-2%
	GK 23 (Alnabru) Dombås- Åndalsnes	254	81	97	-3	-19	-4%	-20%
Persontog	NO Rognan-Bodø hver retning (R75)	2555	59	59	-2	-2	-3%	-4%
	NO Mosjøen-Bodø hver retning (F7)	730	219	221	-6	-6	-3%	-3%
	RØ Røros-Trondheim hver retning (RD60)	1095	147	148	-1	-2	-1%	-2%
	RA Dombås-Åndalsnes hver retning (RD65)	1460	78	77	-2	-3	-2%	-4%
	NO Lundamo-Steinkjer hver retning (R70)	7443	147	145	-4	0	-3%	0%
	RØ Hamar-Røros hver retning (RD60)	2190	201	196	-4	-4	-2%	-2%
	NO Trondheim-Bodø hver retning (F7)	730	491	490	-8	-7	-2%	-1%
	NO Trondheim-Mo I Rana hver retning (F7)	365	335	331	-5	-4	-1%	-1%

Tabell 7 Beregnet kjøretidsreduksjon på dieselstrekningene ved deelektrifisering og batteritog (Kilde: WSP)

		Antall avganger per år	Kjøretid (minutter)		Tidsgevinst (minutter og prosent)			
			Diesel		Batteri			
			Ascending Minutter	Descending Minutter	Ascending Minutter	Descending Minutter	Ascending Prosent	Descending Prosent
Godstog	GK25 Trondheim-Bodø	1127	531	527	-25	-22	-5%	-4%
	Malmtog Mo I Rana-Ørtfjell	2190	27	26	-1	0	-3%	0%
	GST 18 Koppang-Skogn (Nord+Rør)	254	298	295	-3	-6	-1%	-2%
	GST13 Kongsvinger-Koppang	2190	128	125	-3	-2	-2%	-1%
	GK 23 (Alnabru) Dombås- Åndalsnes	254	81	97	0	-11	0%	-12%
Persontog	NO Rognan-Bodø hver retning (R75)	2555	59	59	0	0	0%	0%
	NO Mosjøen-Bodø hver retning (F7)	730	219	221	-2	-2	-1%	-1%
	RØ Røros-Trondheim hver retning (RD60)	1095	147	148	-1	-1	0%	-1%
	RA Dombås-Åndalsnes hver retning (RD65)	1460	78	77	0	-1	0%	-1%
	NO Lundamo-Steinkjer hver retning (R70)	7443	147	145	0	0	0%	0%
	RØ Hamar-Røros hver retning (RD60)	2190	201	196	-2	-2	-1%	-1%
	NO Trondheim-Bodø hver retning (F7)	730	491	490	-3	-3	-1%	-1%
	NO Trondheim-Mo I Rana hver retning (F7)	365	335	331	-2	-1	-1%	0%

Tabell 8 Beregnet kjøretidsreduksjon på dieselstrekningene ved hydrogen-tog (Kilde: WSP)

		Antall avganger per år	Kjøretid (minutter)		Tidsgevinst (minutter og prosent)			
			Diesel		Hydrogen med del-elektrifisering			
			Ascending Minutter	Descending Minutter	Ascending Minutter	Descending Minutter	Ascending Prosent	Descending Prosent
Godstog	GK25 Trondheim-Bodø	1127	531	527	-25	-14	-5%	-3%
	Malmtog Mo I Rana-Ørtfjell	2190	27	26	0	0	0%	0%
	GST 18 Koppang-Skogn (Nord+Rør)	254	298	295	0	-5	0%	-2%
	GST13 Kongsvinger-Koppang	2190	128	125	0	0	0%	0%
	GK 23 (Alnabru) Dombås- Åndalsnes	254	81	97	0	-11	0%	-12%
Persontog	NO Rognan-Bodø hver retning (R75)	2555	59	59	0	0	0%	0%
	NO Mosjøen-Bodø hver retning (F7)	730	219	221	-3	-2	-1%	-1%
	RØ Røros-Trondheim hver retning (RD60)	1095	147	148	0	-1	0%	-1%
	RA Dombås-Åndalsnes hver retning (RD65)	1460	78	77	0	-1	0%	-1%
	NO Lundamo-Steinkjer hver retning (R70)	7443	147	145	0	0	0%	0%
	RØ Hamar-Røros hver retning (RD60)	2190	201	196	0	0	0%	0%
	NO Trondheim-Bodø hver retning (F7)	730	491	490	-2	-1	0%	0%
	NO Trondheim-Mo I Rana hver retning (F7)	365	335	331	0	0	0%	0%

Vi viser til vedlegg nr 2 for beskrivelser og grunnlag for resultatene. Som en ser, er det betydelige gevinster for godstog der det er mest for helelektrifisering med ca. 50 minutter hver vei mellom Bodø og Trondheim. Resultatene er så vidt beskjedne for persontog at vi velger å se bort fra dette. Dette skyldes lettere tog der kraftigere trekraft ikke får så stor betydning for kjøretiden.

Tidsgevinster ved overgang til ny teknologi er basert på energisimuleringer som er beregnet i etterkant av godsmodellberegningene.

Siden virkningene på Røros- og Solørbanen er så vidt små, velger vi å se bort fra disse. Det varierer mellom 0 minutter mellom Koppang og Skogn for batteri og hydrogen til en reduksjon i kjøretid på 11 minutter for standard KL for godstrafikk mellom Kongsvinger og Koppang. Tabell 2 viser dessuten at tømmer og skogbruksprodukter som transporteres på Røros- og Solørbanen har desidert lavest tidsverdi med 2 kroner pr tonntime. Så virkningene av ovennevnte kjøretidsreduksjoner vil her bli av liten betydning.

2.5 Driftskostnader kjøretøy persontog og trafikantnytte

Den vanlige forutsetningen i samfunnsøkonomiske analyser i Jernbanedirektoratet er at endringer i driftskostnader for operatørene i persontrafikken slår ut i tilsvarende endring i offentlig kjøp. All persontrafikk på dieselstrekningene i dag er subsidiert. Det antas at dette fortsetter. Ved for eksempel overgang fra diesel til standard kontaktledning kan en anta at dette resulterer i redusert offentlig kjøp fordi det er billigere å kjøre elektrisk tog enn diesel tog. Om en i dag skulle gå over fra å bruke diesel til biodiesel kan dette resultere i økt offentlig kjøp på grunn av at biodiesel er betydelig dyrere enn diesel.

Med denne forutsetningen antar vi at totalinntekten for operatørene som kommer fra kundene og subsidier blir den samme. Det er da en rimelig forutsetning at billettprisene ikke blir endret ved overgang til nye energiformer og med dette som utgangspunkt at trafikantnyttan blir uendret. Det er altså ikke tilsvarende

mekanismer som for gods der vi forutsetter at en reduksjon i driftskostnadene for operatørene fører til en nytte for godskundene gjennom reduserte kostnader til transport. Det er beregnet kjøretidsgevinster ved overgang til elektrisk drift, batteridrift og hydrogendrift, men for persontog er disse gevinstene så små med noen få minutter på lange avstander, slik at vi velger å se bort fra dem. Spesielt for løsningene med batteri med deelelektrifisering og hydrogen med deelelektrifisering er kjøretidsreduksjonene små, jfr. tabell 4 og 5 i kapittel 2.4.7 og vedlegg 2. Ut fra dette er det en rimelig forutsetning å anta uendret trafikantnytte ved overgang fra diesel til andre energiformer.

Det bemerkes at vi i dette klimagassutslipp-prosjektet bare er interessert i forskjeller i driftskostnader mellom de ulike driftsformene. For eksempel antas det at satser som har med klargjøring og rengjøring å gjøre er det samme for en 110 meter motorvogn uavhengig av energiform. Det samme gjelder lønnskostnader for personell, lokomotivførere og konduktører for eksempel, vil være uavhengig av energiform. Derimot, som for godstrafikk, er satsene for energi og vedlikehold interessante fordi det er forskjell på disse satsene mellom diesel, biodiesel, elektrisk drift og batteridrift både for gods- og persontransport. Det samme gjelder prisen på togmateriellet og tilhørende ovennevnte rente- og avskrivningskostnader for operatørene som vil variere mellom ulike energiformer.

WSP har beregnet driftskostnader kjøretøy som omhandler energikostnader og vedlikeholdskostnader pr togkilometer for alle aktuelle energiformer basert på energisimuleringer på de enkelte strekninger.

2.6 Forutsetninger antall togkilometer

Togkilometer er regnet ut som følger: Togkilometer per avgang x avganger per dag x 2 retninger x antall dager per år. Det er skilt mellom virkedøgn og helgedøgn. Så er det lagt på 10 % for skift og tomtogkjøring for persontog og 1 % for skift og tomtogkjøring for godstog.

Det er gjennomført en forenkling av typen avganger (alle varianter er ikke med) og dette er håndtert med en kompensasjon for avganger per dag, for å få et rimelig antall togkilometer per dag for den aktuelle linjen.

To tog i timen på Trønderbanen inngår ikke i referansealternativet. Vi har benyttet det samme referansealternativet som i arbeidet med ny Nasjonal transportplan for 2025-36, og der inngår ikke denne tilbudsforbedringen.

Det er for alle energiformer, inkludert diesel i referansealternativet forutsatt bimodale kjøretøy, det betyr at det ikke er behov for å skifte kjøretøy ved overgang fra jernbane uten KL-anlegg til jernbane med KL-anlegg både for godstog og persontog.

For gods er det lagt inn en vekst i antall togkilometer for dieselstrekningene som følger anslagene i Nasjonal godsmodell for trafikkarbeidet i 2030 og 2060.

Dette gir følgende vekst i togkilometer fra 2030-2060:

- Nordlandsbanen + 36 %
- Raumabanen + 38 %
- Røros- og Solørbanen + 41 %

Økning i trafikkarbeidet i godsmodellen har sin årsak i større etterspørsel etter frakt av gods og er ikke basert på kapasitetsmessige vurderinger. Det antas å være potensiale for en slik økning om det legges til rette for det.

2.7 Nåverdi og beregningsperiode

For å kunne sammenligne de ulike teknologiene brukes nåverdimetoden med en tidshorisont på 75 år. Dette ut fra levetiden for standard kontaktledning som er lengstlevende komponent for investeringer er satt til 75 år. For andre investeringer på jernbaneinfrastrukturen tilknyttet andre teknologier med kortere levetid beregnes det en reinvestering etter utløpet av levetiden som får negativ betydning for beregning av netto nåverdi over 75 år. Grunnen til at levetiden settes til 75 år for alle teknologier er sammenlignbarhet mellom ulike energiformer ved at det beregnes nytte-kostnadsverdier over en lik periode.

Det antas at det for hver teknologi investeres i de nødvendige kjøretøy for å drifte et togtilbud som i dag og det beregnes en tilhørende kapitalkostnad for operatørene for de ulike teknologiene. Åpningsåret for bruk av kjøretøyer med nye teknologier er satt til 2033.

Det benyttes en kalkulasjonsrente på 4% de første 40 år og 3% de 35 siste år ut fra retningslinjer for samfunnsøkonomiske analyser. Ellers vises det til veileder i samfunnsøkonomiske analyser for jernbanesektoren (Jernbanedirektoratet, 2023) vedrørende generelle forutsetninger for analysen. Det benyttes år 2025 for priser og sammenligning (diskontering), samme som i NTP-forutsetningene.

I beregningen er analyseperioden satt lik levetiden til lengstlevende teknologi som antas å være standard kontaktledning med en levetid på 75 år. Det beregnes reinvesteringer ved levetidens utløp for komponenter som har en kortere levetid enn 75 år. Vedlikeholdskostnader av jernbaneinfrastruktur er beregnet i prosjektet som en årlig kostnad for hver energiform.

2.8 Forutsetning om globale utslipp av CO₂ og håndtering i den samfunnsøkonomiske analysen

Argumentet for å gå over fra dieseldrift til drift med annen energiform på jernbanen er særlig klimahensyn gjennom å bidra til mindre CO₂ utslipp. I en samfunnsøkonomisk analyse beregnes en gevinst ved at kostnaden ved CO₂ utslipp er prissatt. Om en går over fra dieseldrift til nullutslipp-drift som hydrogendrift/batterielektrisk/elektrisk drift blir det dermed en gevinst ved at denne kostnaden forsvinner. Hvor stor denne gevinsten blir er avhengig av prissettingen på CO₂ – kalt karbonprisen. Denne prisingen er ifølge Finansdepartementet i samsvar med mål om å redusere klimagassutslipp med minst 50% og oppimot 55% sammenlignet med nivået i 1990 (Finansdepartementet, 2021) og Parisavtalens ambisjon om «å holde den globale temperaturstigningen under 2 grader, og tilstrebe å begrense temperaturstigningen til 1,5 grader»

Det antas at de energiformene som er med i alternativanalysen medfører null CO₂ utslipp på Norges klimaregnskap i driftsfasen. Produksjon av energibærere i utlandet kan imidlertid føre til utslipp, for eksempel ved batteriproduksjon, men kan også skje ved hydrogenproduksjon avhengig av kildene for produksjonen av energibærere. De fleste batterier produseres i dag i stor grad ved bruk av fossil kraft i Asia, men nyere fabrikker i Nord Amerika og Europa produserer batterier med lavt eller intet bruk av fossil kraft, en utvikling som vil fortsette. På lang sikt er det usikkert om det blir knapphet på metaller som brukes i batterier og eventuelle nye gruvedrifter for å fremskaffe slike metaller kan både ha arealmessige konsekvenser, være lokalt forurensende og gi CO₂ utslipp (Norconsult, 2020).

I samfunnsøkonomiske analyser er retningslinjene for transportetatene at det bare er utslipp på det norske klimaregnskapet som teller. For å unngå dobbelttelling i de samfunnsøkonomiske analysene, må den eksterne kostnaden telles bare én gang. Det vil si at den eksterne virkningen kan prissettes enten basert på kalkulasjonspriser eller basert på avgifter/kvotepriser. For indirekte utslipp forutsettes det at utslippene er internalisert gjennom prisen på innsatsvarer via kvotepris eller avgift, og at det er prisen på innsatsvarene som inngår i den samfunnsøkonomiske analysen. Det er i byggefasen kun direkteutslipp (utslipp som er avgrenset til selve byggeplassen dvs. typisk fra anleggsmaskiner og sprengning, og transport av materialer til og fra byggeplassen) som skal legges inn i SAGA der det blir beregnet en kostnad for utslippet ved karbonprisbanen. Retningslinjene og metode for behandling av utslipp i byggefasen går frem av notatet: «Metode for å inkludere klimagassutslipp fra utbygging i samfunnsøkonomiske analyser» (Miljødirektoratet, jernbanedirektoratet, BANE NOR, NYEVeier, Statens vegvesen, 2022).

I KVVU GREEN er det beregnet utslipp i både byggefasen og i driftsfasen. Bare utslipp som skal prissettes etter karbonprisbanen i byggefasen blir lagt inn i nyttekostnadsverktøyet SAGA. Utslipp i driftsfasen har mye større betydning enn i byggefasen. Det er også beregnet utslipp fra dieselforbruk i driftsfasen i forbindelse med vedlikehold av jernbanen. Det er vanskelig teknisk sett å legge dette inn i SAGA, og det er ikke med i nyttekostnadsanalysen. Men dette er av langt mindre omfang og nåverdien av dette blir langt mindre enn for utslipp i byggefasen og det får ingen betydning for rangering av konsepter. Utslipp i byggefasen får heller ingen betydning for rangering av konsepter. Maksimum utslipp som beregnes i utbyggingsfasen etter karbonprisbanen er 47 000 tonn CO₂ for elektrifisering av Nordlandsbanen. Dette er mindre enn et enkelt beregningsår i driftsfasen som er 75 år.

En overgang fra diesel til nullutslippenergi vil gi en nytteeffekt som er prissatt ved karbonprisbanen fra Finansdepartementet. Denne banen ligger inne i SAGA. Det vil også være en effekt ved inntektstap for det offentlige på grunn av mindre avgiftsinntekter fra dieselbruk både på jernbane og veg (for gods). Dette

gjelder avgifter som også er koblet til lokale utslipp og diverse veiavgifter. Det antas at ingen nye teknologier som er med i alternativanalysen gir lokale utslipp.

Rundskriv [R-109/21](#) fra Finansdepartementet fastsetter regler for verdsetting av klimagassutslipp i samfunnsøkonomiske analyser. Reglene fastslår at samfunnsøkonomiske analyser skal anvende en karbonpris som angis i årlig oppdaterte prisbaner fra Finansdepartementet. Karbonprisbanen som gjelder når denne analysen utarbeides er sist oppdatert av Finansdepartementet i desember 2022 (Finansdepartementet, 2022).

Det følger av rundskriv R-109 at det kan gjøres følsomhetsanalyser for parametere som er sentrale for analysens resultat. I tråd med rundskrivet oppgir Finansdepartementet her prisbaner for slike følsomhetsanalyser av karbonpris. Den høye prisbanen tar utgangspunkt i det FNs klimapanel anslår trengs for å begrense oppvarming til 1,5 grader (median-anslag). Den lave prisbanen er satt til 75 prosent av kvoteprisen i det første året og vokser deretter med kalkulasjonsrenten for samfunnsøkonomiske analyser. De spesifikke prisbanene kommer frem [her](#).

2.9 Fordelingsvirkninger

Samfunnsøkonomiske analyser i Jernbanesektoren omfatter at virkningene splittes opp i virkninger for fire aktører; trafikanter, Operatører, Det offentlige og Samfunnet for øvrig (Jernbanedirektoratet, 2023). Så slik sett er det tatt med fordelingsvirkninger i de prissatte konsekvensene. I utgangspunktet antas det at elektrifisering for eksempel medfører utgifter ved investeringer for det offentlige, men positive virkninger for godskunder/næringsliv, operatører og det offentlige gjennom billigere drift av tog og energiformer som ikke har CO₂ utslipp og lokale utslipp.

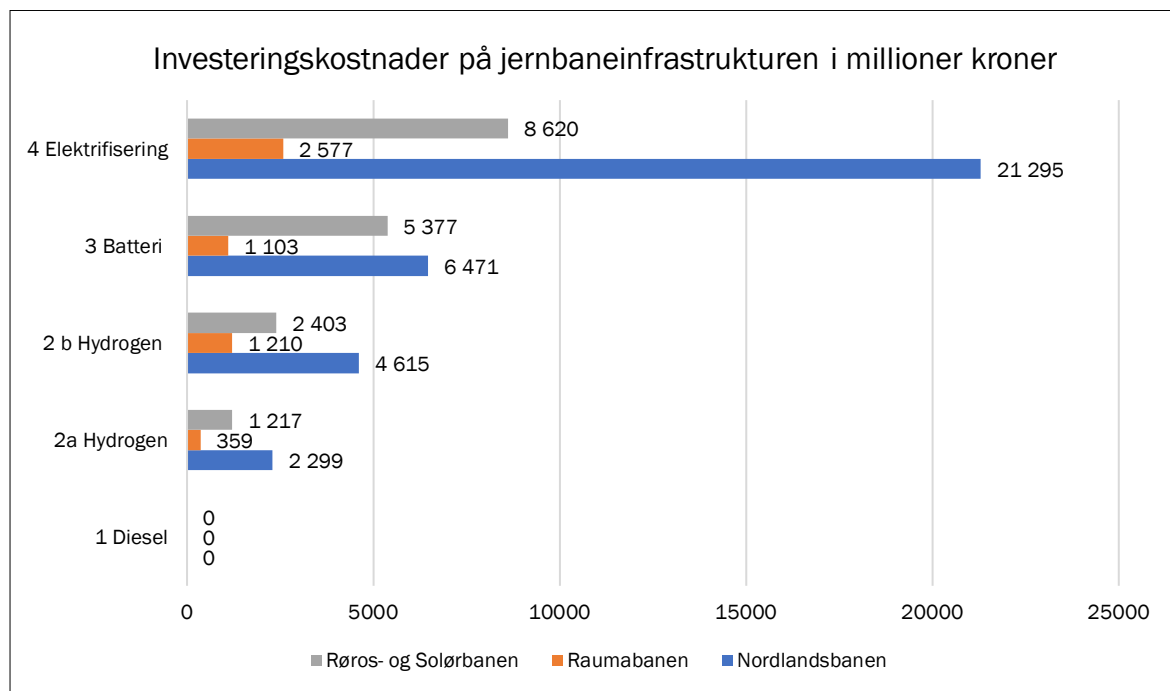
Det antas ikke større prissatte regionale fordelingsvirkninger av betydning ut over disse virkningene, da vi ikke forutsetter endring i togtilbudet for lokalbefolkningen i ulike regioner der dieselstrekningene har sitt virke i dag.

De ikke-prissatte virkningene utgjør en fordelingsvirkning blant annet på den måten at folk som bor i nærheten og/eller bruker de berørte områdene til rekreasjon kan bli berørt av for eksempel utsyn til kontaktledningsanlegg, omformerstasjoner, master og fyllestasjoner med hydrogen med mer.

3 Investering jernbaneinfrastruktur og endring i driftskostnader togmateriell for de ulike strekningene

3.1. Kostnader ved innføring av ny energiform

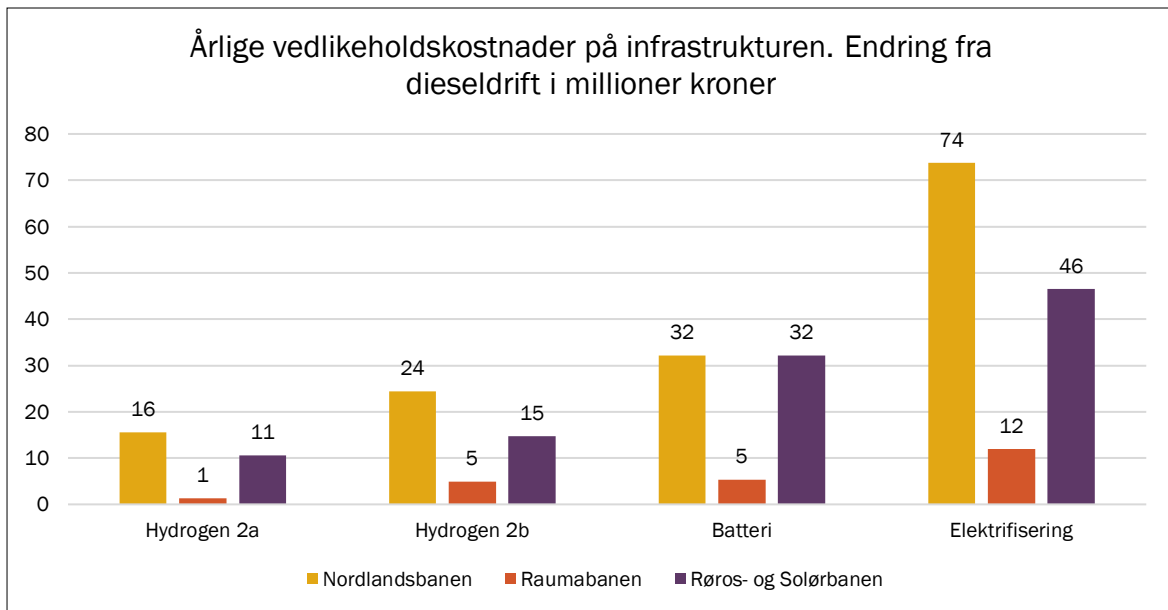
Nedenfor er vist de totale investeringskostnadene på infrastrukturen.



Figur 8 Investeringskostnader på infrastrukturen på dieselstrekningene ved innføring av ulike nullutslippsteknologi

Som figuren viser, er det betydelige forskjeller i investeringskostnader mellom de ulike energiformene og banestrekningene. Minst beregnet investering er det for konsept 2a hydrogen på Raumabanen med 359 millioner kroner, mens det er mest på Nordlandsbanen med en investering på 21 295 millioner kroner for konsept 4 elektrifisering. På grunn av at ulike investeringskomponenter har ulike levetider gir ikke tabellen et helt riktig bilde, men tilnærmet dette. For eksempel er det slik at investeringer i KL-anlegg og undergrunn for nye jernbanespor som inngår i hydrogenløsningene har en levetid på 75 år, mens hydrogen fyllestasjoner har en levetid på 20 år, hvilket betyr at man etter 20 år må foreta en reinvestering i disse. Dette er hensyntatt i de samfunnsøkonomiske beregningene. På grunn av at investeringskostnader for komponenter med lang levetid i sum er langt større enn for komponenter med kort levetid, gir likevel figuren et bra bilde av forskjellene i investeringskostnader mellom ulike energiformer og banestrekninger.

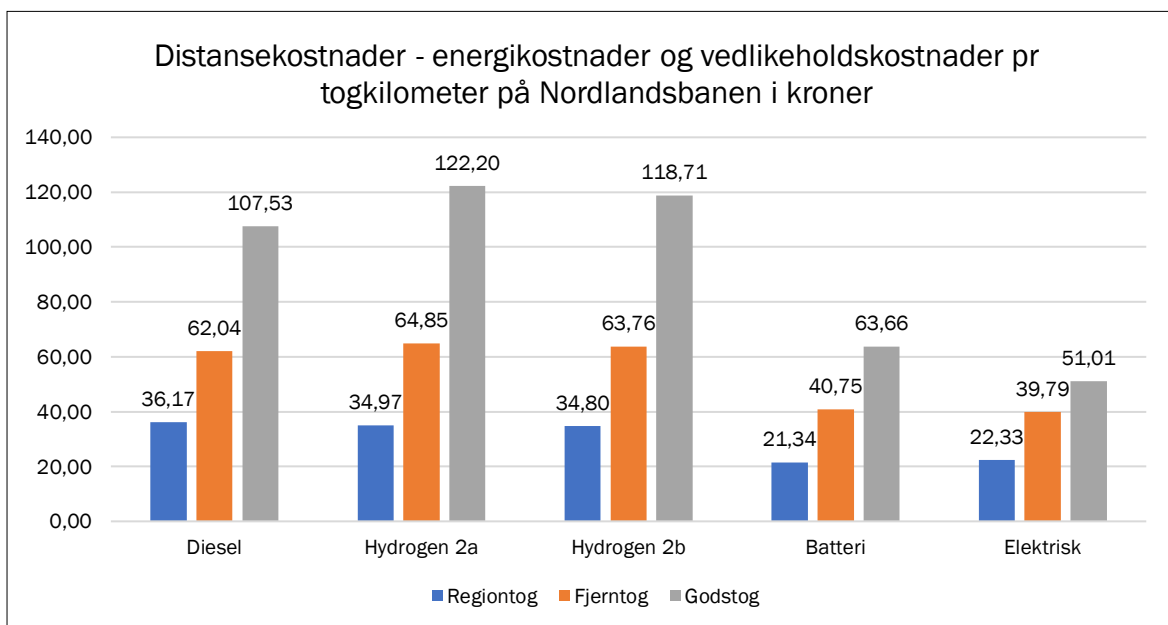
Figuren nedenfor viser beregnet årlige vedlikeholdskostnader av jernbaneinfrastrukturen.



Figur 9 Årlige vedlikeholdskostnader på infrastrukturen

Det koster mest å vedlikeholde lange strekninger med kontaktledning noe som gjør at elektrifisering og Nordlandsbanen får størst økning fra slik det er med dagens dieseldrift.

I en samfunnsøkonomisk analyse er det ikke bare investeringene på infrastrukturen som er avgjørende. Selv om investeringene er større for batteri med delelektrifisering med for eksempel en sum på 5,4 milliarder kroner på Nordlandsbanen mot tilsvarende sum for hydrogen 2a på 1,2 milliarder kroner, kan en ikke bare ut fra det konkludere med hvilken energiform som er mest samfunnsøkonomisk lønnsom. Begge bidrar med like mye reduksjon i prissatt CO₂-utslipp, men driftskostnadene kan være forskjellige. Figuren nedenfor viser dette.



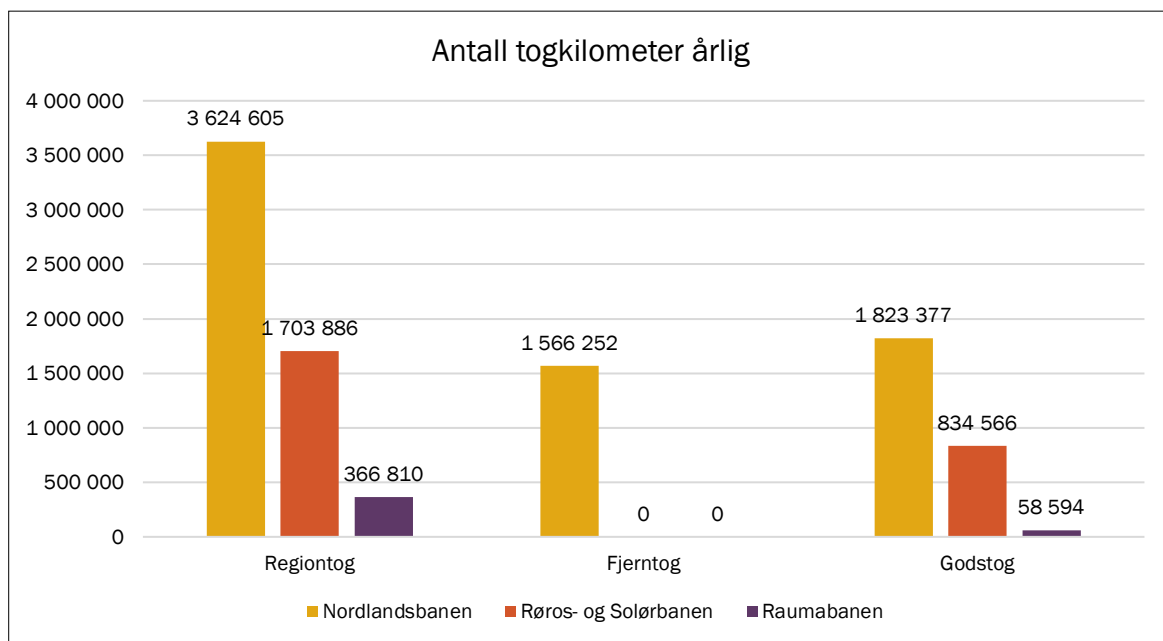
Figur 10 Distansekostnader - energikostnader og vedlikeholdskostnader pr togkilometer

Figuren viser at det er langt billigere å kjøre med batteri-tog og elektriske tog enn hydrogentog. For eksempel er det beregnet å koste 63,66 kroner pr togkilometer for å fremføre et batteri-godstog mens det er beregnet å koste 122,2 kr for et hydrogen-godstog på Nordlandsbanen. Dette får betydning i beregningen av netto nytte ved innføring av nye energiformer. Det er som vi så ovenfor dyrere å investere på infrastrukturen ved batteridrift med del-elektrifisering enn for hydrogen. Men dette blir motvirket av at

det er billigere å kjøre batterielektriske tog enn hydrogen-tog i den samfunnsøkonomiske analysen. Satsene ovenfor er noe forskjellig mellom banestrekninger, noe som har sin årsak iblant annet stigningsforhold som slår ut i ulikt energiforbruk ifølge energisimuleringene. Det er antatt samme vedlikeholdskostnader mellom banestrekningene for samme type kjøretøy, men energikostnadene er forskjellige.

Det vises til vedlegg 3 der forutsetningene for energikostnader er gjennomgått. Det presiseres at i samfunnsøkonomisk analyse brukes priser pr 1. januar 2023.

Figuren nedenfor viser antall togkilometer årlig på de 3 jernbanene oppdelt i de aktuelle kjøretøymateriellet regiontog, fjerntog og godstog.

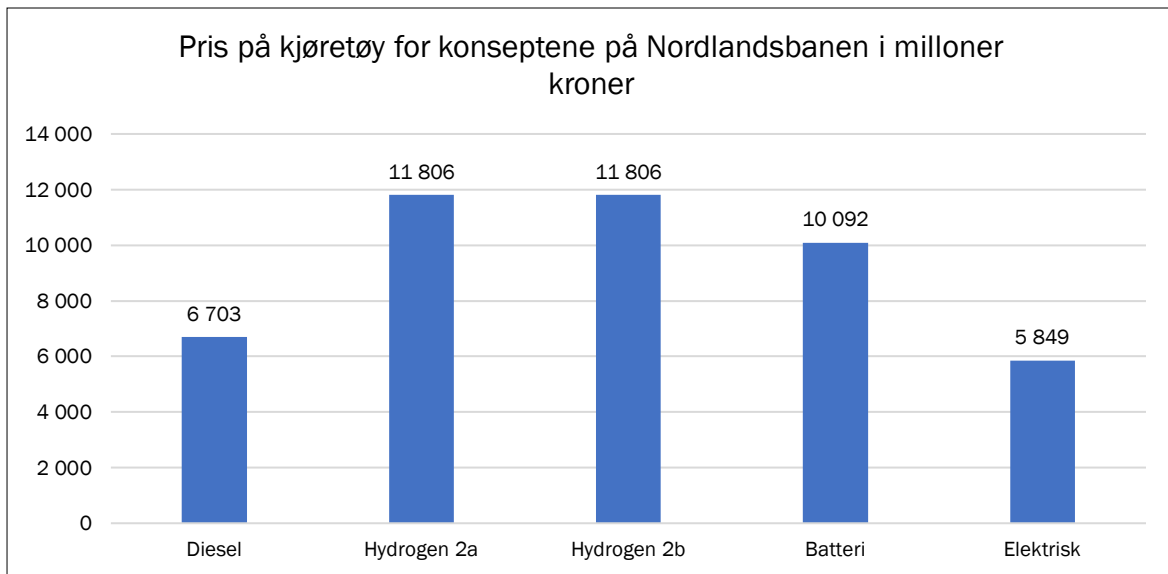


Figur 11 Antall togkilometer på de 3 jernbanestrekningene

Det kjøres desidert flest togkilometer på Nordlandsbanen. Summen for fjerntog og regiontog er 5,2 millioner togkilometer, noe som er omtrent 3 ganger mer enn på Røros- og Solørbanen for persontog. Det kjøres også 1,8 ganger mer godstogkilometer på Nordlandsbanen sammenlignet med Røros- og Solørbanen. Aller minst togtrafikk er det på Raumabanen som de oransje søylene viser.

Dette har stor betydning for samfunnsøkonomiske beregninger. For eksempel er det slik at å kjøre med kontaktledning og batterikjøretøy gir mye lavere energi- og vedlikeholdskostnader sammenlignet med dagens dieselkjøretøy. Desto flere togkilometer desto større blir denne gevinsten som varer i hele analyseperioden på 75 år.

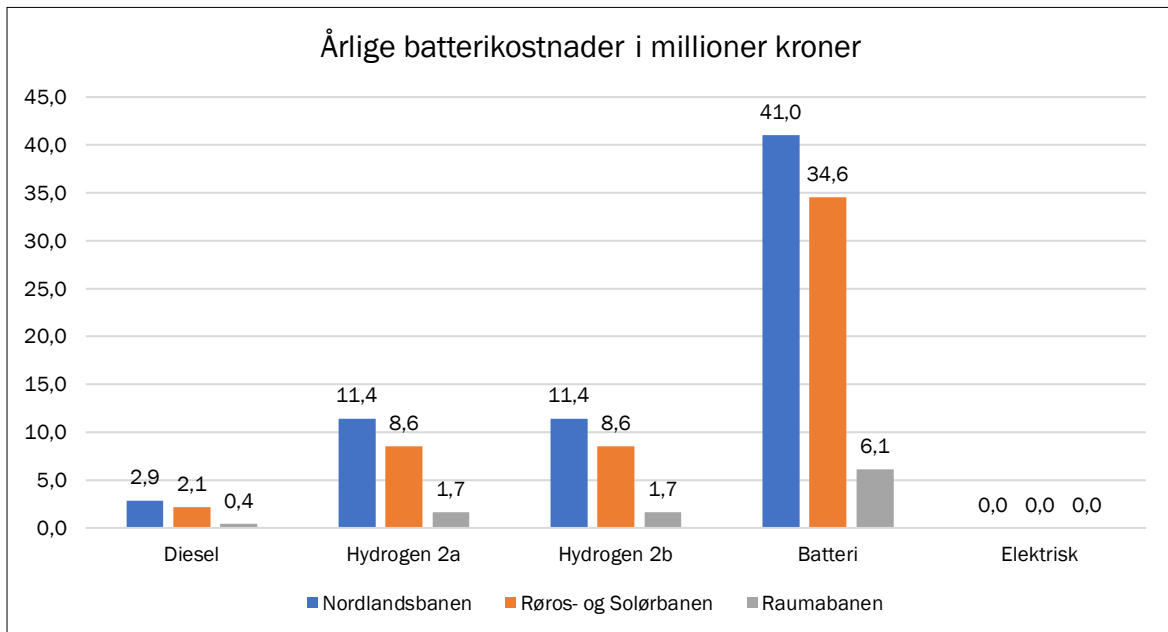
Det er også veldig ulike anslåtte priser på kjøretøy for de ulike energiformene. Dette fremgår av figuren nedenfor.



Figur 12 Pris på kjøretøy for konseptene

Figuren viser at det er estimert at det koster mer å investere i kjøretøy for nye teknologier som batteri og hydrogen. Elektriske tog er mye billigere enn disse, og billigere enn dagens diesel-tog. Kjøretøyparken for elektrisk drift på Nordlandsbanen koster bare 50% av kostnaden for hydrogenkonseptene. Prisen på hvert enkelt kjøretøy er lik for de ulike banestrekningene.

Alle teknologier utenom elektrisk drift krever batterier i togene. Det er i prosjektet beregnet årlige kostnader ved batterier i togene som i figuren nedenfor.



Figur 13 Årlige batterikostnader for konseptene

Som figuren viser, er det ikke overraskende mest batterikostnader ved batteridrift med 41 millioner kroner årlig på Nordlandsbanen. Hydrogen har tilsvarende kostnader på 11,4 millioner kroner i året. Det vil likevel være slik at batteri er betydelig mer kostnadseffektiv i drift når en også tar i betraktning distansekostnader og pris på togmateriell, noe vi vil komme tilbake til i samfunnsøkonomisk analyse.

4 Samfunnsøkonomisk analyse

Ovenfor er gjennomgått ulike forutsetninger for analysene; generelle forutsetninger for samfunnsøkonomisk analyse som investeringskostnader, vekstforutsetninger økonomisk og for transporten, nytte for godskunder og de reisende med mer. Her presenteres resultatene for de ulike banestrekningene. Det presiseres at vi i nyttekostnadsanalysen ser på endringer/effekter fra å gå over fra dagens dieseldrift i referansealternativet til drift med nye aktuelle driftsformer,

Etter oppdeling i nyttekostnadsverktøyet SAGA kan en se på virkningene med en fordeling som nedenfor der underpostene her er satt inn.

Endring for godskunder

- Endring på grunn av endringer i kostnader for godstransportørene som antas å slå ut i pris for transporten til godskundene.

Endring for persontransportoperatører

- Endring i driftskostnader og kapitalkostnader for togmateriell.
- Endring i offentlig kjøp av persontransport

Endring for det offentlige

- Endring i avgiftsinntekter
- Endring i vedlikehold av infrastruktur
- Offentlig kjøp av persontransport
- Investeringer og reinvesteringer

Samfunnet for øvrig

- Endring i ulykker
- Endring i støy
- Endring i lokale utslipp
- Endring i CO₂ utslipp
- Endring i skattefinansiering

Netto nåverdi

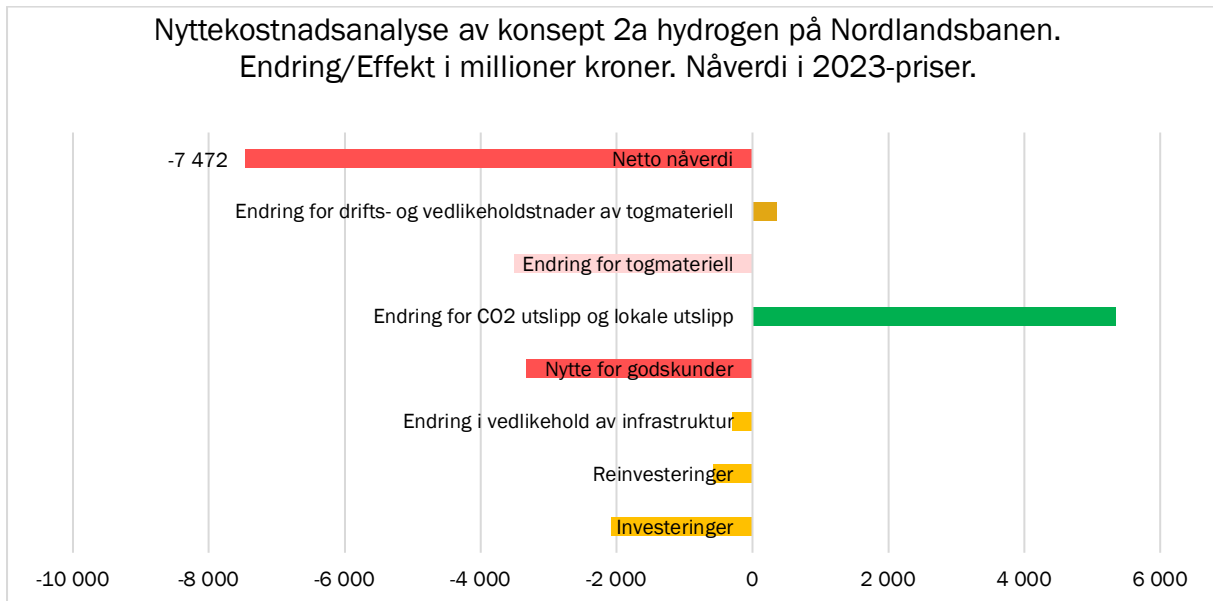
Netto nåverdi viser om de samlede virkningene av nytte er større enn kostnadene og om tiltakene således er samfunnsøkonomisk lønnsomme. Virkningene for det offentlige blir her store, det dreier seg både om investeringskostnader og andre virkninger som redusert avgiftsinntekter ved å slutte med dieseldrift på jernbanen, og offentlig kjøp av persontransport på grunn av endringene i driftskostnader for operatørene.

Virkningene for CO₂ utslipp og lokale utslipp over hele analyseperioden på 75 år blir også forholdsvis store. Det blir også til dels store virkninger i nytten for godskunder, avhengig av hvilken energiform som innføres.

Vi vil ikke bruke den inndelingen ovenfor i fremstillingen nedenfor, men heller de parametre som er sentrale for denne analysen. Dette dreier seg om investeringskostnader, pris på kjøretøy og endring i driftskostnader av disse ved overgang fra dieseldrift til annen energiform.

4.1 Nordlandsbanen

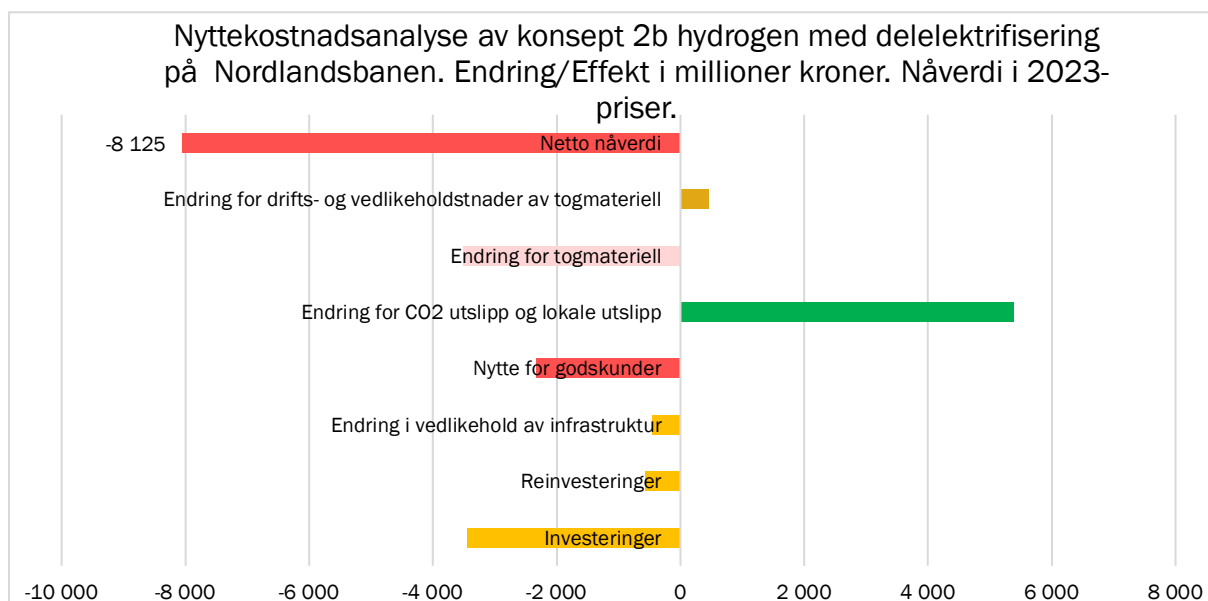
4.1.1 Basisresultat konsept 2a hydrogen på Nordlandsbanen



Figur 14 Nyttekostnadsanalyse av konsept 2a hydrogen på Nordlandsbanen

Det koster i nærheten av det samme som diesel for persontogoperatørene å kjøre med hydrogentog og dieseltog i energi- og vedlikeholdskostnader av togmateriell, men prisene på hydrogen togmateriell er betydelig høyere enn diesel togmateriell. For godstogene er det betydelig dyrere på grunn av høyere vedlikeholdskostnader. Den eneste prissatte positive effekten for hydrogen 2a konseptet er positive prissatte konsekvenser for reduserte lokale og globale utslipp av CO₂. Selv om dette konseptet har lavest investeringskostnad av alle konsept så kommer det dårlig ut pga. lite energieffektivitet og høye driftskostnader. Det er en negativ netto nåverdi på -7 472 millioner kroner.

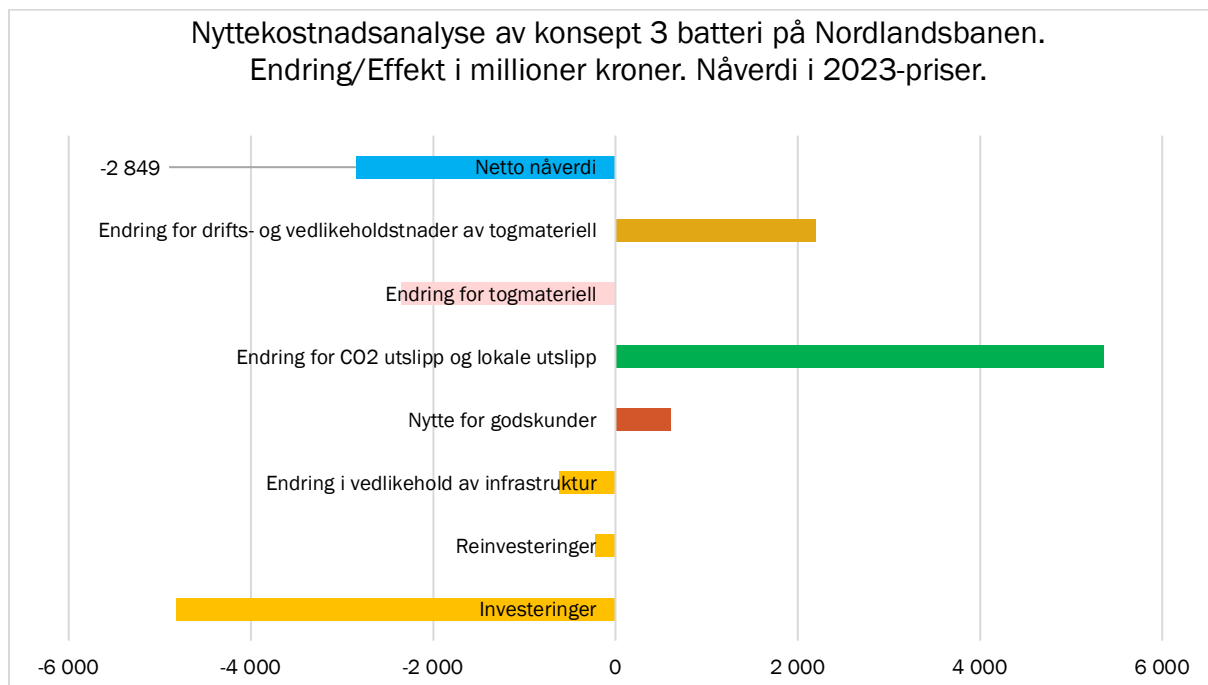
4.1.2 Basisresultat konsept 2b hydrogen med deelektrifisering på Nordlandsbanen



Figur 15 Nyttekostnadsanalyse av konsept 2b hydrogen med deelektrifisering Nordlandsbanen

Investeringskostnaden for hydrogen 2a er som nåverdi på 2,8 milliarder kroner mot 4,6 milliarder kroner for hydrogen 2b. Hydrogen 2b er noe bedre i drift enn 2a, men kommer ut i dårligere netto nåverdi med -7,5 milliard kroner mot -8,125 milliard kroner for 2b på grunn av høyere investeringer på jernbaneinfrastrukturen som en følge av deelektrifiseringen.

4.1.3 Basisresultat konsept 3 batteri på Nordlandsbanen

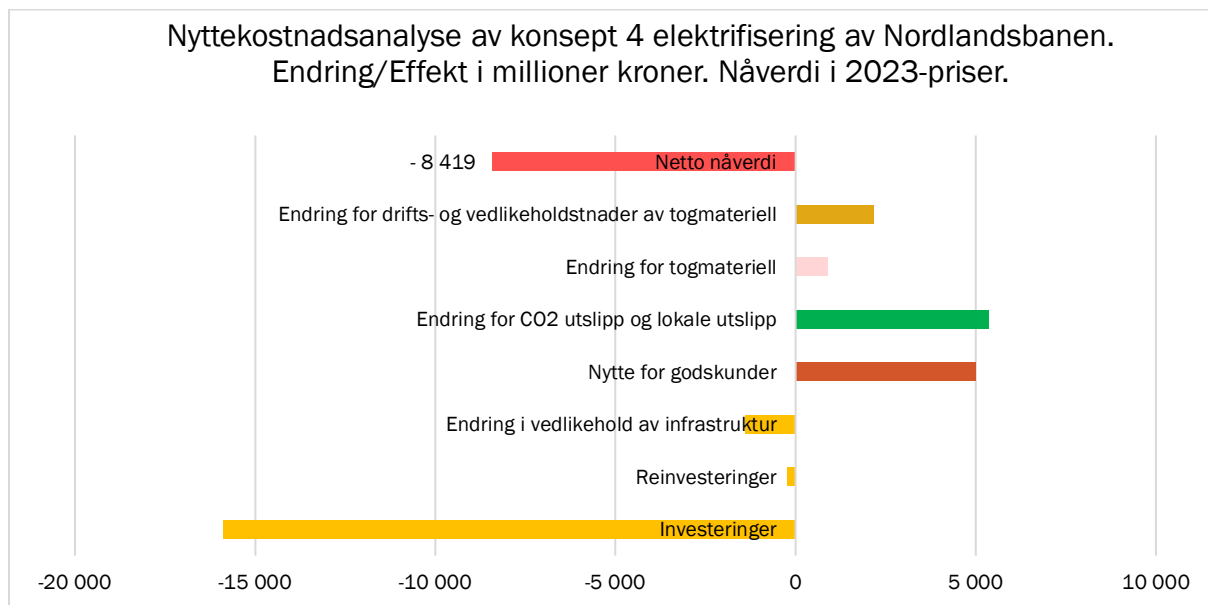


Figur 16 Nyttekostnadsanalyse av konsept 3 batteri Nordlandsbanen

Batteri med deelektrifisering kommer best ut i samfunnsøkonomisk analyse på Nordlandsbanen med en netto nåverdi på -2 849 millioner kroner. Det som gjør at batteri-konseptet kommer best ut er energieffektivitet og lavere driftskostnader, samt at en unngår så store investeringer som elektrifisering. Driftskostnadene for å kjøre tog er i nærheten av mest kostnadseffektive teknologi som er elektrifisering.

og de er langt lavere enn for diesel og hydrogendrift. Når vi regner over en levetid på 75 år på infrastrukturinvesteringene så gjør dette at batteri kommer best ut på Nordlandsbanen der det kjøres relativt mye tog sammenlignet med de andre dieselstrekningene. Til tross for høyere investeringer på infrastrukturen enn for hydrogenkonseptene med en nåverdi på - 4,8 milliard kroner. Som en ser kommer godskundene positivt ut på grunn av en nedgang i transportkostnadene.

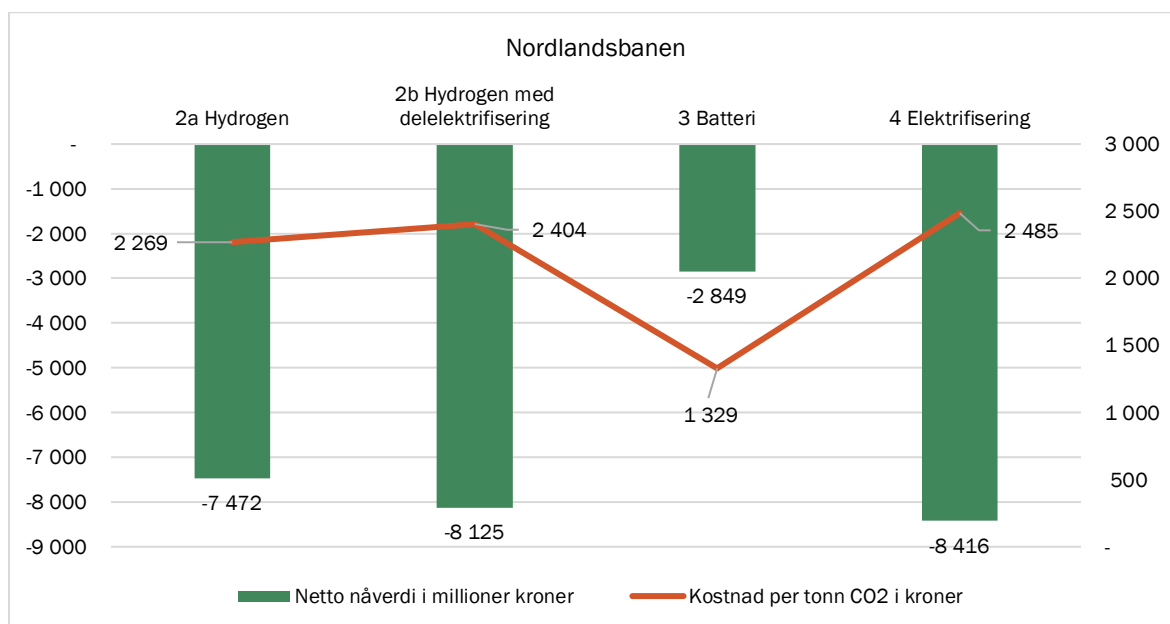
4.1.4 Basisresultat konsept 4 elektrifisering av Nordlandsbanen



Figur 17 Nyttekostnadsanalyse av elektrifisering Nordlandsbanen

Standard kontaktledning er mest effektive teknologi for driften, kjøretøyene er minst kostbare og det koster minst å kjøre de. Men nåverdien av investeringene på infrastrukturen på 15,9 milliarder kroner gjør at helelektrifisering blir samfunnsøkonomisk ulønnsomt med en netto nåverdi på -8,4 milliarder kroner.

4.1.5 Resultater på Nordlandsbanen

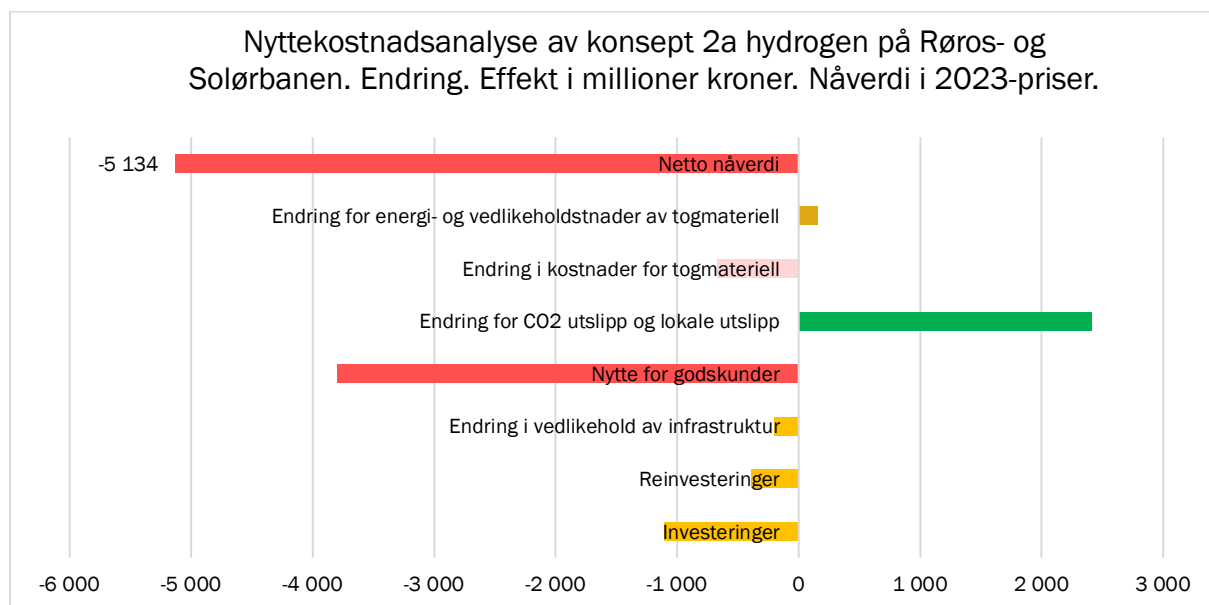


Figur 18 Netto nåverdier og kostnad pr tonn CO2 for konseptene på Nordlandsbanen

Alle konsept har negativ netto nåverdi, hvilket betyr med de forutsetningene som er lagt til grunn, at alle konsept er samfunnsøkonomisk ulønnsomme, selv om redusert CO₂ utslipp er prissatt. Det betyr at referansealternativet/nullalternativet diesel er best av alternativene. Batteri kommer nest best ut med en netto nåverdi som er minst negativ på -2,8 milliard kroner. Kostnaden pr tonn CO₂ som er netto nåverdi ekskludert CO₂ prissetting delt på antall tonn CO₂ utslipp redusert netto fra byggefasen og ut driftsfasen på 75 år viser at batteri kommer klart best ut med 1 329 kr pr tonn redusert CO₂.

4.2 Røros- og Solørbanen

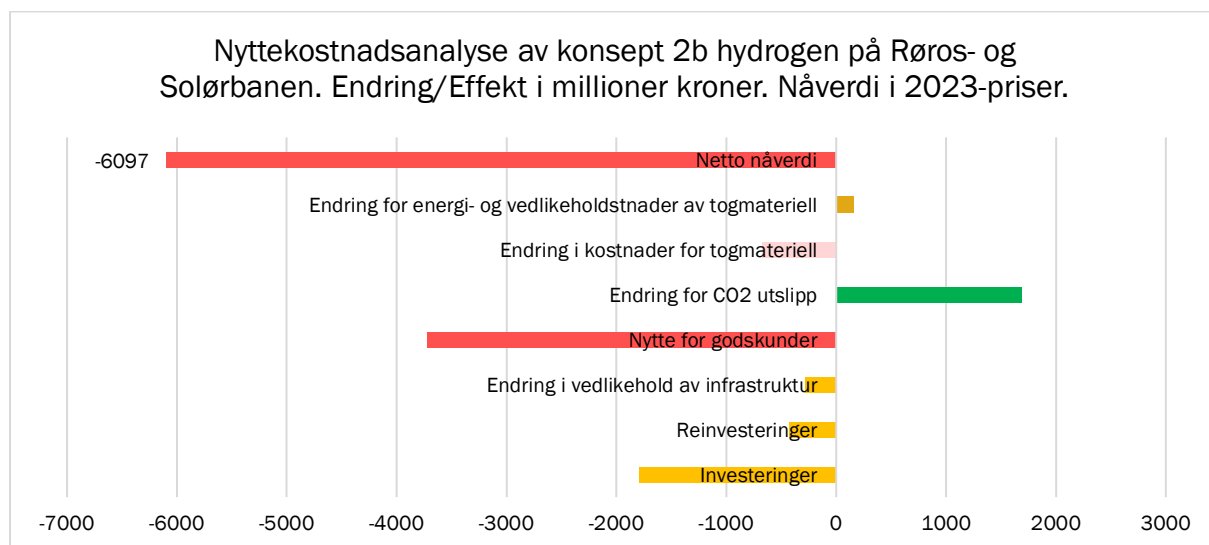
4.2.1 Basisresultater konsept 2a hydrogen på Røros- og Solørbanen



Figur 19 Nyttekostnadsanalyse av konsept 2a hydrogen på Røros- og Solørbanen. Nåverdi endring/effekt i millioner kroner.

Som vi har vært inne på er hydrogen mer kostbar i drift enn diesel for godstog, knapt bedre på Røros- og Solørbanen for persontog, slik at den desidert eneste større positive virkning positive er for reduserte CO₂ utslipp og lokale utslipp. Negativ netto nåverdi på -5 134 millioner kroner.

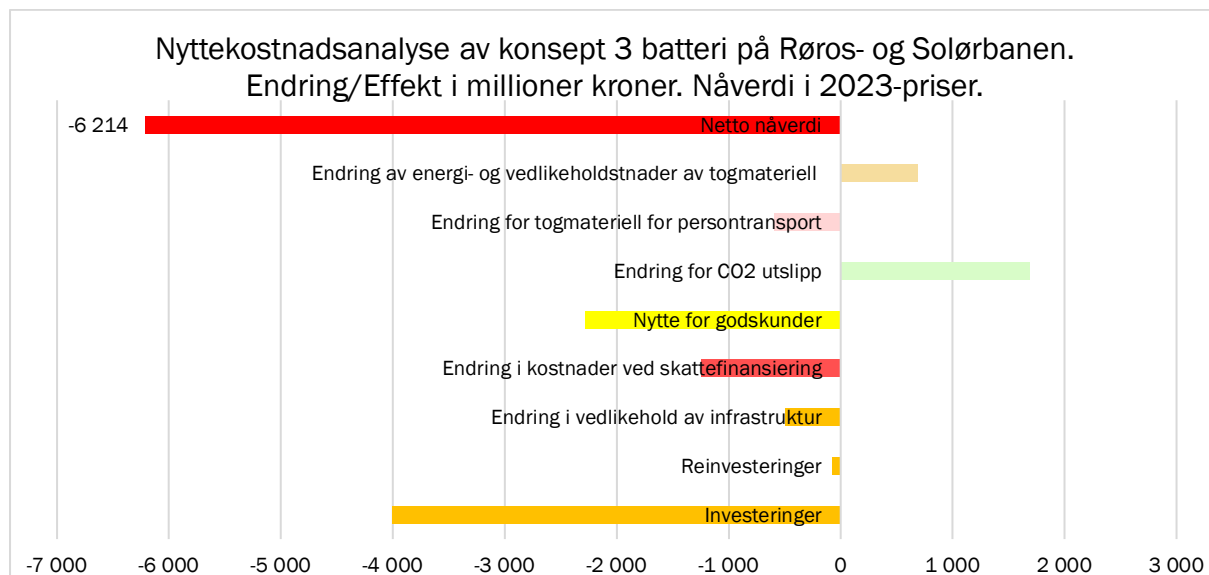
4.2.2 Basisresultater konsept 2b hydrogen med delelektrifisering på Røros- og Solørbanen



Figur 20 Nyttekostnadsanalyse av konsept 2b hydrogen med delelektrifisering på Nordlandsbanen

Hydrogen 2b med deelektrifisering kommer dårligere ut enn 2a konseptet med en negativ netto nåverdi på omtrent - 6 milliarder kroner, noe som skyldes mer investeringer på infrastrukturen. Godskundene kommer dårligere ute på grunn av økning i kostnader fra dieseldriften, særlig mer kostbart togmateriell er årsaken til dette.

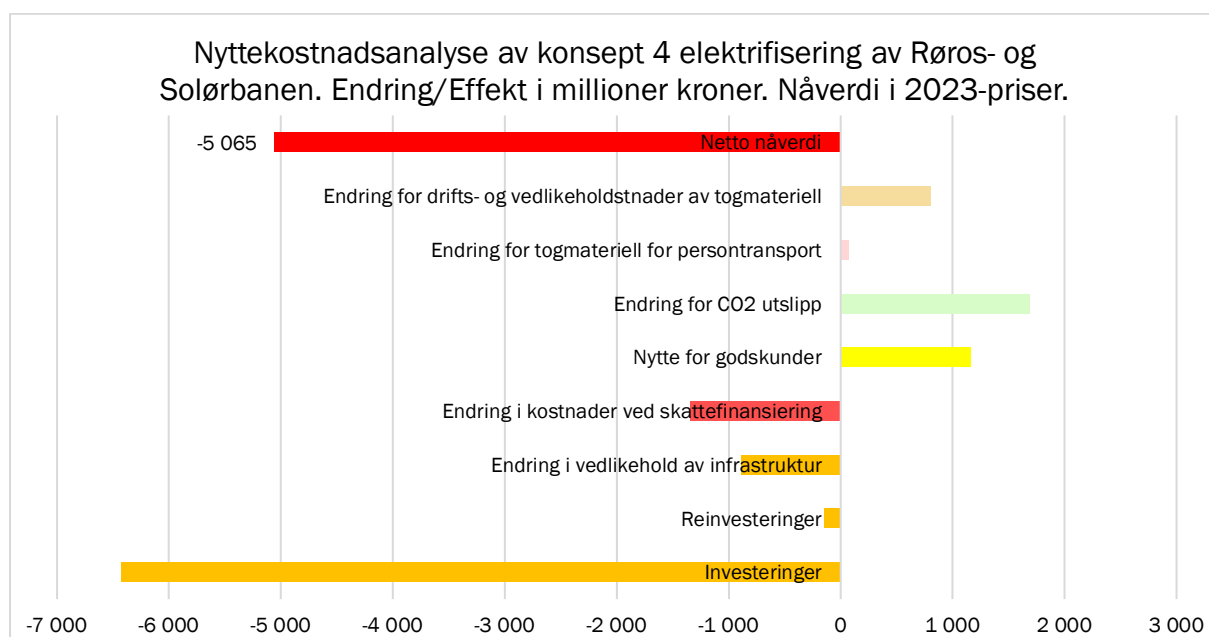
4.2.3 Basisresultater konsept 3 batteri på Røros- og Solørbanen



Figur 21 Nyttekostnadsanalyse av konsept 3 batteri på Røros- og Solørbanen. Nåverdi endring/effekt fra dagens dieseldrift i millioner kroner.

Analysen viser at batteri er mer effektiv i drift enn hydrogenkonseptene på den relativt lavt trafikkerte Røros- og Solørbanen, men de høyere investeringskostnadene for batteri veier tyngre slik at hydrogenkonseptene kommer bedre ut.

4.2.4 Basisresultater konsept 4 elektrifisering av Røros- og Solørbanen

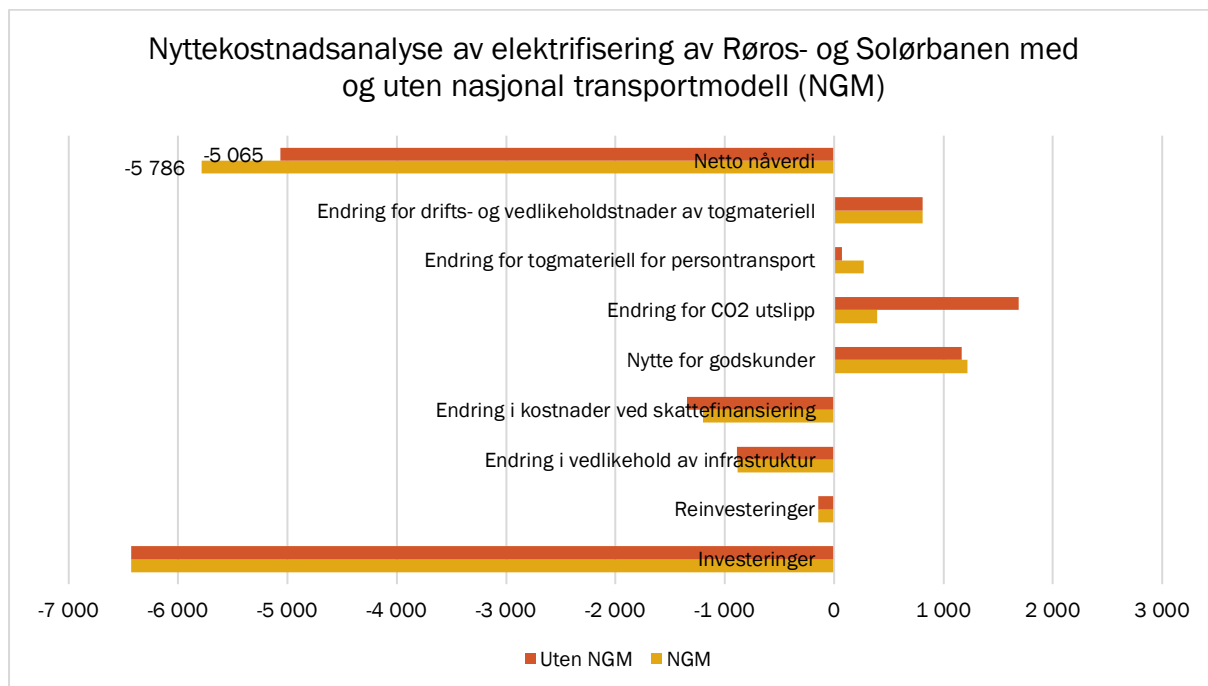


Figur 22 Nyttekostnadsanalyse av elektrifisering av Røros- og Solørbanen

Elektrifisering betyr også for Røros- og Solørbanen store investeringer som ikke blir tjent inn av positive samfunnsøkonomiske endringer. Det er en negativ netto nåverdi på ca.- 5 milliard kroner. Det betyr at

standard kontaktledning har mindre samfunnsøkonomisk netto tap enn batteri- og hydrogenkonseptet med deelektrifisering på Røros- og Solørbanen. Det er store investeringer også for batterikonseptene og hydrogenkonsept 2b. men de er mindre enn for elektrifisering. Standard kontaktledning har imidlertid mange fordeler som hydrogen og batteri ikke har som billigere togmateriell, en unngår batterikostnadene ved elektrifisering, mindre driftskostnader i både godstransporten og persontransporten. Nytten for godskundene er her positive, mens den er klart negativ for de andre tre konseptene på Røros- og Solørbanen.

4.2.5 Sammenligninger av godsmodebberegninger (NGM) og beregninger uten NGM



Figur 23 Sammenligning av nyttekostnadsanalyse av elektrifisering av Røros- og Solørbanen med og uten nasjonal transportmodell (NGM)

Det er interessant å sammenligne forskjellen med bruk av godsmodebberegningene som baserer seg på 2021 priser på el-kraft og diesel og har egne satser for kostnader ved togmateriell og fremføring av disse som kalles distansekostnader i NGM. NGM får i tillegg med ringvirkninger et bedre togtilbud får gjennom overføring fra andre transportmidler, særlig lastebil, men også ringvirkninger på hele jernbanenettet i Norge. Det viser seg at godsnytten som en skulle tro hadde størst potensiale for forskjeller er nesten lik i måten vi har beregnet på og med godsmodebberegningene. Viser til vedlegg 1 for forutsetningene som ligger til grunn for NGM-beregningene. Muligens kan dette tolkes som at nivået på godsnytten vi har beregnet virker å være bra. Det presiseres at de fleste av komponentene vil være de samme i de to beregningene, som investeringskostnader og forutsetninger som gjelder persontransport.

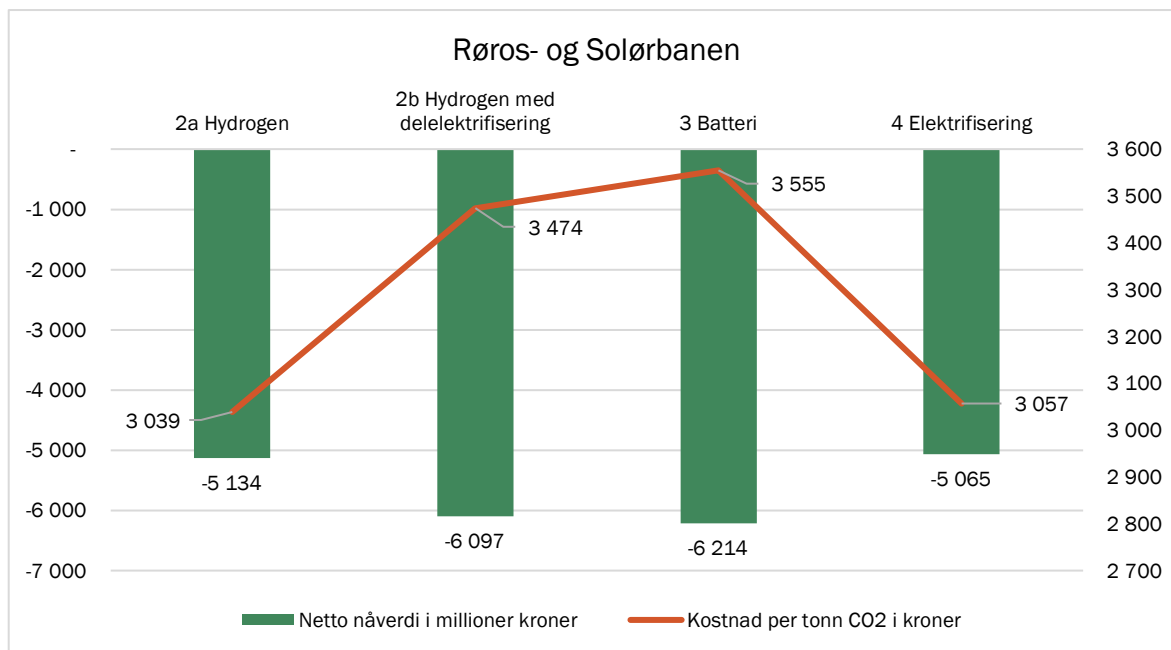
Vi ser at det er større forskjeller for CO₂ utslipp, og det kan i stor grad forklare forskjellen i netto nåverdi. I utgangspunktet kan NGM beregningene vise større reduksjoner på grunn av overføring fra veg, men det er relativt lite konkurranseflater mellom tømmertransport på Røros- og Solørbanen og lastebiltransport av tømmer. NGM beregningene gir -11 227 tonn redusert CO₂ utslipp fra lastebil og -57 589 tonn fra godstog over hele levetiden for jernbanen på 75 år, mens våre beregninger gir -1,8 millioner tonn for godstog, og det er det som er opphavet til forskjellen i netto nåverdi som er omkring 700 000 kr bedre uten bruk av NGM. Utslippene for persontogene er uendret.

En viktig forklaring på dette er antagelig at ved bruk av godsmodebberegningene gir det en vekst i godstransport ved overgang til elektrisk drift og med det følger en økt trafikk til og fra Skogn der deler av strekningen er dieseldrevet. Det er svært svake nedganger i dieseltrafikken i NGM ved elektrifisering av Røros- og Solørbanen (NGM viser kun endringer for all dieseltrafikk i hele landet). I tillegg må en ta i betraktning at NGM er etterspørselsbasert/markedsbasert og ikke «bryr seg om kapasitet på jernbanenettet og

rutemodeller». Dette ser ut til å medføre at våre beregninger gir en langt sterkere nedgang i dieseltrafikk på jernbanen og dermed større nedgang i CO₂ utslipp enn NGM viser.

Siden nasjonal godsmodell ikke har andre energiformer enn diesel og elektrisk drift, så benyttes ikke disse modellkjøringene til sammenligning av netto nåverdier mellom de 4 aktuelle konseptene. Resultatene fra NGM virker dessuten noe «rare» ved at dieseltogtrafikken går så lite ned som følge av nullutslippskonsept på Røros- og Solørbanen. En test på Raumabanen viser at diesel-tog trafikken øker der som følge av de 4 nye konseptene her, og det virker enda merkeligere. Det er dessuten lagt inn hastighetsøkninger av innføring av nye konsept som ikke er med i NGM beregningene som var bestilt på et tidligere stadium enn når disse hastighetsøkningene ble beregnet.

4.2.6 Resultater på Røros- og Solørbanen



Figur 24 Netto nåverdier og kostnad pr tonn CO₂ for konseptene på Røros- og Solørbanen

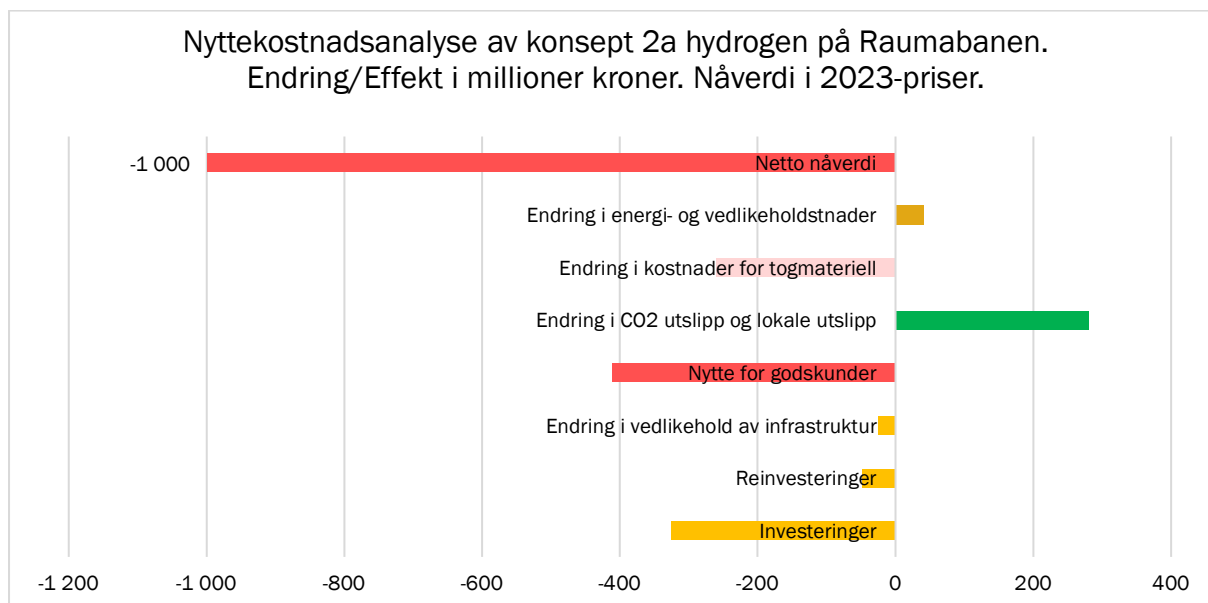
Elektrifisering kommer best ut, men marginalt bedre enn hydrogen 2a på Røros- og Solørbanen i netto nåverdi. Det er mindre investeringskostnader for de andre konseptene, men elektrifisering er mer effektiv i drift, både ved at det koster mindre å kjøre togene og mindre kostnader til togmateriell. Det bemerkes at for elektrifisering er benyttet i beregningen vi har utført og ikke med NGM for at det skal bli like forutsetninger som for de andre alternativene.

I likhet med Nordlandsbanen kommer alle konsept ut i negativ netto nåverdi, hvilket betyr at nullalternativet diesel kommer best ut. Hydrogen 2a kommer så vidt bedre ut enn elektrifisering rangert etter kostnad per tonn redusert CO₂. For hydrogen vil det være betydelige utslipp i forbindelse med drift og vedlikehold som ikke fanges opp i kostnaden per tonn CO₂. Utslipp i forbindelse med byggefase, både direkte og indirekte, fanges derimot opp i kostnaden per tonn CO₂, og denne er betydelig større for elektrifisering. Det betyr at flere utslipp som kan være av betydning er fanget opp i kostnad per tonn CO₂ for elektrifiseringskonseptet enn for hydrogenkonseptene. I tillegg er elektrifisering å foretrekke av hensyn til tilsvarende driftsform på tilstøtende banestrekninger som Kongsvinger- og Dovrebanen.

Miljødirektoratet opererer med tre tiltakskategorier; under 500 kr pr tonn, mellom 500-500 kr pr tonn og over 1500 kr pr tonn. Alle konseptene på Røros- og Solørbanen havner i den mest kostbare tiltakskategori 3 med langt over 1500 kr pr tonn CO₂.

4.3 Raumabanen

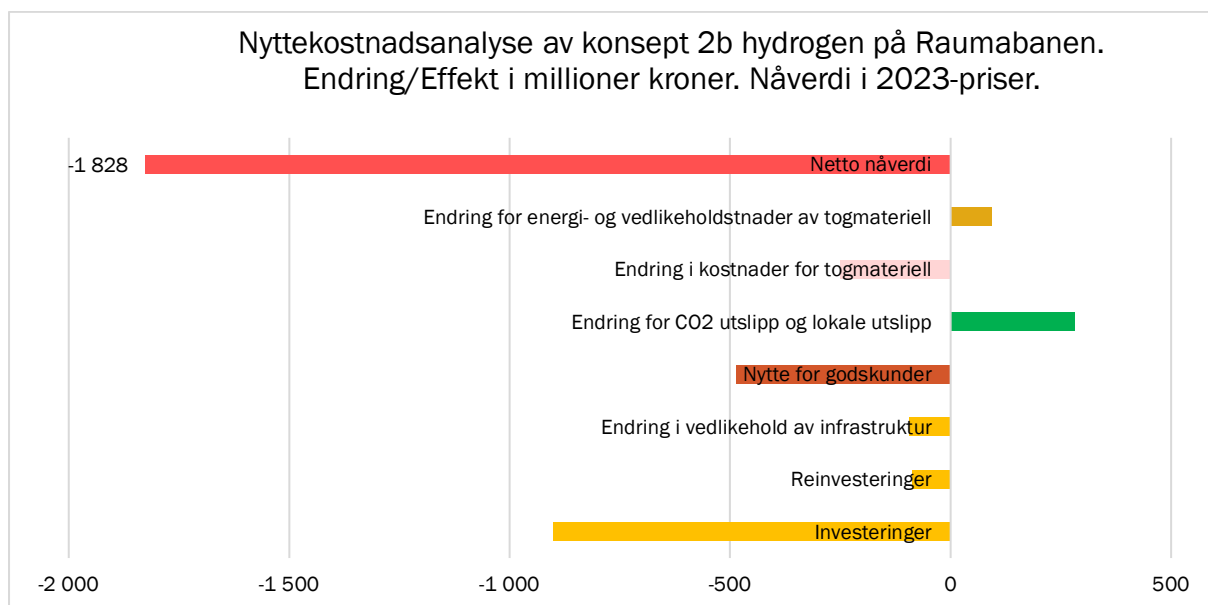
4.3.1 Basisresultater konsept 2a hydrogen på Raumabanen



Figur 25 Nyttekostnadsanalyse av konsept 2a hydrogen på Røros- og Solørbanen.

Hydrogen 2a konseptet kommer også på Raumabanen ut i et samfunnsøkonomisk underskudd som en negativ netto nåverdi på - 1 000 millioner kroner. Men underskuddet her er mye mindre enn for Røros- og Solørbanen og Nordlandsbanen på grunn av at Raumabanen er kortere enn disse to banene. Kostbart togmateriell og høye energi- og vedlikeholdskostnader av disse er hovedårsakene til at ikke investeringskostnaden på infrastrukturen blir tilstrekkelig motsvart av nyttekomponenter på den lavt trafikkerte Raumabanen.

4.3.2 Basisresultater konsept 2b hydrogen med delelektrifisering på Raumabanen

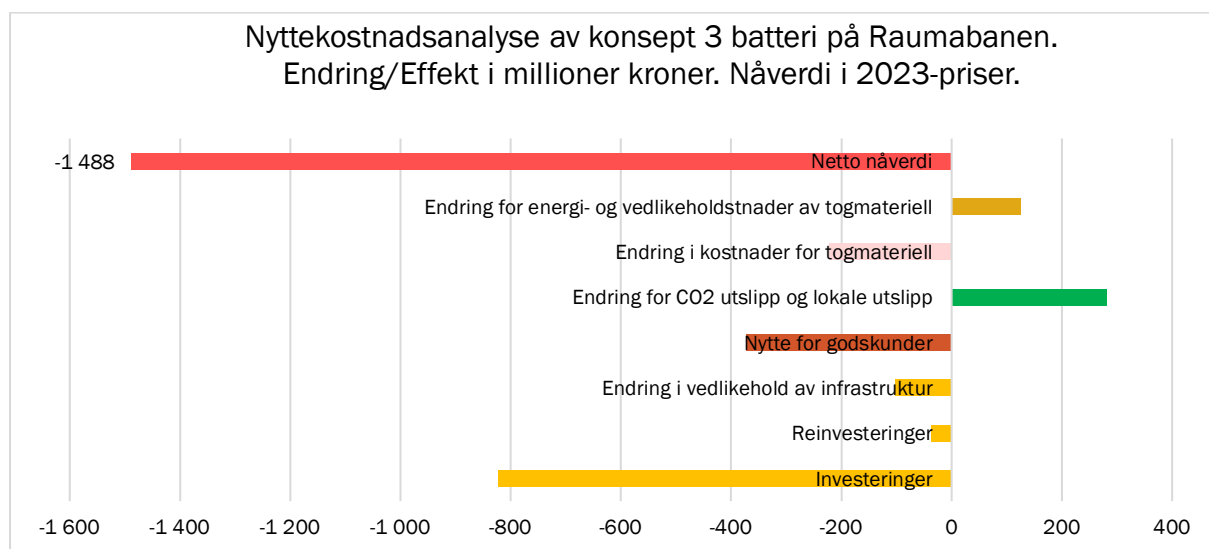


Figur 26 Nyttekostnadsanalyse av konsept 2b hydrogen med delelektrifisering på Raumabanen.

Hydrogen med delelektrifisering kommer dårligere ut enn 2a alternativet med en netto nåverdi på -1 828 millioner kroner på grunn av mer kostbare investeringer på jernbaneinfrastrukturen. Det er noe mindre

driftskostnader for operatørene i både godstransport og persontransport enn for 2a, men det oppveier ikke for økte investeringskostnader.

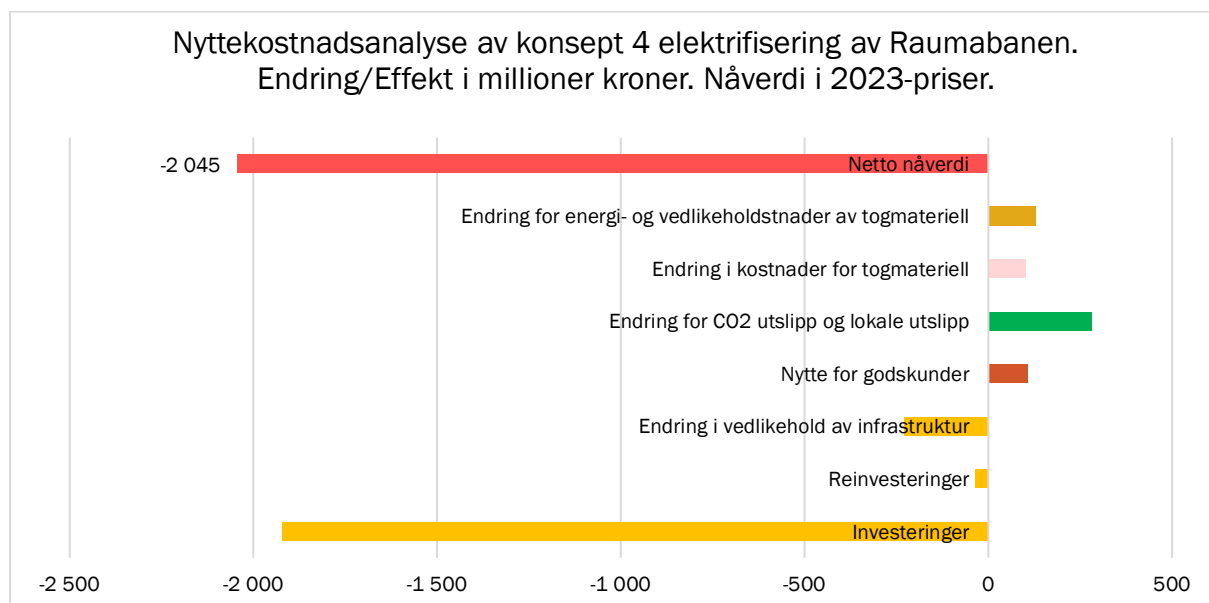
4.3.3 Basisresultater konsept 3 batteri på Raumabanen



Figur 27 Nyttekostnadsanalyse av konsept 3 batteri på Raumabanen

Det samfunnsøkonomiske underskuddet har en negativ netto nåverdi på -1 488 millioner kroner. Investeringene er 106 millioner kroner mindre for batterikonseptet enn konsept hydrogen med delelektrifisering, og netto nåverdien er bedre enn hydrogen 2b. Og så er det mer reduksjoner i energi- og vedlikeholdskostnader av togmateriell for persontransport ved batterikonseptet. Men hydrogen 2a kommer best ut på grunn av relativt lite investeringer på infrastrukturen.

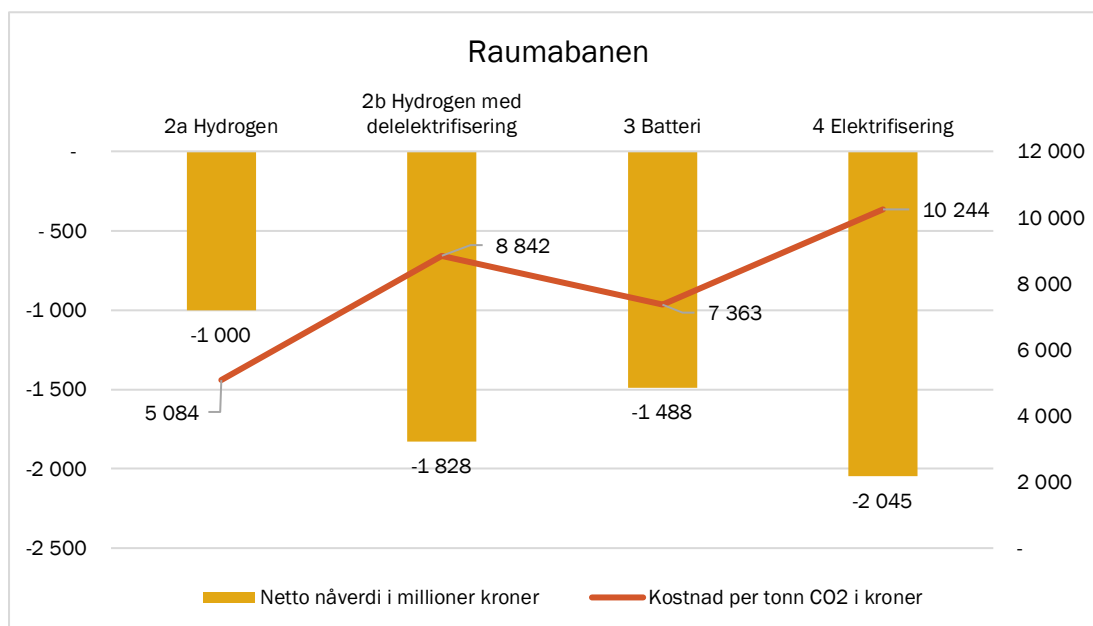
4.3.4 Basisresultater konsept 4 elektrifisering av Raumabanen



Figur 28 Nyttekostnadsanalyse av konsept 4 elektrifisering av Raumabanen

Elektrifisering kommer som den gjør for de 2 andre banene med en negativ netto nåverdi her på - 2 045 millioner kroner. Hydrogenkonsept 2b kommer knapt bedre ut. Elektrifisering gir best resultat for reduksjon i driftskostnader i persontransporten og i godstransporten.

4.3.5 Resultater på Raumabanen

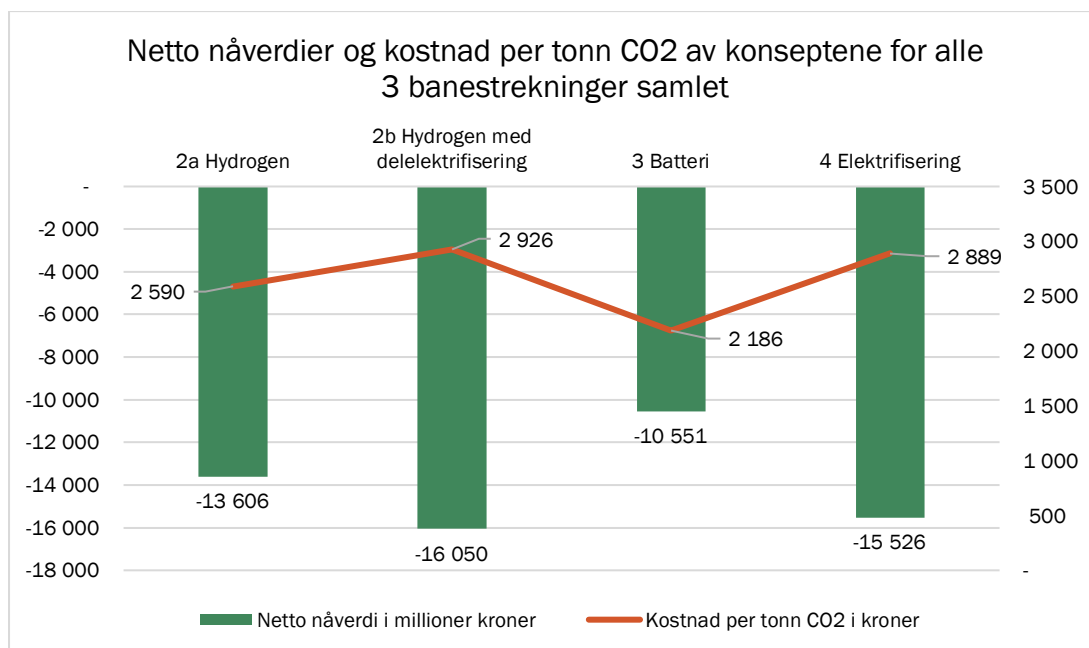


Figur 29 Netto nåverdier og kostnad pr tonn CO2 for konseptene på Raumabanen

Alle konsept er samfunnsøkonomisk ulønnsomme i forhold til nullalternativet/dagens dieseldrift. Hydrogen 2a kommer ut med minst negativ netto nåverdi på - 1000 millioner kroner og en tiltakskostnad på 5 084 kr. Tiltakskostnaden er mye høyere enn beste konsept på Nordlandsbanen og Røros- og Solørbanen på grunn av lite togtrafikk på strekningen.

4.3.6 Resultat for alle 3 banestrekninger samlet

Figuren nedenfor viser samlet netto nåverdier for hver energiform for de tre aktuelle jernbanene samlet.



Figur 30 Netto nåverdier for alle 3 banestrekninger samlet

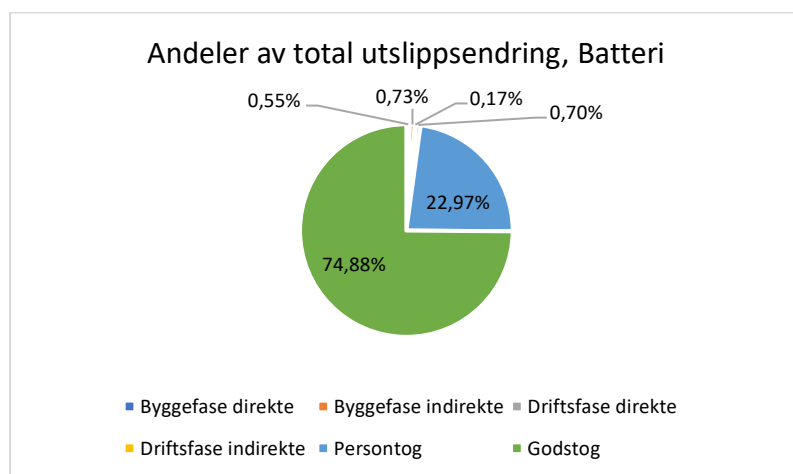
Samlet sett kommer batteri best ut med minst negativ nåverdi på - 10 551 millioner kroner. Nest best kommer hydrogen 2a med -13 606 millioner kroner. Siden nåverdien av alle alternativ er klar negativ

kommer referansealternativet diesel best ut når en prissetter CO₂ utslipp etter hovedalternativet for karbonprisbane. Det er særlig at batterikonseptet kommer klart best ut der det kjøres mest tog på Nordlandsbanen som betyr mest for at netto nåverdi for batteri er vel 3 milliarder kroner bedre enn for hydrogenkonsept 2a for alle strekningene samlet sett.

4.4 Samfunnsøkonomiske kostnader pr tonn redusert CO₂ utslipp

I KVVU GREEN er størrelsen samfunnsøkonomisk kostnad pr tonn redusert CO₂ utslipp relevant å bruke som grunnlag for rangering i tillegg til netto nåverdi. Dette fordi redusert CO₂ utslipp er det sentrale argument for prosjektet. Denne kostnaden kan da brukes for å rangere tiltakene slik at det er mulig å si noe om hvilke som bidrar til måloppnåelse til lavest mulig kostnad. Kostnaden tar utgangspunkt i netto nåverdi, men for å unngå dobbelttelling av utslippene som her er med som en fysisk størrelse (tonn/Co₂-ekvivalenter), fjernes verdsetningen av CO₂-utslippene fra netto nåverdi. Det er beregnet utslipp fra byggefase og driftsfase for prosjektet.

I de samfunnsøkonomiske kostnadene per tonn redusert CO₂ er utslipp fra byggefase, både direkte og indirekte inkludert i beregningen, men utslippene forbundet med drift og vedlikehold er ikke inkludert. Dette er fordi det metodisk sett er vanskelig å inkludere. Rapporten «Metode for å inkludere klimagassutslipp fra utbygging i samfunnsøkonomiske analyser» (Miljødirektoratet, jernbanedirektoratet, BANE NOR, NYEVeier, Statens vegvesen, 2022) har kartlagt at store deler av de direkte og indirekte utslippene knyttet til utbygging skjer i Norge. Kartlegging utslipp i driftsfasen, spesielt de indirekte, foreligger ikke så det blir vanskelig å si noe om disse vil føre til utslipp på norsk klimaregnskap. Nyttetekostnadsanalyseverktøyet SAGA beregner reduserte utslipp knyttet til togproduksjonen når vi går over til en energiform med nullutslipp og figurene under viser at disse utgjør mesteparten av utslippsendringene. I KVVU GREEN er det mest utslipp i driftsfasen på 75 år. Figuren nedenfor for batteri samlet for alle 3 banene viser dette.



Figur 31 Utslippssendringer CO₂ for batteri-konseptet for alle 3 baner samlet

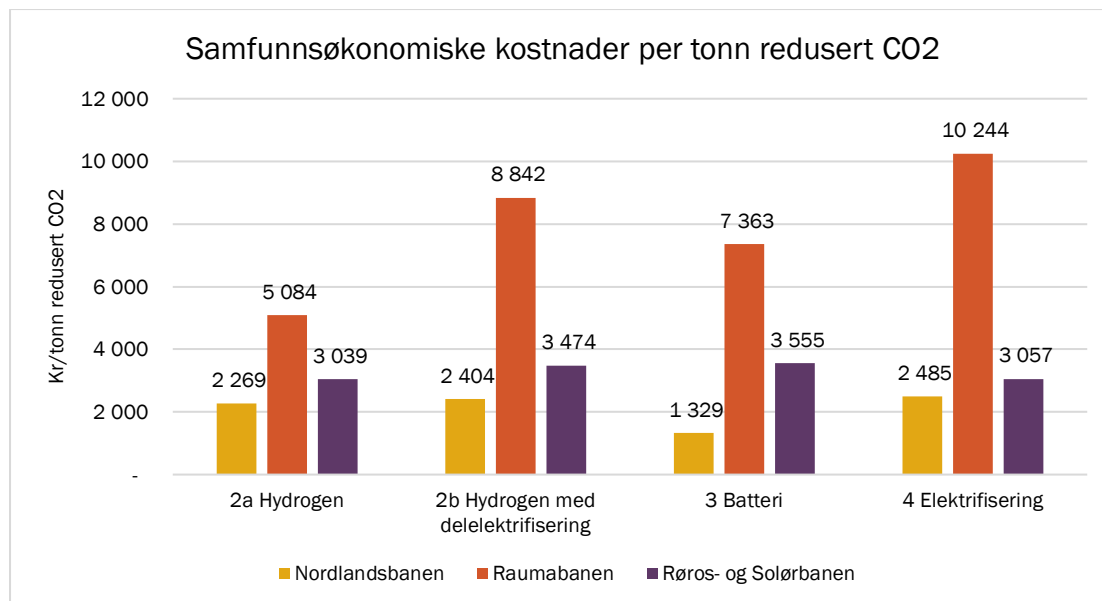
Tabellen viser at mesteparten av endringene i CO₂ utslipp skjer i driftsfasen ved direkte utslipp fra kjøring av batteri-tog istedenfor diesel-tog. Samlet for godstog 75% og diesel-tog 23%, til sammen 98%. Det blir mest for godstog fordi de er tyngst, krever mest energi og har et høyt dieselforbruk som erstattes med utslippsfri kjøring. Resten av de omtrent 2 prosentene er utslipp i byggefase og i driftsfasen av både direkte utslipp som prissettes etter karbonprisbanen, for eksempel utslipp forårsaket av bruk av diesel arbeidsmaskiner, og indirekte forårsaket av produksjon av materialene som brukes til utbyggingen. Det er små forskjeller mellom de ulike konseptene fra figuren ovenfor. Elektrifisering har mest utslipp i byggefasen, men det utgjør likevel ikke mer enn 2,5% av utslippssendringene. Det er noe indirekte utslipp av hydrogenutstyr til kjøretøy i driftsfasen, men dette utgjør ikke mer enn omtrent 3% av utslippssendringene for hydrogenkonseptene.

Særlig for indirekte utslipp er det usikkerhet om utslippene er innenfor det norske klimaregnskapet da beregningene ikke skiller mellom utslipp i Norge og i utlandet. Vi har valgt å ta med alle utslippene som er beregnet i byggefasen i KVVU GREEN. Det er en del indirekte utslipp i driftsfasen, mest for hydrogenutstyr til kjøretøy. Vi har valgt å ikke ta med indirekte utslipp i driftsfasen som følge av høy usikkerhet om de er

innfor det norske klimagassregnskapet og i så fall om det er en CO₂ kostnad, samt kompleksitet i beregningene med tidsforløp av utslippene, kvotepris og diskontering. Det er gjort visse undersøkelser av klimagassutslipp i byggefasen i en rapport fra 2022 – Metode for å inkludere klimagassberegninger fra utbygging i samfunnsøkonomiske analyser (Statens vegvesen, Nye Veier, Bane NOR, Jernbanedirektoratet, Miljødirektoratet, 22), der det er antatt at 70% av utslippene skjer i Norge. Ut fra dette tas alle utslipp i byggefasen med og ingen indirekte utslipp i driftsfasen, men det er høy usikkerhet om dette. Vi har ikke nok grunnlag til å beregne konkrete andeler utslipp som skjer i Norge.

Men som gjennomgangen ovenfor viser har dette liten betydning fordi de indirekte utslippene ikke utgjør mer enn 2-4% av utslippsendringene.

Figuren nedenfor viser med forutsetningene ovenfor netto nåverdi, dividert på det totale utslipp CO₂ fra byggefase og ut driftsperioden på 75 år.



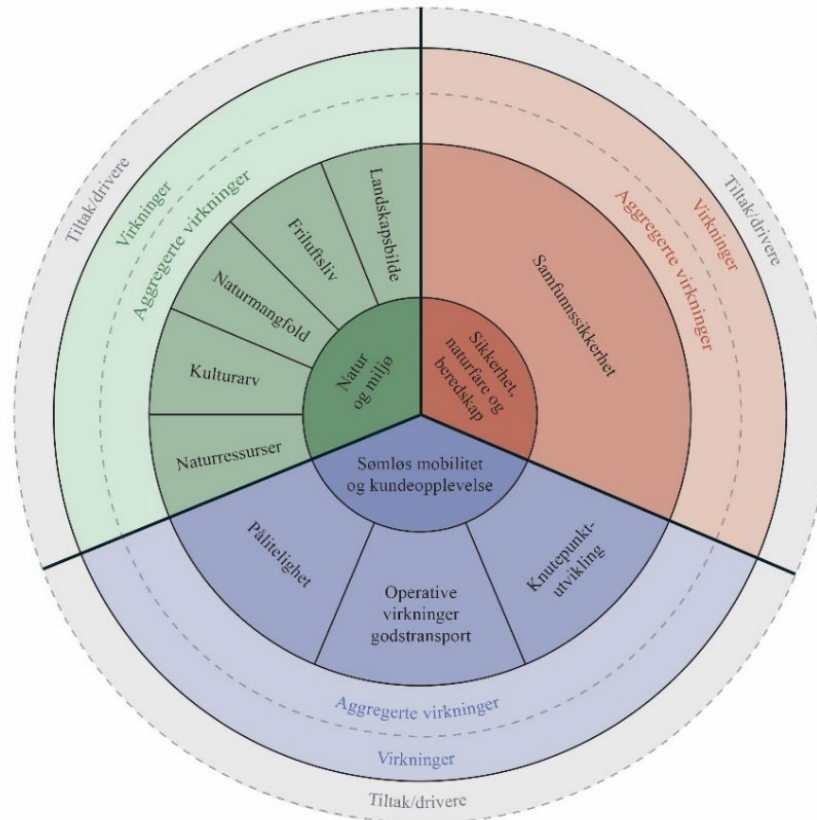
Figur 32 Samfunnsøkonomisk kostnader pr tonn redusert CO₂

Miljødirektoratet operer med tre tiltakskategorier for samfunnsøkonomiske kostnader pr tonn redusert CO₂ utslipp; under 500 kr, mellom 500 og 1500 kr og over 1500 kr pr tonn. Figuren viser at alle konsept utenom batter på Nordlandsbanen havner i tiltakskategori 3, over 1500 kr pr tonn. Batterikonseptet på Nordlandsbanen havner i tiltakskategori 2 med 1 336 kr pr tonn. Rangeringen blir den samme som etter netto nåverdi på Nordlandsbanen med batteri som beste konsept og på Raumabanen med hydrogen 2a som beste konsept. På Røros- og Solørbanen endres rangeringen ved at hydrogen 2a kommer best ut her etter kostnad pr tonn CO₂ og elektrifisering best ut etter netto nåverdi. Forskjellen er som for netto nåverdi liten med 18 kr i favør av hydrogen 2a etter kostnad pr tonn CO₂. Ulik rangering skyldes at i kostnad pr tonn redusert tonn CO₂ er CO₂ kostnaden ekskludert, mens den er inkludert i netto nåverdien.

4.5 Analyse av ikke-prissatte virkninger

4.5.1 Kort om metoden

Jernbanedirektoratet vil i denne KVV-en benytte en ny og mer samfunnsøkonomisk basert metode for å analysere de ikke-prissatte virkningene (=IPV). Her er IPV-ene kategorisert i tre hovedkategorier, som igjen delt opp i til sammen ni fagtemaer.



Figur 33 Hjul ikke-prissatte virkninger

De tre hovedkategoriene er den innerste kjernen i hjulet, og de ni fagtemaene den nest innerste kjernen. Den ytterste grå sirkelen består av tiltakene/driverne som forårsaker de ikke-prissatte virkningene.

Metoden bygger på prinsippet om at ikke-prissatte skal vurderes på samme måte som prissatte, kvantifisere virkninger så langt det lar seg gjøre, og det skal anvendes standardiserte indikatorer for å vurdere konsekvens. Prinsippet om at ikke-prissatte virkninger skal vurderes på samme måte som de prissatte virkningene, innebærer å spesifisere tre dimensjoner:

1. antall berørte
2. påvirkning per berørt
3. enhetsverdi/samlet indikator

Det er vesentlig for analysen å unngå dobbelttelling som vil innebære at enkelte virkninger får større vekt eller verdi enn det er grunnlag for. Dette unngås ved at metoden legger vekt på å tydeliggjøre årsaks-virkningskjeden fra tiltak til samfunnsøkonomisk virkning. I tillegg grupperes virkningene etter hvilken gruppe som blir berørt, ikke etter årsak til påvirkning.

Vi har også et grensesnitt mellom pålitelighet og samfunnsikkerhet. **Pålitelighet** uttrykker hvor stabil trafikken er i en normalsituasjon. Samtidig måler vi **samfunnsikkerhet** som bl.a. infrastrukturens evne til å være åpen for transport under ekstreme forhold. Driftsstabilitet er synonymt med oppetid². Dette gir:

² Jernbanedirektoratets begrepskatalog, 2017.

- pålitelighet - driftsstabilitet i en normalsituasjon
- samfunnssikkerhet - driftsstabilitet under ekstreme forhold

Her vil som regel tiltak/drivere som påvirker samfunnssikkerheten positivt, også påvirke påliteligheten positivt. Men tiltak/drivere som påvirker påliteligheten positivt, kan være utilstrekkelige for å påvirke samfunnssikkerheten positivt.

4.5.2 Indikatorene i analysen

Indikatorene som blir brukt til å analysere de ikke-prissatte virkningene er listet opp i tabell 0.1.

De relevante tiltakene er knyttet til overbygning på sporet og utbygging for å sikre energitilførsel. Det innebærer at det ikke er vurdert at egenskaper ved stasjonene eller godsterminalene vil endres på måter som får betydning for utvikling av knutepunkter.

Ut over de kvantifiserte prissatte virkningene, fanger IPV-metoden opp marginale virkninger for bedret eller forverret punktlighet i noen av konseptene. Disse virkningene har ikke vært mulig å kvantifisere. Derfor er det gjort en aggregert samlet vurdering av mulig ikke-prissatt påvirkning på pålitelighet, ut over den prissatte tidsbesparelsen.

Virkninger for sikkerhet foreligger ikke som egne indikatorer fra hovedrapporten til IPV-metoden, men nevnes i analysen. Dette gjøres basert på 3R-metoden, som vurderer sikkerhet ut fra endringer i Robusthet, Redundans, og Restitusjon.

For indikatorene innen Natur og miljø er det flere indikatorer hvor IPV analyseres basert på tiltakenes påvirkning på ulike typer areal. Til dette er det utført kartanalyser i ArcGIS Pro for å sammenstille resultater.

Tabell 9 IPV-indikatorer for natur og miljø

Virkning	Antall berørte	Påvirkning	Enhetsverdi	Samlet indikator
Natur og miljø (friluftsliv/rekreasjon)	Antall innbyggere innenfor 1000 m av de friluftsområdene som faller innenfor beslags- og influenssonen. Nasjonale brukere telles basert på antall hytter og hoteller i nærområdet, vektet med antatt bruksfrekvens.	Hvor stor andel av de kartlagte friluftsområdene innenfor 1000 m av de berørte husstandene som faller innenfor beslags- og influenssonen. Ganges med gjennomsnittlig antall rekreasjonsdager i friluftsliv for å omsette i tapte rekreasjonsdager per berørt.	Ikke kartlagt/ manglende kunnskap.	Forventet antall reduserte rekreasjonsdager.
Natur og miljø (naturressurser)	Benytt AR5/AR50 og «utmark for beite» fra Kilden (NIBIO). Reinbeiteområder fra landbruksdirektoratet og mineralforekomster fra NGU.	Antall kvadratmeter/kvadratkilometer med fulldyrket og overflatedyrket jord, reinbeiteområder, utmark for beite og mineralressurser. Tell kun påvirkning fra fysisk arealbeslag, ikke influenssonen.	Ikke kartlagt/ manglende kunnskap	Summerte påvirkede arealer målt i antall kvadratkilometer.
Natur og miljø (landskapsbilde)	Antall fastboende og hytter som får endret utsyn iht. befolkningsstatistikk på 250x250 rutenett. Avgrenset til 1 km fra tiltaket.	Hvor mye mer jernbane (målt i lengde) hver berørt kan se. Vurderer kun utsyn til senterlinje, hytter og boliger vektet likt.	Ikke kartlagt/ manglende kunnskap.	Husstandskilometer økt baneutsyn; produktet av antall husstander og antall km økt utsyn til jernbane.
Natur og miljø (naturmangfold)	Ikke kartlagt/ manglende kunnskap.	Signaliser konfliktpotensial på ulike verneområder og berørte naturtyper iht. Rundskriv T-2/16. Arealet telles i absolutte størrelser	Ikke kartlagt/ manglende kunnskap.	Totalt vernet areal og areal med berørte naturtyper som påvirkes av tiltaket.

		(kvadratmeter/kvadrat-kilometer), og telles én gang selv om det opptrer i flere kartlag.		
Natur og miljø (kulturarv)	Ikke kartlagt/ manglende kunnskap.	Antall kartlagte kulturminner i beslags- og influenssonen som vil bli berørt av tiltaket.	Ikke kartlagt/ manglende kunnskap.	Antall kulturminner som påvirkes av tiltaket. Berørte kulturmiljøer omtales separat.

For indikatoren for friluftsliv er alle arealer som faller innenfor influenssonen til de ulike tiltakene på banestrekningene fanget opp. En slik grad av påvirkning anser vi som lite sannsynlig. Flere av friluftslivsområdene er park-, leke- og rekreasjonsområder i tettbygde områder. Disse er både ofte adskilt fra evt. utbygging ved bygningsmasse e.l., og allerede sterkt preget av bymiljøene rundt dem. Indikatoren gir derfor kun et anslag på hvor mange rekreasjonsdager som mulig kan påvirkes av tiltakene i de ulike konseptene.

For indikatoren for naturressurser er kartlag for utmark for beite ikke benyttet i GIS-analysene. Det er ikke registrert noen overlapp mellom beitelagsområder og lokasjonene for utbygging som er spesifisert i KVUen. Der det evt. er konfliktpotensial nevnes det i vurderingene som gjøres i Kapittel 7 i IPV-rapporten.

For indikatoren for landskapsbilde er det gjort noen forenklinger, da det ikke har vært mulig å gjøre større siktanalyser på nåværende tidspunkt i KVUen. Det er derfor ikke vurdert hvor mye mer jernbane hver påvirket bolig får utsyn til. Det er kun gitt indikasjon på hvor mange boliger som mulig kan bli påvirket av endret utsyn som følge av de ulike konseptene. Det er tatt høyde for antall boliger i influenssonen til jernbanen, for å anslå hvor mange som kan få endret utsyn ved oppføring av KL. Det er også medregnet antall boliger innenfor influenssonen til fyllestasjonene. Da omformerstasjonene etableres så nærme jernbanen som mulig, er dette ikke medregnet for å hindre dobbelttelling av antall berørte husstander – i de fleste tilfeller sammenfaller KL-strekning med omformerplassering.

For indikatoren kulturarv er det kartlagt alle registrerte kulturminner som faller innenfor beslags- og influenssonen. På dette nivået av utredning har det ikke vært mulig å tydelig spesifisere hvilke av disse som berøres av et tiltak, og hvilke som ikke blir dette. Flere av kulturminnene er, slik som friluftslivsområdene, adskilt fra tiltakene ved bygningsmasse eller lignende, som gjør det lite sannsynlig at de vil påvirkes av utbygging. Samtidig kan økt aktivitet i området, f.eks. på grunn av massetransport, føre til en forringelse i en viss tidsperiode. Da plasseringen av utbyggingen i konseptene er høyst usikker, har vi sett det hensiktsmessig å inkludere alle kulturminner som faller innenfor beslags- og influenssonen. Dette gjør ulikhetene mellom de forskjellige lokasjonene tydeligere.

4.5.3 Banevise resultater fra IPV-analysen

I dette del-kapitlet viser vi resultatene av kvantifiseringene av de ikke-prissatte virkningene av indikatorene for natur og miljø for hver av banene. Analysene gir ikke grunnlag for noen tallfesting av virkningene for pålitelighet for noen av konseptene på de forskjellige banene. Vår metode gir heller ikke noe grunnlag for å kvantifisere samfunnsikkerhet. Vi redegjør nærmere for usikkerheten i kvantifiseringen av indikatorene i IPV-rapportens kapittel 7. Konseptene er rangert basert på deres negative påvirkning på IPV i forhold til referansealternativet. Det understrekes at det er heftet stor usikkerhet ved arealbeslagene i alle konseptene. De videre resultatene viser derfor kun en mulig påvirkning på IPV, og må leses i lys av dette. Spesielt i K2a og K2b er det ikke gjort tomtesøk utover bruk av Google Maps eller i Finn jf. plasseringen av hydrogendepoter.

Nordlandsbanen

Konsept 3 er vurdert til å ha færrest negative virkninger totalt for Nordlandsbanen i IPV-analysen. Grunnlaget for dette er den negative påvirkningen konsept 2a og 2b har på sikkerhet ved plasseringen av fyllestasjoner i Bodø og Trondheim. Selv om hydrogenkonseptene har mindre beslag av naturressurser og mindre påvirkning av landskapsbildet, gjør den store usikkerheten knyttet til plasseringen at dette ikke er nok til å veie opp for den vurderte påvirkningen på sikkerhet.

Tabell 10 Sammenstilling av påvirkning på IPV for konsepter på Nordlandsbanen

	Pålitelighet	Sikkerhet	Friluftsliv	Naturressurser	Landskapsbilde	Naturmangfold	Kulturarv
2a H ₂	0	+	421 994 rekreasjonsdager påvirket	15 000 m ² i arealbeslag	830 boliger i influenssonen	0 m ² i arealbeslag	53 kulturminner i influenssonen
2b H ₂ med del-elektrifisering	0	+	448 166 rekreasjonsdager påvirket	21 257 m ² i arealbeslag	12 454 boliger i influenssonen	0 m ² i arealbeslag	70 kulturminner i influenssonen
3 Batteri	+	0	388 249 rekreasjonsdager påvirket	33 797 m ² i arealbeslag	66 338 boliger i influenssonen	0 m ² i arealbeslag	71 kulturminner i influenssonen
4 Elektrifisering	+	0	388 249 rekreasjonsdager påvirket	33 797 m ² i arealbeslag	167 435 boliger i influenssonen	0 m ² i arealbeslag	74 kulturminner i influenssonen

Analysen av IPV for **Nordlandsbanen** viser et noe blandet resultat. Konseptene 3 og 4 har færrest antall påvirkede friluftslivdager, men størst beslag av jordbruks- og reindriftsområder, og trolig den største påvirkningen på landskapsbilde og kulturarv. Ingen av konseptene slår negativt ut for indikator for naturmangfold, som innebærer arealbeslag av ulike verneområder og viktige naturtyper. Samtidig er det et konflikt-potensial for påvirkning av viktige naturtyper for alle konseptene ved utbygging i Steinkjer. Det regnes å være marginalt større sannsynlighet for konflikt forbundet med fyllestasjon enn omformerstasjon, grunnet nærhet til de registrerte terrestriske naturområdene.

Deler av arealbeslaget på naturressurser for konseptene er innenfor de administrative grensene for beite-land for reindrift. Dette betyr at det reelle beslaget av beiteland for rein er mindre enn antatt. Fordi noe av arealbeslaget av reindriftsområder i konseptene 3 og 4 skjer innenfor områder som også registrert som årstidsbeiter, styrker dette at 2a kommer bedre ut. Omformerer som kreves i 2b er også plassert innenfor et årstidsbeite, som gjør at dette konseptet også trolig får større negativ påvirkning enn 2a.

Konsept 2a har trolig størst påvirkning på rekreasjonsdager, ca. 10 % mer enn konseptene 3 og 4, da det i Trondheim gjøres et direkte beslag av svært viktige friluftsområder i et område med mange innbyggere. Da det er stor usikkerhet knyttet til endelig plassering, anser vi ikke dette som nok til at den totale negative påvirkningen til konsept 2a nødvendigvis blir større enn de resterende konseptene.

Videre har konsept 2a trolig også den minste negative virkninger for landskapsbilde, da det i dette konseptet er tydelig færrest antall boliger som mulig vil få endret utsyn. Konsept 2a har også færrest registrerte kulturminner innenfor influenssonen til tiltakene som kreves.

Konseptene 2a og 2b har hver fire fyllestasjoner for hydrogen hvorav to har et volum på mer enn 4,5 tonn som er over grensen for risikoen for storulykker. Det er stasjonene i Trondheim (7,2 tonn) og Bodø (9,6 tonn) og begge er plassert sentralt i byområdene. En storulykke kan derfor få svært store negative konsekvenser for liv og helse. Samtidig vil kravene til sikkerhetstiltak være større for disse enn for mindre fyllestasjoner. Dette antas å redusere, men ikke oppheve, risikoen for en storulykke. Dette er «kvantifisert/verdsatt» til et minus for begge konseptene. Denne vurderingen veier tungt i rangeringen, da

en ulykke kan ha alvorlige konsekvenser i Trondheim og Bodø siden fyllestasjonene er lokalisert av bebygde boligområder. Plasseringen av så store fyllestasjoner kan gi virkninger for den opplevde tryggheten til befolkningen. Dette gjør at vi vurderer virkningene av 2a og 2b til å ha større negativ påvirkning enn 3 og 4, til tross for ulikheten i beslag av naturressurser og endring av landskapsbilde.

Restitusjonsevnen kan være marginalt høyere for hydrogenkonseptene enn for referansealternativet, men virkningen er trolig ikke stor nok til å veie opp for sikkerhetshensyn med tanke på storulykker. Konsept 4 har en sannsynlighet for å ha lavere driftsstabilitet og robusthet enn det andre konseptene, noe som styrker rangeringen.

Rørosbanen

På Rørosbanen er det vurdert at konsept 3 kommer best ut etterfulgt av 4. Hydrogenkonseptene 2a og 2b kommer dårligst ut, spesielt med tanke på friluftsliv, kulturarv, og naturmangfold.

Tabell 11 Sammenstilling av påvirkning på IPV for konsepter på Rørosbanen

	Pålitelighet	Sikkerhet	Friluftsliv	Naturressurser	Landskapsbilde	Naturmangfold	Kulturarv
2a H ₂	0	0	111 418 rekreasjonsdager påvirket	874 m ² i arealbeslag	95 boliger i influenssonen	6 600 m ² i arealbeslag	79 kulturminner i influenssonen
2b H ₂ med del-elektrifisering	0	0	112 495 rekreasjonsdager påvirket	9 697 m ² i arealbeslag	3 332 boliger i influenssonen	6 600 m ² i arealbeslag	86 kulturminner i influenssonen
3 Batteri	+	0	2 316 rekreasjonsdager påvirket	8 823 m ² i arealbeslag	16 004 boliger i influenssonen	0 m ² i arealbeslag	11 kulturminner i influenssonen
4 Elektrifisering	+	0	34 197 rekreasjonsdager påvirket	3 918 m ² i arealbeslag	39 735 boliger i influenssonen	0 m ² i arealbeslag	16 kulturminner i influenssonen

Analysen av IPV for Rørosbanen viser et noe mer sammensatt resultat. Konsept 3 har færrest mulige påvirkede for virkninger for friluftsliv og kulturarv enn de andre konseptene og har en positiv virkning på pålitelighet. Samtidig beslaglegger konseptet ti ganger mer areal til jordbruk og reindrift enn konsept 2a.

For 2a og 2b er det stor usikkerhet knyttet til arealbeslaget med tanke på naturressurser i de ulike konseptene. Det er i de fleste tilfeller uvisst om det vil bli større eller mindre beslag enn antatt da det er flere mulige konfliktområder i området rundt foreslått plassering. Konsept 3 har mindre usikkerhet knyttet til anslaget, og for konsept 4 vurderes det dog at det er mulig at arealbeslaget blir mindre enn antatt. Det er særlig omformerstasjonen på Reitan som behøves i konsept 2b og 3 som gir utslag i indikatoren. Deler av dette arealet er knyttet til et administrativt område for reindrift, men omformeren er ikke plassert innenfor det faktiske årstidsbeite.

Konsept 2a har tydelig færrest antall berørte for virkninger på landskapsbilde, men konseptet kan mulig påvirke ca. 48 ganger flere rekreasjonsdager enn konsept 3 og over 3 ganger mer enn konsept 4. Samtidig er det knyttet større usikkerhet til indikator for friluftsliv i konsept 2a og 2b enn i 3 og 4, og det regnes i konsept 3 for å være flere påvirkede rekreasjonsdager enn antatt, i motsetning til de andre konseptene.

Det er vurdert at usikkerheten trolig ikke vil endre forholdet mellom påvirkningen for de ulike konseptene, men det presiseres at forskjellen mellom konseptene trolig er mindre enn hva som fremstilles her.

Konsept 2a og 2b på Rørosbanen er de eneste registrerte lokasjonene der det er utslag for indikatoren naturmangfold. Hele fyllestasjonen på Støren er plassert innenfor et svært viktig naturområde, og råd fra utredninger av områder tilsier at det burde spares for alle typer inngrep. Dette veier tungt i vurderingen av rangering mellom konseptene. Det gjør at konsept 3 og 4 er å foretrekke da det ikke er registrert å være noe tydelig konfliktområder for denne indikatoren for disse konseptene.

Den totale mulige påvirkningen på rekreasjonsdager, kulturarv, og landskapsbilde gjør at konsept 3 får forrang foran 4, men med en tyngre vektlegging av betydningen av naturressurser kan gi en annen rangering. På grunn av usikkerheten, og at reindriftsområdet ved omformer på Reitan i konsept 3 ikke overlapper med årstidsbeite, ser vi at det er stor sannsynlighet for å den samlede negative påvirkning fra konsept 3 er lavere enn for konsept 4.

Fyllestasjonene i konseptene 2a og 2b har et volum på mindre enn 4,5 tonn. Dermed antas disse å kun ha en neglisjerbar virkning på sikkerheten. Restitusjonsevnen kan være marginalt høyere for hydrogen-konseptene enn for referansealternativet, men virkningen er trolig ikke stor nok til å påvirke rangeringen. Konsept 4 har en sannsynlighet for å ha lavere driftsstabilitet og robusthet enn det andre konseptene, noe som styrker at 3 foretrekkes fremfor 4.

Solørbanen

På Solørbanen er konsept 3 og 4, og 2a og 2b like. I både konsept 3 og 4 skal banen hel-elektrifiseres, og i 2a og 2b er det ingen del-elektrifiserte strekninger langs banen eller forskjell i utbygging av omformerstasjoner. Vi ser at konsept 3 og 4 virker å ha sannsynlighet for færrest negative virkninger for IPV, til tross for å ha høyest påvirkning på landskapsbildet. Da det vil være hensiktsmessig å benytte samme, eller kompatible, energibærere på Røros- og Solørbanen har vi valgt å vurdere 3 til å være det mest egnede konseptet på banen. 2a og 2b vurderes å være like i rangeringen.

Tabell 12 Sammenstilling av påvirkning på IPV for konsepter på Solørbanen

	Pålitelighet	Sikkerhet	Friluftsliv	Naturressurser	Landskapsbilde	Naturmangfold	Kulturarv
2a H ₂	0	0	11 233 rekreasjonsdager påvirket	0 m ² i arealbeslag	13 boliger i influenssonen	0 m ² i arealbeslag	8 kulturminner i influenssonen
2b H ₂ med del-elektrifisering	0	0	11 233 rekreasjonsdager påvirket	0 m ² i arealbeslag	13 boliger i influenssonen	0 m ² i arealbeslag	8 kulturminner i influenssonen
3 Batteri	+	0	0 rekreasjonsdager påvirket	0 m ² i arealbeslag	17 143 boliger i influenssonen	0 m ² i arealbeslag	4 kulturminner i influenssonen
4 Elektrifisering	+	0	0 rekreasjonsdager påvirket	0 m ² i arealbeslag	17 143 boliger i influenssonen	0 m ² i arealbeslag	4 kulturminner i influenssonen

Analysen av IPV for Solørbanen viser nok en målkonflikt, men i en noe tydeligere form enn for Rørosbanen. Konseptene 3 og 4 har positive, men marginale, virkninger på pålitelighet som trekker i en positiv retning.

Samtidig har disse konseptene mulig en stor påvirkning på landskapsbildet sammenlignet med 2a og 2b. For friluftsliv har 3 og 4 ingen endring fra referansealternativet. Konsept 2a og 2b har på sin side en sannsynlighet for å påvirke en stor mengde rekreasjonsdager. For kulturarv kommer 2a og 2b også dårligere der 8 kulturminner faller innenfor influenssonen. Det er dog større usikkerhet knyttet om disse vil påvirkes av tiltakene, enn for de 4 stasjonsområdene som kan påvirkes i konsept 3 og 4. Hvilke konsepter som anses som best kan basert på dette alene være avhengig av hvordan en vektlegger friluftslivs opp mot landskapsbilde.

Selv om indikatorene ikke viser resultater knyttet til naturressurser og naturmangfold, er det i konsept 2a og 2b registrert noen mulige konfliktområder grunnet behovet for arealbeslag. For naturressurser er det registrert flere jordbruksarealer i nærheten av foreslått plassering for fyllestasjonen. Dette gir økt usikkerhet knyttet til høyere beslag enn antatt. Med tanke på naturmangfold er fyllestasjonen i konsept 2a og 2b foreslått plassert like ved elvebredden til Vingersjøen. Dette anses som et svært viktig deltaområde med omkringliggende sumpeng og kantskog som er vurdert å være tydelig nasjonalt viktig med flere registrerte rødlistearter. Mulig konfliktpotensial med fyllestasjonens plassering anses som stort. Disse usikkerhetene gjør at konsept 2a og 2b vurderes til å ha høyere sannsynlighet for negativ påvirkning på IPV, enn hva indikatorene tilsier, noe som gjør at konsept 3 og 4 er rangert høyere.

Konseptene 2a og 2b har en fyllestasjon lokalisert i nærheten av industriområdet tilknyttet til Kongsvinger tømmerterminal. Den er med sine 5,4 tonn over kritisk grense for en storulykke. På grunn av lokasjonen er det antatt at en storulykke ikke vil ha samme negative konsekvenser i Kongsvinger som for fyllestasjonene i Bodø og Trondheim. Den antatte virkningen er derfor vurdert til å være neglisjerbar med «verdi» null. Hvis virkningen ikke er neglisjerbar, vil konklusjonene om at konseptene 3 og 4 kommer best ut bli styrket.

Restitusjonsevnen kan være marginalt høyere for hydrogenkonseptene enn for referansealternativet, men virkningen er trolig ikke stor nok til å påvirke rangeringen. Konsept 4 har en sannsynlighet for å ha lavere driftsstabilitet og robusthet enn det andre konseptene, noe som styrker at 3 foretrekkes fremfor 4.

Raumabanen

Konsept 2a virker å komme best ut på Raumabanen, etterfulgt av konsept 3, og så 2b og 4. Det er påvirkningen på pålitelighet, landskapsbilde, og kulturarv som gir utslag her. Det er også vurderinger knyttet til usikkerheten med tanke på indikator for naturmangfold, som styrker denne rangeringen.

Tabell 13 Sammenstilling av påvirkning på IPV for konsepter på Raumabanen

	Pålitelighet	Sikkerhet	Friluftsliv	Naturressurser	Landskapsbilde	Naturmangfold	Kulturarv
2a H ₂	0	0	Ukjent antall rekreasjonsdager påvirket	0 m ² i arealbeslag	25 boliger i influenssonen	0 m ² i arealbeslag	21 kulturminner i influenssonen
2b H ₂ med del-elektrifisering	0	0	Ukjent antall rekreasjonsdager påvirket	0 m ² i arealbeslag	25 boliger i influenssonen	0 m ² i arealbeslag	43 kulturminner i influenssonen
3 Batteri	+	0	Ukjent antall rekreasjonsdager påvirket	0 m ² i arealbeslag	1 274 boliger i influenssonen	0 m ² i arealbeslag	22 kulturminner i influenssonen
4 Elektrifisering	+	0	Ukjent antall rekreasjonsdager påvirket	0 m ² i arealbeslag	5 610 boliger i influenssonen	0 m ² i arealbeslag	25 kulturminner i influenssonen

Analysen av IPV for Raumabanen er noe mindre komplisert. Den viser at konseptene 3 og 4 har positive marginale virkninger på pålitelighet, noe konseptene 2a og 2b ikke har. Men konseptene 3 og 4 kan ha stor betydning for indikatoren landskapsbilde, med mange mulige berørte. For friluftsliv påvirkes et ukjent antall rekreasjonsdager for alle konseptene, da det mangler data fra kommunene. Usikkerheten er høy for alle konseptene. De har alle trolig høyere påvirkning enn 0, men det har ikke vært mulig å vurdere disse mot hverandre. Indikator for kulturarv viser at det i konsept 2b faller mange flere kulturminner innenfor influensssonen til tiltakene enn for de andre konseptene. Dette, og forskjellen i pålitelighet, er utslagsgivende for vurderingen om at 3 rangeres høyere enn 2b.

For alle konseptene er det mulig konflikt med jordbruksarealer med tanke på indikator for naturressurser. Dette er marginalt høyere for konsept 3 og 4, men da plasseringene av fyllestasjoner i 2a og 2b er mer usikre enn omformerstasjonenes plassering, anser vi ikke dette for å være utslagsgivende for vurderingen. I nærheten av omformerstasjon på Grytten er det registrert viktige naturtyper i henhold til T-2/16, dette er mulige konfliktområder som er med på å styrke vurderingen om at 2a er å foretrekke fremfor de andre konseptene.

Den positive marginale effekten konseptene 4 har for pålitelighet veier trolig ikke opp konseptets negative virkninger på indikatorene landskapsbilde og kulturarv. For konsept 3 er dog påvirkningen på landskapsbildet og kulturarv mindre, slik at påvirkningen på pålitelighet anses her som viktigere vurdert mot de andre virkningene.

Konseptene 2a og 2b har en fyllestasjon på Dombås med et volum på 1,2 tonn. Den er dermed godt under grensen på 4,5 tonn for en storulykke. Stasjonen er lokalisert innenfor grensene til tettstedet Dombås, men er i et relativt tynt befolket område sammenlignet med bynære strøk. Den negative virkningen fyllestasjonen har på indikatoren sikkerhet, er derfor vurdert til å være neglisjerbar. Restitusjonsevnen kan være marginalt høyere for hydrogenkonseptene enn for referansealternativet, men virkningen er trolig ikke stor nok til å veie opp for de negative virkningene av 2b fremfor 3. Konsept 4 har en sannsynlighet for å ha lavere driftsstabilitet og robusthet enn det andre konseptene, noe som styrker rangeringen.

4.6 Sammenstilling av de prissatte og ikke-prissatte virkningene

Den samfunnsøkonomiske analysen av konseptene viser at for de prissatte virkningene kommer samtlige tiltaksalternativer dårligere ut enn referansealternativet KO Fossil diesel. Det vil heller ikke være utbyggingstiltak i referansealternativet som vil virke negativt på indikatorene for de ikke-prissatte virkningene innen natur og miljø. Samtlige av tiltaksalternativene har i mer eller mindre grad negative virkninger på indikatorene for de ikke-prissatte virkningene for natur og miljø. Etter en tradisjonell samfunnsøkonomisk vurdering bør derfor referansealternativet KO Fossil diesel være det foretrukne alternativet i dette prosjektet. Denne konklusjonen forutsetter at to forhold opprettholdes. Det ene er at det må være mulig å kjøpe dieseldrevne tog og reservedeler til togene i de forskjellige markedene for materiell. Det andre er at det er etterspørsel etter dieseldreven transport i de relevante markedene for person- og godstransport. Begge forholdene må gjelde for hele analyseperioden som her er på 75 år.

Oppdraget i denne KVUen er å finne ut hvilke energibærere som kan erstatte diesel for å bidra til at regjeringen kan nå sine klimapolitiske mål og internasjonale forpliktelser. KVUen skal vurdere tiltak som reduserer utslipp fra jernbanen og de samfunnsøkonomiske kostnadene ved tiltakene. Vurderingen av rekkefølgen av tiltakene skal være basert på samfunnsøkonomiske kostnader per tonn CO₂. Mandatet åpner dermed opp for andre konklusjoner enn å forkaste alle alternativene som er samfunnsøkonomiske ulønnsomme etter en tradisjonell samfunnsøkonomisk analyse.

Følsomhetsanalysene i neste kapittel bidrar også til å nyansere bildet. For en høy karbonprisbane som etter FNs oppfatning må til for å nå 1,5-gradersmålet, er batteridrift (konsept 3) på Nordlandsbanen meget lønnsomt, elektrifisering (konsept 4) på Røros- og Solørbanen lønnsomt og 2a på Raumabanen noe ulønnsomt. For høye energipriser er det bare batteridrift på Nordlandsbanen som er samfunnsøkonomisk lønnsomt, mens konseptene 2a (Hydrogen), 2b (Hydrogen med batteridrift) og 3 (Batteridrift) er lønnsomt for alle baner i et optimistisk teknologiperspektiv.

Tabellene nedenfor sammenstiller rangeringen av konsept for den enkelte banestrekning etter både prissatte og ikke prissatte konsekvenser i basisalternativet. Konklusjonen er at de ikke prissatte virkninger ikke vil endre rangeringen etter prissatte virkninger for beste konsept på de 3 jernbanene, men det blir noen endringer i rekkefølgen under beste konsept.

Nordlandsbanen

Tabell 14 Rangering av konsepter etter både prissatte og ikke-prissatte virkninger på Nordlandsbanen

Rangering etter prissatt kostnad	Netto nåverdi (Mill NOK)	Samfunnsøkonomisk kostnad per tonn redusert CO ₂ -utslipp i kr	Rangering etter ikke-prissatt påvirkning	Endrer vurderingen av IPV den prissatte rangeringen?	Foreslått rangering
3 Batteri	-2 849	1 329	3	Vurdert å være sammenfallende for batteri som beste konsept i IPV og etter prissatte. Hydrogen 2a har ca. 1 milliard kroner i bedre netto nåverdi enn 4 elektrifisering og vi vurderer det slik at 2a samlet sett kommer bedre ut. For 2b og 4 er forspranget på 369 millioner kroner for 2b så vidt lite at vi rangerer 4 foran.	3
2a Hydrogen	-7 472	2 269	4		2a
2b H ₂ med del-elektrifisering	-8 125	2 404	2a		4
4 Elektrifisering	-8 416	2 485	2b		2b

Røros- og Solørbanen

Tabell 15 Rangering av konsepter etter både prissatte og ikke-prissatte virkninger på Røros- og Solørbanen

Rangering etter prissatt kostnad	Netto nåverdi (Mill NOK)	Samfunnsøkonomisk kostnad per tonn redusert CO ₂ -utslipp i kr	Rangering etter ikke-prissatt påvirkning	Endrer vurderingen av IPV den prissatte rangeringen?	Foreslått rangering
4 Elektrifisering	-5 065	3 057	3	4 er marginalt bedre enn 2a vurdert etter de prissatte virkningene. Det samme er 2b sammenlignet med 3. Men hydrogenkonseptene 2a og 2b skårer dårligst på IPV, spesielt for naturmangfold. Fyllestasjonen på Støren er lagt til et svært viktig naturområde hvor flere utredninger konkluderer med at området bør spares for alle typer inngrep. Dette tilsier at 4 bør rangeres foran 2a og 3 foran 2b. Vår vurdering er at forskjellen mellom batteri og elektrisk er for stor etter prissatte til at rangeringen endres når ikke-prissatte tas i betraktning. Elektrisk kommer ut med en netto nåverdi som er 1147 mill kr bedre enn batteri. Forskjellen mellom batteri og 2a er på over 1 milliard kroner. Usikkerheten knyttet til plassering og ulikheten i netto nytte gjør at vi anbefaler en rangering der 2a settes foran 3. Samtidig er forskjellen mellom 3 og 2b mindre, og de negative virkningene på naturmangfold gjør at 2b kommer dårligst ut i rangeringen etter IPV. Det understrekes at virkningen 2a og 2b har på naturmangfold, slik konseptene foreligger, gir arealbeslag av særlige viktige naturtyper av både lokal og nasjonal interesse.	4
2a Hydrogen	-5 134	3 039	4		2a
2b H ₂ med del-elektrifisering	-6 097	3 474	2a		3
3 Batteri	-6 214	3 555	2b		2b

Raumabanen

Tabell 16 Rangering av konsepter etter både prissatte og ikke-prissatte virkninger på Raumabanen

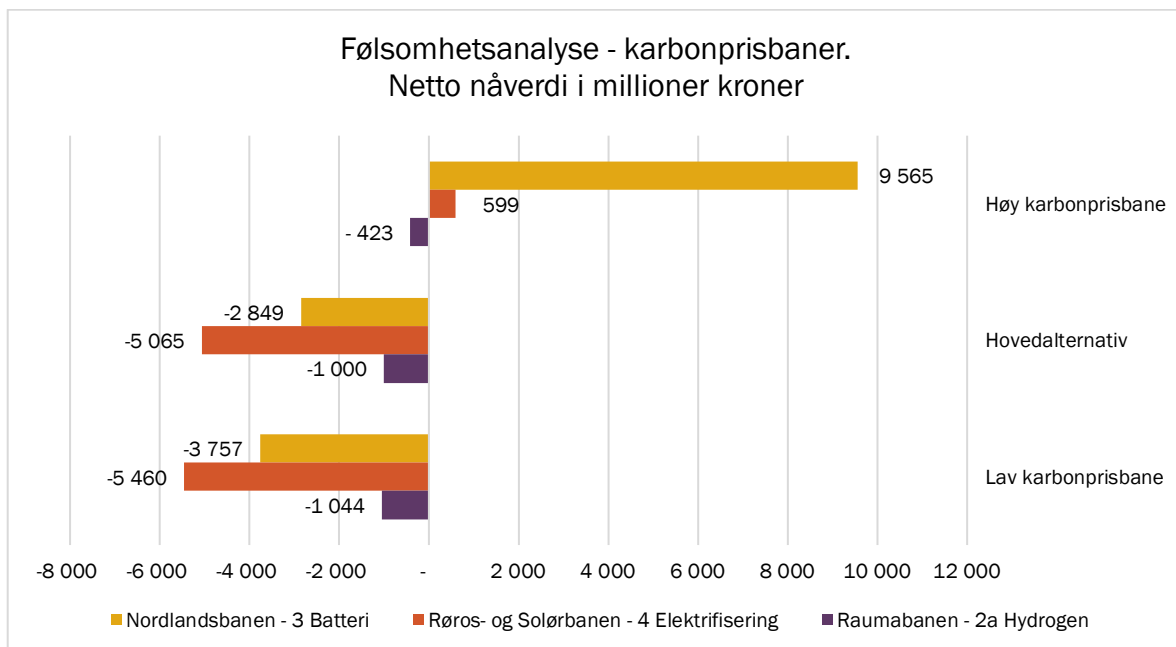
Rangering etter prissatt kostnad	Netto nåverdi (Mill NOK)	Samfunnsøkonomisk kostnad per tonn redusert CO ₂ -utslipp i kr	Rangering etter ikke-prissatt påvirkning	Samfunnsøkonomisk vurdering, endrer IPV den prissatte rangeringen?	Foreslått rangering
2a H ₂	-1 000	5 084	2a	Vurdert å være sammenfallende, IPV har samme rangering som de prissatte og endrer dermed ikke rangeringen.	2a
3 Batteri	-1 488	7 363	3		3
2b H ₂ med del-elektrifisering	-1 828	8 842	2b		2b
4 Elektrifisering	-2 045	10 244	4		4

5 Følsomhetsanalyser

5.1 Følsomhetsanalyse karbonprisbaner

Finansdepartementet har fastsatt 3 karbonprisbaner for bruk i samfunnsøkonomiske analyser her: [Karbonprisbaner for bruk i samfunnsøkonomiske analyser - regjeringen.no](https://www.regjeringen.no). På samme banestrekning er det små variasjoner i redusert CO₂ utslipp for de ulike konseptene. Det er likt utslipp i driftsfasen da like mye CO₂ utslipp ved at dieseldriften opphører er den samme. Forskjellen er i utbyggingsfasen, da det er mer utslipp ved for eksempel elektrifisering som krever mye investeringer på infrastrukturen og lite for hydrogen 2a konseptet som krever lite investeringer på infrastrukturen. Siden utslipp i driftsfasen er desidert størst er antagelig følsomhet for karbonprisbaner mest interessant i forhold til samfunnsøkonomisk lønnsomhet, da det antagelig ikke vil endre rangeringen, men senke eller heve alle nåverdiene ganske likt.

Derfor ser vi her på en følsomhetsanalyse for de konseptene som kom best ut på hver banestrekning, for å finne ut om dette kan endre den samfunnsøkonomiske lønnsomheten målt ved netto nåverdi. Figuren nedenfor viser følsomhetsanalyse med bruk av alle tre karbonprisbaner for det konseptet som kom best ut i samfunnsøkonomisk netto nåverdi på hver av de tre jernbanene.



Figur 34 Følsomhetsanalyse karbonprisbaner

Med lav karbonprisbane blir alle konsept mer samfunnsøkonomisk ulønnsomme, mens med høy karbonprisbane blir de beste konseptene på Røros- og Solørbanen elektrifisering og batterikonseptet på Nordlandsbanen samfunnsøkonomisk lønnsomme med en netto nåverdi på henholdsvis 599 millioner kroner og 9,6 milliarder kroner. Hydrogenkonsept 2a på Raumabanen kommer ikke ut i en positiv netto nåverdi selv med høy karbonprisbane, noe som har sammenheng med lav togtrafikk på strekningen. Det som gjør at batterikonseptet på Nordlandsbanen kommer så bra ut med høy karbonprisbane, er at det er relativt mange tog som kjører på den lange banestrekningen. Dieseltog har høye CO₂ utslipp, og desto høyere det verdsettes å bli kvitt disse utslippene, desto høyere blir nytten.

Det er sprikende estimat på hva en slik karbonpris bør være i faglitteraturen. I en nylig publisert artikkel i tidsskriftet SAMFUNNSØKONOMEN vurderer forfatterne at karbonprisen i Finansdepartementets hovedalternativ er satt for lavt (Rosendal K. E., 2023). Diskusjonen bygger på en gjennomgang av internasjonale modellstudier av karbonprisbaner konsistente med 1,5-gradersmålet. Resultatene i disse studiene spriker en del, men gjennomgående ligger karbonprisene vesentlig høyere enn Finansdepartementets anbefalte karbonpriser, spesielt etter 2030.

Artikkelen konkluderer med:

«Som vi har vist i denne artikkelen ligger globale karbonpriser som er konsistente med 1,5-gradersmålet (eller netto null utslipp i 2050) betydelig høyere enn karbonprisene som brukes i SØA i Norge i dag, som altså er basert på retningslinjer fra Finansdepartementet. Dette taler for at departementet i neste runde tar en ny gjennomgang av grunnlaget for sine anbefalte karbonpriser til bruk i SØA, og ikke minst revurderer bruken av IEAs scenarioer». IEA er International Energy Agency.

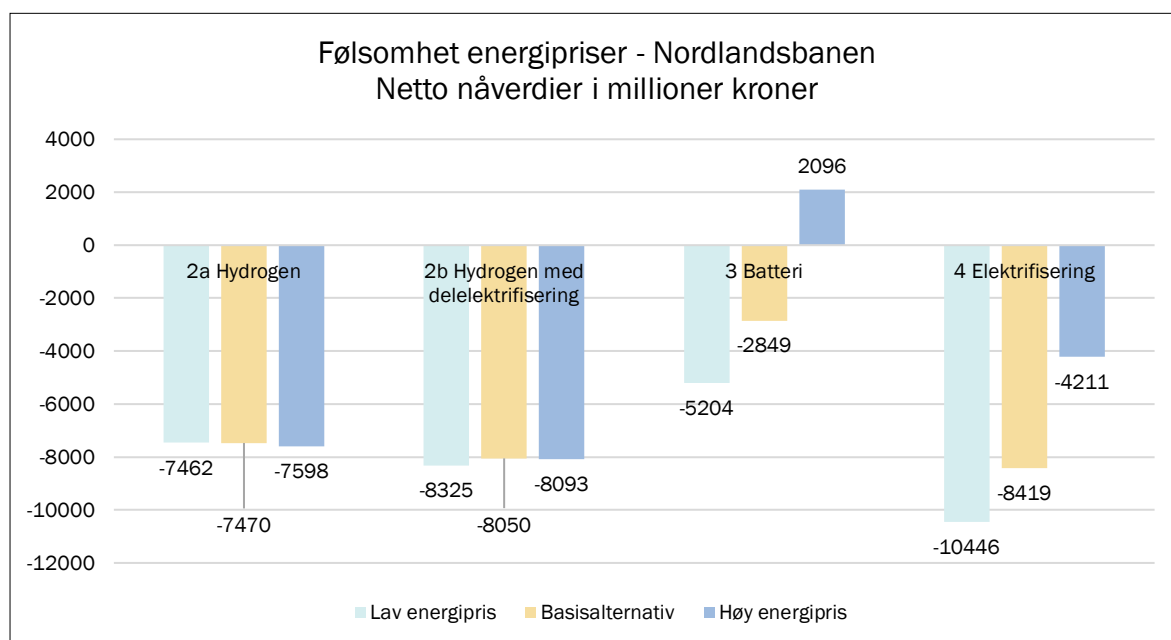
Forfatterne av artikkelen anbefaler en karbonprisbane som ligger i nærheten av banen FNs klimapanel anbefaler (Rosendal K. E., 2023). Det er dermed usikkerhet omkring samfunnsøkonomisk lønnsomhet av å redusere CO₂ utslipp på jernbanens dieselstrekninger. Om karbonprisbanen ligger i nærheten av høy karbonprisbane, blir det svært samfunnsøkonomisk lønnsomt å innføre batterikonseptet på Nordlandsbanen. Elektrifisering av Røros- og Solørbanen kommer også som figuren viser ut i en positiv netto nåverdi.

5.2 Følsomhetsanalyse energipriser

Det er utarbeidet to følsomheter:

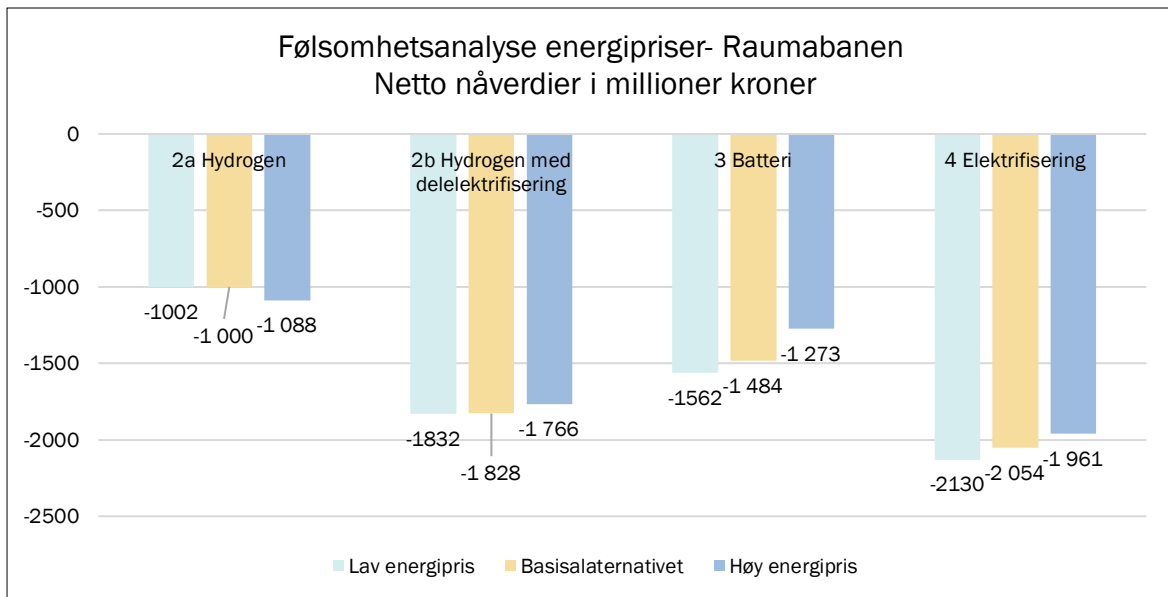
Energipris lav: halvering av alle energipriser

Energipris høy: dobling av alle energipriser



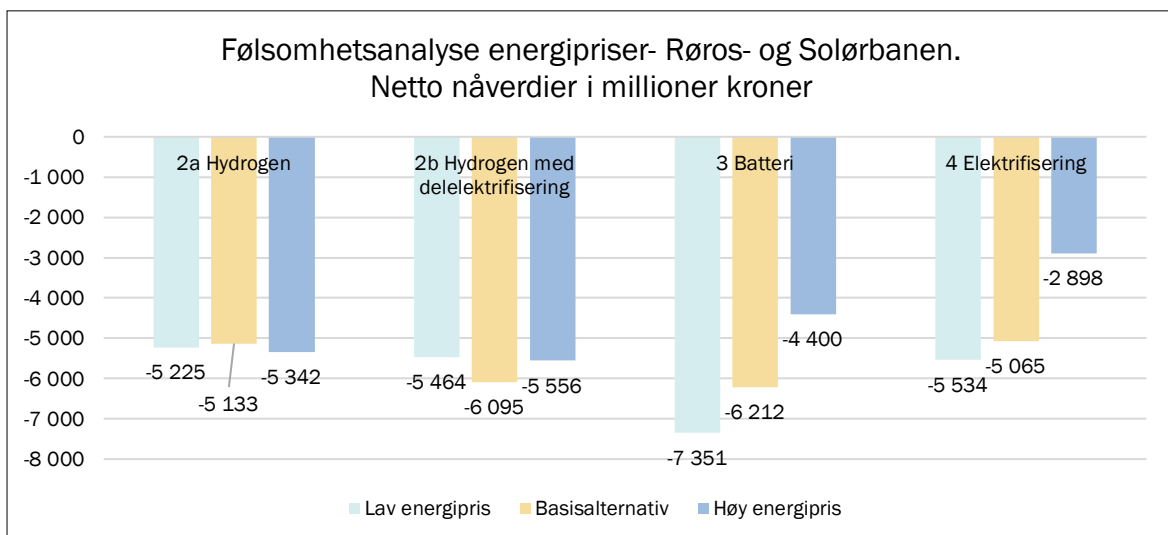
Figur 35 Følsomhetsanalyse energipris Nordlandsbanen

På Nordlandsbanen kom batterikonseptet klart best ut i basisalternativet, men netto nåverdien var likevel klar negativ med -2 849 millioner kroner. Med dobling i energipriser blir netto nåverdien positiv med 2 096 millioner kroner, mens ingen av de andre konseptene har positive nåverdier. Derimot med en halvering av energipriser kommer batterikonseptet ut med -5 204 millioner kroner, men kommer likevel bedre ut enn de andre konseptene. De energieffektive teknologiene batteri og elektrifisering tjener på høye energipriser i «konkurranse» med de andre konseptene. Vi ser at med dobling i energiprisen er den negative netto nåverdien for elektrifisering omtrent halvert. Motsatt er det ved lave energipriser, da får ikke batteri og elektrisitet så «stort forsprang» på driftskostnadene slik at lavere investeringer ved hydrogenkonseptene gjør at de relativt sett i forhold til batteridrift og elektrifisering kommer bedre ut med lav energipris enn med høy energipris.



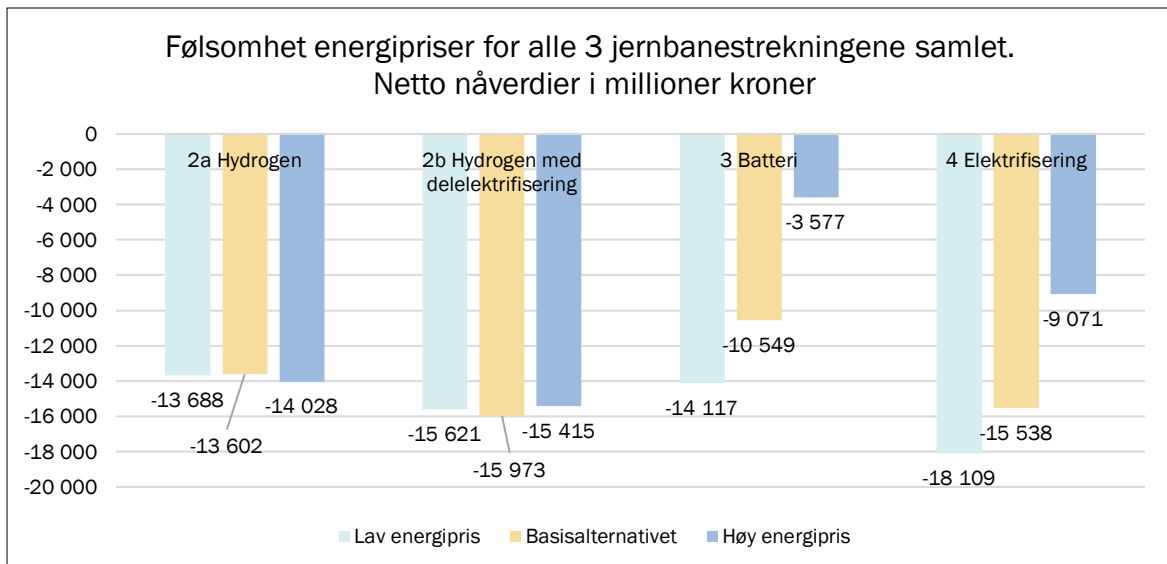
Figur 36 Følsomhetsanalyse energipriser Raumabanen

Halvering og doubling av energipriser får ikke noe å si for rangeringer av konsepter på Raumabanen, men ved doubling av prisene kommer batteri klart nærmere hydrogen 2a.



Figur 37 Følsomhetsanalyse energipriser Røros- og Solørbanen

Hydrogenkonsept 2a kommer best ut med lave energipriser. Ved høye energipriser kommer elektrifisering klart best ut med en netto nåverdi på - 2 898 millioner kroner. Batterikonseptet kommer også bedre ut enn hydrogenkonseptene med høye energipriser. Hydrogen 2a og elektrifisering har en knapp forskjell i favør av elektrisk i basialternativet, og som vi ser kan energiprisene i fremtiden avgjøre hvilket som er beste konsept samfunnsøkonomisk.



Figur 38 Følsomhetsanalyse energipriser alle 3 banestrekninger

Samlet sett for Nordlandsbanen, Raumabanen, Røros og Solørbanen kommer hydrogen 2a best ut ved lave energipriser. Ved følsomhet med høye energipriser kommer batteri med deelektrifisering klart best ut.

Konklusjonen fra basialternativet blir styrket ved høye energipriser. Energipris har dermed stor betydning. Om energiprisene blir høye kan det medføre at det gir mindre samfunnsøkonomisk netto tap å elektrifisere alle dieselstrekningene enn å innføre hydrogen-teknologi. De kostnadseffektive teknologiene batteri og elektrisk drift tjener på at energiprisene blir høye i fremtiden. Mens ved lave energipriser får disse energiformene ikke så høyt forsprang på driften at høyere investeringskostnader for batteri og elektrifisering kan bidra til at hydrogenkonseptene kommer best ut.

Det er bare for Nordlandsbanen for batterikonseptet at en endring i energipriser kan føre til samfunnsøkonomisk lønnsomhet.

5.3 Følsomhetsanalyse optimistisk teknologiutvikling

Diesel

Teknologigjennombrudd for batteriteknologi: Prisedgang for batterier.

- 50% billigere batterier

Hydrogen

- Teknologigjennombrudd for hydrogen: Bedre elektrolyse gir reduserte kostnader til hydrogen. Prisedgang for brenselceller og batterier i hydrogenkjøretøy.
- Effektivitet i elektrolyser og i brenselceller,
- Elektrolyse: 78% -> 95% (gjenbruk av varme og oksygen)
- Brenselceller: 55% -> 85% (forbedret effektivitet i brenselceller)
- Billigere fyllestasjoner og hydrogentanker, 25% lavere kostnad
- 50% billigere batterier (og hydrogenutstyr), og kjøretøy kun 10% dyrere enn konvensjonelle

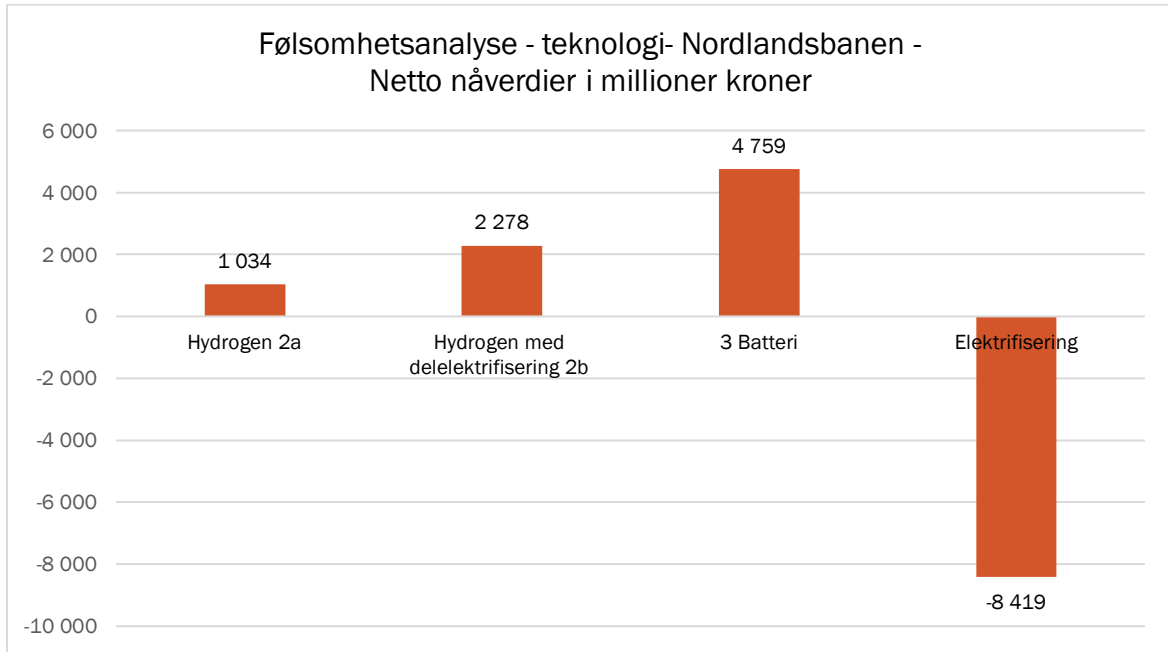
Batteri

- Teknologigjennombrudd for batteriteknologi: Følsomhet med betydelig redusert mengde deelektrifisering i
- Batteri-konseptet som følge av teknologiutvikling.
- Prisedgang for batterier.
- 25% mindre elektrifisering (kontaktledning)
- 4 færre omformerstasjoner
- Fjerne 2 omformerstasjoner fra NO
- Fjerne 2 omformerstasjoner fra RØ

- 50% billigere batterier, og kjøretøy kun 10% dyrere enn konvensjonelle elektriske kjøretøy.

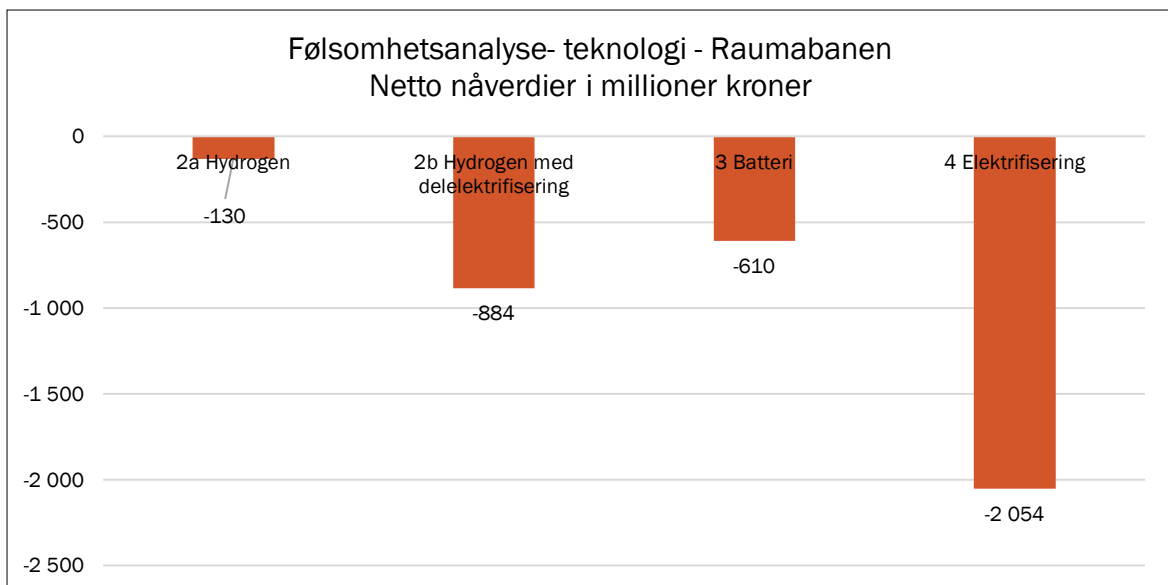
Elektrifisering

Ikke grunn for å anta noe optimistisk scenario, fordi konseptet er så modent at eventuelle forbedringer er med veldig små trinn og marginalt når det kommer til kostnader.



Figur 39 Følsomhetsanalyse teknologi Nordlandsbanen

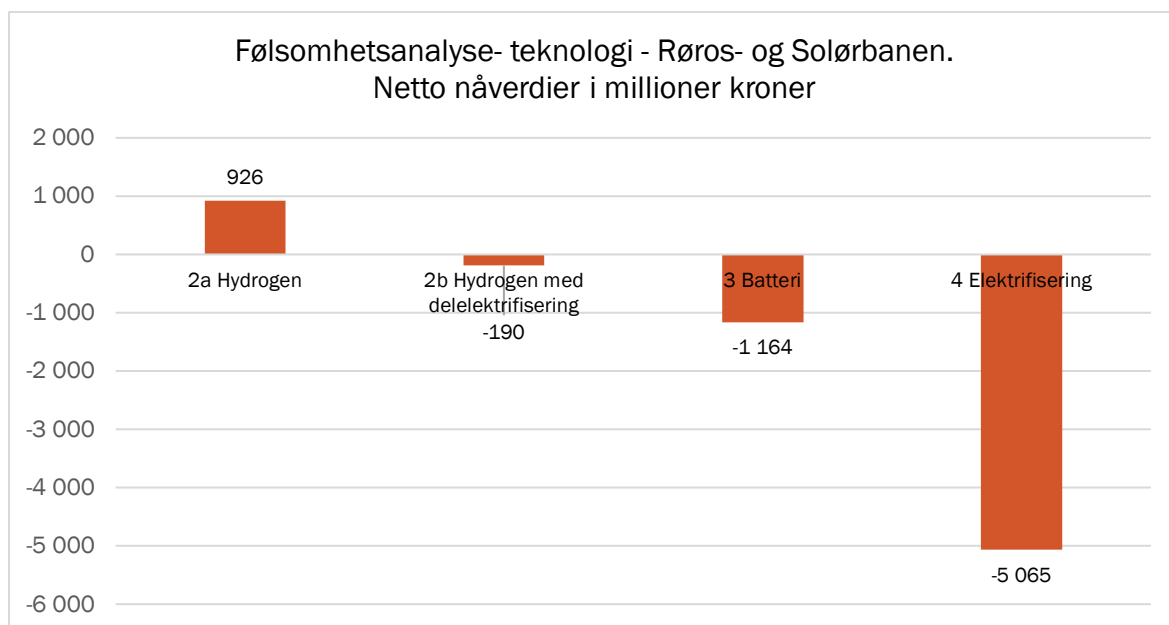
Det som skjer ved denne optimistiske teknologitvillingen med en kraftig reduksjon i kostnadene både i investeringer på infrastruktur og til driften av togtilbudet er at både hydrogenkonseptene og batterikonseptet kommer markant bedre ut og blir klart samfunnsøkonomisk lønnsomme med netto nåverdier fra ca. 1 milliard kroner til 4,8 milliard kroner. Det endrer ikke på rangeringen om at batteri kommer best ut på Nordlandsbanen, men hydrogenkonseptene kommer nærmere batterikonseptet i netto nåverdi.



Figur 40 Følsomhetsanalyse teknologi Raumabanen

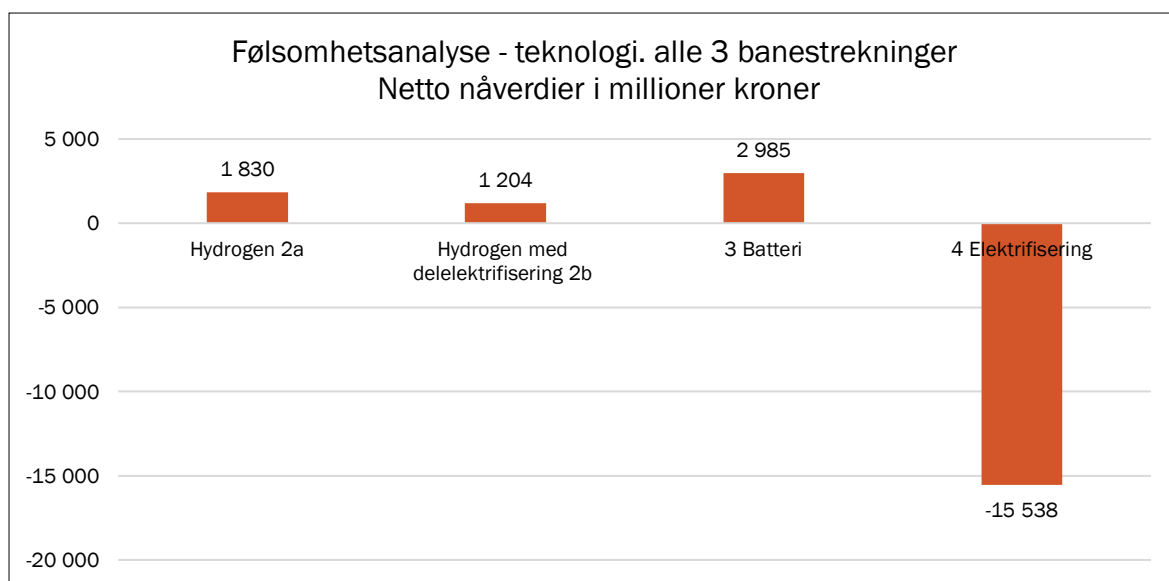
Den optimistiske teknologitvillingen endrer ikke på rangeringen fra basisalternativet om at hydrogenkonsept 2a kommer best ut på Raumabanen. Ingen konsept kommer ut i samfunnsøkonomisk

lønnsomhet på Raumabanen. Som i flere andre følsomhetsanalyser gir ikke endringer i forutsetningene samfunnsøkonomisk lønnsomhet, noe som har sammenheng at det er store kostnader ved å gå over til ny energiform, som ikke blir inntjent gjennom billigere drift på grunn av lite togtrafikk på Raumabanen.



Figur 41 Følsomhetsanalyse teknologi Røros- og Solørbanen

Teknologioptimismen endrer ikke på rangeringen i basisalternativet om at hydrogen 2a kommer best ut på Røros- og Solørbanen. Forandringen er at hydrogenkonsept 2a blir samfunnsøkonomisk lønnsomt, samt at batteri og hydrogen 2b får mye mindre negativ netto nåverdi.



Figur 42 Følsomhetsanalyse teknologi for alle 3 banestrekninger samlet

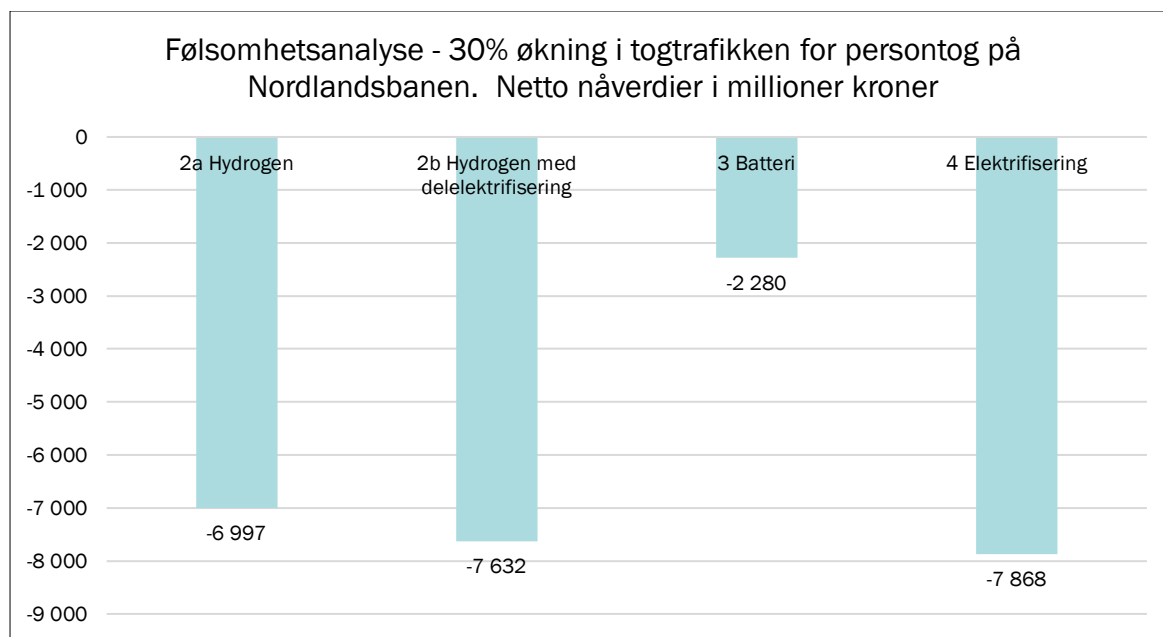
Samlet sett med ovennevnte forutsetninger om optimistisk teknologiutvikling for Nordlandsbanen, Raumabanen og Røros- og Solørbanen kommer fremdeles batterikonseptet best ut med ca. 3 milliarder kroner i netto nåverdi. Dette er over 1 milliard kroner bedre enn hydrogen 2a. Det som også er verdt å merke seg er at med en slik teknologiutvikling for alle konsepter utenom elektrifisering så er det samfunnsøkonomisk lønnsomt å enten innføre hydrogen- og/eller batteriteknologi/deelektrifisering, mens det er klart samfunnsøkonomisk ulønnsomt med elektrifisering med en netto nåverdi på -15,5 milliard kroner.

I utgangspunktet er batteri klart bedre når det gjelder kostnadseffektivitet i driften. Det som skjer med de ovennevnte forutsetningene om teknologiutvikling er at både batteri og hydrogen blir billigere i driften. Men det er hydrogen som i utgangspunktet har høyest driftskostnader, så når disse kostnadene reduseres mest for hydrogen kommer hydrogenkonseptene adskillig nærmere batteri i netto nåverdi enn i basisalternativet.

5.4 Følsomhetsanalyse 30% vekst i persontrafikken

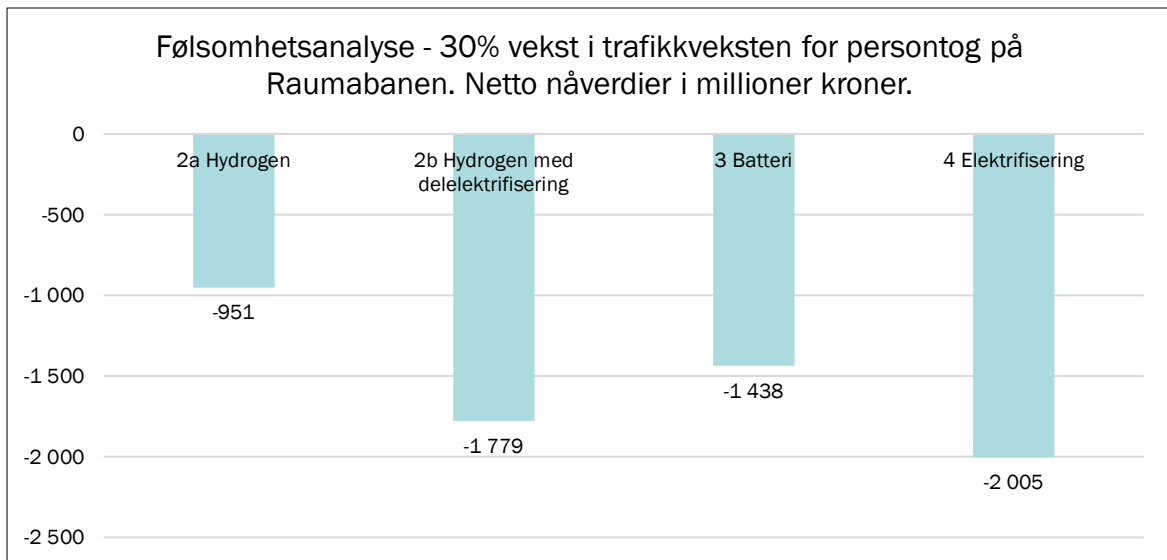
I basiskonseptet er det antatt en vekst i togtrafikken for gods ut fra prognoser for vekst i nasjonal godsmodell fra beregningsår 2030 til beregningsår 2060. Denne veksten ligger på omkring 30-40 % avhengig av banestrekning. Det er imidlertid antatt samme togtrafikk i 2030 og 2060 for persontogtrafikk ut fra beregninger av togtrafikk (antall togkilometer) basert på referansetrafikken i forutsetningene som ligger til grunn for arbeidet med ny Nasjonal transportplan 2025-36.

Her gjøres det en følsomhetsanalyse at togtrafikken for persontrafikk øker med 30% i begge beregningsårene 2030 og 2060.



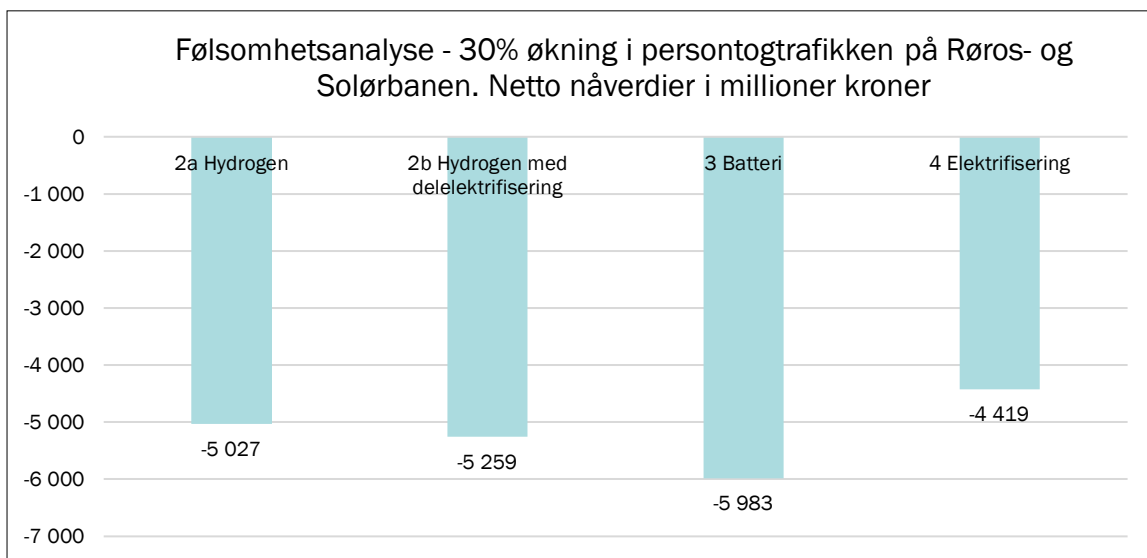
Figur 43 Følsomhetsanalyse 30% økning i togtrafikk for persontog på Nordlandsbanen

Batteri bedrer netto nåverdien fra -2,8 milliarder kroner i basis til -2,3 milliard kroner her. Netto nåverdien for nest beste konsept Hydrogen 2a forbedres fra -7,4 milliarder kroner i basisalternativet til ca. 7 milliarder kroner her.



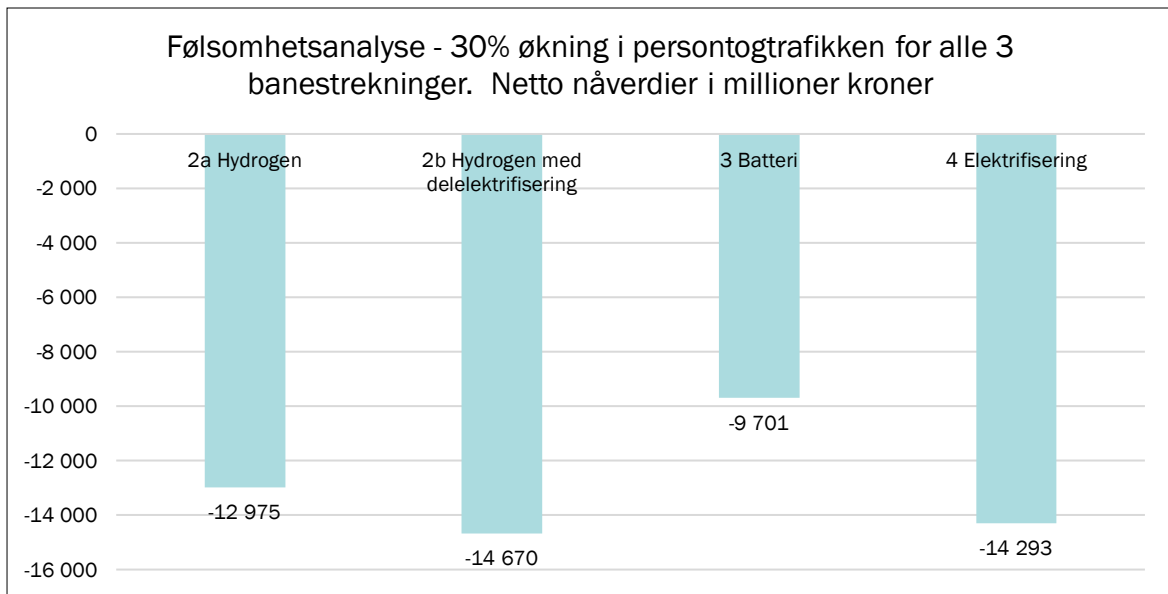
Figur 44 Følsomhetsanalyse 30% vekst i persontogtrafikken på Raumabanen

Det er ingen endring i rangeringen fra basisalternativet. Hydrogen 2a kommer ut som beste konsept. Endringene fra basisalternativet er små på grunn av lite togtrafikk på strekningen.



Figur 45 Følsomhetsanalyse 30 % vekst i persontogtrafikken på Røros- og Solørbanen

Det er mest elektrifisering som tjener på en slik trafikkvekst. I basis hadde elektrisk 68 millioner kroner i bedre nåverdi enn Hydrogenkonsept 2a. Her kommer elektrifisering ut med 608 millioner kroner i bedre netto nåverdi enn hydrogen 2a. Dette skyldes at det er billigst å kjøre elektrisk tog og dyrest å kjøre hydrogentog, så elektrisk konseptet tjener på en høy togtrafikk.



Figur 46 Følsomhetsanalyse 30% vekst i persontogtrafikken for alle 3 banestrekninger

Samlet sett for Nordlandsbanen, Raumabanen, Røros- og Solørbanen fører ikke 30 % vekst i persontogtrafikken til noen endringer i rangeringen av konseptene. Konklusjonen om at batteri kommer best ut blir som i basisalternativet. Alle de fire konseptene som får trafikkvekst får bedre netto nåverdier på grunn av at det er mindre energi- og vedlikeholdskostnader (distansekostnader) ved å kjøre persontog på standard kontaktledning, hydrogen og batteri enn på diesel for persontog.

6 Figurliste

Figur 1 Netto nåverdier og kostnader pr tonn CO2 redusert for konseptene på Nordlandsbanen.....	3
Figur 2 Netto nåverdier og kostnad pr tonn CO2 redusert på Røros- og Solørbanen.....	4
Figur 3 Netto nåverdier og kostnader per tonn redusert CO2-utslipp på Raumabanen	5
Figur 4 Netto nåverdier og kostnad per tonn CO2 av konseptene for alle 3 banestrekninger samlet.....	6
Figur 5 Følsomhetsanalyse - teknologi alle 3 banestrekninger.....	7
Figur 6 Følsomhetsanalyse - karbonprisbaner.....	7
Figur 7 Eksempel på valgsituasjon i tidsverdistudiegods	18
Figur 8 Investeringskostnader på infrastrukturen på dieselstrekningene ved innføring av ulik nullutslippsteknologi.....	24
Figur Årlige vedlikeholdskostnader på infrastrukturen	25
Figur Distanssekostnader - energikostnader og vedlikeholdskostnader pr togkilometer.....	25
Figur 11 Antall togkilometer på de 3 jernbanestrekningene	26
Figur 12 Pris på kjøretøy for konseptene.....	27
Figur 13 Årlige batterikostnader for konseptene.....	27
Figur 14 Nyttetekostnadsanalyse av konsept 2a hydrogen på Nordlandsbanen	29
Figur 15 Nyttetekostnadsanalyse av konsept 2b hydrogen med delelektrifisering Nordlandsbanen.....	30
Figur 16 Nyttetekostnadsanalyse av konsept 3 batteri Nordlandsbanen.....	30
Figur 17 Nyttetekostnadsanalyse av elektrifisering Nordlandsbanen	31
Figur 18 Netto nåverdier og kostnad pr tonn CO2 for konseptene på Nordlandsbanen	31
Figur 19 Nyttetekostnadsanalyse av konsept 2a hydrogen på Røros- og Solørbanen. Nåverdi endring/effekt i millioner kroner.....	32
Figur 20 Nyttetekostnadsanalyse av konsept 2b hydrogen med delelektrifisering på Nordlandsbanen.....	32
Figur 21 Nyttetekostnadsanalyse av konsept 3 batteri på Røros- og Solørbanen. Nåverdi endring/effekt fra dagens dieseldrift i millioner kroner.	33
Figur 22 Nyttetekostnadsanalyse av elektrifisering av Røros- og Solørbanen.....	33
Figur 23 Sammenligning av nyttekostnadsanalyse av elektrifisering av Røros- og Solørbanen med og uten nasjonal transportmodell (NGM).....	34
Figur 24 Netto nåverdier og kostnad pr tonn CO ₂ for konseptene på Røros- og Solørbanen	35
Figur 25 Nyttetekostnadsanalyse av konsept 2a hydrogen på Røros- og Solørbanen.....	36
Figur 26 Nyttetekostnadsanalyse av konsept 2b hydrogen med delelektrifisering på Raumabanen.....	36
Figur 27 Nyttetekostnadsanalyse av konsept 3 batteri på Raumabanen.....	37
Figur 28 Nyttetekostnadsanalyse av konsept 4 elektrifisering av Raumabanen.....	37
Figur 29 Netto nåverdier og kostnad pr tonn CO2 for konseptene på Raumabanen	38
Figur 30 Netto nåverdier for alle 3 banestrekninger samlet.....	38
Figur 31 Utslippsendringer CO2 for batteri-konseptet for alle 3 baner samlet.....	39
Figur 32 Samfunnsøkonomisk kostnader pr tonn redusert CO2	40
Figur 33 Hjul ikke-prissatte virkninger.....	41
Figur 34 Følsomhetsanalyse karbonprisbaner	51
Figur 35 Følsomhetsanalyse energi pris Nordlandsbanen	52
Figur 36 Følsomhetsanalyse energi priser Raumabanen	53
Figur 37 Følsomhetsanalyse energi priser Røros- og Solørbanen	53
Figur 38 Følsomhetsanalyse energi priser alle 3 banestrekninger.....	54
Figur 39 Følsomhetsanalyse teknologi Nordlandsbanen.....	55
Figur 40 Følsomhetsanalyse teknologi Raumabanen.....	55

Figur 41 Følsomhetsanalyse teknologi Røros- og Solørbanen	56
Figur 42 Følsomhetsanalyse teknologi for alle 3 banestrekninger samlet	56
Figur 43 Følsomhetsanalyse 30% økning i togtrafikk for persontog på Nordlandsbanen	57
Figur 44 Følsomhetsanalyse 30% vekst i persontogtrafikken på Raumabanen.....	58
Figur 45 Følsomhetsanalyse 30 % vekst i persontogtrafikken på Røros- og Solørbanen	58
Figur 46 Følsomhetsanalyse 30% vekst i persontogtrafikken for alle 3 banestrekninger.....	59
Figur : Virkningsgrad kjøretøy – Diesel.....	70
Figur : Virkningsgrad kjøretøy – Elektrisitet	71
Figur : Virkningsgrad kjøretøy – Batteri.....	71
Figur : Virkningsgrad – Hydrogen (hele kjeden)	72
Figur : Virkningsgrad kjøretøy – Hydrogen	72

7 Tabelliste

Tabell 1: Rangering av konsepter etter både prissatte og ikke-prissatte virkninger på Nordlandsbanen	8
Tabell 2 Rangering av konsepter etter både prissatte og ikke-prissatte virkninger på Røros- og Solørbanen.	8
Tabell 3 Rangering av konsepter etter både prissatte og ikke-prissatte virkninger på Raumabanen	9
Tabell 4 Teknisk levetid for ulike jernbanekomponenter.....	16
Tabell 5 Anbefalte tidsverdier for hver varegruppe. Kroner pr tonntime (2018)	19
Tabell 6 Beregnet kjøretidsreduksjon på dieselstrekningene ved standard kontaktledning (Kilde: WSP)	19
Tabell 7 Beregnet kjøretidsreduksjon på dieselstrekningene ved deelektrifisering og batteritog (Kilde: WSP)	20
Tabell 8 Beregnet kjøretidsreduksjon på dieselstrekningene ved hydrogen-tog (Kilde: WSP).....	20
Tabell 10 IPV-indikatorer for natur og miljø	42
Tabell 11 Sammenstilling av påvirkning på IPV for konsepter på Nordlandsbanen	44
Tabell 12 Sammenstilling av påvirkning på IPV for konsepter på Rørosbanen	45
Tabell 13 Sammenstilling av påvirkning på IPV for konsepter på Solørbanen	46
Tabell 14 Sammenstilling av påvirkning på IPV for konsepter på Raumabanen	47
Tabell 15 Rangering av konsepter etter både prissatte og ikke-prissatte virkninger på Nordlandsbanen	49
Tabell 16 Rangering av konsepter etter både prissatte og ikke-prissatte virkninger på Røros- og Solørbanen	49
Tabell 17 Rangering av konsepter etter både prissatte og ikke-prissatte virkninger på Raumabanen	50

8 Referanser

- Asplan Viak. (2019). *Jernbanedirektoratet.no*. Retrieved from <https://www.jernbanedirektoratet.no/no/aktualiteter/2019/utredning--av-nord-norgebanen-ut-pa-horing/>
- Finansdepartementet. (2021, 06 25). *Regjeringen.no*. Retrieved from <https://www.regjeringen.no/no/tema/okonomi-og-budsjett/statlig-okonomistyring/hvordan-ta-hensyn-til-klimagassutslipp-i-samfunnsokonomiske-analyser/id2863676/>
- Finansdepartementet. (2021, 2012 22.12.). *Regjeringen.no*. Retrieved from [Regjeringen.no/Karbonprisbanen: https://www.regjeringen.no/no/tema/okonomi-og-budsjett/statlig-okonomistyring/karbonprisbaner-for-bruk-i-samfunnsokonomiske-analyser/id2878113/](https://www.regjeringen.no/no/tema/okonomi-og-budsjett/statlig-okonomistyring/karbonprisbaner-for-bruk-i-samfunnsokonomiske-analyser/id2878113/)
- Finansdepartementet. (2022). *Karbonprisbaner for bruk i samfunnsøkonomiske analyser*. Oslo: Finansdepartementet.
- Flugel S., A. H. (2020). *Verdsetting av reisetid og tidsavhengige faktorer. Dokumentasjonsrapport til verdsettingsstudien 2018-2020*. Oslo: Transportøkonomisk institutt.
- Grønland, S. E. (2018). *Kostnadsmodeller for transport og logistikk - basisår 2016*. Oslo: Transportøkonomisk institutt.
- Grønland, S. E. (2023). *Forutsetninger NGM-beregninger nullutslipp*. Oslo: Stein Erik grønland.
- Halse A.H, C. M. (2019). *Bedrifteres verdsetting av raskere og mer pålitelig godstransport. Den norske verdsettingsstudien for godstransport 2018*. Oslo: Transportøkonomisk institutt.
- Jernbanedirektoratet. (2019, September 17). *Jernbanedirektoratet.no*. Retrieved from <https://www.jernbanedirektoratet.no/no/strategier-og-utredninger/Strategier/godsstrategi-for-jernbanen/>: <https://www.jernbanedirektoratet.no/no/strategier-og-utredninger/Strategier/godsstrategi-for-jernbanen/>
- Jernbanedirektoratet. (2022). *Hovedrapport - Ikke prissatte virkninger i jernbanesektoren*. Oslo: Jernbanedirektoratet.
- Jernbanedirektoratet. (2023). *www.jernbanedirektoratet.no*. Retrieved from [www.jernbanedirektoratet.no/strategier-og-utredninger/samfunnsøkonomiske analyser og transportanalyser: https://www.jernbanedirektoratet.no/no/strategier-og-utredninger/analyse-og-metodeutvikling/samfunnsokonomiske-analyser-og-transportanalyser/](https://www.jernbanedirektoratet.no/strategier-og-utredninger/samfunnsokonomiske-analyser-og-transportanalyser/)
- miljødepartementet, K. o. (2021, Januar). *Regjeringen.no*. Retrieved from <https://www.regjeringen.no/no/dokumenter/meld.-st.-13-20202021/id2827405/>
- Miljødirektoratet. (2020). *Miljødirektoratet.no*. Retrieved from [Miljodirektoratet.no/klimakur](https://www.miljodirektoratet.no/klimakur)
- Miljødirektoratet, jernbanedirektoratet, BANE NOR, NYEVeier, Statens vegvesen. (2022). *Metode for å inkludere klimagassutslipp fra utbygging i samfunnsøkonomiske analyser*. Oslo: Miljødirektoratet, Jernbanedirektoratet, BANE NOR, NYEVeier, Statens vegvesen.
- NOR, B. (2017). *Hovedrapport Kraftsystemutredning Bane NOR*. Oslo: Bane NOR.
- Norconsult. (2020, Mai). *Jernbanedirektoratet.no*. Retrieved from [Jernbanedirektoratet.no/strategier og utredninger: https://www.jernbanedirektoratet.no/no/strategier-og-utredninger/utredninger/jernbanens-klimafortrinn-og-norges-klimarisiko-bedre-klima-for-pengene/](https://www.jernbanedirektoratet.no/strategier-og-utredninger/utredninger/jernbanens-klimafortrinn-og-norges-klimarisiko-bedre-klima-for-pengene/)
- (2017/2018). *Riksrevisjonens undersøkelse av overføring av godstransport fra vei og sjø og bane*. Oslo: Riksrevisjonen.
- Rosendal K. E., P. B. (2023). *Karbonprisbaner til bruk i nyttekostnadsanalyser i Norge*. Oslo: Tidsskriftet Samfunnsøkonomen nr 3 2023.

- Statens vegvesen, Nye Veier, Bane NOR, Jernbanedirektoratet, Miljødirektoratet. (22). *Metode for å inkludere klimagassutslipp fra utbygging i samfunnsøkonomiske analyse*. Oslo: Statens vegvesen, Nye Veier, Bane NOR, Jernbanedirektoratet, Miljødirektoratet.
- Taran Fæhn, K. J. (2020). *miljodirektoratet.no*. Retrieved from Klimakur2020: https://www.miljodirektoratet.no/globalassets/dokumenter/klima/klimakur-2020/ssb_makrorapport_klimakur2020.pdf
- Transportutvikling AS. (2022). *Næringstransporter i Nord-Norge. For Statens Vegvesen (KVU Nord-Norge)*. Transportutvikling AS.
- Transportøkonomisk institutt. (2019). *toi.no*. Retrieved from <https://www.toi.no/publikasjoner/eksterne-kostnader-ved-transport-i-norge-estimer-av-marginale-skadekostnader-for-person-og-godstransport-article35997-8.html>: <https://www.toi.no/publikasjoner/eksterne-kostnader-ved-transport-i-norge-estimer-av-marginale-skadekostnader-for-person-og-godstransport-article35997-8.html>
- Tveter E., T. T. (2022). *Til Dovre faller? En studie av faktisk levetid for veg og jernbane*. Trondheim: Concept/NTNU.
- VISTA ANALYSE. (2016). *vista.no*. Retrieved from Publikasjoner: <https://vista-analyse.no/no/publikasjoner/markedsutsiktene-for-biodrivstoff/>
- Wahlquist, H. (2021). *videreutviklet følsomhetsmodul i SAGA. Dokumentasjon av arbeidet og brukerveiledning for Monte Carlo-simulering*. Oslo: Vista Analyse.

Vedlegg 1 – Notat om godsmodellberegninger

Bakgrunnsnotat NGM-beregninger nullutslipp.

Oslo 18/12-2022 Stein Erik Grønland

Revidert 8/2-2023

Bakgrunn

Som et ledd i arbeidet med nullutslipp er det beregnet effekt av overgang til elektrisk drift på følgende strekninger:

- Nordlandsbanen
- Raumabanen
- Rørosbanen
- Solørbanen

Videre er det foretatt ekstra beregninger som viser effekten av samtidig elektrifisering av alle strekningene. For å kunne se effekten av endringene er det beregnet en referanse basert på dagens situasjon med hensyn til elektriske og dieselstrekninger. De ulike elektrifisering-scenariene er sammenlignet med referansen.

Forutsetninger

Beregningene er foretatt for to beregningsår, 20030 og 2060. For varestrømmene (ikke transportmiddelfordelt) er det benyttet samme matriser som i arbeidet med NTP, og NTPs prognosearbeid.

Resultatene av beregningene viser transportmiddelfordelte varestrømmer for 39 forskjellige varegrupper, hvor varegruppeinndelingen tar hensyn til hvilke transportenheter som kreves avhengig av godstype som stykk gods, bulk med mer. Totalt sett er det beregnet for mer enn syv hundre tusen varestrømmer, mange av disse består igjen av flere forsendelser.

Ved overgang fra strekning med elektrisk drift til diesel (eller omvendt), er det mulig å eventuelt i modellen å foreta et bytte av lokomotiv. Dette forutsetter at dette gir en lavere kostnad for hele transportkjeden enn for eksempel å foreta en overgang til bil.

Som toglengder er det søkt best mulig å tilpasse disse til «TGoodsReferanseNTP2025-2036Rev00» oversendt fra Jernbanedirektoratet. Toglengdene oppgitt her avviker noe fra dagens toglengder, som kan være noe kortere.

Tabellen nedenfor gir forutsetninger for de aktuelle banene:

Tømmertog		
	Diesel Rørosbanen/ Solørbanen	Elektrisk Rørosbanen/ Solørbanen
Toglengde	540	540
Antall vogner	34	35
Distansekostnader (kr/km) per vogn	2.79	1.84
Herav energikostnader (% av distansekostnader)	52%	9%
Tidskostnader (kr/time) per vogn	197	152

Kombitog				
	Diesel Nordlands-banen	Elektrisk Nordlands-banen	Diesel Rauma-banen	Elektrisk Rauma-banen
Toglengde	600	600	460	460
Antall vogner	17	17	13	13
Distansekostnader (kr/km) per vogn	4.25	2.90	5.09	3.36
Herav energikostnader (% av distansekostnader)	53%	11%	54%	11%
Tidskostnader (kr/time) per vogn	243	256	297	331

Kostnadene er pr vogn, da er også kostnadene for trekraften allokert til vognene. Dette gjør at kostnadene per vogn blir ulikt for diesel og elektrisk drift. Under de forutsetninger som gjaldt for energipriser i 2021 og forbrukstall som funksjon av brutto togvekt, så ble effekten at energikostnadene som andel av kostnader pr km ble lavere for elektrisk enn diesel. Med en betydelig økning i elektrisitetspriser for 2022/23 så vil både andelen og det absolutte nivået på km-kostnadene øke vesentlig for elektriske tog.

Det vanlige mønsteret for lik toglengde og bruk av fireakslede lokomotiver er at tidskostnadene for diesel er lavere enn for elektrisk drift. Dette skyldes høyere kostnader for lokomotivet (leasingkostnader) for det elektriske lokomotivet, sammenlignet med diesellokomotiv. I kostnadsallokeringen regnes disse kostnadene inn i tidskostnadene. For tømmeretog vist ovenfor er toglengden slik at kostnadsmodellen for elektrisk drift skifter til seksakslet lokomotiv, mens det for diesel settes på et ekstra lokomotiv. Kostnadene for to diesellokomotiver er større enn for ett seksakslet elektrisk lokomotiv. Dermed blir i dette tilfellet at dieseldrift får større tidskostnad enn elektrisk drift.

Kostnadsmodellen som benyttes i NGM kjøringene er basert på nivå og faktiske kostnader 2021. Det betyr også at prisen for diesel til jernbaneformål er 10,31 per liter, og for elektrisitet 0,2914 kr/kwtime.

For strekningsavgift på togfremføringen er benyttet de satser som gjaldt i 2021.

Resultater

Resultatfilene (summary og vehicles filer) vil bli bearbeidet videre av Jernbanedirektoratet og gi beregninger av utslippseffekter, samfunnsøkonomisk nytte med mer.

Tabellen nedenfor gir et foreløpig bilde, basert på enkeltår i NGM. Nyten tilsvarende reduserte kostnader for næringslivet, og kostnadene er for alle alternativ beregnet på 2021 nivå. Kostnadene i tabellen er i millioner kroner per år (2021-kroner).

Økt nytte (reduerte logistikkostnader for næringslivet) Millioner kroner per år.

	Nordlands-banen	Rauma-banen	Røros-banen	Solør-banen	Solør- og Røros-banen	Alle baner
Økt nytte (reduerte kostnader næringsliv) per år 2030	87	20	26	25	44	135
Økt nytte (reduerte kostnader næringsliv) per år 2060	119	30	42	41	73	165

Det vil være noe lavere effekt av tiltak med alle baner samtidig, enn hvis man summerte hver for seg på grunn av systemeffekter. For Solør- og Rørosbanen gir dette en lavere sum enn det vi får ved å summere effekten av enkelttiltakene. Vi anbefaler at man legger til grunn tallet for begge banene i kombinasjon.

Generelt så skyldes nyttendringene reduserte kostnader for togfremføringen ved overgang til elektrisk tog, noe reduserte kostnader ved overføring fra bil eller sjø til bane pga. økt konkurranseevne for bane ved lavere kostnader.

Resultatene er følsomme for endringer i kostnadene. Dette gjelder både for kostnadsreduksjonene ved overgang til elektrisk drift, men også for de relative kostnadsforskjeller mellom bil og bane, og dermed for omfanget av eventuelle trafikkoverføringer.

Vedlegg 2: Kjøretidsgevinst ved elektrifisering

Fra	Therese Skåtun, Lene Jahnsen og Henrik Karlsson, arbeidsgrupper for elektrifisering og batteri i KVU Green
Til	Nis Henning Anderssen
Kopi til	Thomas Odiin, oppdragsleder for WSP
Vedrørende	Kjøretidsgevisnter ved elektrifisering i KVU Green
Saksref.	
Dato	23.3.2023

Bakgrunn og forutsetninger

Det skal gjøres en vurdering av kjøretidsgevinst ved bytte av energibærere fra diesel. Dette notat beskriver resultatet som blir oversendt til Samfunnsøkonomisk analyse, og hvilke forutsetninger som er lagt til grunn.

Forutsetninger

Kjøretøyene som er blitt simulert er et godstog og tre forskjellige persontogkjøretøy. Kjøretiden er sterkt avhengig av kjøretøyenes effekt, og det som varierer mellom elektrisk og dieseldrift, er motorens effekt. Det er antatt at på ikke-elektrifisert strekning har kjøretøyene den samme effekten uavhengig av energibærere (med andre ord, effekten fra batteri, hydrogen og diesel er antatt å være den samme). Antatt effekt for de ulike kjøretøyene ved elektrisk og dieseldrift er angitt i tabellen under.

Kjøretøy	Elektrisk drift	Ikke elektrifisert drift
Godslokomotiv (1200 tonn)	6 MW	3 MW
Regiontog i distrikt	1,5 MW	0,8 MW
Regiontog	3 MW	1,6 MW
Fjerntog	4,4 MW	2,5 MW

Kjøretidene er beregnet fra de samme simuleringer som er blitt gjort for beregninger av investeringer i infrastruktur og driftskostnader, og er de samme som er blitt lagt til grunn for usikkerhetssamlingene i KVU GREEN. For mer detaljer om forutsetningene i simuleringene henvises det til [delrapport om energisimuleringer til alternativanalysen \(ikke klar enda\)](#).

For diesel-konseptet og hydrogen-konseptet er det antatt at det er bimodale kjøretøy som benytter eksisterende elektrifisering. Fordi elektrifiseringen er den samme for disse to konseptene, og det er antatt samme effekt på ikke-elektrifisert strekning, er det ingen kjøretidsgevinst for hydrogen, og det konseptet er derfor ikke presentert i tabellen under.

Som allerede nevnt er det kun på elektrifiserte strekninger det er beregnet en kjøretidsgevinst.

Kjøretidsgevinster

Kjøretidsgevinsten er størst for godstogene og for hel-elektrifisering. For hel-elektrifisering av Nordlandsbanen er kjøretidsgevinsten om lag 50 minutter for godstoget Trondheim-Bodø, noe som tilsvarer 10% av den totale kjøretiden. For batteri med del-elektrifisering er kjøretidsgevinsten halvparten av den for hel-elektrifisering, cirka 25 minutter (5%). For hydrogen med del-elektrifisering er gevinsten i retning Trondheim-Bodø den samme som for batteri del-elektrifisering, men i retningen Bodø-Trondheim er den 15 minutter (3%).

For tømmeretoget Koppang-Skogn er det for hel-elektrifisering en kjøretidsgevinst på 11 og 14 minutter, som tilsvarer cirka 5% av kjøretiden. For del-elektrifisering med batteri og hydrogen er gevinsten ikke mer enn 6 minutter.

For godstoget Dombås-Åndalsnes så er det en større besparelse i retningen Åndalsnes-Dombås på 19 minutter (20%) for hel-elektrifisering og 11 minutter (12%) for del-elektrifisering med hydrogen og med batteri (disse har samme forslag for del-elektrifisering på Raumabanen). Bakgrunnen for denne ensidige kjøretidsgevinsten er at Åndalsnes ligger ved havoverflaten og banens høyeste punkt på 660 m.o.h. ligger rett ved Dombås.

Malmtogene Mo I Rana-Ørtfjell og tømmertogene Kongsvinger-Koppang har en lav kjøretidsgevinst ved elektrifisering.

Notere at i tabellene under så er det antall avganger per år og retning.

		Antall avganger per år	Kjøretid (minutter)		Tidsgevinst (minutter og prosent)			
			Diesel		Hel-elektrifisert			
			Ascending Minutter	Descending Minutter	Ascending Minutter	Descending Minutter	Ascending Prosent	Descending Prosent
Godstog	GK25 Trondheim-Bodø	1127	531	527	-51	-50	-10%	-9%
	Malmtog Mo I Rana-Ørtfjell	2190	27	26	-1	0	-4%	-1%
	GST 18 Koppang-Skogn (Nord+Rør)	254	298	295	-11	-14	-4%	-5%
	GST13 Kongsvinger-Koppang	2190	128	125	-4	-3	-3%	-2%
	GK 23 (Alnabru) Dombås- Åndalsnes	254	81	97	-3	-19	-4%	-20%
Persontog	NO Rognan-Bodø hver retning (R75)	2555	59	59	-2	-2	-3%	-4%
	NO Mosjøen-Bodø hver retning (F7)	730	219	221	-6	-6	-3%	-3%
	RØ Røros-Trondheim hver retning (RD60)	1095	147	148	-1	-2	-1%	-2%
	RA Dombås-Åndalsnes hver retning (RD65)	1460	78	77	-2	-3	-2%	-4%
	NO Lundamo-Steinkjer hver retning (R70)	7443	147	145	-4	0	-3%	0%
	RØ Hamar-Røros hver retning (RD60)	2190	201	196	-4	-4	-2%	-2%
	NO Trondheim-Bodø hver retning (F7)	730	491	490	-8	-7	-2%	-1%
	NO Trondheim-Mo I Rana hver retning (F7)	365	335	331	-5	-4	-1%	-1%

		Antall avganger per år	Kjøretid (minutter)		Tidsgevinst (minutter og prosent)			
			Diesel		Batteri			
			Ascending Minutter	Descending Minutter	Ascending Minutter	Descending Minutter	Ascending Prosent	Descending Prosent
Godstog	GK25 Trondheim-Bodø	1127	531	527	-25	-22	-5%	-4%
	Malmtog Mo I Rana-Ørtfjell	2190	27	26	-1	0	-3%	0%
	GST 18 Koppang-Skogn (Nord+Rør)	254	298	295	-3	-6	-1%	-2%
	GST13 Kongsvinger-Koppang	2190	128	125	-3	-2	-2%	-1%
	GK 23 (Alnabru) Dombås- Åndalsnes	254	81	97	0	-11	0%	-12%
Persontog	NO Rognan-Bodø hver retning (R75)	2555	59	59	0	0	0%	0%
	NO Mosjøen-Bodø hver retning (F7)	730	219	221	-2	-2	-1%	-1%
	RØ Røros-Trondheim hver retning (RD60)	1095	147	148	-1	-1	0%	-1%
	RA Dombås-Åndalsnes hver retning (RD65)	1460	78	77	0	-1	0%	-1%
	NO Lundamo-Steinkjer hver retning (R70)	7443	147	145	0	0	0%	0%
	RØ Hamar-Røros hver retning (RD60)	2190	201	196	-2	-2	-1%	-1%
	NO Trondheim-Bodø hver retning (F7)	730	491	490	-3	-3	-1%	-1%
	NO Trondheim-Mo I Rana hver retning (F7)	365	335	331	-2	-1	-1%	0%

		Antall avganger per år	Kjøretid (minutter)		Tidsgevinst (minutter og prosent)			
			Diesel		Hydrogen med del-elektrifisering			
			Ascending Minutter	Descending Minutter	Ascending Minutter	Descending Minutter	Ascending Prosent	Descending Prosent
Godstog	GK25 Trondheim-Bodø	1127	531	527	-25	-14	-5%	-3%
	Malmtog Mo I Rana-Ørtfjell	2190	27	26	0	0	0%	0%
	GST 18 Koppang-Skogn (Nord+Rør)	254	298	295	0	-5	0%	-2%
	GST13 Kongsvinger-Koppang	2190	128	125	0	0	0%	0%
	GK 23 (Alnabru) Dombås- Åndalsnes	254	81	97	0	-11	0%	-12%
Persontog	NO Rognan-Bodø hver retning (R75)	2555	59	59	0	0	0%	0%
	NO Mosjøen-Bodø hver retning (F7)	730	219	221	-3	-2	-1%	-1%
	RØ Røros-Trondheim hver retning (RD60)	1095	147	148	0	-1	0%	-1%
	RA Dombås-Åndalsnes hver retning (RD65)	1460	78	77	0	-1	0%	-1%
	NO Lundamo-Steinkjer hver retning (R70)	7443	147	145	0	0	0%	0%
	RØ Hamar-Røros hver retning (RD60)	2190	201	196	0	0	0%	0%
	NO Trondheim-Bodø hver retning (F7)	730	491	490	-2	-1	0%	0%
	NO Trondheim-Mo I Rana hver retning (F7)	365	335	331	0	0	0%	0%

For persontogene er kjøretidsbesparelsen mye mindre enn for de nevnte godstogene. Dette er fordi persontogene har en høyere ratio mellom effekt og vekt, også for ikke-elektrifisert modus, sammenlignet med godstogene, noe som gjør at de ikke har samme problem med å holde linjehastigheten. Kjøretidsbesparelsen er ikke større enn 4 %, og er som størst i prosent på Rognan-Bodø (R75) og størst i absolutt tall på Trondheim-Mo I Rana (F7).

Konklusjon

Det er kun godstogene Trondheim-Bodø (begge veier) og Åndalsnes-Dombås (kun oppover til Dombås) hvor det er rimelig å regne på en kjøretidsgevinst gitt forutsetningene i simuleringene, analysens detaljeringsnivå og den beregnede kjøretidsgevinstens størrelse.

Tømmertoglinjen GST18 Koppang-Skogn kjører kun én gang i uken og ettersom tømmertransport ikke har veldig høy tidsverdi, kan det vurderes å se bort fra tidsgevinsten for denne linjen.

GK25 Trondheim-Bodø

Under forutsetning av at hele rutemodellen legges på nytt, tas hele framføringstidsgevinsten med. Fordi banen er enkeltsporet og den totale framføringstiden også er avhengig av kryssinger, er det ikke mulig å vite nøyaktig hvor lang framføringstiden blir i fremtidige ruteplaner, men det antas at det i noen tilfeller vil være lenger venting på kryssing og i andre tilfeller kortere venting enn i dag. Fordi ruteplanen må konstrueres på nytt uansett for å hente ut kjøretidsgevinstene, kan det på dette tidspunktet ikke sies hvilken vei det vil gå. Derfor har prosjektet forutsatt at reisetidsgevinsten er i samme størrelsesorden som resultatene fra kjøretidsberegningene.

For avganger som ikke går helt til Bodø kan det benyttes en prosentvis utregningsnøkkel basert på tallene i tabellen.

GK23 Åndalsnes-Dombås

Endring i framføringstid kan tas med uavkortet, som følge av at godstogene ikke har kryssinger på banen. Det er kun avganger fra Åndalsnes til Dombås som får kjøretidsgevinst grunnet stigningen mellom de to endestasjonene.

Vedlegg 3: Notat om energikostnader

Dato: 13. mars 2023

Til: Stephen Oommen

Kopi: Nils Henning Anderssen, Dag Aarsland

Fra: Thomas Odiin

Bakgrunn

Som grunnlag i den samfunnsøkonomiske analysen av KVV GREEN er det behov for energikostnader som inngangsverdi.

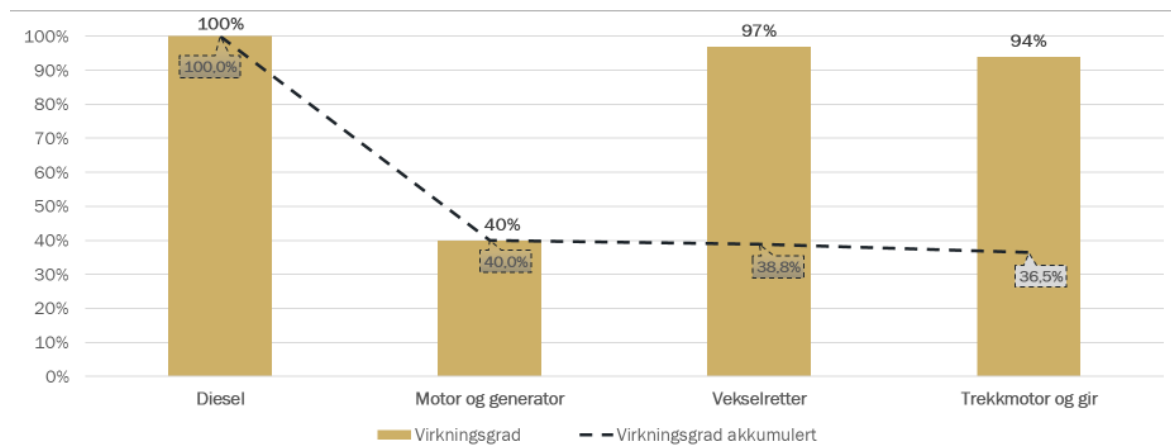
Priser

Det er benyttet følgende kilder for energipriser (alle priser ekskl. mva):

Diesel: 11,32 kr per liter anleggsdiesel levert på tog (1,42 kr/kWt)

Pris september 2022 (Togdiesel AS), snittpris levert Bodø og Trondheim, inkludert grunnavgift og CO2-avgift

(Total virkningsgrad i kjøretøyet, benyttet i energisimulering (tank-to-wheel), er ca. 36,5 %)

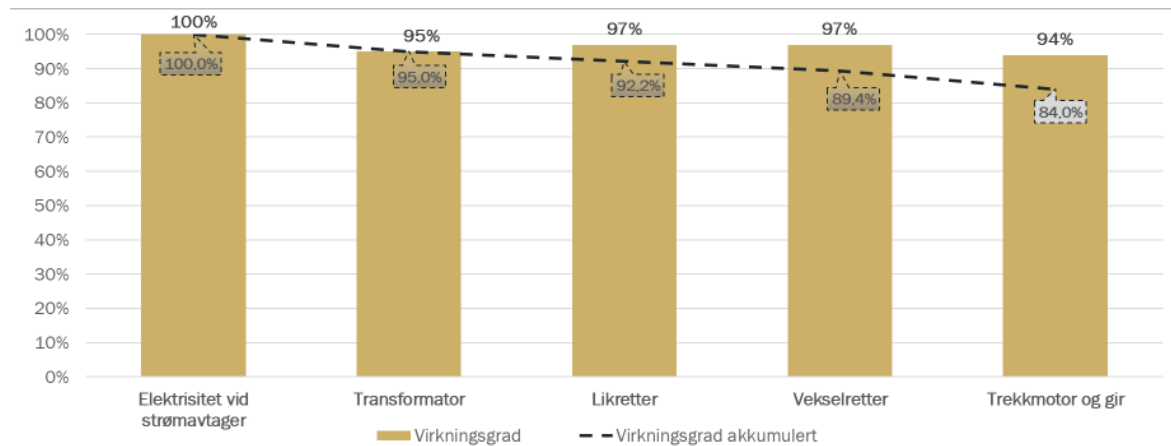


Figur 47: Virkningsgrad kjøretøy – Diesel

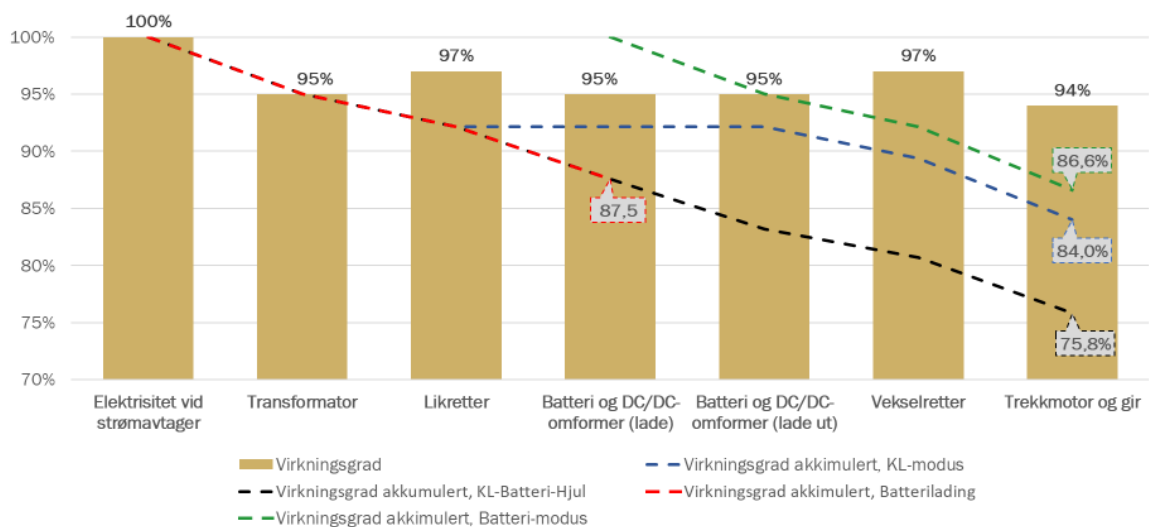
Elektrisitet: 0,55 kr per kWt levert togets pantograf

Rapport fra Bane NOR Energi om prisestimer til 2050 1. november 2022. Snittpris levert sone N03 og N05 i 2030, inkludert opprinnelsessertifikater for grønn energi.

(Total virkningsgrad i kjøretøyet, benyttet i energisimulering («stramavtager»-to-wheel), er ca. 84 % for full elektrifisering, for batterikonseptet til ca. 86,6 %)



Figur 48: Virkningsgrad kjøretøy – Elektrisitet



Figur 49: Virkningsgrad kjøretøy – Batteri

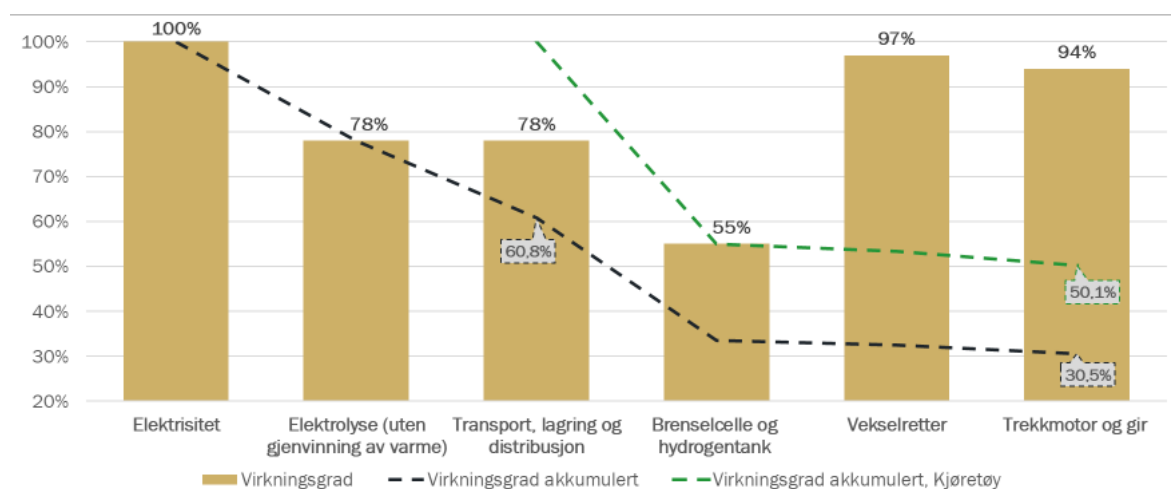
Hydrogen: 0,55 kr per kWt levert til elektrolyse lokalt (**1,80 kr** per kWt levert på togets tank – ca. 59 kr per kg hydrogen)

61 % virkningsgrad fra strømmnett til togets hydrogentank (90 øre per kWt til togtank / 35 kr per kg hydrogen på tank), med følgende tap underveis (kilde: UITP, The road to Sustainability, januar 2023):

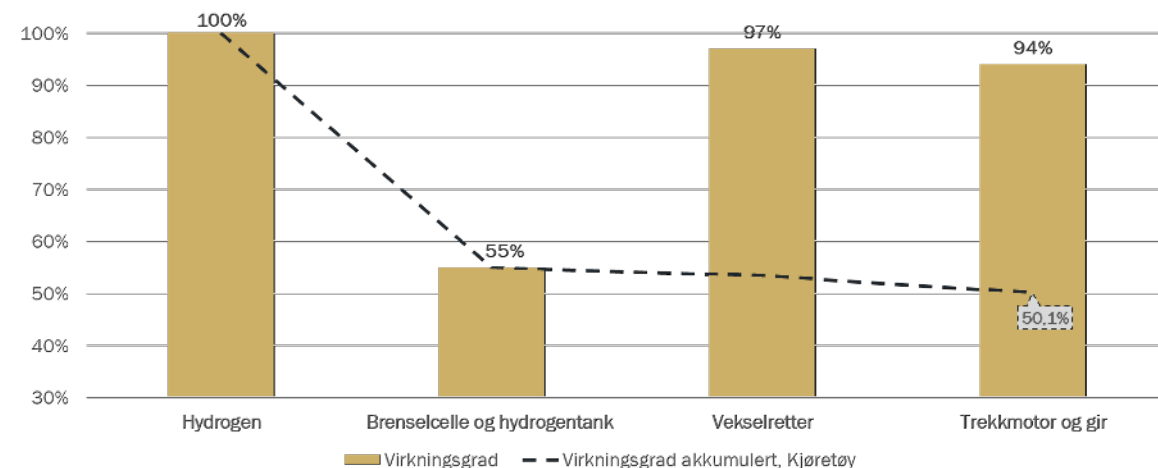
- Elektrolyse uten gjenvinning av varme: 22 % tap (78 %)
- Transport, lagring og distribusjon: 22 % tap (61 %)

I tillegg må det antas et påslag for produksjon, transport og lignende, som er anslått til ca. 30 kr per kg ferdig levert hydrogen på tank (ca. 90 øre kr per kWt hydrogen), på bakgrunn av innspill fra Glomfjord hydrogen, levert Bodø, og justert noe opp for distribusjon til flere mindre fyllestasjoner. Virkningsgraden som er lagt til grunn ovenfor er dekkende for dagens elektrolyseteknologi, og uten varmegjenvinning. Det legges derfor til grunn som forutsetning at forventet teknologisk utvikling frem mot 2030, og/eller muligheter for utnyttelse av overskuddsvarme, vil dekke produsentens krav til fortjeneste.

(Energivirkningsgrad i brenselcelle og hydrogentank på 55% er inkludert i simuleringen av togets virkningsgrad. Total virkningsgrad i kjøretøyet, i simulering (tank-to-wheel), er ca. 50%)



Figur 50: Virkningsgrad – Hydrogen (hele kjeden)



Figur 51: Virkningsgrad kjøretøy – Hydrogen

Mengder

Mengdedata fremkommer av driftskostnadskalkulator, som bygger på energisimuleringer for hvert konsept (se rapport om energisimuleringer og driftskostnadskalkulator).

Totale energikostnader per konsept tilsvarer (etter energisimulering):

Konsept 0 – dagens løsning (diesel):	330 millioner kroner
Konsept 2a – Hydrogen:	341 millioner kroner
Konsept 2b – Hydrogen med deelektrifisering:	329 millioner kroner
Konsept 3 – Batteri:	74 millioner kroner
Konsept 4 – Elektrifisering:	87 millioner kroner

Vedlegg 4 Vedrørende samfunnsøkonomisk kostnad pr. tonn CO₂ som er lagt til grunn i KVV GREEN etter overlevering

Bakgrunn:

Det var et felles fagnettverksmøte 21.09.2023 mellom Miljødirektoratet og Jernbanedirektoratet der hensikten er å få innblikk i hvordan vi jobber med samfunnsøkonomisk analyse, med fokus på analyser innenfor klima og miljø. I den forbindelse ble det stilt spørsmål fra Jernbanedirektoratet til Miljødirektoratet hvorvidt prissatt effekt på CO₂ skulle inngå når det ble beregnet «samfunnsøkonomisk kostnad pr tonn redusert CO₂ utslipp». Miljødirektoratet var klar på at prissatt effekt på CO₂ utslipp ikke skal være med i en slik størrelse og at det ble dobbelttelling å ha størrelsen med.

I KVV GREEN er prissetting av CO₂ utslipp tatt med i nyttekostnadsanalysen, også i størrelsen samfunnsøkonomisk kostnad pr tonn redusert CO₂ utslipp. Konsekvensen av å ta bort CO₂ prissatt komponent er at samfunnsøkonomisk kostnad pr tonn CO₂ blir mye høyere.

Drøfting:

Hva som er lagt til grunn i KVV GREEN før endringen etter overlevering av rapport

Det legges i utgangspunktet opp til det som er definert i Miljødirektoratets veileder for tiltakskostnader.

$$\frac{\text{Netto nåverdi av samlet samfunnsøkonomisk kostnad fra basisår til tiltakets slutt}}{\text{Summen av totale CO}_2\text{ekvivalenter redusert fra basisår til tiltakets slutt}}$$

Det går ikke tydelig frem av veilederen til Miljødirektoratet at prissatte CO₂ utslipp skal utelates i den samfunnsøkonomiske kostnaden. Men i møte med Miljødirektoratet 21.09.2023 ble det klart at prissetting av CO₂ ikke skal være med i tiltakskostnadene.

Siterer følgende avsnitt som sto i sammendraget i samfunnsøkonomisk analyse og hovedrapporten om samfunnsøkonomisk kostnad som inngår i telleren for følgende størrelse som inngår i beregningen av samfunnsøkonomisk kostnad:

«Den samfunnsøkonomiske netto kostnaden ved å redusere CO₂ utslipp er kostnaden utover den nytteverdien vi har av å redusere CO₂ inkludert prissatte reduserte CO₂ utslipp. Når netto kostnaden er positiv betyr det at det er samfunnsøkonomisk ulønnsomt å redusere CO₂ utslippene med de tiltakene som er valgt. Beste alternativet er nullalternativet diesel ifølge denne samfunnsøkonomiske beregningen med prissetting av CO₂ utslipp etter hovedalternativet til Finansdepartementet.»

Etter møte med Miljødirektoratet og nærmere intern egen vurdering av dette tas CO₂ kostnadene ut av kostnad pr tonn redusert CO₂. I KVVUen er CO₂ utslipp i både byggefasen og fra togproduksjon inkludert. Vi tar bort prissetting av utslipp både innenfor kvotesystemet og etter karbonprisbanen i byggefasen. I driftsfasen tar vi bort endringer i direkte utslipp som skyldes at det kjøres nullutslipps-tog istedenfor diesel-tog. I prinsippet burde også CO₂ avgifter vært fratrukket. Men konsekvensen her vil ikke være av betydning fordi det er en overføringseffekt ved at avgiften er en kostnad for togoperatørene, men en inntekt for staten slik at dette nulles ut.

Rangeringen i KVVU GREEN er den samme etter netto nåverdi og med kostnad pr tonn redusert tonn utslipp med opprinnelige forutsetninger i KVVU GREEN. Rangeringen blir den samme om CO₂

prisfastsettingen tas bort i kostnad pr tonn redusert tonn utslipp for Nordlandsbanen og Raumabanen, men for Røros- og Solørbanen kommer hydrogen 2a best ut etter kostnad pr tonn CO₂ og elektrifisering best etter netto nåverdi. Netto nåverdi benyttes som rangeringskriterium i KVV GREEN.

Endring som følge av møtet med Miljødirektoratet

I dette tilfellet er netto nåverdien negativ for alle konsept og da har man en kostnad for samfunnet av tiltakene for reduserte CO₂ utslipp, og den inkluderer CO₂-kostnaden. Da kan man ta netto nåverdi og trekke ifra nåverdien av CO₂-kostnaden for å komme fram til nåverdi kostnad for samfunnet ekskludert CO₂-kostnad. Ved å dividere dette på reduserte tonn CO₂ kommer man fram til kostnaden per tonn CO₂ som vil være i tråd med Miljødirektoratets praksis.

Konsekvenser for gitt anbefaling

Det får ikke betydning for rangering av konsepter i KVV GREEN, da denne er basert på netto nåverdi som er en vanlig tradisjonell størrelse for rangering etter samfunnsøkonomi. Det får heller ikke betydning for rangering etter samfunnsøkonomisk kostnad pr tonn redusert CO₂ utslipp om dette skulle benyttes for rangering på Raumabanen og Nordlandsbanen. For Røros- og Solørbanen blir det en endring ved at hydrogen 2a kommer best ut ved rangering ved at hydrogen 2a kommer best ut etter kostnad pr tonn CO₂, mens elektrifisering kommer best ut etter netto nåverdi. Men her er det i begge tilfellene små forskjeller mellom konseptene.

Miljødirektoratet bruker kostnadskategorier etter hvor kostbare tiltakene er; under 500 kr (kostnadskategori 1), mellom 500-1500 kr (kostnadskategori 2) og over 1500 kr (kostnadskategori 3). I KVV GREEN er alle tiltak utenom batteri på Nordlandsbanen i høyeste kostnadskategori 3 dvs. over 1500 kr pr tonn selv om CO₂ komponenten er med. Batteri endrer ikke kostnadskategori heller fra 2 mellom 500-1500 kr pr tonn selv om CO₂ komponenten utelates. Så det er bare om størrelsen samfunnsøkonomisk kostnad pr tonn redusert CO₂ utslipp på nøyaktig vis skal benyttes og ikke etter grovere tiltakskategorier det blir endringer.

Anbefalinger/Konklusjon:

Siden størrelsen kostnad pr tonn redusert CO₂ utslipp er relevant i dette prosjektet, bør dette beregnes på nytt og rapporter der dette inngår endres. Dette fordi denne størrelsen inngår i fastsetting av tiltakskostnad i Miljødirektoratets praksis og kan dermed bli brukt til å sammenligne tiltakskostnad her med andre tiltak. Det vil derfor være riktig å benytte samme metode og det Miljødirektoratet legger til grunn for sektorovergripende tiltak som har til hensikt å redusere CO₂ utslipp.

Følgende rapporter som har med samfunnsøkonomiske analyser, er endret siden overleveringen som følge av det ovennevnte.

- Hovedrapport
- Alternativanalyserapport (vedlegg 6- V.1)
- Samfunnsøkonomisk analyse (vedlegg 6-1- V.2)

Vedlegg 5 Rettinger og hendelser etter at rapporten kom 18.september 2023

Del	Kapittel	Side	Feil	Korreksjon	Korrigert dato
Samfunnsøkonomisk analyse rapport (vedlegg 6-1)	Sammendrag	2-7	Kostnad pr tonn CO ₂	CO ₂ kostnad i teller fjernet. Gir betydelige endringer i alle konsept.	28.09.2023
Samfunnsøkonomisk analyse rapport (vedlegg 6-1)	Kapittel 4	27-38	Kostnad pr tonn CO ₂	CO ₂ kostnad i teller fjernet. Gir betydelige endringer i alle konsept.	28.09.2023
Samfunnsøkonomisk analyse rapport (vedlegg 6-1)	Kapittel 4	27-38	Netto nåverdi	Mindre ubetydelige endringer pga. noen utelatte utslipp i byggefase	03.10.2023
Samfunnsøkonomisk analyse rapport (vedlegg 6-1)	Vedlegg 4	73-74		Forklaring av endringer	28.09.2023