

Elektrisk vei i Trondheim

Sammenstilling av resultater og erfaringer fra vintertesting
desember 2024 – januar 2025



Innhold

Sammendrag	2
1. Introduksjon	3
2. Ladestrekningen	3
3. Gjennomføring av vintertestingen	4
3.1. Sjåfører	4
3.2. Buss	5
3.3. Været i testperioden	5
4. Resultater fra tester av dynamisk lading	6
4.1. Betydning av hastighet	8
4.2. Betydning av værforhold	9
4.3. Betydning av snø og is	9
5. Resultater fra tester av statisk lading	10
5.1. Betydning av snø og is	10
5.2. Varmeutvikling i veien	11
6. Foreløpige konklusjoner og videre arbeid	12

Sammendrag

Som en del av forberedelsene av overgang til utslippsfri kollektivtransport i Trondheim har Trøndelag fylkeskommune og AtB AS bygget en strekning for testing av elektrisk vei i Kvenildstrøa sør for Trondheim. Strekningen er bygget med mulighet for statisk (stillestående) og dynamisk (i bevegelse) induktiv lading. Induktiv lading er en teknologi som gjør det mulig med trådløs overføring av energi fra ladesegmenter i veibanen til mottakerplater på kjøretøyer.

Strekningen er i overkant av 100 meter lang, hvorav 82 meter har mulighet for induktiv lading. Ladeeffekten avhenger av antall mottakere på kjøretøyet. For en buss med tre mottakerplater er samlet ladeeffekt ca. 75 kW dynamisk og ca. 120 kW statisk under ideelle forhold.

Klimaet i Trondheim stiller strenge krav til vinterfunksjonaliteten til ladeløsninger. Testing og verifisering av teknologiens funksjon og robusthet under varierende vinterforhold er derfor en sentral del av prosjektet. Fra 1. desember 2024 til 31. januar 2025 ble det kjørt daglige testkjøringer med lading fra el-veien. I løpet av denne perioden varierte temperaturen fra -17°C til 12°C . Rundt nyttår og tidlig i januar kom det flere store og intensive snøfall på 20 – 30 cm.



Foto: Electreon

Resultatene fra vintertestene av dynamisk lading indikerer at ladeeffekten ikke påvirkes negativt av tøffe værforhold eller snø og is så lenge posisjonen mellom ladesegmentene og mottakerne på kjøretøysiden er uendret. Testene viser imidlertid en tydelig reduksjon i ladeeffekt hvis det bygger seg opp en såle av snø og is i veibanen slik at avstanden mellom ladesegmenter og mottakerplater øker. En vesentlig del av reduksjonen antas å skyldes at snø og is i veibanen gjør det krevende å plassere bussen optimalt for lading. Som et hjelpemiddel til sjåførene har det blitt utviklet en grafisk visning av bussens sideveisplassering ift. ladefeltet. Effekten av grafikken vil evalueres i videre tester i prosjektet.

Ved statisk lading ble det målt null til små reduksjoner i ladeeffekt forårsaket av snø og is. Med 3 cm snø og is i hjulsporene var reduksjonen i ladeeffekt ca. 4 %. Termofotografering før- og etter 1 min. statisk lading viste en temperaturøkning i overflaten til asfalten på $1,6^{\circ}\text{C}$ direkte over ladesegmentene og $0,1 - 0,3^{\circ}\text{C}$ mellom ladesegmentene.

1. Introduksjon

Fra 01.01.2024 stiller forskrift om energi- og miljøkrav ved offentlig anskaffelse av kjøretøy til veitransport¹ krav om at alle nye by- og forstadsbusser skal være utslippsfrie. I Trondheim slår dette kravet inn med full tyngde når busskontraktene skal fornyes i 2029. Størstedelen av busslinjene i Trondheim forventes å være mulige å elektrifisere med konvensjonelle løsninger, men tre metrobusslinjer (hybride BRT-linjer) er identifisert som utfordrende. Metrobusslinjene utgjør ryggraden i kollektivsystemet og står for rundt 40 % av alle bussreiser i Trondheim. Å lykkes med avkarbonisering av disse er derfor sentralt i omstillingen til mer klimavennlig kollektivtransport i Trondheim.

Utfordringene med elektrifisering av metrobusslinjene er knyttet til flere forhold:

- Linjene kjøres med 24 meter dobbelt-leddede høykapasitetsbusser
- Linjene er lange (opptil 22 km/retning)
- Bussene kjører lange driftsdager (opptil 400 km/dag)
- Det er store høydeforskjeller i traséene (opptil 2000 meter stigning/dag)
- Både traséer og stopp underveis har blandet trafikk

I sum gjør dette at energibehovet til bussene blir svært høyt og at mulighetene for å få tilført energi i løpet av driftsdagen er begrenset.

En mulig løsning for avkarbonisering av metrobusslinjene kan ligge i å bygge deler av metrobusstraséene som elektrisk vei med mulighet for lading under kjøring. For å gi Trøndelag fylkeskommune (TRFK) og AtB AS den nødvendige kunnskapen til å vurdere dette, ble det i 2023 tatt initiativ til et pilotprosjekt med mål å etablere og teste Norges første elektriske vei. Etter en vurdering av fordeler og ulemper ved ulike teknologier, landet pilotprosjektet på å pilotere dynamisk induktiv lading. Det er en type ladeteknologi der energi overføres trådløst fra veibane til kjøretøy via magnetfelter. Teknologien har fordelen at ladeinfrastrukturen kan bygges uten bevegelige og væreksponte deler.

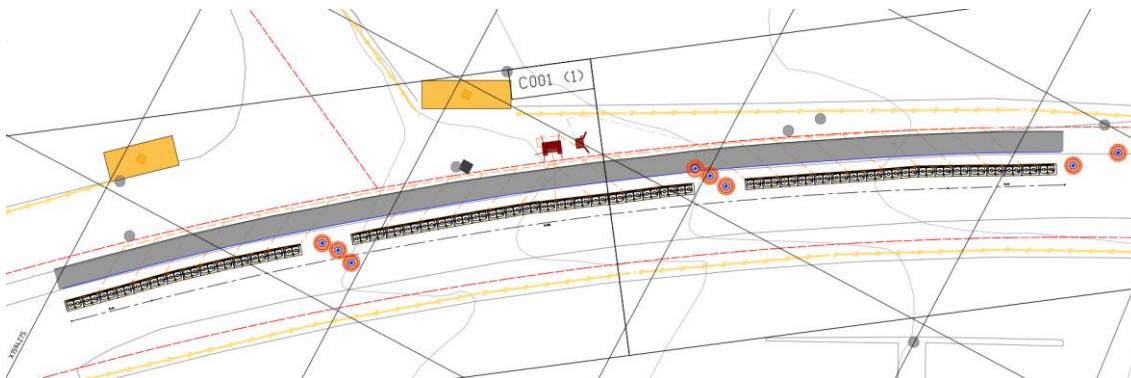
Målene for pilotprosjektet omfatter bl.a. å verifisere funksjon og sikkerhet, få førstehåndserfaring med anskaffelse og utbygging, få økte kunnskaper om kostnader til etablering, drift og vedlikehold, og å få grunnlag for å vurdere ulike modeller for eierskap og drift. Klimaet i Trondheim stiller strenge krav til robustheten til ladeløsninger. Om vinteren er kraftige snøfall og raske skift mellom positive og negative temperaturer vanlige. Dette gjør at funksjon under vekslende vinterforhold er en sentral del av vurderingen av funksjon. Ladeløsningen må være minimalt påvirket av snø og is, og infrastrukturen må være robust nok til å tåle salting, brøyting og skraping.

2. Ladestrekningen

El-vei strekningen som blir brukt i pilotprosjektet ble bygget sommeren 2024 i veien Kvenildstrøa ved Sandmoen bussdepot, som ligger om lag 10 km sør for Trondheim sentrum. Etter en anskaffelseskonkurranse ble Electreon valgt som teknologileverandør.

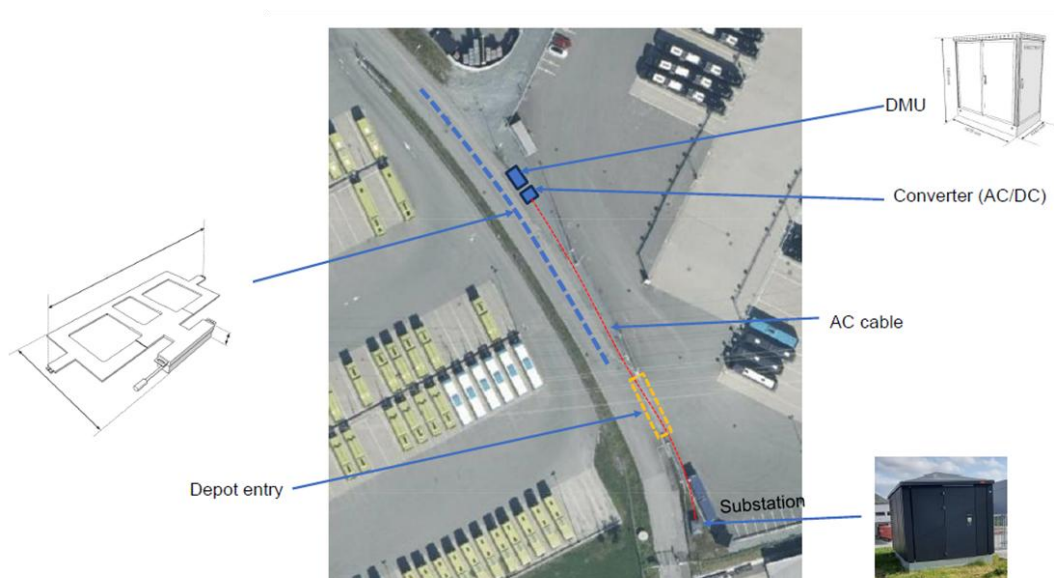
Strekningen er i overkant av 100 meter lang, hvorav 82 meter har mulighet for lading. I tillegg til dynamisk lading har strekningen også mulighet for statisk lading (stillestående kjøretøy). På grunn av eksisterende dreneringskummer i veibanen er ladestrekningen delt opp i tre delstrekninger. Ladesegmentene i veibanen er dekket av 8 cm asfalt.

¹ Forskrift om energi- og miljøkrav ved offentlig anskaffelse av kjøretøy til veitransport - Lovdata



Figur 1 – Skisse av plasseringen av ladesegmenter (i sort) i veibanen på Sandmoen. Røde sirkler er kumlokk som deler den elektriske veien opp i tre delstrekninger (III.: TRFK)

Ladeinfrastruktur-delen av piloten består av 52 ladesegmenter tilkoblet en styringsenhet som igjen er tilkoblet en AC/DC-omformer og en nettstasjon. Ladeeffekten avhenger av antall mottakere på kjøretøyet. Bussen som ble brukt i vintertestene var utstyrt med tre mottakerplater med samlet ladeeffekt på ca. 75 kW dynamisk og ca. 120 kW statisk under ideelle forhold.



Figur 2 – Oversikt over komponentene i ladeinfrastrukturen (III.: Electreon)

3. Gjennomføring av vintertestingen

Vintertestingen ble gjennomført i perioden 1. desember 2024 til 31. januar 2025. Med fratrekk for helge- og helligdager og noen dager som gikk bort på grunn av problemer med bussen som ble brukt, ble det gjennomført 27 testdager. For å få flest mulig passeringer av ladestrekningen foregikk testkjøringen som en runde inne på bussdepotet. I løpet av perioden ble det gjennomført 324 passeringer av ladestrekningen med datalogging. Hovedfokus i vintertesten var dynamisk lading, men det ble også gjennomført noen tester av statisk lading.

3.1 Sjåfører

Kjøringen ble i hovedsak gjennomført av en gruppe på fire sjåførere fra Vy. Sjåførene ble valgt ut blant annet med mål å oppnå god spredning på kjønn, alder og erfaring. Før oppstart gjennomgikk sjåførene tre timer opplæring i prosjektet og teknologien. Dette inkluderte veiledet testkjøring. To uker inn i testperioden ble det gjennomført en ny runde med veiledning med hovedfokus på plassering av bussen i

veibanen. I tillegg til testkjøringen med sjåfører fra Vy, ble det gjennomført noe testkjøring med sjåfør fra teknologileverandøren.

3.2 Buss

Testkjøringen ble gjennomført med en buss av merket Higer (2020-modell med modellbetegnelse KLQ6125GEV3) som ble leid inn fra et tidligere lignende prosjekt på Gotland i Sverige. Bussen ble tatt inn til Norge for bruk i prosjektet og har ikke gått i rutetrafikk.

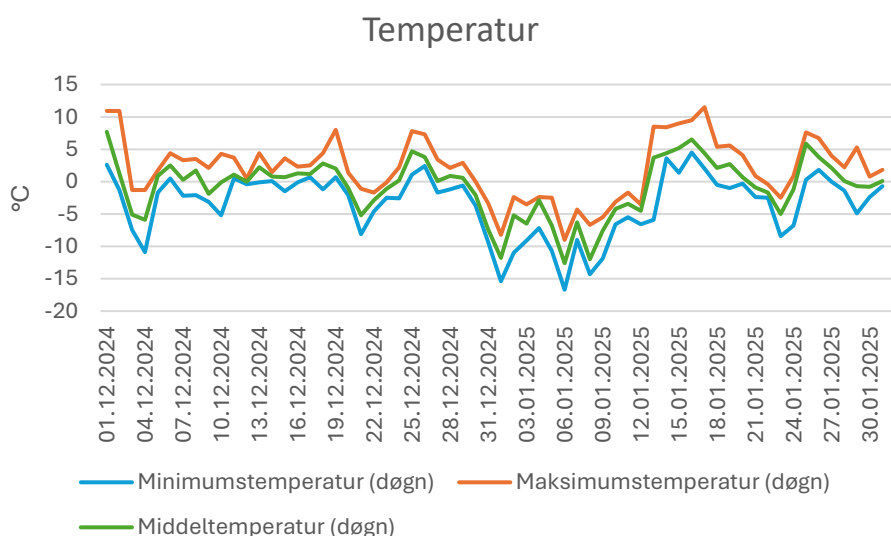
Bussen er en 12-meter lang bybuss med 31 seter og maksimal passasjerkapasitet på 84 personer. Motorkapasiteten er 180 kW og energilageret en ultrakondensator med kapasitet 40 kWh. Bussen var i utgangspunktet ikke bygget for vinterdrift og hadde bl.a. et underdimensjonert varmeanlegg. Dette gav noen driftsutfordringer på de kaldeste dagene i testperioden.



Figur 3 – Bussen som ble brukt i testkjøringen (Bilde: AtB)

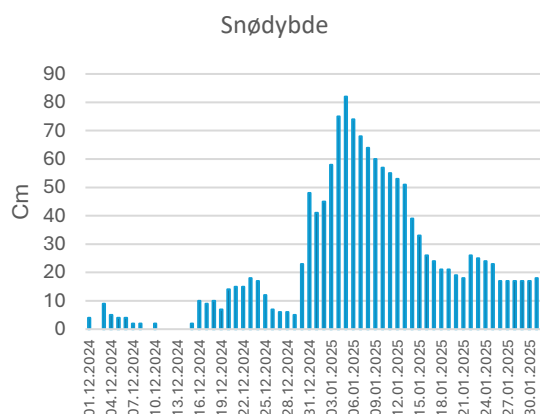
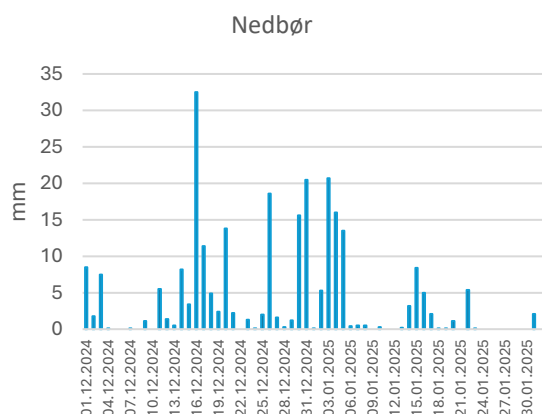
3.3 Været i testperioden

I testperioden varierte temperaturen fra et minimum på -17°C (06.01.25) til et maksimum på 12°C (17.01.25). Gjennomsnittstemperatur i desember var $0,1^{\circ}\text{C}$ og i januar $+1,7^{\circ}\text{C}$. For desember er det 2°C varmere enn normalt, mens januar er så å si på normal. 14 av dagene i perioden var det plussgrader gjennom hele døgnet, 20 dager var det minusgrader gjennom hele døgnet og de resterende 28 dagene varierte temperaturen mellom minusgrader og plussgrader innenfor samme døgn.



Figur 4 – Temperaturer i testperioden (Data: Met.no)

Samlet nedbør i perioden var 251,6 mm. Desember var svært våt, med 1,7 ganger normalnedbør. Januar var tørrere med 0,94 ganger normalnedbør. Nedbøren har variert mellom regn, sludd og snø. Rundt nyttår og tidlig i januar kom det flere store og intensive snøfall på 20 – 30 cm.



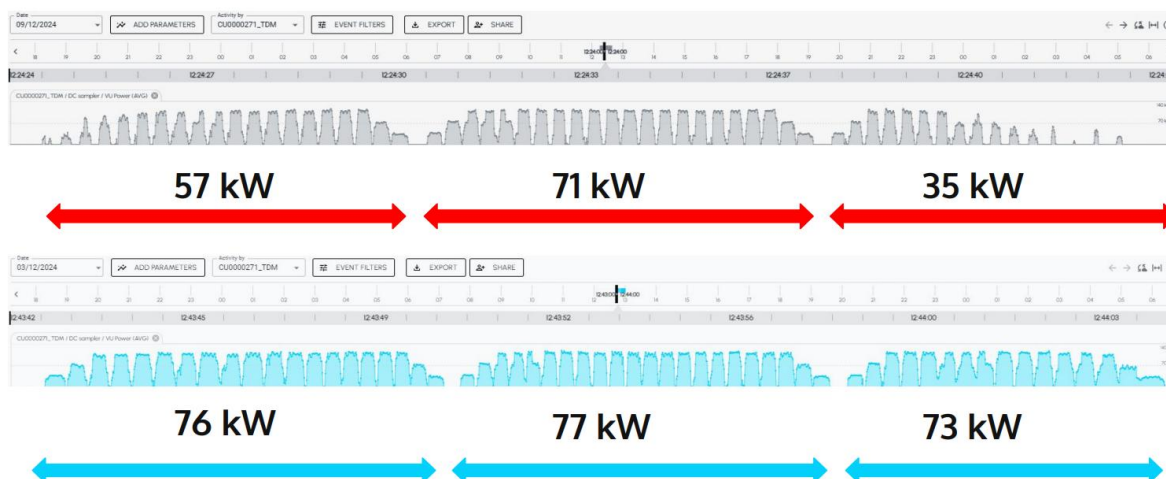
Figur 5 - Nedbør i testperioden (Data: Met.no) **Figur 6 - Snødybder i testperioden (Data: Met.no)**

4. Resultater fra tester av dynamisk lading

Dynamisk lading er lading som skjer når bussen er i bevegelse. Ladeeffekt på alle kjøring i perioden har blitt logget og analysert. Figur 7 viser data for ladeeffekt samlet fra to enkeltkjøringer. Toppene i ladekurvene er ladeeffekten når mottakerplatene på bussiden er rett over ladesegmentene og bunnene når mottakerplatene er midt mellom ladesegmentene. For å kunne si noe om hvor mye energi som overføres fra veien til bussen innenfor en viss tid eller strekning er det gjennomsnittet som er interessant. Dette ligger et sted mellom toppene og bunnene i ladekurvene. Tallene under grafene angir gjennomsnittlig ladeeffekt for delene av kurvene.

Ladekurvene er brutt opp i tre deler på grunn av dreneringskummer i veibanen (se Figur 1). I starten og slutten av hver del er ladeeffekten redusert (opp- og nedramping) når bussen kjører på og av. Dette skyldes at ladingen starter så fort den første av de tre mottakerplatene på bussen har kommet inn over ladesegmentene, og slutter når den siste mottakerplaten forlater ladesegmentene. Hvor stor påvirkning opp- og nedrampingene har på den gjennomsnittlige ladeeffekten målt over hele ladestrekningen avhenger av hvor lang ladestrekningen er. Jo lenger sammenhengende ladestrekning, jo mindre vil gjennomsnittet påvirkes av opp- og nedrampene. På Sandmoen er ladestrekningene veldig korte. Dette gjør at opp- og nedrampene får stor innvirkning på den gjennomsnittlige ladeeffekten. Figur 10 viser gjennomsnittlig ladeeffekt inklusive og eksklusive opp- og nedramper for testkjøringer i ulike hastigheter. Med lengdene til ladestrekningene på Sandmoen gir det å inkludere opp- og nedrampene i beregningen av gjennomsnitt en reduksjon på i overkant av 8 kW.

Plasseringen av pilotstrekningen på Sandmoen gjør også at bussene får krappe og lite naturlige svingebevegelser inn- og ut av den første og siste delen av ladestrekningen. I hvor stor grad dette er hensyntatt av sjåførene har variert med om det har vært annen trafikk på veien, sjåførenes kjørestil og vaner mm. Øverste del av Figur 7 (grå kurve) viser en testkjøring hvor svingebevegelsen inn på ladestrekningen gjorde at bussen seint ble riktig orientert over ladesegmentene, og svingebevegelsen ut at bussen tidlig forlot ladesegmentene. Nederste del av Figur 7 (blå kurve) viser en testkjøring hvor svingebevegelser gjorde at bussen var riktig plassert over ladesegmentene i hele ladestrekningens lengde. Som figuren viser, har dette veldig stor innvirkning på den gjennomsnittlige ladeeffekten fra første og siste del av ladestrekningen.



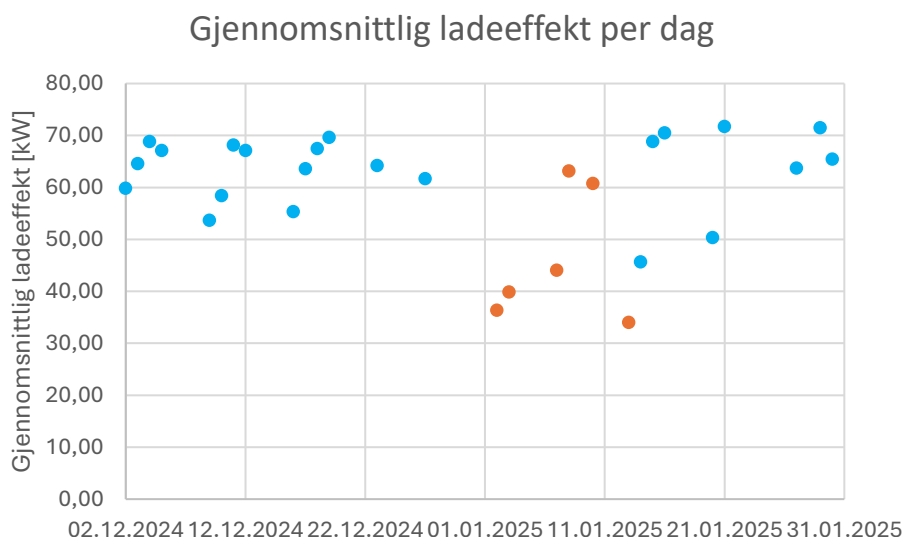
Figur 7 – Ladekurver og gjennomsnittlige ladeeffekter for en testkjøring med mindre gode svingebevegelser inn- og ut av ladestrekningen (øverst) og med gode svingebevegelser (nederst). Forskjellene i gjennomsnittlig ladeeffekt skyldes at bussen i den øverste kurven ikke er riktig orientert over ladeselementene i hele ladestrekningens lengde. (Ill. Electreon)

En periode i starten av januar gjorde flere store snøfall at det bygget seg opp en tykk såle (opptil 6 cm) av snø og is i veibanen (se Figur 8). Testkjøringene disse dagene er veldig interessante, men forholdene vurderes som såpass ekstraordinære at de ikke er tatt med i den generelle vurderingen av betydningen av værforhold og isteden analysert og omtalt separat i 4.3. Totalt gjelder dette seks dager i løpet av testperioden.



Figur 8 – Såle av snø og is i hjulsporene (Bilde: Electreon)

Gjennomsnittlig ladeeffekt for alle turer som er kjørt i perioden er 59,37 kW inklusive dagene i starten av januar, og 63,50 kW uten. Dette inkluderer alle kjøringene fra alle sjåførere og opp- og nedramper ved på- og avkjøring og passering av dreneringskummer. Variasjonen i gjennomsnittlig ladeeffekt mellom de ulike sjåførene som har kjørt i vintertestperioden er betydelig, fra 55,67 kW til 69,24 kW. Gitt like forutsetninger hadde dette vært signifikante forskjeller, men fra datamaterialet er det ikke grunnlag for å konkludere om det skyldes kjørestil eller forskjeller i vær- og føreforhold.



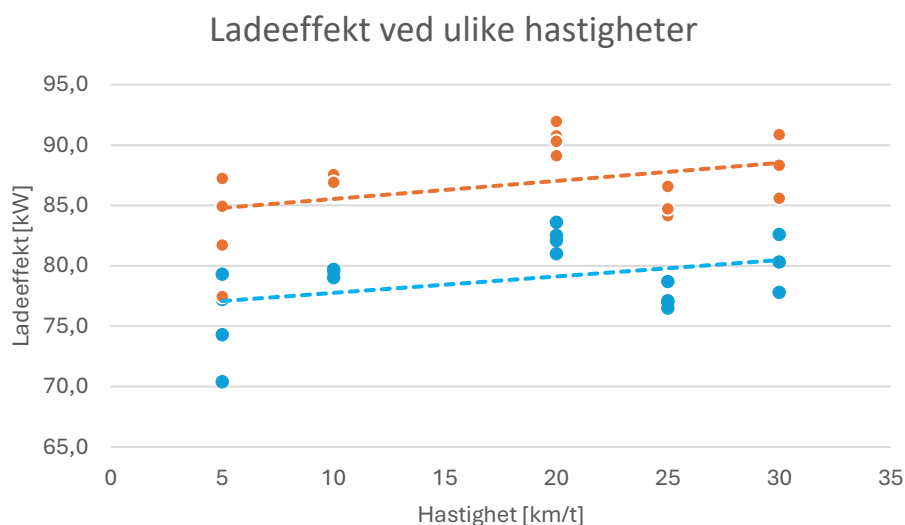
Figur 9 – Gjennomsnittlig ladeeffekt per dag i testperioden. Røde punkter er dager med tykk såle av is og snø i hjulsporene.

4.1 Betydning av hastighet

Om ladeeffekten påvirkes av hastigheten til bussen har blitt testet ved å kjøre testkjøringer i ulike hastigheter (5, 10, 20, 25 og 30 km/t). Plasseringen av ladestrekningen på Sandmoen, med en krapp sving inn og i lett motbakke, muliggjør ikke kjøring i høyere hastighet enn 30 km/t. Hastighetsspennent som har blitt testet vurderes å være representativt for gjennomsnittshastigheten på typiske bybusslinjer. Testkjøringene ble gjennomført i hele ladestrekningens lengde, men for å sikre mest mulig konstant hastighet har bare data fra den midterste av delstrekningene blitt benyttet i analysene.

Figur 10 viser ladeeffekter med økende hastighet inklusive opp- og nedramper (blå) og eksklusive opp- og nedramper (oransje). For begge viser ladeeffekten en antydning til økning i ladeeffekt med økende hastighet (ca. 0,14 kW/km/t). Sammenhengen er ikke signifikant og antas å delvis skyldes at det er krevende å holde bussen stødig plassert over ladefeltet ved så lav hastighet som 5 km/t. Utelates kjøringene med 5 km/t fra analysen viser testresultatene ingen sammenheng mellom hastighet og ladeeffekt.

Innenfor hastighetsområdet som er testet vurderes det å ikke være grunnlag for å konkludere med at ladeeffekten påvirkes av bussens hastighet.



Figur 10 – Ladeeffekt ved ulike hastigheter. Blå markører er inklusive opp- og nedramper. Oransje markører ekskl. opp- og nedramper.

4.2 Betydning av værforhold

resultatene fra testkjøringene med informasjon om vær- og føreforhold. For alle testkjøringer har det blitt ført loggskjema som har inneholdt temperatur (°C), føreforhold (bart, snø, is) og cm snø/is i veibanen. Informasjon om nedbør har blitt hentet fra en nærliggende meteorologisk målestasjon.

Testkjøringene gir ikke indikasjoner på at føreforhold spiller inn på ladeeffekten. Sett bort ifra nevnte dager i januar, var gjennomsnittlig ladeeffekt for alle kjøringene ved bar vei 62,70 kW og ved snø- eller isdekket vei 64,91 kW. Det er ikke noe som tilsier at ladeeffekten skal være høyere ved snø- eller isdekket vei enn ved bar vei. Forskjellene antas derfor å være tilfeldige og forårsaket av andre forhold. Forskjellene er heller ikke signifikante.

Det er heller ikke klare tegn på at utetemperaturen spiller inn på ladeeffekten så lenge batteriet er tilstrekkelig varmt før oppstart av ladingen. Sett bort ifra dagene i januar var gjennomsnittlig ladeeffekt for alle testkjøringer ved temperatur over 0°C 63,98 kW og under 0°C 62,67 kW. Heller ikke disse forskjellene er signifikante.

Den siste værparameteren som er undersøkt er nedbør. For nedbør er det sett på antall mm nedbør innenfor den samme 24 timers perioden som testkjøringen ble gjennomført. Det er ikke skilt mellom nedbør i form av regn eller snø. Nedbørsmengden er delt inn i tre kategorier – «Tørt» definert som under 1 mm nedbør, «Moderat nedbør» definert som 1 – 5 mm nedbør og «Mye nedbør» definert som 5 mm+ nedbør. Resultatene gir ikke indikasjoner på at nedbør spiller inn på ladeeffekten. Gjennomsnittlig ladeeffekt for testkjøringer i tørt vær var 66,67 kW, i moderat nedbør 62,05 kW og i mye nedbør 64,08 kW. Forskjellene er ikke signifikante.

Tabell 1 – Oppsummering av testresultater for ulike vær- og føreforhold

	Gj. snitt ladeeffekt [kW]	95 % konfidens- intervall [kW]
Bar vei	62,70	58,02 – 67,37
Snødekket vei	64,91	60,87 – 68,94
Temperatur over 0°C	63,98	59,59 – 68,36
Temperatur under 0°C	62,67	57,37 – 67,97
Tørt (under 1 mm nedbør)	66,67	62,33 – 71,00
Moderat nedbør (1-5 mm)	62,05	57,07 – 67,03
Mye nedbør (5 mm+)	64,08	57,39 – 70,76

4.3 Betydning av snø og is

I perioden 30. desember til 5. januar kom det flere store snøfall som ble kjørt ned og pakket til en hard såle av snø og is i veibanen inklusive i hjulsporene. Dette gjorde at avstanden mellom ladeselementene i veibanen og mottakerplatene på bussen økte og at det ikke var mulig å se veimarkeringen på ladestrekningen. Deler av perioden var det også brøytekanter som gjorde at bussene ble presset lenger inn mot midten av veien enn kjørefeltene normalt skulle tilsi.

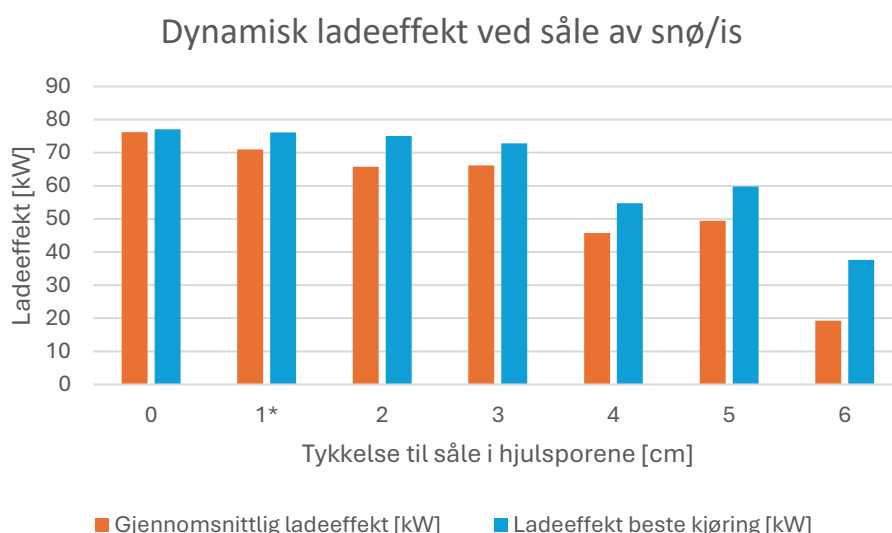
Dette er føreforhold som ligger godt utenfor det normale for veistrekkninger hvor det kjøres buss. For eksempel er Statens vegvesens krav til vinterdriftklasse A og B at det skal være minimum bar asfalt i hjulsporene. Resultatene fra testkjøringene disse dagene har derfor blitt holdt utenfor den generelle vurderingen.

Resultatene fra testkjøringer med tykk såle av snø og is er vist i Figur 11. Som figuren viser er reduksjonen i ladeeffekt begrenset opp til 3 cm såle i hjulsporene, men øker så betydelig når tykkelsen på sålen i hjulsporene blir 4 cm og høyere. Reduksjonen i ladeeffekt skyldes en kombinasjon av tre forhold:

- Ladingen er optimalisert for en gitt avstand mellom ladeselementene og mottakerplatene og reduseres noe når denne overskrides.

- Den horisontale toleransen (slingringsmonnet for plassering av bussen i veibanen) før ladeeffekten reduseres når bakkeklaringen blir høyere enn det systemet er optimalisert for. Dette reduserer ikke ladeeffekten i seg selv, men gjør det mer krevende for fører å plassere bussen optimalt i veibanen.
- Utfordringene med plassering av bussen i veibanen øker ytterligere når snø- og isdekke gjør at veimarkeringen ikke lenger er synlig og gamle hjulspor, brøytekanter etc. leder bussen mer sentralt i veibanen.

I vintertestene er det ikke mulig å skille disse tre effektene fra hverandre. Forskjellen på «Gjennomsnittlig ladeeffekt» og «Ladeeffekt beste kjøring» i Figur 11 gir imidlertid indikasjoner på at en betydelig del av reduksjonen med helt opp til 5 cm såle i hjulsporene skyldes utfordringer med å plassere bussen riktig i veibanen.



Figur 11 – Ladeeffekt ved ulike tykkelse på såle av snø/is i hjulsporene. Oransje søyler er gjennomsnittlig ladeeffekt for alle kjøringene med den aktuelle såletykkelsen, blå søyler ladeeffekt for beste kjøring.

5. Resultater fra tester av statisk lading

Statisk lading er lading som skjer når bussen står stille, for eksempel i depot eller ved et underveis- eller endestopp. Tester av statisk lading er enklere å gjennomføre enn av dynamisk lading fordi en ikke trenger å ta høyde for at bussen er i bevegelse. Dette gjør at man kan utelukke usikkerheter som hvor godt bussen er plassert i veibanen og forskjeller mellom ulike sjåførere. I løpet av vintertesten er statisk lading testet under ulike forhold, og det er gjort termofotografering før- og etter statisk lading for å vurdere i hvor stor grad ladingen gir oppvarming av veibanen.

5.1 Betydning av snø og is

Tre forskjellige tester ble gjennomført av statisk lading. I innhold sammenfaller disse i stor grad med testene som ble gjort av dynamisk lading med snø/is i veibanen (se 0), men fordi bussen står stille har ikke testene den samme usikkerheten knyttet til horisontal plassering av bussen i veibanen.

Figur 12 og Figur 14 viser statisk lading med 3 cm såle av snø og is på veien inkludert i hjulsporene slik at avstanden mellom ladesegmenter og mottakerplater økte med 3 cm. I denne situasjonen ble ladeeffekten målt til 101 kW med en effektivitet på 84,3 %.

Figur 15 viser statisk lading med 3 cm såle av snø og is på veien, men hvor sålen er fjernet i hjulsporene slik at dekkene står på bar asfalt og avstanden mellom ladesegmenter og mottakerplater er uendret. Ladeeffekten ble nå målt til 104,7 kW med en effektivitet på 87,3 %.

Figur 13 og Figur 16 viser statisk lading med 3 cm såle av snø og is på veien, hjulene på bussen på bar asfalt og 10 cm ekstra snø lagt på i veibanen mellom ladesegmentene og mottakerplatene. Ladeeffekten ble også nå målt til 104,7 kW med effektivitet på 87,3 %.

Til sammenligning vil typisk effektivitet til en CCS2 plugglader ved samme ladeeffekt og temperatur ligge i området 75 – 90 % avhengig av bl.a. temperatur.

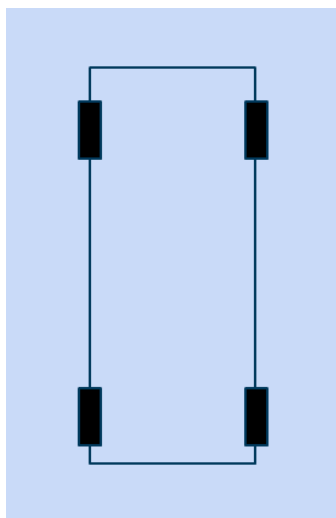
Resultatene fra testingen av statisk lading understøtter at snø og is i veibanen ikke påvirker ladeeffekten så lenge bussens plassering i veibanen og avstanden mellom ladesegmenter og mottakerplater er uendret. Dette styrker hypotesen om at deler av reduksjonen i ladeeffekt ved såle av snø og is som ble funnet under testingen av dynamisk lading skyldes at bussen ikke var riktig plassert i veibanen.



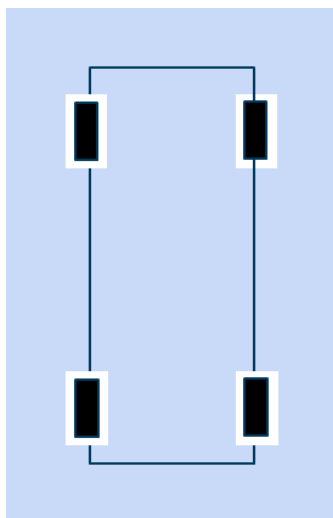
Figur 12 – Statisk lading fra snødekket veibane
(Bilde: Electreon)



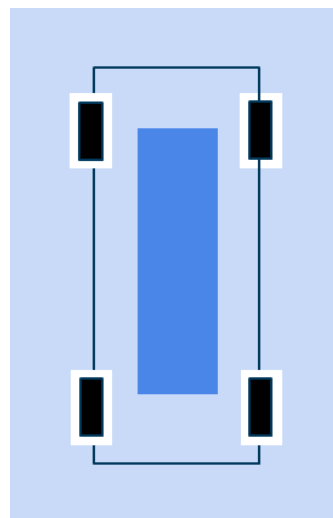
Figur 13 – Statisk lading fra snødekket veibane med ~10 cm ekstra snø mellom ladesegment og mottaker (Bilde: Electreon)



Figur 14 – Statisk lading med veibanen dekket av 3 cm is.
(Ill.: Electreon)



Figur 15 – Statisk lading med hjulene gravd ned til bar asfalt og veibanen dekket av 3 cm is.
(Ill.: Electreon)



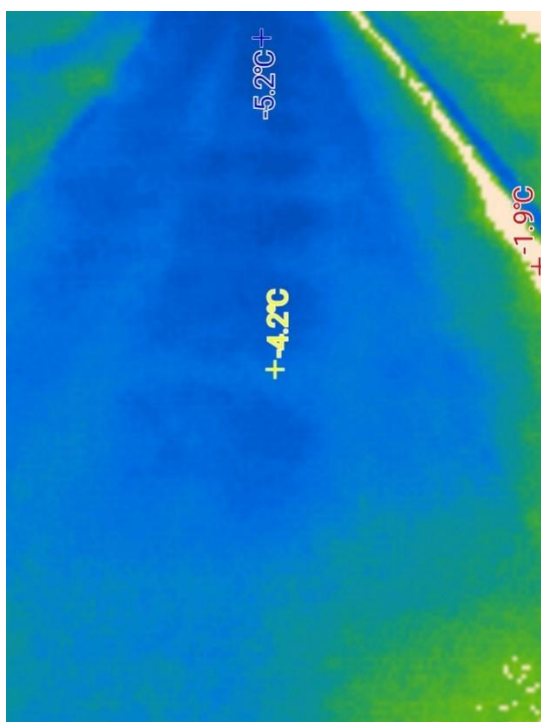
Figur 16 – Statisk lading med hjulene gravd ned til bar asfalt og veibanen dekket av 3 cm is og 10 cm ekstra snø. (Ill.: Electreon)

5.2 Varmentvikling i veien

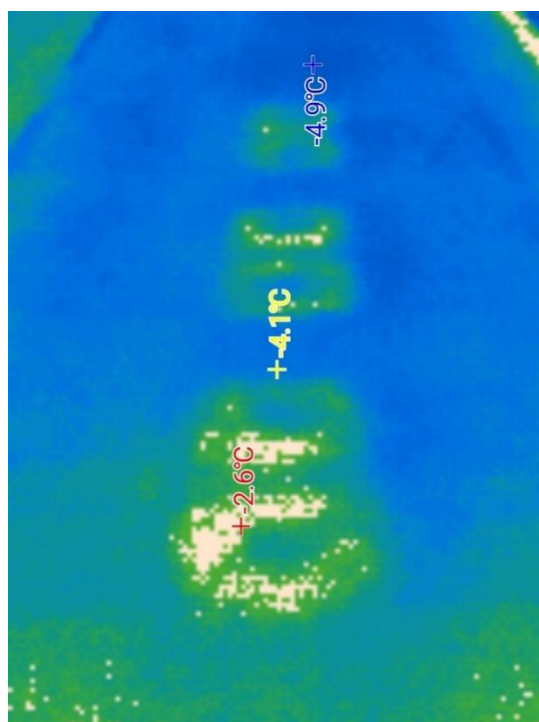
Tap under lading (forskjellen mellom 100 % effektivitet og faktisk effektivitet) fører til oppvarming av ladesegmenter, kabler og mottakerplater. Dette er et tap som ikke er ønsket og teknologileverandørene jobber med å minimere, mens det vil aldri gå helt til 0.

De mulige konsekvensene av varmeutvikling vil avhenge av temperatur. Mest kritisk vil det være når temperaturen i veibanen er rundt 0°C. Varmeutvikling i veien vil da i teorien kunne føre til at snø smelter og fryser igjen og gir glatt veibane, og det kan påføre asfalten stress fra sykluser av oppvarming og nedkjøling. Omfanget av varmeutvikling vil være avhengig av intensiteten i lading fra veien. I piloten, hvor to busser vil lade fra veien, vil ikke varmeutvikling ha noen praktisk betydning. I framtidige scenarioer, men hyppigere lading fra både busser og andre typer kjøretøy, kan varmeutvikling være mer relevant.

Testing av varmeutvikling i veien ble gjort ved å sammenligne termofotografier før og etter 1 minutt statisk lading. Dette tilsvarer et bruksscenario som er vesentlig mer intensivt enn hva som vil være mulig å få til med dynamisk lading av to busser. Figur 17 viser temperaturene før lading og Figur 18 temperaturene etter lading (alle temperaturer i figurene er negative (<0 °C), «+»-tegnene i figurene markerer målepunktene). Temperatur er også angitt som et varmekart, hvor mørkeblå farger er kaldere og hvite farger varmere. Figurene viser at tapet under lading gav en temperaturøkning i veibanen direkte over ladesegmentene på 1,6°C. Temperaturøkningene var svært lokale. Mellom ladesegmentene var temperaturøkningen begrenset til 0,1 – 0,3°C.



Figur 17 – Termofotografi av temperatur i veibanen før 1 minutt statisk lading. «+» tegn angir posisjon til målepunkter, alle temperaturer er negative (<0 °C).



Figur 18 – Termofotografi av temperatur i veibanen etter 1 minutt statisk lading. «+» tegn angir posisjon til målepunkter, alle temperaturer er negative (<0 °C).

6. Foreløpige konklusjoner og videre arbeid

Resultatene fra vintertestene indikerer at lading fra el-vei ikke påvirkes negativt av snø og is i veibanen eller tøffe værforhold så lenge posisjoneringen mellom ladesegmentene og mottakerne på kjøretøysiden er uendret. Testene viser imidlertid en tydelig reduksjon i ladeeffekt hvis det bygger seg opp et så tykt lag av snø og is i veibanen at avstanden mellom ladesegmenter og mottakerplater øker. Reduksjonen er begrenset for de først centimeterne, men øker så raskt fra 3 – 4 cm og tykkere. Det understrekes at kjøreforhold med såle av snø og is på 3 – 4 cm og tykkere i busstraséer er å anse som ekstraordinære

forhold – for eksempel stiller vinterdriftsklasse A (Trøndelag fylkeskommune²) og A og B (Statens vegvesen³) krav til «bar asfalt».

Det er tre ulike faktorer som forårsaker reduksjonen; økt avstand mellom ladesegmenter og mottakere, økt avstand reduserer sideveistoleransen for optimal lading og utfordringer med å se veimarkering gjør det krevende å plassere bussen rett i veibanen.

I testopplegget i vintertestene var det ikke mulig å skille disse effektene fra hverandre eller å estimere mulige interaksjonseffekter. Både teorien og sammenligning av resultatene fra de dynamiske og statiske testene antyder imidlertid at en vesentlig del av reduksjonen skyldes utfordringer med å plassere bussen rett i veibanen.

I den videre testingen planlegges systematiske tester for å kunne skille mellom effekten av økt bakkeklaring og reduksjon i sideveistoleranse. For å gjøre det enklere for sjåførene å plassere bussen rett i veibanen har det blitt utviklet en grafisk visning av bussens sideveisplassering ift. ladefeltet (Figur 19) integrert i bussens dashboard. Denne vil fungere uavhengig av om veimarkeringen er synlig. Effekten av grafikken vil evalueres i videre tester i prosjektet.



Figur 19 – Indikator for bussens sideveisplassering ift. ladefeltet i bussens dashboard. I dette eksempelet er bussen plassert for langt til venstre i veibanen.

² <https://www.trondelagfylke.no/vare-tjenester/veg/drift-og-vedlikehold/vinterdrift/#:~:text=Oppgavene%20som%20inng%C3%A5r%20i%20vinterdriften%20er%3A%20Vegnettet%20er,vegen%20kan%20v%C3%A6re%20n%C3%A5r%20det%20ikke%20er%20nedb%C3%B8r.>

³ <https://www.vegvesen.no/globalassets/fag/handboker/hb-r610.pdf?v=49926d>