

Læringsrapport Utslippsfritt anlegg

Erfaringer fra utslippsfri bygging av miljøgate på Gran, 2024

STATENS VEGVESENS RAPPORTER

Nr. 1050



Foto: Håvard Vaaje, Statens vegvesen

Tittel

Læringsrapport
Utslippsfritt anlegg

Undertittel

Erfaringer fra utslippsfri bygging av miljøgate
på Gran, 2024

Forfatter

Ingrid Aamnes, Mathilde Christensen, Håvard
Vaaje, Even Stensrud, Terje Paulsen, Aage B.A

Avdeling

Utbyggingsområde sørøst

Seksjon

Prosjekt Vestoppland

Prosjektnummer

B11879

Rapportnummer

1050

Prosjektleder

Pål-Steinar Karlsen

Godkjent av

Emneord

Utslippsfritt anlegg, elektrisk, hydrogen,
bærekraft, utslipp, anleggsmaskiner, kjøretøy

Sammendrag

Byggingen av ny miljøgate på Gran i 2024 ble gjennomført med den høyeste graden av utslippsfrie maskiner og kjøretøy som hittil er brukt i et vegprosjekt i Norge. Med støtte fra Samferdselsdepartementet ble 94 % av arbeidet utført med elektriske anleggsmaskiner og kjøretøy. Det ble også testet ut en hydrogen brenselcelle, som produserte strøm til anlegget med energi fra hydrogengass.

Rapporten oppsummerer erfaringene fra bruk av ladere, elektriske maskiner og kjøretøy i prosjektet, som et ledd i å fremme en mer bærekraftig retning for anleggssektoren med økt bruk av fornybar energi og redusert utslipp av klimagasser.

Title

Learning Report
Emission-Free Construction Site

Subtitle

Experiences from Emission-Free Construction
of Environmental Street Gran, 2024

Author

Ingrid Aamnes, Mathilde Christensen, Håvard
Vaaje, Even Stensrud, Terje Paulsen, Aage B.A

Department

Construction Area Southeastern Norway

Section

Vestoppland Project

Project number

B11879

Report number

1050

Project manager

Pål-Steinar Karlsen

Approved by

Key words

Emission-free Construction Sites, Electric,
Hydrogen, Sustainability, Emissions,
Construction Machinery, Vehicles

Summary

The construction of the new environmental street in Gran in 2024 was carried out with the highest degree of emission-free machines and vehicles used in a road project in Norway. With support from the Ministry of Transport, 94% of the work was performed with electric construction machines and vehicles. A hydrogen fuel cell was also tested, producing electricity for the site using energy from hydrogen gas.

The report summarizes the experiences from using chargers and electric machines in the project, promoting a more sustainable direction for the construction sector with increased use of renewable energy and reduced greenhouse gas emissions.





Statens vegvesen



Læringsrapport Utslippsfritt anlegg

Erfaringer fra utslippsfri bygging av miljøgate Gran, 2024

Forfattere:

Ingrid Aamnes, Hafslund

Mathilde Christensen, Hafslund

Håvard Vaaje, Statens vegvesen

Even Stensrud, Statens vegvesen

Terje Paulsen, NAPOP

Aage Bjørn Andersen, NAPOP



Riggplass 1 med ladeutstyr på Gran. Eier: Hafslund, Fotograf: Mathilde Christensen

Introduksjon

Statens vegvesen har satt mål om å kutte minst 55 % av sine direkte og indirekte klimautslipp fra 2020 til 2030. For å oppnå dette benyttes klimagassutslipp som tildelingskriterium og fra 01.01.2028 er målet å utlyse alle anleggskontrakter som nullutslipp.¹ Dette innebærer bl.a. å stille krav til elektriske maskiner på anlegg. For å teste ut og lære hvordan å gjennomføre utslippsfrie vegprosjekter i praksis har Statens vegvesen valgt ut prosjektet Miljøgate Gran som sitt første nært 100 % utslippsfrie prosjekt. Dette prosjektet er et av de 22 prosjektene som Samferdselsdepartementet mellom 2022 og 2024 har gitt støtte til for å pilotere utslippsfri drift i samferdselssektoren.²

Prosjektet Miljøgate Gran omhandler etablering av 650 m ny fylkesvei og 200 m ny kommunalvei inklusive etablering av gang og sykkelvei og dypstabilisering, nytt VA-anlegg og annen infrastruktur i grunnen gjennom Gran sentrum på Hadeland. Prosjektet Miljøgate Gran ble utlyst som en utførelsesentreprise og entreprenør Anlegg Øst Entreprenør AS vant anbudet i desember 2023. Anleggsstart for prosjektet var 15. januar 2024 og frist for ferdigstilling 30. november 2024.³ Prosjektets karakter, beliggenhet og andre forhold gjorde at Vegvesenet før utlysning vurderte dette til å være godt egnet for et pilotprosjekt som utslippsfritt anlegg.

Statens vegvesen valgte å inngå et forskningssamarbeid med Hafslund før oppstarten av prosjektet Miljøgate Gran. Målet med samarbeidet var å måle og samle erfaring og læring for hvordan å planlegge og gjennomføre et utslippsfritt vegprosjekt i praksis. Dette inkluderer å måle og forstå energi- og effektbehovet til et utslippsfritt anleggsprosjekt, behovet og etablering av provisorisk strøminfrastruktur, ladeutstyr og andre energiløsninger. Hafslund hadde erfaring med rådgivning for utslippsfrie bygg- og anleggsprosjekter gjennom Hafslund Rådgivning og hadde tidligere gjennomført et pilotprosjekt i samarbeide med NAFOP med bruk av hydrogenbrenselcelle og mobil battericontainer og hurtiglader sammen med Oslo VAV i 2023. Hafslund ønsket å satse videre på investering i mobile batterier og hurtiglader for å kunne levere tjenester innen elektrifisering av bygg- og anleggsplasser fremover i tråd med Storbyerklæringen, samt Oslos og Norges klimamål. NAFOP har benyttet erfaringer fra dette prosjektet for bedre å kunne tilrettelegge for utslippsfri strømproduksjon for bygg- og anleggsektoren med utgangspunkt i hydrogen og er dermed også en ressurs i bransjens arbeid med avkarbonisering.

FoU-prosjektet inkluderer:

- Dimensjonering og planlegging av ladeinfrastruktur basert på maskinene i prosjektet.
- Utvikling/tilpasning av softwareløsning etter behovene til byggherre og entreprenør.
- Utarbeide ladeplan for prosjektets ulike faser.
- Samle og analysere energidata fra prosjektet for å forstå effektbehov for utslippsfrie anleggsprosjekter, driftstid og temperaturs påvirkning på effektiviteten ved elektrisk maskindrift og lading.
- Oppsummere læringspunkter fra prosjektet i en rapport, med fokus på hva som var vellykket i prosjektet og hva som bør gjøres annerledes i neste prosjekt.

¹ [Klimagassreduksjoner i anlegg, drift og vedlikehold | Statens vegvesen](#)

² [Vil sette norsk rekord i elektrisk vegbygging | Statens vegvesen](#)

³ [Miljøgate i Gran sentrum | Statens vegvesen](#)

Statens vegvesens mål med prosjektet var å samle energi- og effektdata for anlegget, de ulike maskinene på anlegget og spesifikt på ulike arbeidsoperasjoner slik at man kan koble en nødvendig energimengde til ulike prosesser på anlegg. Dette for å kunne stipulere et energi-, effekt- og ladebehov til anlegg av liknende karakter og mer spesifikt mot de ulike arbeidsoperasjonene på et anlegg.

Det var også et mål for Statens vegvesen å opparbeide kunnskap og erfaring om planlegging og gjennomføring av utslippsfrie anlegg. Dette for å kunne gi innspill til egen bærekraftstrategi, legge til rette for planlegging av nye anlegg med best mulig utslippskutt og øke forutsetningene for å nå egne bærekraftsmål. Ved å skaffe førstehånds erfaring med hvilke løsninger som allerede fungerer i dag og hvilke som kan utvikles for bruk senere, forbedres Statens vegvesen sine forutsetninger for å nå sine bærekraftsmål.

Sammendrag

1. Viktigste læringspunkter fra utslippsfritt anlegg Miljøgate Gran

Provisorisk nettstasjon

Prosjektet Miljøgate Gran, og andre utslippsfrie bygg- og anleggsprosjekter av en viss størrelse (mer enn 2-3 større elektriske maskiner som skal hurtiglades), har behov for en provisorisk nettstasjon for å få nok effekt. En provisorisk nettstasjon krever en konsesjon fra NVE, noe som ble klart for prosjektet kun ca. 1 måned før anleggsstart. Saksbehandlingstiden hos NVE for konsesjonssøknader er estimert til 3-6 måneder. Denne prosessen skulle vært igangsatt langt tidligere, ideelt sett burde byggherren gjøre dette i fremtidige prosjekter minst 6 måneder før byggestart.

Nettuavhengig etablering av strømproduksjon med hydrogen krever ingen konsesjon og kan etableres på kort tid. For å unngå forsinkelser ved en konsesjonsbehandling, kan dette være et alternativ inntil konsesjon til en provisorisk nettstasjon er på plass.

Vinterarbeid

Prosjektet ble igangsatt i januar 2024, og i denne perioden var det temperaturer nede i -20 grader. De elektriske maskinene i prosjektet hadde mange driftsproblemer i oppstarten som skyldtes kalde temperaturer. Disse utfordringene ble redusert når temperaturen økte utover våren. Problemene var eksempelvis at batteriene i maskinene ble for kalde over natten og når maskinene ikke var i bruk, slik at batteriene ikke ville ta imot hurtiglading. Driftstiden på maskinene ble også redusert fordi oppvarming av batteriene krevde mye energi. Ved vinterdrift ble det viktig å forvarme batteriene i maskinene før lading og ha maskinene på AC lading over natten. Om mulig, bør prosjekter med utstrakt bruk av elektriske maskiner igangsettes utenom vintersesongen for å redusere risikoen for nedetid på maskiner/forsinkelser på arbeider fra start, ettersom batterimaskiner er mer sårbare for lave temperaturer enn tradisjonelle dieselmaskiner. Ved vinterarbeid er det viktig å etablere rutiner for å forvarme batterier før lading, ha tilgang på AC lading for maskiner om natten og ikke la maskiner stå i ro så de blir kalde i løpet av dagen.

Valg av maskiner

I prosjektet er det benyttet elektriske beltegravere Cat 320 Z-line, elektriske lastebiler fra Volvo, hjullaster fra Liugong og hjulgraver fra Develon. Erfaringen er at det har vært mye driftsproblemer med de ombyggede beltegraverne, det har vært behov for å bytte batteriene i maskinene og det har vært behov for service på disse flere ganger. Det har vært lite driftsproblemer med lastebiler og hjulmaskiner, disse har vært bygget som elektriske fra grunnen. Erfaringen fra prosjektet er at det er fordelaktig å benytte elektriske maskiner som er bygget som elektriske fra bunnen, ikke ombygde dieselmaskiner. Om mulig bør lading og drift av de elektriske maskinene testes før prosjektstart, eventuelt kan entreprenør hente erfaringer fra andre som har brukt samme maskiner tidligere.

Valg av ladeutstyr og infrastruktur for lading av maskiner

Det er anbefalt å ha byggestrømskap tilgjengelig for natlading av maskiner langs anleggsområdet der beltemaskiner skal jobbe. Dette sikrer fulllading av maskiner over natten. I tillegg må alle maskiner ha mulighet til å hurtiglade. Stasjonær hurtiglader med 250 kW effekt er nødvendig for lastebilene på markedet i dag. For hurtiglading av beltemaskiner må prosjektet vurdere om det er mest kostnadseffektivt å bruke mobile batterihengere eller hurtigladere som flyttes rundt til byggestrømskap i nærheten av maskinene. Mobile batterihengere krever mindre installasjon av provisorisk strøm-infrastruktur, men krever en egen ressurs til å flytte hengere og en egnet bil til dette formålet. Hengerne er tunge, opptil 3,5 tonn, som gjør det nødvendig med bil med høy tillatt tilhengervekt. Hjulmaskiner som

brukes primært til service trenger ofte kun nattlading eller kan hurtiglade ved behov fra samme ladere som lastebiler på andre tidspunkter.

Laderutiner og ladeansvarlig

I prosjektet har det vært en viktig suksessfaktor å ha en egen ladeansvarlig som har kunnet transportere de tre batterihengerne mellom oppladning på riggplass og gravemaskiner som skulle hurtiglades hver pause, slik at maskinene kunne holde hele arbeidsdagen. Dette er en rolle som anbefales til andre utslippsfrie prosjekter hvor mobile batterier skal benyttes.

Datahenting og innsikt

Å hente data fra ulike ladere eller ulike elektriske maskiner har vært utfordrende. Integrasjoner og kommunikasjonsprotokoller på de tilgjengelige elektriske maskinene og laderne som er brukt i Miljøgate Gran prosjektet – og som representerer utstyr som typisk benyttes i utslippsfrie bygg- og anleggsplasser i Norge, er per i dag ikke standardisert. Det har krevd mye tid og ressurser til ny softwareutvikling og –tilpasning for å få kommunikasjonen mellom maskiner, ladere og software for rapportering til å fungere i prosjektet. Det oppfordres til at maskinleverandørene og laderleverandørene favner om noen standard APler og protokoller, slik som OCPP (Open Charge Point Protocol) for ladere, slik at datahenting blir enklere og mer standardisert.

Per i dag er det ingen av softwareløsningene som er/har vært tilgjengelige for prosjektet på Gran, og andre utslippsfrie prosjekter, som løser datahenting fra mange ulike maskiner eller ladere på en enkel måte. Det kreves softwaretilpasninger på maskin eller laderens software, som krever tid og ressurser fra flere leverandører og som, basert på erfaringene fra Gran, fører til varierende datakvalitet og feil/nedetid for ladeøkter som går utover driftstiden på anleggsplassen. En svakhet med ladeappen brukt i prosjektet på Gran har vært at brukeren manuelt må velge hvilken maskin som skal lades før ladesesjonen starter. Dette har vært en feilkilde da det er fort å velge feil maskin og at maskinene er registrert under ulike navn.

Det er et alternativ å benytte RFID brikker for registrering av hvilke kjøretøy som lader per sesjon for å få målt energiforbruk per maskin i et prosjekt. Dette er en etablert løsning for ladere og er en mer stabil løsning enn bruk av ladeapp. Dette krever manuell datahenting fra ulike laderes rapporteringsløsninger for å kunne lage en komplett energirapport fordelt på maskiner. Grunnen til at RFID brikker er mer stabilt er at det ikke krever noe kommunikasjon mellom maskinens software og software i dataportal/app eller software i en lader. Feil RFID brikke kan også brukes for å starte en ladesesjon, og fysiske brikker kan mistes, så dette er heller ikke en optimal løsning.

For de nyeste elektriske maskinene blir ofte EV CC ID, identifikasjonsnummer på maskinen, sendt til laderen når ladesesjonen igangsettes, selv uten brikke eller app for autentisering. Når dette er på plass for alle elektriske maskiner vil datahenting per maskin bli enklere, men i prosjekter med mange ulike ladere eller maskinleverandører er det fortsatt behov for å sammenstille energidata manuelt fra flere kilder.

Hydrogen

Hydrogenbrenselcellen fra NAPOP har fungert svært stabilt gjennom prosjektet, og hydrogenanlegget med tank og brenselcelle har hatt en oppetid/tilgjengelighet for å kunne produsere elektrisk energi til prosjektet på 90 %. Anlegget har produsert totalt 18925 kWh over prosjektperioden. Forbruket av strøm fra hydrogen på anleggsplassen har vært svært varierende, og dette har gjort planlegging av tankpåfylling av hydrogen vanskelig. Det har vært ønskelig å fylle tank over helgen for å ikke være til hinder for driften i prosjektet, men det er ikke gunstig å fylle tanken før den er relativt tom for å unngå unødvendig transport.

Det har vært noe nedetid på hydrogenanlegget på grunn av periodisk manglende tilgjengelighet av hydrogen samt prosjektets begrensning med bruk av kun én hydrogentank

og en tilgjengelig trykkreguleringsenhet som tillot kun 200 bar. Opprinnelig planla prosjektet trykk på 350 bar i hydrogentanken, hvilket hadde redusert antall fyllinger og nedetid på anlegget pga. mangel på hydrogengass. Det har ikke vært teknisk nedetid.

Det er få produsenter av grønt hydrogen i Norge i dag, og hvert anlegg har en begrenset produksjonskapasitet. I prosjektet er det benyttet hydrogen fra HYDS produksjonsanlegg på Stord (500 km fra Gran) og Kaupanes (550 km fra Gran). Nippon gases på Rjukan og Asko i Trondheim er benyttet som reserveleverandører da HYDS opplevde nedetid på en komponent i begge sine anlegg på et tidspunkt i prosjektet.

Få produsenter og lite utbygget hydrogeninfrastruktur gjør det vanskelig å bestille fylling av hydrogentank på kort varsel og forvente å få en rask levering over eksempelvis en helg, som har vært ønsket praksis i prosjektet. Det er også en begrensning i transportører som kan levere utslippsfri/fossilfri ADR transport (transport av farlig gods). Ettersom prosjektet på Gran hadde redundans og nok tilgjengelig energi fra prov. nettstasjonen på anlegget var det ikke driftskritisk for prosjektet å ha hydrogen tilgjengelig til enhver tid. Dermed var det ikke kostnadsmessig fornuftig å ha to hydrogentanker eller en større hydrogentank, som man kunne hatt i et prosjekt som var avhengig av hydrogen tilgjengelig kontinuerlig.

Kostnader – hydrogen og el. produksjon

Hydrogenkostnader i prosjektet inkluderer kostnaden av hydrogenet levert komprimert fra hydrogenleverandøren og består i tillegg av transportkostnader og kostnader til emballasje/tank. Netto kostnad av hydrogen i prosjektet har variert fra 75 – 155,80 kr/kg. Avstanden fra produsentene av hydrogen til Gran har vært lang, og krevd transport på opptil 1200 km tur/retur per tankfylling. Tanken har blitt fylt 8 ganger gjennom prosjektet. Grunnet utfordringer med logistikk som følge av bruk av kun 1 tank, har den ved retur ofte ikke vært helt tom.

Prisen per kWh produsert elektrisk strøm fra hydrogen i FoU-prosjektet har vært 24,88 kr/kWh, uten medtatt kostnad til tank og generator. Medregnet disse kostnadene, øker denne til 103 kr/kWh. Dette er kostnader som reflekterer prosjektets FoU-elementer. Prosjektet har vist at med bedre tilpassede utstyrløsninger og utnyttelse av utstyret ville produksjonskostnaden bli i størrelsesorden 30 kr/kWh. Ved bruk av to tanker, ville transport-kostnaden halveres og bidra til en ytterligere kostnadsreduksjon.

De betydelige komponentene i kostnadene er transport og tankleie. Grunnet begrensninger i prosjektets trykkreguleringsutstyr nevnt over, ble tankens kapasitet ikke fullt utnyttet (fylt til 200 bar – 222 kg hydrogen). Ved full utnyttelse (til 350 bar – 356 kg), ville antall fyllinger og dermed transportbehov blitt redusert med 40%. Ytterligere reduksjon ville kunne oppnås ved en bedre logistisk kapasitet som tillot tankene å kunne leveres “tomme”.

Etter gjennomføringen av prosjektet, er det etablert ytterligere en hydrogen produksjonsenhet i Norge. I tillegg planlegges flere slike i hele landet. Det er videre nylig gitt støtte til etablering av hydrogen fyllestasjoner i sentrale deler av veinettet som vil være tilgjengelig for forsyninger til bygge- og anleggsplasser. Videre etablerer NAPOP et eget hydrogen produksjonsanlegg ved Hønefoss som vil være operativt fra sommeren 2025. Disse samt ytterligere liknende initiativer bidrar til å modne hydrogenverdikjeden som igjen presser kostnadsnivået ned.

Hydrogenprisen i prosjektet (levert komprimert fra produsent) har variert betydelig fra kr 75,- til kr 155,80. Elektrisk energi er en hovedkomponent i fremstilling av hydrogen ved elektrolyse (50 – 75% av OPEX er relatert til elektrisitet). Flere produsenter legger anleggene sine med grensesnitt opp mot egen fornybar energiproduksjon og oppnår lave forutsigbare priser. Gode produksjonsanlegg med utgangspunkt i slike strategier vil kunne levere hydrogen i kostnadsområde fra 70 – 110 kr/kg.

Utrustninger for hydrogen inkludert emballasjesystemer/ tanker, generatorer med annet, produseres i begrensede volum og har derfor en høy kostnad. Økt etterspørsel etter slikt utstyr vil presse disse prisene ned. Erfaringer fra bruk og implementerte teknologiske forbedringer vil øke forventet levetid. En kan anta at fremtidige systemkostnader vil reduseres.

I en mer optimalisert gjennomføring av dette prosjektet, ville en kunne se for seg bruk av en 40 ft., eventuelt 45 ft. konteiner med 350 bar kapasitet. Disse har kapasiteter på henholdsvis 1100 kg og 1400 kg hydrogen. En slik løsning ville kunne eliminert dette prosjektets behov for etterfylling av hydrogen og dermed kostnader knyttet til transport. Spesifikk kostnad av tankkonteinere (kr/kg hydrogen) er også lavere for større tankenheter.

Oppsummert er erfaringen med hydrogenanlegget på Gran veldig god, teknologien er stabil og moden og er egnet til å levere strøm til en anleggsplass uten tilgang til nett. Kostnaden for produksjon av strøm fra hydrogen er per i dag vesentlig høyere enn kostnaden for strøm fra nettet, der nett er tilgjengelig. Fremover vil kostnadene kunne gå ned når det blir flere hydrogenprodusenter som helst er nærmere anleggsplassen. Virkningsgraden er ca. 50 % ved kun strømproduksjon fra hydrogen, men ved utnyttelse av energien som blir til varme i brenselcellen – f.eks. til teletining, betongherding eller byggvarme, vil totalkostnaden ved hydrogen som energiløsning på anleggsplassen også gå ned. En beregning prosjektet har gjort har estimert en energikostnad på ca. 18 kr/ kWh. Hydrogenløsningen demonstrert på Gran krever ingen konsesjon slik som provisorisk nettstasjon og kan dermed etableres mye raskere og evt. som en midlertidig løsning der etablering av nettilknytningen tar lang tid.

2. Oppsummering av energibruk og effektbruk til ulike maskiner og lading i prosjektet

Totalt energiforbruk for anleggsplassen

Totalt energiforbruk for anleggsplassen i prosjektperioden har vært omtrent 467 MWh. Energiforbruket har variert gjennom prosjektperioden, med tydelige svingninger knyttet til prosjektets ulike faser og aktivitetsnivå. Gjennomsnittlig forbruk per måned har vært 42,4 MWh. Energiforbruket per måned varierer fra ca. 30 MWh i måneder med mindre aktivitet, som mai og juli, til ca. 60 MWh i måneder med mindre aktivitet, som august-november.

Energiforbruket til elektriske maskiner i prosjektet tilsvarer en total reduksjon på estimert 335 tonn CO₂ utslipp. Dette tilsvarer utslippet fra omtrent 200 dieserbiler i Norge på ett år.

Medianforbruket per dag på anleggsplassen er på 121 kWh. Dette representerer et typisk energibehov for en normal driftsdag. Forbruket på en full driftsdag varierer fra omtrent 1000 kWh til 4500 kWh, mens det laveste registrerte forbruket er 92 kWh på dager uten drift.

Energiforbruk og effekt til lading av maskiner

Det totale energiforbruket målt levert for lading av maskiner og kjøretøy i prosjektet er på ca. 265 MWh, i tillegg kommer noe tap i infrastrukturen estimert til ca. 11 %. Utover dette er det ca. 150 MWh levert til anlegget som ikke er registrert til et spesifisert maskin/forbruk, men ca. 60 MWh er estimert til nattlading av beltegravere. Av energiforbruket levert til lading av maskiner utgjør hurtiglading av beltegravere 40 % og hurtiglading av lastebiler 44 %.

Median maksimal hurtigladeeffekt er analysert for alle registrerte ladesesjoner i prosjektet. Her vises at lastebiler og beltegravere har mottatt høyest effekt på typisk hhv. 140 kW og 167 kW. Dette skyldes hvilken maks ladeeffekt beltegravere og lastebilene kan motta i hovedsak, Cat gravemaskiner kan motta 150 kW eller 190 kW avhengig av versjon/modell og de tidlige Volvo

elektriske lastebilene i prosjektet kan motta maks typisk 130–140 kW. Ladernes effekt har trolig ikke vært begrensende ettersom batterihengerne i prosjektet kunne levere minst 150 kW og hurtigladercontaineren kunne levere 300 kW per ladeuttak.

Beltegravere

Totalt energiforbruk for beltegravere i prosjektperioden, inkludert estimert nattlading, er på 121,7 MWh. For prosjektperioden er det målt et energiforbruk på 62,1 MWh til hurtiglading og 59,6 MWh til nattlading, inkludert estimer. Nattladingen er estimert fordi måleutstyr i byggestrømskap der nattladingen av beltegravere har skjedd kom på plass først 8. august. I periodene hvor både nattlading og hurtiglading av beltegravere er målt vises at ca. 50 % energi levert til beltegravere per døgn er fra hhv. nattlading og hurtiglading. 90 % av all hurtigladingen av beltegravere i prosjektet har skjedd fra mobile batterihengere.

Beltegraverne har et medianforbruk på hurtiglading på 370 kWh/dag gjennom prosjektet, med et tydelig skille mellom første og andre halvdel av prosjektperioden. I første halvdel var de fleste dagene under medianforbruket, mens forbruket etter sommeren ofte oversteg dette nivået. Toppforbruket på 1057 kWh per dag, registrert i starten av august, tilsvarer omtrent 3 fulladinger av 25T beltegravere, noe som understreker høy drift og intensive ladesykluser i denne perioden. Entreprenøren rapporterte at tilgang på energi ikke var begrensende i denne ekstra intensive perioden, men energien i batteriene ble utnyttet bedre. Blant annet var energinivået i batteriene nærmere null ved arbeidsdagens slutt i denne perioden enn ellers. Entreprenøren utnyttet altså en større del av batteriet gjennom arbeidsdagen. Median levert energi per hurtigladesesjon til beltegravere er 118 kWh, og maksimalt levert energi i én ladesesjon er 229 kWh, som tilsvarer en fullading av en nesten tom 25T beltegraver.

Hurtiglading av beltegravere er gjort ved lunsj, start mellom kl. 10–11, og ved middag, start mellom kl. 15–16. De fleste ladesesjonene varer mellom 40–80 minutter, med en median ladetid på 55 minutter per sesjon. Det er brukt median 196 minutter per dag til hurtiglading av beltegravere i prosjektet. Dette tilsvarer i snitt én ladesesjon på litt over én time per beltegraver. Maksimalt registrert tid brukt på lading på én dag er 527 minutter, som tilsvarer omtrent 3 ladesesjoner på 60 minutter per beltegraver. Dermed er det rimelig å forvente ca. 9–10 effektive arbeidstimer for beltegravere for en 12 timers arbeidsdag.

Effekten per hurtigladeladeøkt er ofte opp mot maskinens maks ladeeffekt på 190 kW, men ligger vanligvis nærmere 160–170 kW. Ladeeffekten gjennom ladeøkten er jevnt høy, og varierer mellom 160–167 kW i en eksempel-ladeøkt og mellom 175–188 kW i en annen.

Effekten for nattlading av 3 beltegravere typisk 63 kW, som skyldes lading fra flere beltegravere da maskinene benytter 63A kabler med maks effektuttak på 44 kW.

Lastebiler

Den totale energimengden levert til hurtiglading av lastebiler i prosjektperioden er 115,4 MWh i perioden august–november når de mest intensive arbeidene pågikk og inntil 4 lastebiler ble brukt til massetransport krevde hurtiglading av lastebiler mellom 18–23 MWh/måned.

Median levert energi til hurtiglading av lastebiler per dag er 502 kWh, mens høyeste registrerte energi levert på én dag var 2246 kWh, som inntraff i september. Levert energi per ladeøkt har noe mindre variasjon, med en median på 101,5 kWh, og en topp på 360 kWh.

De fleste hurtigladesesjonene har en varighet på 40–60 minutter, og gjennomsnittlig ladetid er 44 minutter. 85 % av ladesesjonene varer under 70 minutter. Hurtiglading forekommer

hyppigst rundt kl. 10–11, kl. 15–16 og kl. 19–20, noe som sammenfaller med lunsjpauser, arbeidsavslutning og ladeøkter etter arbeidstid før retur til depot.

I prosjektet er det registrert en median ladetid på 235,5 minutter, altså ca. 2 timer hver for gjennomsnittlig 2 lastebiler per dag. Det er selvsagt variasjoner mellom ulike driftsdager. Maksimalt registrert daglig ladetid var 718 minutter, noe som tilsvarer flere korte ladeøkter fordelt utover en intens driftsdag. Ved 4 aktive biler i prosjektet tilsvarer dette ca. 3 timer per lastebil. For en intensiv 12 timers arbeidsdag er det dermed ca. 9 timer tilgjengelig for arbeid og ca. 3 timer som går med til hurtiglading.

Ladeeffekten for lastebiler har foregått med en relativt konstant effekt på nærmere 150 kW og 240 kW per ladeøkt, som reflekterer to ulike typer Volvo lastebiler av forskjellig modell. Det er lite variasjon i ladeeffekten gjennom ladesesjonen. Begrensningen ligger altså i lastebilenes maksimale ladeeffekt, ikke i laderens kapasitet da denne kan gi 300 kW.

Hjulmaskiner

Det er benyttet en hjullaster og en hjulgraver gjennom prosjektet, hovedsakelig en Liugong hjullaster på 20 t og en Develon hjulgraver på 17 t. De registrerte ladesesjonene på disse maskinene er relativt få, som gjør det vanskelig å trekke ut trender angående lademønstre. Dette skyldes sannsynlig at ladeøktene er feilregistrert som biler eller andre maskiner da maskintypen i ladeappen brukt i prosjektet måtte velges manuelt, som er en feilkilde. Av de ladeøktene som er registrert ser vi at hjulmaskinene virker å være ladet sporadisk på dagtid, og trolig primært om natten fra byggestrømskap ettersom det er få ladeøkter registrert.

Ettersom hjulmaskinene har ca. 400 kWh batterikapasitet og har vært brukt som servicemaskiner med lett belastning er det sannsynlig at disse maskinene ikke har trengt å lades gjennom dagen, men primært om natten på lav effekt 20 eller 40 kW. Dette sannsynliggjør en god driftstid på opp mot en full arbeidsdag for disse maskinene med lett bruk.

Biler

Totalt har energiforbruket til lading av elbiler vært 13 761 kWh i prosjektet, som tilsvarer ca 5% av totalt energiforbruk til lading av maskiner og kjøretøy. De elbilene som har vært hyppigst på anleggsplassen har brukt mellom 700–2100 kWh totalt i løpet av prosjektet.

Gjennomsnittlig har 2 elbiler ladet per driftsdag, med et maksimum på 6 biler per dag. Gjennomsnittlig maksimal effekt for lading av elbiler har vært 23 kW, mens den høyeste registrerte ladeeffekten har vært rundt 150 kW. Dette viser at elbiler hovedsakelig har benyttet ladere med lavere effekt, mens hurtiglading har vært et unntak.

Energiproduksjon fra hydrogen

Anlegget har produsert totalt 18925 kWh elektrisk energi over prosjektperioden. Hydrogenbrenselcellen har levert mellom 1500 og 4000 kWh per måned. Det har vært svært varierende last på hydrogenanlegget, men de fleste dager har anlegget levert mellom 300 og 500 kWh energi.

Produksjon av strøm fra hydrogen innebærer ca. 50 % tap som går ut som varme. I anlegget på Gran ser vi at hver kg hydrogen produserer gjennomsnittlig 17,6 kWh elektrisk strøm.

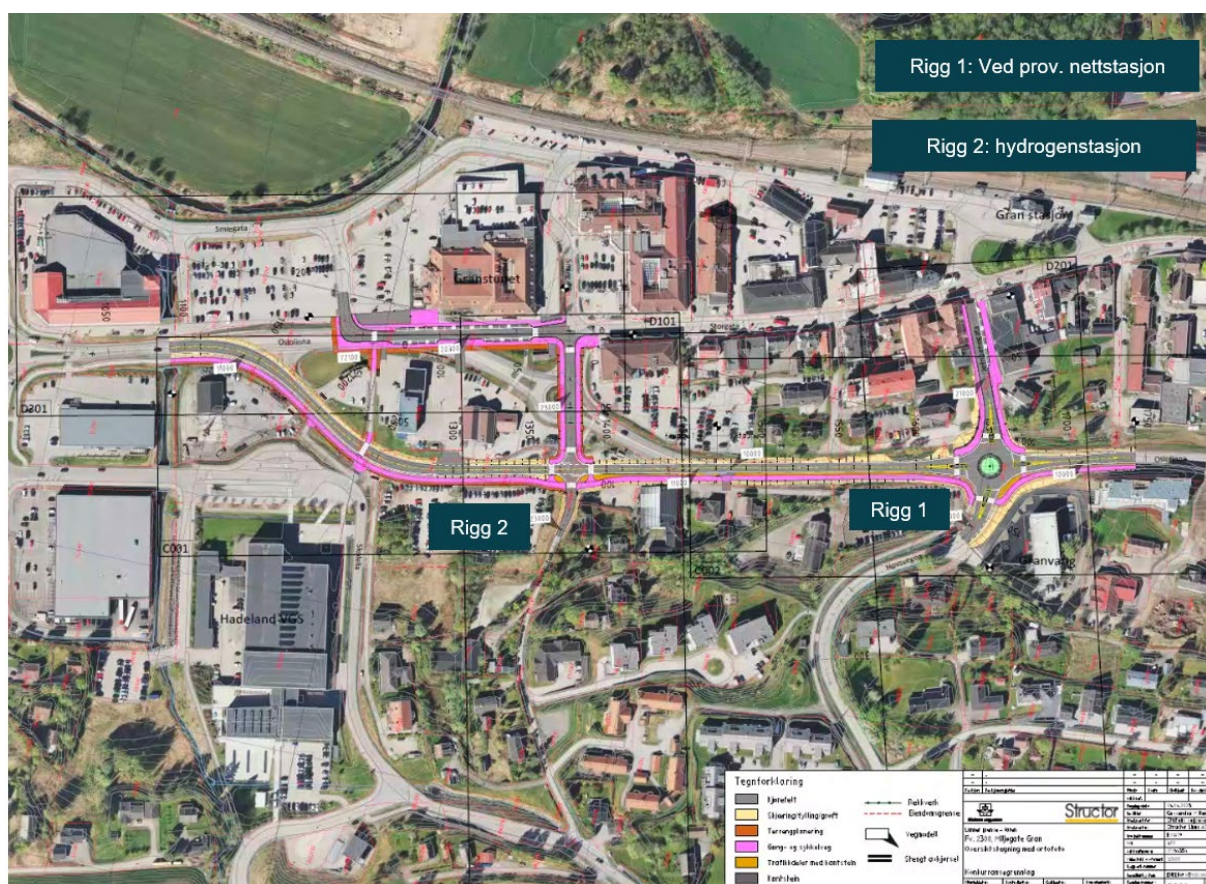
Innhold

INTRODUKSJON	2
SAMMENDRAG	4
1. OM PROSJEKTET	11
2. PLANLEGGING OG ETABLERING AV STRØM- OG LADEINFRASTRUKTUR	13
2.1 Planlegging av ladeutstyr	13
2.2 Etablering av ladeutstyr	21
2.3 Læring og ting vi kunne gjort annerledes	32
3. ERFARINGER MED BRUK AV STRØM- OG LADELØSNINGER	34
3.1 Bruk og lading av elektriske maskiner i praksis	34
3.2 Læring og ting vi kunne gjort annerledes	48
3.3 Hva har fungert bra i prosjektet	49
4. ENERGI- OG EFFEKTANALYSER	52
4.1 Energi- og effektforbruk for hele anleggsplassen	52
4.2 Energi- og effektforbruk for ulike maskiner og kjøretøy	58
4.3 Ladeeffektivitet og temperatur	91
4.4 Energiproduksjon fra hydrogen	95
5. ØKONOMI	96
6. OPPSUMMERING OG KONKLUSJON	100
6.1 Lavthengende frukter	100
6.2 Forbedringspunkter	101
6.3 Andre erfaringer	102

1. Om prosjektet

Entreprisen *Fv.2300 Miljøgate Gran* omhandler etablering av 650 m ny fylkesvei og 200 m ny kommunalvei inklusive etablering av gang og sykkelvei og dypstabilisering, nytt vann- og avløpsanlegg og annen infrastruktur i grunnen gjennom Gran sentrum på Hadeland. Statens vegvesen var byggherre for prosjektet. Prosjektet Miljøgate Gran ble utlyst som en utførelsesentreprise og Anlegg Øst Entreprenør AS vant anbudskonkurransen i desember 2023. Anleggsstart for prosjektet var 15. januar 2024 og frist for ferdigstillelse av prosjektet var 30. november 2024. ⁴

Området som skal oppgraderes er markert i kartet under.



Figur 1 Riggområder for ladeinfrastruktur, ortofoto fra Statens vegvesen/Structor. Eier: Hafslund Vekst

I prosjektet har Statens vegvesen stilt krav om at alle maskiner og kjøretøy til masseforflytning skal være 100 % utslippsfrie. For øvrige maskiner og kjøretøy må 50 % være utslippsfrie. Dette er de strengeste kravene Statens vegvesen hittil har stilt i en anleggskontrakt, fordi entreprisen brukes som et forsknings- og pilotprosjekt for utslippsfrie anleggsplasser.

Statens vegvesen (Vegvesenet) er Norges største landbaserte byggherre og har dermed svært stor påvirkning på anleggsmarkedet. Vegvesenet ble fra 1. januar 2024 omfattet av regjeringens krav om at alle offentlige anskaffelser skal vekte klima og miljø med minst 30 %. Statens vegvesens mål er at alle nye utbyggingsprosjekter som lyses ut fra 1. januar 2028 i utgangspunktet skal stille krav om nullutslippsmaskiner og -kjøretøy. Innen 2030 skal etaten

⁴ [Miljøgate i Gran sentrum | Statens vegvesen](#)

reducere de direkte klimagassutslippene med 55 % sammenliknet med 2020-nivå, i tråd med Parisavtalen og Stortingets beslutning.

Miljøgate Gran ble valgt ut som et pilotprosjekt av Statens vegvesen for å utrede løsninger som bidrar til å nå disse målene. Ved prosjektets oppstart fantes det ulike løsninger som reduserer klimagassutslipp fra anleggsprosjekter, men kostnader med bruk, praktiske hensyn, effekt osv., hadde Vegvesenet begrenset kunnskap om. Prosjektet søkte derfor om pilotmidler fra Samferdselsdepartementet og er dermed et pilotprosjekt for både Samferdselsdepartementet og Statens vegvesen. Det ble også inngått en FoU-avtale med Hafslund som har som mål å opparbeide mer kunnskap om slike løsninger, spesielt utslippsfrie/elektriske anleggsmaskiner, ladeutstyr, batteritilhengere og hydrogendrevet energistasjon.

Hafslund sin rolle i prosjektet har vært å levere en totalløsning for effekt og energi til prosjektet. Dette innebærer all provisorisk strøminfrastruktur, ladere, mobile batterier og en hydrogenbrensselcelle, i tillegg til datafangst fra all strøm- og ladeinfrastruktur. Den provisoriske strøminfrastrukturen inkluderer provisorisk nettstasjon, med lavspenkabler og byggestrømskap for videre fordeling på riggplass 1 markert i kartet. I tillegg leverer Hafslund mobile batterihengere til bruk for hurtiglading av 3 beltemaskiner i hele anleggsområdet markert i rosa på kartet. For lading av elektriske lastebiler etablerte Hafslund en kraftig hurtiglader med 2 ladeuttak på riggplass 1.

I prosjektet ønsket også Statens vegvesen å pilotere og demonstrere bruk av en hydrogenbrensselcelle, slik som demonstrert av NAPOP i prosjektet Kruttverkveien sammen med Hafslund og Oslo VAV i 2023. Dette fordi hydrogenbrensselcelle er en teknologi som kan forsyne utslippsfri strøm og varme til prosjekter uavhengig av nett-tilgjengelighet/ kapasitet i nett. Dette kan være særlig aktuelt for vegprosjekter da de ofte befinner seg utenfor etablert strøminfrastruktur.

Hydrogenbrensselcellen ble etablert på riggplass 2 markert i kartet, som en off-grid energistasjon, dvs. en selvstendig enhet uten tilkobling til strømnettet.

I prosjektet har Anlegg Øst Entreprenør brukt følgende elektriske maskiner, med noe variasjon over prosjektperioden:

- 3 stk. 25 t elektriske beltegravere Cat 320 Z-line
- 2-4 stk. elektriske lastebiler fra Volvo, modell FE/FH/FMX.
- 1 stk. elektrisk hjullaster 20 t Liugong 856 he max
- 1 stk. elektrisk hjulgraver DX165 Develon 17 t

Arbeidstiden i prosjektet har hovedsakelig vært kl. 07-19 mandag til onsdag, og kl. 07 til 14.30 torsdag.

2. Planlegging og etablering av strøm- og ladeinfrastruktur

2.1 Planlegging av ladeutstyr

Arbeidet med planlegging av provisorisk strøminfrastruktur ble påbegynt i september 2023 før entreprenør for prosjektet ble valgt, basert på en generalisert maskinliste for 3 ulike entreprenører. Det vil ofte være entreprenøren selv som står for ladeinfrastruktur og provisorisk strøm i prosjekter, men enkelte byggherrer ønsker å stå for etableringen av provisorisk nettstasjon. Dette fordi provisorisk nettstasjon ofte tar 2-6 måneder å etablere grunnet krav om konsesjon for høyspentanlegg som må søkes om og behandles av NVE. I Miljøgate Gran tok Statens vegvesen ansvaret for både nettstasjon og ladeutstyr ved å anskaffe dette gjennom Hafslund, og løsningen tilbudt måtte derfor passe til ulike entreprenørers plan og maskinliste.

For å planlegge energiinfrastruktur og ladeanlegg til prosjektet måtte maskiner og annet utstyr for de ulike fasene i prosjektet avklares. Ulike elektriske maskiner trenger ulike ladere og har ulikt effektbehov. Eksempelvis kan lastebiler lynlade med opp mot 300 kW effekt ved DC hurtiglading, mens noen hjulgravere og hjullastere kun kan lade med maksimalt 20 kW effekt ved AC lading og ingen støtte for lynlading.

Det er alltid fasen med flest elektriske maskiner som vil være dimensjonerende for det maksimale effektbehovet man trenger i et anleggsprosjekt. Det er relevant å vurdere hvilke av maskinene som bør kunne lades samtidig og om det er noen hjulgående kjøretøy som kan eller vil lades andre steder enn på selve anleggsplassen. Eksempelvis kan lastebiler eller privatbiler lades på offentlige ladestasjoner langs vei, eller ved massedeponi eller kontor/hjem til sjåfør.

Prosessen som ble gjennomført i Gran-prosjektet for vurdering av behov for effekt og ladeutstyr, og etablering av provstrøm-infrastruktur og ladere til prosjektet er beskrevet i det følgende:

1. Innhenting av datablader om de ulike maskinene i prosjektet
2. Vurdering av egnet ladeutstyr for maskinene
3. Beregning av effektbehov
4. Skisse av behovet for lavspent provisorisk strømanlegg
5. Plan for plassering av ladeutstyr
6. Bestilling av arbeider og utstyr
7. Etablering av provisorisk nettstasjon
8. Installasjon av provisorisk strømanlegg og ladere
9. Implementere software for datafangst og testing av ladere
10. Oppstartsfasen og testing med entreprenøren
11. Etablere laderutine
12. Etablering av hydrogenbrenselcelle

1. Innhenting av datablader om de ulike maskinene som skulle brukes i prosjektet

For å planlegge ladeinfrastrukturen måtte først data om de ulike maskinene prosjektet skulle bruke, med fokus på mulig ladeeffekt på DC hurtiglading og AC normallading, samt tilgjengelig ladeplugg-inntak på maskinene, gjennomgåes. I databladene for maskinene finnes også info om sannsynlig driftstid for maskinene per fullading.

Dataen fra byggherren, som grunnlag for vurderingen av effektbehov, var 3 lister med maskintype – fra de tre ulike tilbyderne i konkurransen. Den dimensjonerende/mest omfattende listen er vist under. Fordi det ikke var kjent hvilke maskinmodeller som skulle brukes, valgte Hafslund ut noen eksempelmaskin-modeller som kunne brukes til beregning og vurdering av egnet ladeutstyr:

Type maskin	Eksempelmaskin-modell
Gravemaskin 20-25 tonn	Cat 320 Z-line 25 t
Gravemaskin 20-25 tonn	Cat 320 Z-line 25 t
Gravemaskin 20-25 tonn	Cat 320 Z-line 25 t
Gravemaskin 10 tonn	Cat 310 Z-line 10 t
Gravemaskin 17 tonn, hjul	DEVELON DX165W 17 t
Hjullaster 5 tonn	Volvo L25 5 t
Dumper 5/10 tonn	Hydrema DT6
Asfaltutlegger 10 tonn	Dynapack SD1800W e
Vals 2 tonn	HD 12e VT
Lastebil	Scania 29 t
Lastebil	Scania 64 t
Lastebil	Volvo FMX Electric 50 t
Lastebil	Volvo FM 50 t
4 personbiler	

Figur 2 Oversikt elektriske maskiner. Eier: Hafslund Vekst.

2. Vurdering av egnet ladeutstyr for de ulike maskinene.

Byggherren SVV ønsket bruk av 3 stk. mobile batterihengere for lading av tunge beltegravere på 20-25 t ettersom slike maskiner bruker mye energi på belting og dermed ikke enkelt kan flyttes bort til et ladepunkt i løpet av arbeidsdagen. Byggherren ønsket også å unngå behov for provisorisk lavspenitanlegg (sentraler/byggestrømskap og kabler) rundt på anleggsområdet for lading av maskiner da dette ble vurdert upraktisk med et langt anleggsområde (ca. 700 m).

For 2-4 stk. lastebiler ble det vurdert behov for hurtiglader som kunne levere 250-300 kW for å kunne få en effektiv arbeidsdag, ettersom forventet kjøretid per fullading er varierende, men realistisk ca. 300 km eller 4 timer.

Stor hjulgraver kunne lades på 2 stk. 20 kW AC ladere med type 2 kontakt, elektrisk dumper også på 20 kW AC ladere. Hjulaster 5 t kunne lade på 32 A/400 V industrikontakt i byggestrømskap eller AC type 2 lader.

For nattlading av lastebiler ble det vurdert behov for minst 40 kW tilgjengelig effekt for å kunne fullade på 12 timer. Det kunne bli aktuelt at opp til 4 lastebiler skulle nattlade på anleggsplassen. Det ble vurdert at 2 stk. 40 kW DC ladere kunne supplere 2x300 kW hurtiglader for at 4 lastebiler kunne nattlade på anleggsplassen.

4 stk. mannskapsbiler trengtes 4 stk. AC ladere med 10 kW tilgjengelig.

Basert på dette anskaffet og leide Hafslund inn utstyr for å dekke behovet for perioden med maks antall maskiner i prosjektet, i hovedsak med full samtidighet på lading for å kunne ha felles ladepauser. Se oppsummering av ladeutstyr i tabell og figur under.

Antall	Ladeutstyr	Til maskin/utstyr
1	Kraftig hurtiglader 2x300 kW, DC med 2 stk. CCS2 kontakter	2-4 stk. lastebiler
1	630 A smartsentral	Til forsyning til batterihengere og mindre ladere
1	400 A smartsentral	Til forsyning til batterihengere og mindre ladere
4	Normalladere AC 20 kW med type 2 kontakt, tilførsel 63 A/400 V (til biler)	4 stk. biler
4	Normalladere AC 20 kW med type 2 kontakt, tilførsel 63 A/400 V (til nattlading maskiner)	Nattlading 4 beltemaskiner
3	Mindre DC hurtiglader, 2x20/40 kW, med 2 CCS2 uttak	Nattlading 2. lastebiler
3	Batterihengere 150 kW/192 kWh, med 1 CCS2 ladeuttak	3 stk. beltegravere

Figur 3 Oversikt ladeutstyr. Eier: Hafslund Vekst.

Ladeutstyret:



Figur 4 Hurtiglader 2x300 kW. Eier: Hafslund Vekst.

Lynlader, 300 kW

2x300 kW hurtiglader med 2 stk. CCS2 hurtigladeuttak.

Denne tilkobles på 400 V lavspennetavle i prov.nettstasjon med tilgjengelig effektkapasitet med 5 leder powerlocks-kabler, f.eks. 185-240 Cu kabler.



Figur 5 Batterihenger. Eier: Hafslund Vekst

Batterihenger med integrert hurtiglader

Batterihenger med 192 kWh batterikapasitet og 1 stk. 150 kW CCS2 hurtigladeuttak.

Batterihengeren lades opp på 125 A industrikontakt, enten 230 V eller 400 V, på maks 55 kVA.

Batterihengeren kan levere hurtiglading på 150 kW i ca. 1 time før den må lades opp på nytt. Oppladningen tar 3-4 timer.



Figur 6 40 kW hurtiglader. Eier: Satema.

Hurtiglader, 40 kW

Mindre 40 kW hurtiglader, med 2 CCS2 ladeuttak.

Denne tilkobles 63 A/400 V med industrikontakt i byggestrømskap.



Figur 7 20 kW lader. Eier: Satema.

Normallader, 20 kW

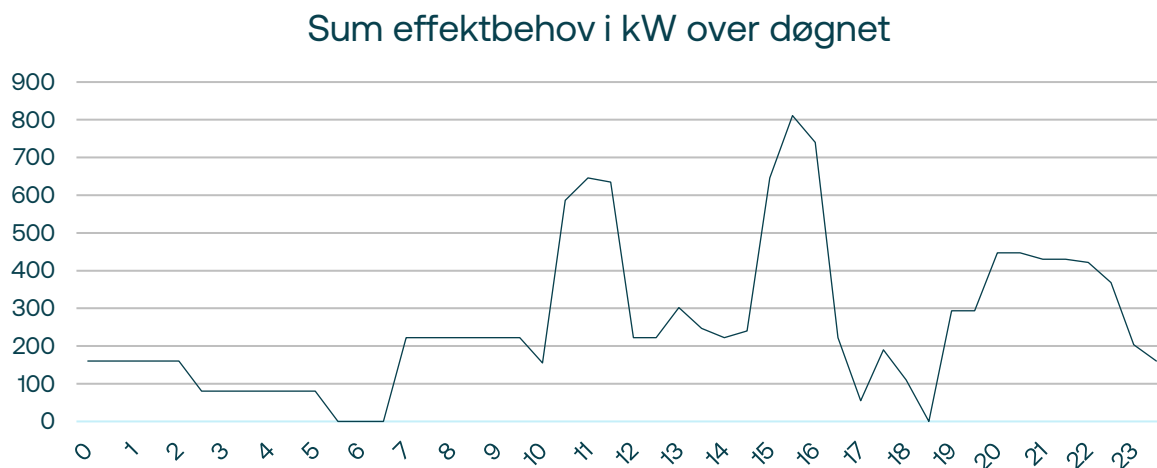
20 kW type 2 lader.

Disse kan tilkobles på 32 A eller 63 A industrikontakt på enten 400 V eller 230 V.

3. Beregning av effektbehov

For beregning av effektbehov i prosjektet ble effektbehov til lading og forbruk fra elektriske maskiner over ett døgn satt opp i Excel. Mobile batterier skulle brukes i prosjektet for lading av tunge beltegravere (25 t), disse ble lagt inn i beregningen med oppladning av batterier mellom arbeidspauser og utlading til beltegravere i arbeids-/ladepauser. I ladepausene ble øvrige maskiner lagt inn i dagsplanen med hurtiglading på sin maksimale ladehastighet og med antall ladesesjoner og lengde på ladepauser for å ikke gå tom for energi i maskinenes batterier i løpet av en 12 timers dag.

Alle maskinene ble også lagt inn med sin nødvendige nattladeeffekt for å fullades over natten. For beltegraverne ble det også lagt inn i planen at både nattlading og daglading skulle leveres fra mobile batterihengere. Basert på dette fremkom et maks effektbehov i prosjektet for ca. 800 kW i perioden med mest maskiner. Hovedårsaken for dette effektbehovet var at to lastebiler skulle kunne lade samtidig på 2x300 kW. Dermed ble det behov for 1000 kVA trafo og prov. nettstasjon i prosjektet, ettersom man ønsker noe margin mellom maks effektbehov og effektkapasitet på trafo. Se oversikt over effektbehov over døgnet i tabell og figur under.



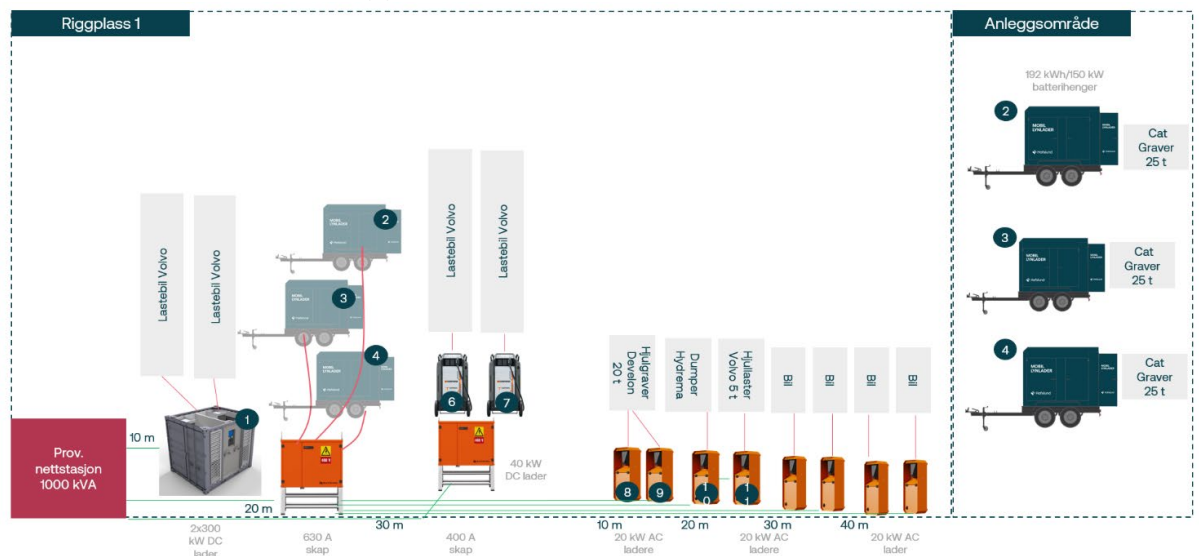
Figur 8 Effektbehov gjennom døgnet. Eier: Hafslund Vekst.

[illegible]

Figur 9 Ladeplan for elektriske maskiner. Eier: Hafslund Vekst.

4. Skisse av behovet for lavspenst-provstrøm

Skisse over ladeutstyr etablert på riggplass 1:



Figur 10 Skisse ladeinfrastruktur riggplass 1. Eier: Hafslund Vekst.

Kraftig hurtiglader på 2x300 kW er hensiktsmessig å tilkoble med egne kabler rett fra lavspensttavle i nettstasjon da denne trenger to stk. tilførselskabler for 436 A. I lavspensttavlen i nettstasjonen er det sikringslister for 400 A og 630 A. En slik 2x300 kW lader med 2 stk. powerlocks inntak har dermed behov for tilkobling fra hver sin 630 A list. 3 stk. 40 kW DC ladere krevde 3 stk. 63 A uttak i byggestrømskap. De 3 batterihengerne trengte 3 stk. 125 A uttak i byggestrømskap. 2 og 2 stk. AC 20 kW ladere ble planlagt seriekoblet i par på hver sin 63 A kurs for å tilgjengeliggjøre 20 kW per lader for lading av maskiner. 4 stk. 20 kW AC ladere for billading ble planlagt seriekoblet på en 63 A kurs for å kunne gi 10 kW ladeeffekt per billader.

I prosjektet var det ønskelig å kunne måle alt forbruk av strøm på anleggsplassen, ikke kun fra ladere. Derfor planla prosjektet å benytte smarte sentraler med måling av alle kurser og mulighet for remote overvåkning og styring. Basert på behovene for industrikontakt-uttak, ble det bestilt bygget 2 stk. sentraler/byggestrømskap på 630 A og 400 V med fordeling på uttakene som behøvdes, se oversikt over skap i tabellene under. De 2 skapene kunne da tilkobles med parallellkoblede kabler fra lavspensttavle i prov. nettstasjon, man regner typisk 250 A per 240-kabel som hver sikres med 400 A i lavspensttavlen i nettstasjonen. For et 400 A trengs da 2 stk. parallellkoblede 240-kabler, og for et 630 A skap trengs 3 stk. parallellkoblede 240-kabler. Ut fra skapene ble de mindre laderne tilkoblet med kabler for 63 A med industrikontakt.

HS 400A 400V 12426-R/0010-D	Antall	Tilkobling
125A	1	
63A	2	2 stk. DC hurtiglader 40 kW
32A	4	
16A	2	
SCHUKO	6	

Figur 11 Uttak fra smart sentral 400 V. Eier: Hafslund Vekst.

HS 630A 400V 34506-R/0120-D	Antall	Tilkobling
125A	3	3x batterihengere
63A	4	2 par 2 stk. AC ladere pr 63A 1 stk. DC hurtiglader 2x20 kW 4 stk. AC ladere 20 kW seriekoblet
32A	5	
16A	0	
SCHUKO	6	

Figur 12 Uttak fra smart sentral 630 A. Eier: Hafslund Vekst.

5. Plan for plassering av ladeutstyr

Entreprenøren i prosjektet måtte gi innspill til hvor de ulike laderne var ønsket plassert på sin riggplass for å muliggjøre plass til alle maskiner og batterihengere som potensielt skulle lade samtidig. Entreprenøren fikk skisser med noen ulike forslag, og konkluderte med at det beste var å fordele ladeutstyret langs den ene langsiden av riggplassen. Laderne med høyest effekttrekk ble plassert nærmest nettstasjonen, da disse krever tykkere kabler og som ikke bør være for lange pga. høyt strømtrekk, og dermed mer tap i kablene. Kabler som skal tåle mer strømtrekk er tykkere og har en vesentlig høyere pris enn kabler som tåler mindre strømtrekk. Sentralene/byggestrømskapene ble plassert utover for å muliggjøre tilkobling av flere batterihengere og 40 kW DC ladere ved siden av hverandre, men ikke for langt unna nettstasjonen grunnet grov kabeldimensjon til skapene. De mindre AC laderne ble plassert lengst unna da disse skulle ha minst kabeldimensjon.

6. Bestilling av arbeider og utstyr

Når behovet for ladeutstyr og provisorisk strøm var bestemt måtte utstyr og arbeider bestilles fra ulike underleverandører. Batterihengere og hurtiglader ble anskaffet fra norske produsenter av mobilt ladeutstyr til byggeplasser. Leveringstid på hurtiglader og batterihengere fra produsentene var ca. 4 måneder.

Ettersom prosjektet ønsket å bruke smarte sentraler for måling av forbruk på alle kurser måtte disse produseres etter prosjektets spesifikasjon av leverandør av provisoriske strømskap. Produksjon av byggestrømskap tilpasset prosjektet tok ca. 3 måneder.

Fra bestilling av provisorisk nettstasjon til denne var spenningssatt tok det ca. 2 måneder, nettstasjon var klar på lager før bestilling. Etablering av prov. nettstasjon ble forsinket til anleggsstart 15. januar grunnet krav om anleggskonsesjon fra nettselskapet, kravet om dette ble kjent sent i prosessen. Ytterligere beskrivelse av denne prosessen er beskrevet i eget avsnitt under.

40 kW DC ladere hadde en leveringstid på ca. 2 måneder fra forhandler. Små AC ladere og industrikabler for tilkobling hadde kort leveringstid, på ca. 1 uke.

Det meste av ladeutstyret som er benyttet i prosjektet er tilgjengelig som utleieprodukt fra ulike utleieaktører og kan dermed fås levert på kortere tid, typisk 1-3 uker. Provisorisk nettstasjon, som vil være nødvendig i de fleste utslippsfrie prosjekter med et høyt effektbehov over mange timer om dagen eller flere enn 2 maskiner som skal hurtiglade samtidig, er en løsning som krever mer tid ettersom nettselskapet må saksbehandle tilkoblingen og det potensielt kreves en anleggskonsesjon. En må dermed påregne minst 2-4 måneder for å få på plass en slik nettstasjon. Det anbefales derfor å undersøke behovet for konsesjon og saksbehandlingstid tidlig.

For etablering av provisorisk høyspent og lavspent-provisorisk strømanlegg trengte prosjektet en ansvarlig installatør. Hafslund valgte en av elektroentreprenørene som er godkjent for arbeid i nettet til det lokale nettselskapets. Elektroentreprenøren hadde mulighet til å gjøre både høyspent- og lavspent-installasjonsarbeidene. Prosessen mot elektroentreprenør innebar først innhenting av pristilbud på installasjonsarbeidene og utstyr (kabler med tilhørende materiell og leie av nettstasjon), og videre derfra installasjonsmelding og prosjektoppfølgning og installasjon fra elektroentreprenøren.

2.2 Etablering av ladeutstyr

7. Etablering av provisorisk nettstasjon

SVV som byggherre tok kontakt med nettselskapet tidlig før selve anskaffelsen av entreprenør, ca. 9 måneder før anleggsstart. Første tilnærming var at byggherren kunne sørge for etablering av en permanent nettstasjon på riggplassen for anleggsprosjektet, og at nettselskapet kunne etablere og eie denne. Det ble avklart at dette ikke var ønskelig fordi det ikke var behov for en permanent nettstasjon på tomten etter prosjektet. Dermed ble det avklart at en provisorisk nettstasjon var mest kostnadseffektive løsning. SVV valgte å inngå en avtale med Hafslund om FoU-prosjekt for å samle læring fra utslippsfri drift, og i denne avtalen inngikk at Hafslund skulle besørge prov.nettstasjon, lavspeninfrastruktur og ladeutstyr inkl. datafangst.

Hafslund valgte å bruke en av entreprenørene som er godkjent for arbeider i det lokale nettselskapets nett, som leverandør av prov. nettstasjon inkl. prosjektering, planlegging og montering av denne. Elektroentreprenøren var i dialog med nettselskapet fra ca. 4 måneder før anleggsstart, men den formelle bestilling av nettstasjonen ble gjort ca. 2 måneder før anleggsstart.

Etter formell bestilling av prov. nettstasjon måtte elektroentreprenøren sende inn forhåndsmelding/installasjonsmelding til nettselskapet. Nettselskapet har ofte 2-4 ukers ventetid før saken får en saksbehandler.

Ca. 1 måned før anleggsstart fremkom det i dialogen med nettselskapet at det var krav til anleggskonsesjon for høyspentanlegget (prov. nettstasjonen). Elektroentreprenøren har levert prov. nettstasjoner til flere andre prosjekter tidligere, i flere nettselskaper sitt nett. Tidligere praksis har da vært at elektroentreprenøren etablerer prov. nettstasjonen under områdekonsesjonen til det lokale nettselskapet. Dermed kom det overraskende på byggherren SVV, elektroentreprenøren og Hafslund at konsesjon var påkrevet i dette tilfellet.

Elektroentreprenøren forsøkte å få dispensasjon fra nettselskapet for kravet om konsesjon siden denne praksisen ikke var kommunisert tidlig nok i dialogen til å rekke konsesjonsbehandling før anleggsstart. Det ble ikke innvilget dispensasjon, og elektroentreprenøren måtte derfor sende inn konsesjonssøknad til NVE. Denne ble sendt 2 uker før anleggsstart.

NVE gav tilbakemelding at de i utgangspunktet har 3-6 måneder saksbehandlingstid på konsesjonssøknader. Ettersom dette hadde vært veldig uheldig for prosjektets oppstart gikk Hafslund og SVV i dialog med NVE for å få prioritert behandling av saken. Tilbakemeldingen var at selv i prioritert kø for hastesaker kunne saksbehandlingstiden være ca. 1 måned. Selve behandlingen av søknaden ville kun ta få dager hvis all innsendt dokumentasjon var på plass, men behandlingen krevde en ledig saksbehandler. Det lyktes å få prioritert saken og denne ble da behandlet ferdig ca. 2,5 uker fra innsendt dato.

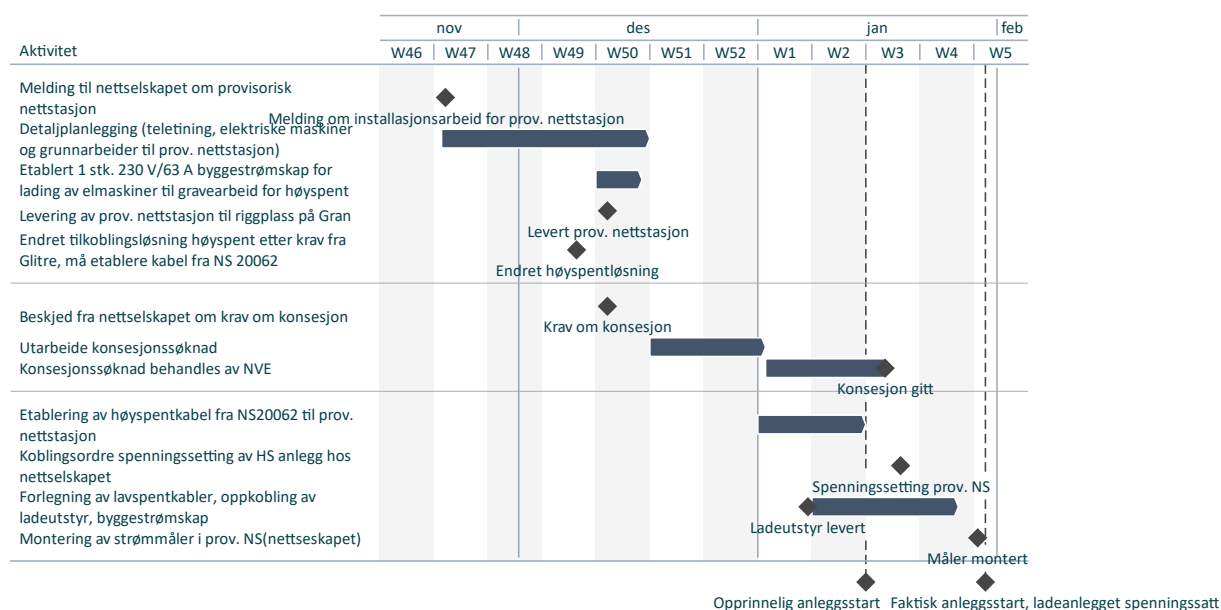
Ifølge energiloven så skal høyspente strømanlegg ha en konsesjon (tillatelse) fra NVE, dette kan være en områdekonsesjon som gjelder strømmettet på et visst nettnivå i et geografisk område eller en anleggskonsesjon for et spesifikt anlegg. Tidligere praksis har vært at elektroentreprenørene til nettselskapet har kunnet inngå en avtale med nettselskapet om å bruke deres områdekonsesjon ved etablering av provisoriske strømanlegg. Dette ville ikke nettselskapet tillate for prosjektet på Gran.

Grunnet lang saksbehandlingstid vil kravet til konsesjon for hver prov.nettstasjon på nytt prosjekt medføre en utfordring for utslippsfrie anleggsplasser. I anleggsprosjekter er det ofte kun 1 måned fra en entreprenøren får tildelt et prosjekt til de begynner arbeidene. Det vil ikke

være mulig å etablere en nettstasjon i dette tidsrommet. Dermed må enten byggherren ta ansvar for å etablere nettstasjon før entreprenør er valgt, og ta risikoen for at de etablerer nok effektkapasitet, eller entreprenøren må få lenger tid for tilrigging.

For å unngå unødvendig lang saksbehandling bør det vurderes av NVE om det er mulig å fjerne/endre kravet til konsesjon for midlertidige høyspentanlegg til byggeplasser, eller mulighet for raskere saksbehandling av slike saker. De bør vurdere om det er nødvendig med en egen konsesjon per provisoriske høyspentanlegg per lokasjon, eller om et selskap kan ha konsesjon til denne typen anlegg flere steder. Eventuelt kan det vurderes om NVE kan ha en egen saksbehandlingsskø med kortere behandlingstid for mindre provisoriske høyspentanlegg innenfor anleggsområdet.

Tidslinjen for etablering av provisorisk nettstasjon i prosjektet på Gran er skissert under:



Figur 13 Prosess for etablering av prov.nettstasjon. Eier: Hafslund Vekst.

8. Installasjon av prov.strøm og ladeanlegg

I januar 2024 brukte elektroentreprenøren som ble valgt som installatør av Hafslund for både høyspent og lavspenst-provstrømsanlegget ca. 4 uker på installasjonen av provstrømsanlegget. Installasjonen inkluderte etablering av høyspentkabel, tilkobling i eksisterende nettstasjon, utplassering av alle skap og ladere, forlegning av lavspenkabler fra prov.nettstasjon til fordelingsskap og ladere, montering av måler og spenningssetting av anlegget.



Figur 14 Bilde riggplass 1. Eier: Hafslund Vekst. Fotograf: Mathilde Christensen.

9. Implementere softwareløsning for datarapportering

For å måle energiforbruket og effektforbruket til prosjektet ble ulike løsninger vurdert, og gjennom dialog med et selskap som jobber med digitalisering av byggeplasser besluttet Hafslund å teste deres dataplattform og ladeapp for prosjektet.

Selskapet har utviklet en dataplattform som samler data og overvåker driften fra alle elektriske utstyr på en byggeplass som er tilkoblet plattformen, bl.a. ladere og smarte byggestrømskap. Til plattformen leveres også en ladeapp for autentisering som kan brukes til tilgangsstyring på ladere i et prosjekt. Tilgangsstyringen kan brukes til å registrere hvilken maskin som har ladet når, enten kun for datahenting eller også for fakturering. Alle som skal bruke laderne bruker appen til å scanne en QR kode på hver lader og velge maskinen de skal lade i en liste.

Etter hvert som laderne i prosjektet ble spenningssatt begynte arbeidet med å implementere integrasjonen mellom plattformen/ladeappen og hver lader. Integrasjonen krever at laderne implementeres med OCPP kommunikasjonsprotokoll, som er en standard kommunikasjonsprotokoll for ladere.

De mindre, serieproduserte laderne i prosjektet, hadde OCPP etablert fra produsenten og for disse laderne gikk integrasjonen mot dataplattformen med en gang. Batterihengerne og den kraftige hurtigladeren hadde ikke OCPP implementert fra produsent. Produsentene måtte utvikle dette i sin software, og denne prosessen tok ca. 3 måneder før integrasjonen mot ladeapp og dataplattform fungerte stabilt.

En utfordring de første 3 månedene av prosjektet var at OCPP ikke ble implementert likt på batterihengerne og den kraftige hurtigladeren som plattformen og de mindre laderne i prosjektet. Dette førte til problemer med å starte og stoppe lading og ladeavbrudd i ladesesjoner. Ladeappen måtte i perioder skrus av som autentisering for å ikke gå utover

driften. Dermed ble datakvaliteten i dataplattformen for batterihengerne og den kraftige hurtigladeren varierende i perioden januar-april 2024.



Figur 15 Opplæring ladeutstyr. Eier: Hafslund Vekst.
Fotograf: Ingrid Aamnes.



Figur 16 Opplæring ladeutstyr. Eier: Hafslund Vekst.
Fotograf: Ingrid Aamnes.

10. Oppstartsfasen og testing med entreprenøren

Etter at ladeanlegget var spenningssatt og testet ble det gjennomført en opplæringssesjon med byggeledelse og ressurser i prosjektet som skulle bruke ladeanlegget fra start. I sesjonen gjennomgikk alle samlet hvordan ladeappen fungerte og ladesesjon med bil på de ulike laderne ble gjort felles. Hvordan batterihengere skulle brukes til lading av maskiner, men også tilkoblet byggestrøm for oppladning ble gjennomgått.

Etter opplæringssesjonen utarbeidet prosjektet en ladeguide med tips og læringspunkter for hvordan lading av hver enkelt maskin må gjøres for at ladesesjonen skal starte. Noen maskiner krever at man har tenningen i, andre maskiner har en knapp på skjermen inne i maskinen hvor man må velge om det er AC eller DC lading som skal skje, eller en knapp ved laderinntaket som må trykkes på for at ladingen skal starte. I tillegg krever laderen ofte en viss rekkefølge, f.eks. at ladestøpsel først må settes inn i maskinen, så må man scanne QR kode og starte ladesjon i ladeappen innen en viss tid.

Kombinasjonen av hva maskinen og laderen krever av steg og rekkefølge, i tillegg til at lav temperatur og at kommunikasjonsprotokoll mellom maskin og lader skal kommunisere, gjorde at det var flere årsaker til hvorfor ikke ladesesjon alltid ble igangsatt med en gang. Et viktig læringspunkt er derfor at det bør utarbeides en ladeguide med oppskrift for hver maskin for lading som må være tilgjengelig på anleggsplassen, digitalt eller fysisk.

Ettersom erfaringen var at det er en del utfordringer med å få ladingen til å fungere, er et viktig læringspunkt at det bør være en teknisk support funksjon som er tilgjengelig i de timene arbeid skjer på anleggsplassen. Det er ofte usikkert om ladesesjonen ikke igangsettes grunnet

forhold på maskinens side, laderens side, eller appen som skal godkjenne start av ladesesjonen. Det er nyttig at 1. linjen for support har tilgang til kontaktinfo til leverandørene av hvert ladeutstyr og leverandørene av maskiner da det ofte er hensiktsmessig å koordinere feilsøking og retting remote. Det er ofte software og kommunikasjon mellom ulikt utstyr som er problemet, men det kan også være fysiske forhold på anleggsplassen, slik som at det er snø/is/jord inne i en ladekontakt eller at ladekontakten ikke er satt skikkelig inn i maskinen.

11. Etablere laderutine

Før prosjektets oppstart ble det utarbeidet en ladeplan for prosjektets ulike faser. Ladeplanen tok utgangspunkt i at alle maskinene bør være 100 % oppladet ved arbeidsdagens start og at batterihengerne måtte nå å bli fulladet mellom hver hurtigladepause for beltegravemaskinene. I tillegg ble det anbefalt at batterihengere må stå tilkoblet byggestrøm over natten i vintermånedene ettersom disse krever mye energi for å holde batteritemperaturen innenfor normalområdet i kaldt vær.

Entreprenøren hadde arbeidsdager på 12 timer mandag til onsdag og 7 timer torsdager, fri på fredager. Arbeidstidene medfører at det er naturlig med to arbeidspauser per dag ved 12 timers arbeidsdag og én arbeidspause ved 7 timers arbeidsdag. Entreprenøren hadde et ønske om felles arbeidspauser, slik at utstyr måtte kunne lades samtidig.

Batterihengerne kunne lades opp på maksimalt 55 kW og hadde en batterikapasitet på 192 kWh. Dermed vil det i teorien ta 3–3,5 timer å lade disse opp, men det vil være hensiktsmessig å aldri lade batteriene helt ut. I den teoretiske ladeplanen ble det dermed lagt opp til oppladning av batterihengere fra kl. 07 til 11 og så én times ladepause for tunge beltegravere. Deretter oppladning av batterihengere fra 12 til 15 og så én times lading igjen i neste pause. Deretter oppladning av batterihengere fra kl. 16 til 19. For å unngå at batteriene ville stå frakoblet strøm over natten og samtidig sørge for at maskinene ble fulladet til neste morgen, var planen å lade beltegraverne én time på slutten av arbeidsdagen fra kl. 19 til 20. Deretter sette batteriene til lading over natten, og hurtiglade maskinene på nytt fra kl. 06 til 07. Denne rutinen krever at en ladeansvarlig i prosjektet har utvidet arbeidstid. Det er også kritisk at ladingen faktisk igangsettes raskt og at ladeeffekten er så høy som antatt, 150 kW fra batterihengerne. Dersom ladehastigheten blir redusert kan det bli betydelig påvirkning på ladetiden og dermed driftstiden på maskinen.

For øvrige maskiner og lastebiler som skulle lade på riggplassen var planlagt rutine at disse lader i pausene kl. 11–12 og 15–16, samt nattlader fra kl. 19 til de er fulladet. Biler kunne i utgangspunktet stå på normallading over natten eller etter behov i løpet av dagen.

Laderutinen planlagt før oppstart er skissert i tabellen under avsnitt 3.

12. Etablering av hydrogenanlegg

FoU-prosjektet skulle også planlegge og demonstrere bruk av hydrogenbrenselcelle som en alternativ nettuavhengig energiløsning til utslippsfritt anleggsprosjekt samt samle erfaringer og gjøre vurderinger rundt dette. NAPOPs leveranser til prosjektet kan deles inn som følger:

- Planlegging og tilrettelegging
- Utrustning (energistasjon med nødvendig infrastruktur)
- Sikkerhet og beredskap
- Erfaringsinnhenting og oppfølging

Utrustningen benyttet i prosjektet har inkludert en brenselcellebasert energistasjon for hydrogendrift samt nødvendig infrastruktur for drift av denne inkludert tankanlegg og trykkkontroll.

NAPOP har også vært ansvarlig for etterlevelse av de krav som gjelder for bruk og lagring av trykksatt hydrogen (ref.: Brann og eksplosjonsvernloven) samt for melding om lagring av eksplosjonsfarlig gass under trykk i henhold til kravene.

For dette prosjektet har NAPOP etablert en beredskap. Krav til denne har inkludert tilgjengelighet gjennom døgnet under hele prosjektperioden med en responstid på 30 minutter (telefonsupport) og 4 timer (support på stedet). NAPOP har etablert nettbasert overvåkning og fulgt driftsforholdene rundt operasjonen av energistasjonen inkludert infrastrukturen kontinuerlig.

NAPOPs leveranser i prosjektet inkluderer også deltakelse i vernerunder samt rapporteringer underveis. I prosjektet har NAPOP vært en underleverandør til Hafslund.

Energistasjonen som ble brukt i prosjektet har hatt følgende kapasiteter:

- Kontinuerlig leveranse: 100 kVA/ 65 kW
- Maksimal leveranse: 110 kVA/ 90 kW (i inntil 2 timer/ 24 timer)
- Kapasitet over døgnet: 1350 kWh

Maskinen produserer elektrisk strøm fra hydrogen. Gjennom prosjektet har enheten hatt en virkningsgrad på om lag 52 %. Mesteparten av tilført energi fra hydrogen som ikke konverteres til elektrisk strøm avsettes som varme/ kondens. I dette prosjektet har ikke varmen blitt utnyttet.

Prosjektet har benyttet grønt hydrogen (produsert utslippsfritt). NAPOPs hovedleverandør av hydrogen har vært Hydrogen Solutions (HYDS). Grunnet utfordringer ved HYDS sine anlegg, har prosjektet også benyttet hydrogen fra andre leverandører.

Energistasjonens infrastruktur har inkludert et tankanlegg innbygget i en 20 fot krokkonteiner bestående av et antall (9 stk.) komposittanker (type 4) med et samlet volum på 14850 liter og med trykkbegrensning på 350 bar. Dette gir en total kapasitet på 356 kg. hydrogen. Imidlertid er det en begrensning i slikt utstyr sin evne til å håndtere lave trykk under 20 bar ved ambient temperaturer. Dette gir en netto kapasitet på 336 kg. Prosjektet har kun hatt én tank til rådighet.

Tanken som ble brukt i prosjektet ble imidlertid fylt til kun 200 bars trykk. Dette grunnet forsinket tilgjengelighet/ leveranse av trykkreguleringsenhet med tilstrekkelig kapasitet (350 bar). Som følge, ble en annen enhet med en kapasitet på 200 bar benyttet (221 kg H₂/ 201 kg H₂ netto). Dette reduserer utnyttelsesgraden av lagringskapasiteten med ca. 40 %. Dermed ble det behov for flere transporter for å forsyne anlegget med tilstrekkelig hydrogen enn hva som ville vært tilfelle dersom man kunne utnytte tanken maksimalt.

Transport av hydrogen faller inn under krav for transport av farlig gods på vei som omfatter bestemmelsene i ADR-regelverket. I forhold til hydrogen setter dette krav til kjøretøyet som benyttes for transport, tank/ konteiner og sjåfør. Prosjektet har benyttet ADR-godkjent transport basert på biodiesel/ biogass.

Anleggsprosjektet Miljøgate Gran har hatt drift fra mandag morgen til torsdag ettermiddag. Prosjektet ble derfor planlagt for utskifting av tank etter behov i periodene prosjektet ikke hadde drift, ved opphenting etter arbeidstid torsdag og leveranse av ny full tank før oppstart på mandag.

Brann- og eksplosjonsvernloven med tilliggende forskrifter setter rammer og begrensninger med tanke på bruk av bl.a. hydrogen. Forskrift om tiltak for å forebygge og begrense konsekvensene av storulykker i virksomheter der farlige kjemikalier forekommer (Storulykkesforskriften) kommer til anvendelse dersom det skal lagres 5000 kg hydrogen eller mer. I bygg- og anleggsprosjekter er det lite sannsynlig at det blir behov for slike volum.

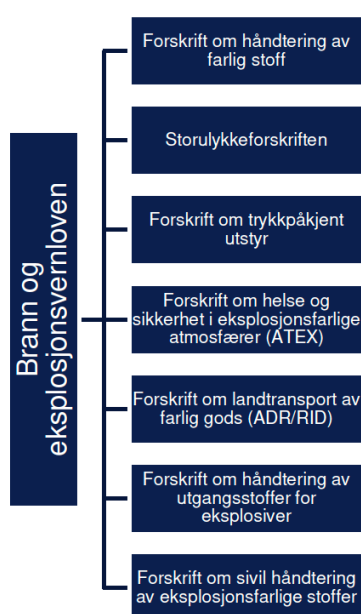
Dersom prosjektet ikke omfattes av Storulykkesforskriften, er det ingen krav om godkjenninger eller konsesjoner fra offentlige myndigheter (annet enn at mengde og lokasjon av lagret farlig stoff skal meldes inn til myndighetene via Altinn).

Generelt gjelder imidlertid at det skal gjennomføres en vurdering av den risikoen et tiltak som faller inn under loven representerer. Videre skal denne risikoen ikke overstige den risikoen samfunnet generelt aksepterer at sine borgere utsettes for. Som underlag til en slik vurdering gjennomføres det vanligvis en fareidentifikasjonsanalyse (HAZID). En risikovurdering vil identifisere hvorvidt en identifisert fare (fra en HAZID) er akseptabel eller ikke. Dersom risikoanalysen identifiserer risikoer som ikke er akseptable, må introduksjon av tiltak vurderes slik at risikoen blir akseptabel.

Med utgangspunkt i risikoanalysen skal det etableres en beredskapsplan. Denne skal implementeres i prosjektets overordnede beredskapsplan.

Mobil og temporær bruk av hydrogen (representert av bygg- og anleggsektoren) vil begrenses uten enkle verktøy som sikrer samsvar med gjeldende krav rundt sikkerhet. I prosjektet i Kruttverkveien, var et av formålene for prosjektet knyttet til utvikling/ etablering av en samsvarsplan for slik sikker etablering og bruk. I prosjektet Miljøgate Gran, har dette rammeverket blitt videreutviklet som gjennomføring av uavhengig tredjeparts fareidentifikasjonsanalyser (HAZID – beskrevet nedenfor) med tilhørende risikoanalyse som også har belyst tiltak som kan implementeres for ytterligere økt sikkerhet med tanke på type utrustning som velges, plassering av slikt utstyr samt krav til operasjonelle prosedyrer. Dette verktøyet utvikles generisk og forenkler prosessen med samsvarlige operasjoner i forhold til sikkerhet.

Figuren nedenfor presenterer Brann og eksplosjonsvernloven med underliggende forskrifter relevante i forhold til bruk av hydrogen på bygg- og anleggsplasser.



SIKKERHET

- Kunnskap om sikker håndtering av gass/ hydrogen
- Identifisere risikoer – HAZID
- Gjennomføre risikoanalyse (kvantitativ/ kvalitativ)
- Identifisere behov for tiltak
- Implementere tiltak
- Varsle myndigheter

Figur 17 Oversikt lovverk og forskrifter under Brann og eksplosjonsvernloven. Eier: NAFOP.

Før installasjon av hydrogenanlegget ble det altså gjennomført en fareidentifikasjonsanalyse – HAZID i form av et felles arbeidsmøte med involverte parter med ulik ekspertise og kompetanse. Møtet identifiserte mulige farer som etablering av den planlagte hydrogen infrastrukturen ville kunne representere. Resultatet ble presentert i en egen rapport. Analysen ble så benyttet som input til etterfølgende risikoanalyse.

Både HAZID og risikoanalyse ble gjennomført av uavhengig tredjepart (Hyex Safety (rådgiver, hydrogensikkerhet)). HAZID ble gjennomført den 29. januar der følgende aktører deltok.:

- Statens vegvesen (byggherre).
- Anlegg Øst Entreprenør (utførende entreprenør)
- NAPOP (leverandør av hydrogen infrastruktur/ hydrogenanlegget).
- Hafslund (leverandør av nettbaserte energiløsninger til prosjektet).
- Lunner – Gran Brann og Redning (LGBR)

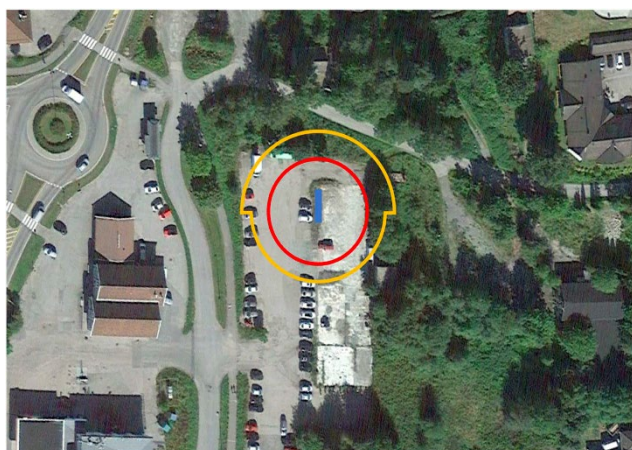
Det etterfølgende risikoarbeidet ble gjennomført etter anbefalingene i DSBs veileder om sikkerhet rundt storulykke-virksomheter. Resulterende betraktninger og konklusjoner ble presentert i en egen rapport og inkluderte anbefalte hensynssoner samt tiltak som bidrag til ytterligere redusert risiko.

I tillegg til å etablere anbefalte hensynssoner, introduserte NAPOP som følge av anbefalingene også en retningsstyrende anordning for å sikre at en eventuell jet-brann fra tankanleggets ventilpanel ble styrt vertikalt opp og bort fra potensielle mulige eksponeringer.

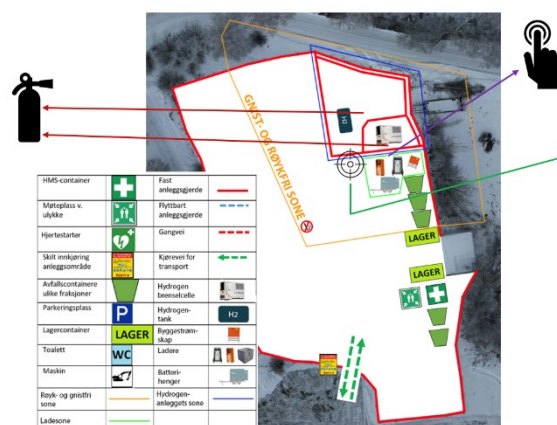
Arbeidet etter Haziden tok ca. 6 uker, og resultatene ble så presentert for deltagerne fra HAZID'en i et felles møte av Hyex safety. Resulterende hensynssoner er presentert i figuren nedenfor.

Risikoanalyse identifiserer anbefalte hensynssoner:

- **Rød: Indre hensynssone** – Virksomhetens eget område – tredjeparter har ikke permanent opphold eller hyppig tilstedeværelse. For de som ikke tilhører virksomheten (tredjeperson) er kun kortvarig forbi passering tillatt (f.eks. tursti).
- **Orange:** Midtre hensynssone – Her kan offentlige veier og arbeidsplasser som kontorvirksomhet ligge. Overnatting, eller boligfelt kan ikke ligge her. I enkelte tilfeller kan spredt bebyggelse aksepteres.
- **Grønn:** Ytre hensynssone – sammenfaller med midtre hensynssone. Her kan boliger, butikker og generell bruk av den «allmenne befolkningen» inngå. Sårbare objekter, som f.eks. sykehus og barnehage skal ikke ligge her.



Figur 19 Oversikt hensynssoner hydrogenanlegg riggplass 2. Eier: NAPOP.

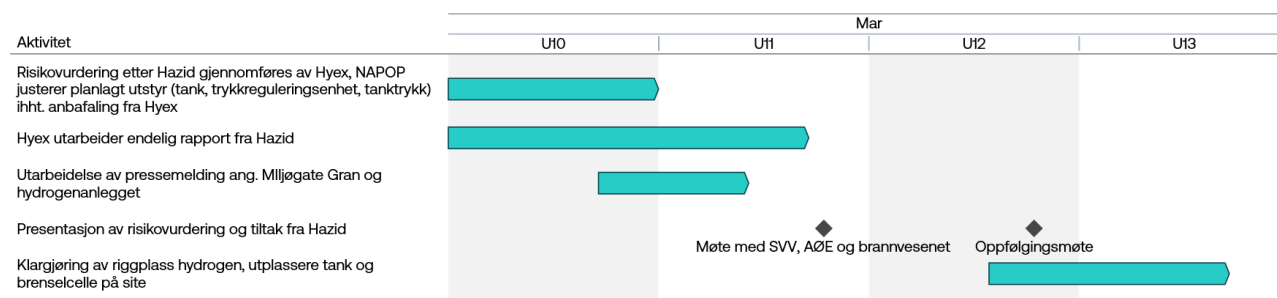


Figur 18 Oversikt hensynssoner hydrogenanlegg riggplass 2. Eier: NAPOP.

Risikoanalysen anbefalte at området innenfor en radius på 16 m fra senter av hydrogenkontainer fikk status som indre hensynssone. Analysen fant at midtre og ytre hensynssone var sammenfallende i en avstand på ca. 20 m. fra senter av hydrogentanken.

Merk: Grunnet en forsinkelse i leveranse av trykkreguleringsutrustning, er hydrogenelementet i prosjektet gjennomført med en trykkbegrensning på 200 bar. Dette betyr at tankens kapasitet ikke er fullt utnyttet. Imidlertid tok HAZID/ risikoanalyse utgangspunkt i full utnyttelse av tankens maksimale trykk-kapasitet (350 bar).

Energistasjonen er ikke et Ex-utstyr og er derfor ikke underlagt spesielle avstandskrav i forhold til sikring mot potensielle tennkilder. Imidlertid er både tankanlegg samt trykkreduksjonsutrustningen underlagt slike krav. Tankanlegget er Ex klasse 2 og har en sikkerhetsavstand i forhold til potensielle tennkilder på ca. 1.5 m. Trykk-kontrollsystemet har også en sikkerhetsfunksjon ved at den evakuerer hydrogen fra anlegget når dette ikke er i bruk. Dette er derfor Ex klasse 1 og har et avstandskrav på om lag 2 m. For enkelhetsskyld ble tankanlegg og trykkkontrollenhet plassert nærmest mulig hverandre innenfor et felles gjerde som oppfylte begge enhetenes avstandskrav.



Figur 20 Prosess forberedelser før etablering av hydrogenanlegg. Eier: Hafslund Vekst.

Ca. 2 uker før anlegget skulle settes i drift 1. april ble hydrogenområdet på ca. 20 x 10 m ryddet og inngjerdet på anleggsplassen innenfor anleggsplassens gjerde. Ex-sonene ble gjerdet inn og utstyret installert og prøvekjørt ca. 1 uke før operasjonell start. I forkant av etableringen av anlegget inkludert tankanlegg, ble mengde hydrogen lagret og lokasjon meldt inn til myndighetene via Altinn som påkrevd.

Før operasjonell start av anlegget utarbeidet NAOPOP en beredskapsplan og beredskapsinstruks for anlegget. Disse ble presentert for lokalt brannvesen og for Anlegg Øst og Statens vegvesen, og implementert i PSI for anleggsplassen slik at dette skal være kjent for alle som oppholder seg på anleggsplassen.



Figur 21 Prosess etablering av hydrogenanlegg. Eier: Hafslund.

Hydrogen er en brannfarlig og eksplosiv gass og (som benyttet i dette prosjektet) i tillegg trykksatt. Kriterier for akseptable risikoer benyttet i risikoarbeidet (i henhold til DSBs veileder) kan fortone seg som ganske brutale. I tillegg er menneskers forhold til risiko ofte ganske irrasjonell. Følgelig kan det være vanskelig for formidlende part å kommunisere risiko så vel som for mottakende part å forstå hva en identifisert risiko innbefatter (spesielt i forhold til risikoer vi eksponerer oss for i dagliglivet).

Hydrogenanlegget var plassert i relativ kort avstand fra Hadeland VGS, en bensinstasjon samt Hovsgutua Bofellesskap. Som følge av blant annet dette og utfordringer en hendelse rundt disse kunne innebær, hadde LGBR spørsmål rundt både anlegget, operasjoner og om hydrogen på mer generell basis. Det var derfor behov for en tett og tidlig involvering for å svare ut disse og konkretisere rundt hva slags utfordringer beredskapspersonellet kunne møte ved en faktisk hendelse ved anlegget. Brannvesenet tok i tillegg initiativ til å gjennomføre et internt hydrogenkurs for eget personell.

LGBR gjennomførte også en inspeksjon av anlegget før det ble igangsatt.

Bilder av hydrogenanlegget og tilhørende ladeanlegg:



Figur 22 Hydrogentank og -brenselcelle. Eier: Hafslund Vekst. Fotograf: Mathilde Christensen.



Figur 23 Ladere forsynt fra hydrogenanlegg. Eier: Hafslund Vekst. Fotograf: Mathilde Christensen.

- 2 stk. AC ladere 20 kW
- 1 stk. DC lader 40 kW
- mulighet for lading av 1. stk. batterihenger fra smartskap (125 A/400 V).

Ladeplan:

- Dette er illustrert i tabellen under:

[illegible]

31

2.3 Læring og ting vi kunne gjort annerledes

1. Ladeutstyr:

Dersom de konkrete maskinmodellene hadde vært kjent ved planlegging av ladeutstyr i prosjektet og vi hadde hatt enda mer forståelse for hvordan og hvor mye maskinene skulle brukes i prosjektet, hadde det vært mulig å tilpasse ladeutstyret enda bedre til maskinene. Det har i praksis vært en noe overdimensjonert ladepark for prosjektet fordi flere av antagelsene i planleggingsfasen ikke har vært helt riktige.

Lastebilene som har vært brukt i prosjektet har vært av ulike typer, og flere av typene har ikke kunnet ta imot mer enn 130-150 kW effekt. Noen av lastebilene har kunnet lade på 250 kW. Dermed hadde det vært tilstrekkelig med 2 x 250 kW ladere i prosjektet.

Lastebilene har ikke natlladet på byggeplassen, da disse har vært operert av en ekstern massetransportaktør og sjåførene har tatt med seg lastebilene hjem for lading på depot/andre steder enn på byggeplassen. Dermed hadde det ikke vært behov for alle 3 stk. 40 kW DC ladere på byggeplassen. Det har vært nyttig å ha minst 1 stk. DC lader på 40 kW fordi denne har kunnet lade Liugong hjullaster, som kun tar imot DC lading, over natten. For fremtidige prosjekter er det viktig å vurdere om lastebiler må/kommer til å lade på anleggsplassen på dagen og/eller natten og om prosjektet må sørge for ladere til lastebiler.

En del av maskinene som var med i tilbudene har ikke vært med i prosjektet i praksis, dette gjelder elektrisk 10 t graver, elektrisk dumper og asfaltutlegger.

Begge hjulmaskinene, dvs. hjullaster og hjulgraver, har ikke vært i bruk 100 % av tiden i prosjektet. Disse er brukt som servicemaskiner og har dermed vært lett belastet. Driftstiden på hjulmaskinene har vært ofte lenger enn en full arbeidsdag, og disse har derfor ofte kun trengt natllading.

Planen var opprinnelig at alle maskinene skulle kunne AC-lade på riggplassene over natten på 20 kW AC-laderne. Dette for å kunne samle data gjennom app-autentisering fra laderne, og for å kunne overvåke ladingen i ladeappen. I praksis har natllading av alle maskinene som kan AC lades skjedd rett fra industrikontakt i byggestrømskap. Dette fordi det har vist seg mer driftssikkert da det ikke er software som kan stoppe ladingen utilsiktet i løpet av natten.

Planen var opprinnelig også at beltegraverne skulle lade fra hver sin batterihenger om natten. Dette har ikke blitt praksisen i prosjektet fordi natllading på DC ikke fungerte godt når det var kaldt – maskinene ble for kalde over natten uten kontinuerlig lading. I tillegg har det vist seg mer driftssikkert å lade fra byggestrømskap langs graveområdene, der maskinene står og jobber, fordi det da ikke blir avbrudd på ladeøkten grunnet softwarefeil over natten. Dersom beltemaskinene skulle ladet fra batterihengere over natten hadde de kun blitt 60 % ladet fordi batterihengerne kun har 192 kWh batterikapasitet og maskinene har 300 kWh. Dermed kunne prosjektet med fordel etablert provstrøm for natllading av maskiner langs graveområdet fra start.

2. Provisorisk nettstasjon:

Prosessen med å etablere prov.nettstasjon tar lang tid i dag pga. kravet til konsesjon, og dette førte til forsinkelse for prosjektstart og for mye unødvendig hastverk for elektroentreprenøren som installerte anlegget. Denne prosessen kunne vært påbegynt helst 3-6 måneder før prosjektet valgte entreprenør.

3. Softwareløsning for datahentning:

Det har vært utfordrende å bruke en app for autentisering av ladeøkter i prosjektet, da det har vært krevende å implementere OCPP-kommunikasjonsprotokoll på laderne likt. I tillegg er det mange feilkilder når software i lader, maskin og ladeapp skal kommunisere og denne kompleksiteten har ført til ladeutfordringer for mannskapet i prosjektet. Det bør med fordel settes av 3 måneder for implementering av OCPP hos nye laderleverandører som ikke har OCPP fra før dersom et prosjekt skal benytte app for autentisering. Det ville trolig vært mer stabilt å bruke RFID brikker for autentisering av hvilken maskin som lader, men dette ville gitt økt behov for å sammenstille data fra flere kilder/ulike laderes dataplattformer for å få totaloversikt over energiforbruket i prosjektet.

4. Testing og oppstart lading:

Ved oppstarten av prosjektet var det veldig nyttig å teste lading av de ulike maskinene på laderne, og ha en opplæringssesjon med mannskapet i prosjektet med fokus på lading av maskiner. For flere av maskinene var det flere steg som måtte gjøres for at laderen skulle starte, f.eks. knapper, nøkkel i ved oppstart, og å plugge i ladekabel i maskin før lader osv. I kalde temperaturer er det også svært viktig å forvarme batteriet før oppstart, og dette er viktig å ha rutine for.

5. Vinterdrift:

Elektriske maskiner fungerer dårligere i kaldere temperaturer. Hvis batteriet i maskinen er for kaldt vil det ikke ta imot hurtiglading. Det er viktig å forvarme batteriene før lading og sørge for at maskinene ikke blir for kalde ved å sette dem på AC lading over natten og ikke la maskinene stå stille gjennom dagen. Kulde fører også til kortere driftstid på elektriske maskiner. Batterihengere bruker også mye energi på å holde seg varme og må stå tilkoblet strøm over natten for å unngå skade på battericeller. Det er viktig at batterihengerne har installert varmeelementer.

6. Hydrogen:

Ved etablering av hydrogenanlegget var det noen utfordringer som oppsto, hovedsakelig i forhold til kommunikasjon omkring risiko og sikkerhetstiltak rundt et hydrogenanlegg. Kommunikasjonen kunne mulig vært mindre teknisk og mer overordnet/oppsummerende. Det er viktig å involvere brannvesen tidlig, og at det lokale brannvesenet gjør seg kjent med operasjoner, utstyr og andre relevante forhold angående bruken av hydrogen.

Fylling av hydrogentanken har ikke fungert optimalt. Med begrensningen på 200 bar trykk i stedet for 350 bar, har den anvendbare mengden gass i tanken vært langt mindre enn planlagt, begrenset med om lag 40%. Dette har medført hyppigere utskifting og fylling og dermed også økt behov for koordinering og transportkostnader.

Med en varierende og uforutsigbar bruk av hydrogenanlegget har det vært vanskelig å beregne når tanken måtte fylles. Planen før oppstart var at tanken skulle fylles hver helg eller annenhver helg, slik at hydrogenanlegget kunne være i drift i entreprenørens arbeidstid mandag til og med torsdag. Med en uforutsigbar bruk kunne tanken bli tom i starten av uka, eller den kunne bli kjørt til oppfylling med unødvendig mye gass igjen på tanken. Dette gir enten en driftsstans på hydrogenanlegget eller en unødvendig kostbar fylling per kg hydrogengass. Begge deler er uønsket. Før oppstart var det satt av et budsjett til gass som skulle holde til produksjon av ca. 100 000 kWh strøm, men fasiten ble ca. 19 000 kWh. Mye av årsaken til dette var svært ineffektiv fylling av gass samt høye transportkostnader.

3. Erfaringer med bruk av strøm- og ladeløsninger

3.1 Bruk og lading av elektriske maskiner i praksis



Figur 25 Cat 320 Z-line 25 t gravemaskin.
Eier: Hafslund Vekst. Fotograf: Mathilde Christensen.

Cat 320 z-line, 25 tonn beltegraver

3 stk. beltegravere er benyttet i prosjektet. Disse er ombyggede fra diesel til elektrisk. Dette er de maskinene det har vært mest problemer med å lade og ha i drift.

Beltegraverne slet med drift i -25 grader, da batteriene i maskinene ble kalde. Dette reduserte driftstiden og maskinene tok ikke imot hurtiglading. Forvarming av batteriene i maskinene, samt nattlading på AC gjorde at driften fungerte noe bedre. I varmere temperaturer har hurtiglading og drift fungert bedre. Maskinene har blitt hurtigladet fra batterihenger i 0,5 time i lunsjpause og 1 time i ettermiddagspause, og natladet fra AC byggestrømskap.



Figur 26 Liugong 20 t elektrisk hjullaster.
Eier: Hafslund Vekst. Fotograf: Mathilde Christensen.

Hjullaster LiuGong 856HE 20 tonn

Denne maskinen har vært brukt som servicemaskin i prosjektet. Maskinen har hatt veldig god driftstid, og har i hovedsak hatt behov for nattlading på 40 kW DC lader (siden den kun har mulighet for DC lading), ettersom batterikapasiteten på 423 kWh har holdt hele arbeidsdagen med den bruken som har vært i prosjektet.

Det har ikke vært utfordringer med denne maskinen i kalde temperaturer og lading har fungert uten problemer. Dette er en maskin som er bygget som elektrisk fra bunnen av, noe som virker å gjøre drift og lading mer velfungerende.



*Figur 27 Volvo elektrisk lastebil.
Eier: Hafslund Vekst. Fotograf: Mathilde Christensen.*

Volvo FE Electric lastebil

I prosjektet er det benyttet 2-4 elektriske lastebiler fra Volvo. Disse har blitt benyttet til masseforflytning mellom pukkverk og anleggsplassen og kjørt med tung last frem og tilbake daglig. Lastebilene har fungert meget godt, med få drifts- og ladeproblemer. Lastebilene er bygget som elektriske fra bunnen som kan virke og gjøre driften velfungerende. Lastebilene har hurtigladet på 300 kW på anleggsplassen og ved pukkverk ca.



*Figur 28 Develon elektrisk hjulgraver 17 t.
Eier: Hafslund Vekst. Fotograf: Mathilde Christensen.*

Develon Electric DX165W, 17-tonns hjulgraver

Denne hjulgraveren har vært benyttet som servicemaskin i prosjektet, og har hatt en imponerende driftstid. Maskinen har kun blitt nattladet på AC og holdt hele 12 timers arbeidsdag med bruken som har vært i prosjektet. Det har ikke vært problemer med lading av denne maskinen.

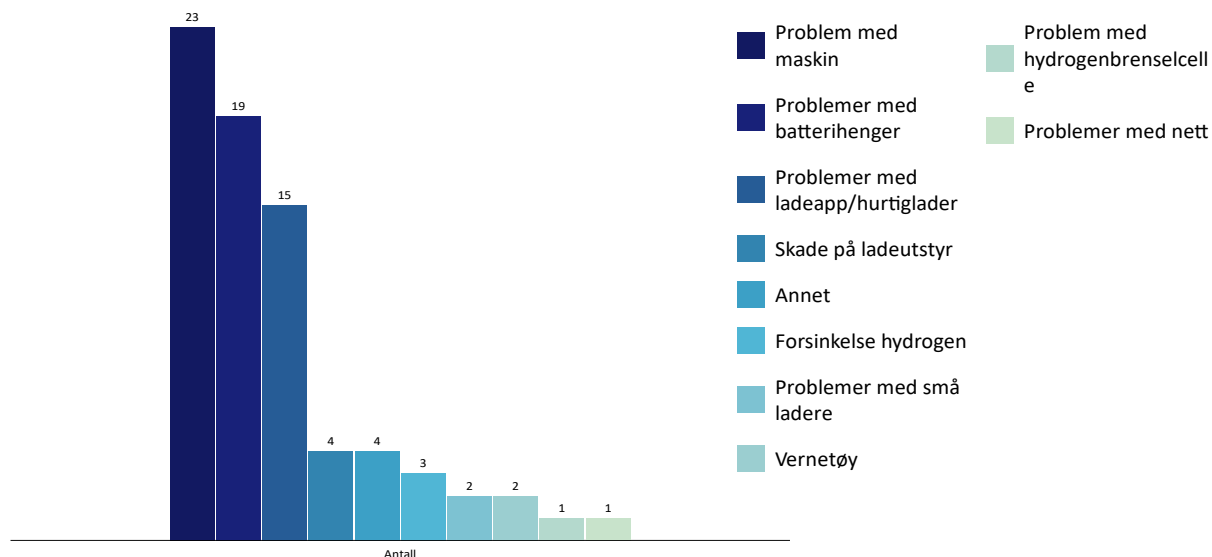
Det har i løpet av prosjektet vært flere utfordringer med bruk og lading av elektriske maskiner. Hoveddelen av utfordringene har vært nedetid og tekniske utfordringer på beltegraverne i prosjektet. I tillegg har det vært en del problemer med start av ladesesjoner ved bruk av ladeapp, og at ladesesjoner har stoppet midt i slik at maskin/kjøretøy ikke har vært fulladet til neste arbeidsøkt.

1. Dokumenterte utfordringer og problemer

Ladeproblemer og problemer med elmaskiner har blitt rapportert inn til byggherren i løpet av prosjektet som RUHer (Rapport om Uønsket Hendelse). Det er totalt 74 RUHer knyttet til lading og elektriske maskiner. 19 av RUHene er relatert til problemer med lading fra batterihenger, 15 er relatert til lading fra kraftig hurtiglader og ladeapp ved bruk av denne, og 23 er relatert til problemer med maskiner, nesten kun beltegraver. Disse tre kategoriene utgjør i sum 77 % av innmeldte RUHer om lading og elmaskiner. Utfordringen ift. ladeapp, kraftig hurtiglader og batterihengere er at det er uvisst for brukeren hva feilen skyldes, men det vises at lading feiler i appen. Det kan skyldes kommunikasjonsproblemer mellom ladeapp, lader og maskin, men det kan også skyldes at maskinen ikke vil ta imot hurtiglading pga. for lav temperatur i battericellene eller feil på maskinens batteripakke. Det har vært mange tilfeller av feil på særlig batteriene til Cat-maskinene i prosjektet, der løsningen har vært at leverandør har måttet bytte ut maskinen eller bytte batteripakke på maskinen.

For øvrig er det meldt inn 1 RUH om problem med hydrogen brenselcelle, 3 om forsinket hydrogenleveranse, 2 om problemer med de små laderne i prosjektet og 1 med problemer med strømbrudd/nett. Det er meldt inn 4 RUHer på skader på ladeutstyr. Oppetiden på brenselcellen har vært svært høy i prosjektet. Vi ser også at ladere som er serieprodusert (de små laderne) er langt mer stabile ift. drift og mer velutviklet ift. softwareintegrasjon.

Oppsummering av RUHer i figuren under:



Figur 29 RUHer i prosjektet. Eier: Hafslund Vekst.

De ladeproblemene som har blitt meldt inn som RUHer er i all hovedsak de som har ført til reell nedetid/reduisert driftstid på maskinene i prosjektet. Dermed er det sannsynligvis en god del flere supportsaker relatert til lading enn dem som er meldt inn, men som har blitt løst der og da gjennom dialog med support eller av brukeren selv. Det kan gjelde alt fra at ladestøpsel ikke er dyttet ordentlig inn i maskin, for treg scanning av QR kode, feil rekkefølge på steg i ladeprosessen osv.

I løpet av prosjektet er det innmeldt RUHer for problemer med elmaskiner og/eller lading 57 av 140 arbeidsdager, det utgjør dermed 40 % av arbeidsdagene. Elektrisk drift må derfor sies å ha en betydelig påvirkning på tidsbruk og fremdrift på nåværende tidspunkt før elmaskiner og ladeutstyr er moden teknologi. Ifølge entreprenøren i prosjektet er det estimert at arbeidet i prosjektet har tatt 30-40 % lenger tid med elmaskiner enn det ville gjort med konvensjonelle maskiner.

2. Bruk av mobile batterihengere/laderutiner i praksis

Praktisk bruk

Batterihengerne i prosjektet har blitt ladet opp på riggplass 1 og 2 over natten, og mellom de oppsatte ladepausene når maskinene hurtiglades. Batterihengerne har blitt ladet på 125 A/400 V kurs fra byggestrømskap i løpet av prosjektet. Hengerne lades da opp på sin maksimale effekt som er 55 kW, som betyr en oppladningstid på ca. 3-4 timer.

Entreprenøren i prosjektet har hatt en ladeansvarlig ressurs, som har hatt ansvaret for å flytte batterihengerne rundt og sørge for at alle 3 beltegraver har blitt ladet i de planlagte ladepausene. De 3 beltegraverne av typen Cat 320 Z-line har ladet på CCS2 på typisk 140-190 kW.

Batterihengerne har blitt flyttet med en diesel pickup som er godkjent for å trekke 3,5 tonn. Bruk av diesel pickup går under kravet 50% utslippsfri bruk av "annet utstyr", dvs. det som ikke er relatert til masseflytting. Da prosjektet startet fantes det ikke elektriske biler på det norske markedet som var godkjent for å trekke tilhenger på 3,5 tonn. Hengerne kunne eventuelt blitt flyttet med elektrisk hjullaster dersom det hadde vært tilgjengelig på prosjektet med ledig kapasitet. I prosjektet på Gran ble det vurdert mest hensiktsmessig å ha en pickup tilgjengelig for dette formålet.

En tilhenger på 3,5 tonn er tungt. Det har vært en tilbakemelding fra ladeansvarlig at hengerne burde hatt kraftigere og bredere hjul og mer bakkeklaring for å håndtere kjøring med tung vekt på anleggsvei/anleggsområdet. Det har også blitt slitasje på nesehjul/ støttehjul foran på hengeren på grunn av tung vekt. Det er forskjell på ulike modeller på hengere, og det er nyttig å bygge slike hengere uten et støttehjul foran som blir utsatt for mye vekt. Følgelig har det blitt en kostnad for skader og slitasje på tilhengerne, på ca. 40 000 kr.

Bruken av ladeapp har tidvis vært utfordrende da dette krever kommunikasjon mellom software. Men oppladning av batterihengerne på 125 A industrikontakt har fungert veldig stabilt. Det har også blitt testet å lade Cat 320 Z-line maskiner på AC industrikontakt 125 A/400 V ut fra batterihengerne, og dette har også fungert bra. Per i dag lades hengerne i prosjektet opp på maks 55 kW, og dermed tar det 3-4 timer å fullade hengerne. Det er ønskelig at ladeeffekten kan økes slik at oppladningen tar kortere tid. De nyeste batterihengerne tilgjengelig kan hurtiglades på CCS2 inntak på 230 kW – dette reduserer oppladningstiden til kun 1 time.

Det har fungert fint å flytte hengerne til maskinene for ladepauser i praksis, særlig ettersom anlegget har vært kompakt. Kommunikasjon mellom maskinførere og den som flytter batterihengerne inne på anlegget er viktig for å sikre at hengeren ikke blir stående i veien for driften. Det kreves ADR bevis for å kjøre batterihengere, dette gjør at en med et slikt gyldig kompetansebevis alltid må være tilstede på prosjektet. Ressursen med ansvar for å flytte batterihengere kan også utføre andre oppgaver. Ladeansvarlig ressursen på Gran har brukt ca. 50-60 % av sin tid på oppgaver relatert til drift av de elektriske maskinene. Dette inkluderer å flytte batterihengere, håndtering av feil/spørsmål og feilsøking vedr. elmaskinene, kontakte maskinleverandører og justering av struktur på byggestrøm.

Bruken av batterihengere er noe kostbart og ressurskrevende fordi det medfører bruk av deler av tiden til en ansatt i prosjektet å flytte hengere frem og tilbake til riggplassen. Imidlertid, hvis man sammenligner denne kostnaden med å etablere provisorisk strøm langs hele anleggstraseen for tilknytningspunkt til hurtiglader så kan den forsvares. Et eksempel er sammenligning av å etablere en provisorisk strømkabel til et byggestrømskap for tilkobling av en 360 kW hurtiglader ca. 400 m unna nettstasjon inkl. leie av hurtiglader. Kostnaden for dette er tilnærmet lik kostnaden for å leie en batterihenger og bruke 10 % av en ressurs sin tid pluss leie av en pickup som kan trekke batteriene i prosjektet. Hva som er mest kostnadseffektivt og driftsmessig rasjonelt, må vurderes fra prosjekt til prosjekt – og avhenger mye av avstandene på anleggsområdet.

Ladefeil, tekniske problemer og skader

Det har i perioder vært flere problemer med lading fra batterihengere i prosjektet på Gran. I begynnelsen av prosjektet i januar-mars omhandlet problemene i all hovedsak mangelfull integrasjon av OCPP og kommunikasjonen mot ladeapp. En stor del av prosjektets oppstart omhandlet å utvikle OCPP på software for batterihengerne, og teste at kommunikasjonen

fungerte mellom batterihengere, maskiner og ladeapp. Etter de første 3 månedene har integrasjonen i hovedsak fungert stabilt.

I tillegg har det vært noen utfordringer ift. selve hardwaren i batterihengerne. I den kalde vinterperioden januar-februar gikk batteriene tomme for strøm og ble svært nedkjølt. Det manglet varmeelementer i batterihengerne som førte til at battericellene ikke ville ta imot strøm da temperaturen i cellene ble under 5 grader. Løsningen ble å benytte små varmevifter til å få opp grunntemperaturen i og rundt cellene, slik at cellene ville ta imot strøm. Videre ble det installert permanente varmeelementer i laderne etter dette, siden ble ikke for kalde celler et problem.

Batterihengerne har også vist seg å ha et høyt internt energiforbruk til å opprettholde riktig temperatur for battericellene og i kraftelektronikk og transformatorer som er påskrudd når batterihengerne er på. Det interne tapet i batterihengerne har i perioder vært opp til 25-35 kWh per dag av tilført energi. Et tiltak som ble implementert for å redusere dette var å skru av trafo som forsyner byggestrømsuttaket fra batterihengerne, ettersom disse ikke skulle være i bruk i prosjektet. Dette har redusert tapet til 27 % de operative dagene.

En annen hardware-utfordring har vært at batteristrengene i batterihengerne har «falt ut». Det betyr at batterihengeren mister kommunikasjonen med en eller flere av batteristrengene og dermed reduserer den tilgjengelige batterikapasiteten. Løsningen har vært å koble fra og koble til en kommunikasjonskabel i batteriet som forårsaket utkobling av streng. Det er usikkert hva som er årsaken til disse problemene, men hyppig flytting av batterihengerne på ujevnt underlag og dermed hard fysisk påkjenning har sannsynligvis påvirket dette. Enkelte av batterimodulene har fått feil i løpet av prosjektet, der løsningen har vært å bytte ut en batterimodul i hengerne.

Det har også vært supportsaker knyttet til utfall av mobildekning som påvirker kommunikasjonen mellom app, lader og maskin, og noen brukerfeil som at brukeren har scannet feil QR kode med app, og dårlig kontakt mellom ladestøpsel og maskin. Dette er problemer som har blitt løst løpende gjennom dialog med support.

Ellers har det vært noen mindre skader på hengerne, en påkjørsel fra en lastebil og en punktering av dekk. Det er nyttig å ha reservedekk for batterihenger tilgjengelig på prosjektet. Dekkene på hengerne er ikke spesielt kraftige for å kjøres mye på anleggs plass/anleggsvei. Hengerne har blitt flyttet opp til 4 ganger per dag. Det har ført til slitasje på nesehjulene, som brukes for å heise hengerne av og på tilhengerkroken. Nesehjulet på den ene hengeren måtte byttes i august. Ettersom batterihengerne er tunge blir det mye vekt på støttehjul foran på hengeren. Det er vurdert behov for å videreutvikle hengerne med kraftigere hjul og kraftigere ramme og støttehjul for å tåle å flyttes mye på ujevnt underlag og kunne parkeres i nedoverbakke.

3. Bruk av hurtiglader for massetransport/laderutiner i praksis

Praktisk bruk

Det har i prosjektet vært 2-4 elektriske lastebiler som har kjørt masser fra Gran til Lygna pukkverk, ca. 12 km unna. Lastebilene har ladet på en 2x300 kW hurtiglader på Gran og en tilsvarende lader på Lygna.

Lastebilene i prosjektet har ladet på 130-250 kW avhengig av lastebilmodell, de tidligste Volvo elektriske tippbilene kan bare ta imot 130 kW. Lastebilene har kjørt 3-4 timer før de har ladet i

ca. 1 time for å holde gjennom arbeidsdagen. Lastebilene har ladet totalt gjennomsnittlig 2 ganger per dag i tillegg til nattlading som har skjedd utenfor byggeplassen.

Ladefeil, tekniske problemer og skader

Det har vært noen utfordringer med lading fra 2x300 kW hurtigladerne, primært i mars og september. De problemene som har vært ift. lading har i hovedsak vært relatert til implementering av OCPP protokoll for kommunikasjon med ladeapp. Softwareutvikling hos laderleverandøren har måttet gjøres og testes for å få en stabil integrasjon, det tok ca. 2 måneder i prosjektets oppstart å få dette på plass. I perioder har ladeappen vært avskrudd som autentisering fra laderen for å ikke være til hinder for driften, og dermed er datakvaliteten for ladesesjoner fra 2x300 kW laderen varierende i enkelte perioder.

Det har vært enkelte tilfeller av nedetid på hurtigladeren, dette har skyltes utfall av server i laderen og dårlig 4g dekning. Det har vært tilfeller av at ladesesjoner har stoppet opp midt i en ladesesjon, og slike tilfeller fører til forsinkelser på lading og mindre effektiv driftstid. Det har ikke vært noen fysiske skader på laderen.

Det har vært noe brukerfeil på bruk av hurtigladeren. Det har skjedd at sjåføren har prøvd å scanne QR koden med app før ladepluggen er koblet til kjøretøyet. Det har også vært tilfeller av at sjåfør har scannet feil QR kode. En utfordring er at QR koden er på skjermen på laderen og at denne skal scannes etter at ladestøpsel er i maskinen. Scanningen må også skje innen et visst tidsrom. Det har i løpet av prosjektet vært varierende hvilke sjåførere som er innom anleggsprosjektet og skal bruke laderne, og dette har gjort at ikke alle sjåførene har fått opplæring i bruk av laderen og ladeapp.

4. Bruk av hydrogenbrenselcelle i praksis

NAPOPs energistasjon har fungert svært stabilt. Den har levert strøm til prosjektet fra 4. april til 20. oktober fra riggplass 2.

Brenselcellen har blitt håndtert ved at ladeansvarlig i prosjektet har skrudd brenselcellen av ved ukens slutt (torsdag ettermiddag), og på igjen mandag morgen.

Brenselcellen stått i idle-modus gjennom arbeidsuken og vært tilgjengelig for å levere strøm til byggestrømskap og ladere tilkoblet energistasjonen ved behov.

Tilgjengelighet – oppetid:

Det har ikke oppstått noen uønskede hendelser relatert til hydrogenanlegget i prosjektet. Det har fått stå i fred uten påvirkning fra 3. parter.

Prosjektet planla å gjennomføre etterfylling av hydrogen i helg ved bytte av tank (etter arbeidstids slutt på torsdag med leveranse til anleggsplassen før oppstart, mandag morgen). Grunnet utfordringer relatert til logistikk og hydrogen tilgjengelighet, har dette kun vært mulig å gjennomføre delvis.

Perioder da maskinen ikke var tilgjengelig som følge av manglende hydrogen, er presentert i tabellen nedenfor. Røde/ lilla (fredager) tall er perioder med planlagt tankskifte. Svarte tall refererer til arbeidsdager uten tilgjengelig hydrogen.

April	Mai	Juni	Juli	August	September	oktober
22	22	7		10	6	
23	23	8		11	7	
24	24	9			8	
		24			9	
		25			27	
		26			28	
		27			29	

Figur 30 Nedetid hydrogenanlegg grunnet forsinket hydrogenleveranse. Eier: NAPON.

I hele perioden har maskinen vært utilgjengelig i 11 ukedager.

I tabellen nedenfor presenteres arbeidsdager (mandag t.o.m. torsdag (med fratrekke av ferie/helligdager) og energistasjonens tilgjengelighet hensyntatt utfordringene med å sikre hydrogentilgjengelighet. Her reflekterer "oppetid" antall dager maskinen var tilgjengelig og hadde tilgang på hydrogen i forhold til respektive måneds arbeidsdager.

Måned	April	Mai	Juni	Juli	August	September	oktober
Arbeidsdager	15	15	16	14	21	19	12
Oppetid	11	13	12	14	21	18	12
Ø Oppetid	79	87	75	100	100	95	100

Figur 31 Oppetid hydrogenanlegg. Eier: NAPON.

Basert på dette var maskinen tilgjengelig i prosjektets arbeidstid i om lag 90% av tiden. Fra juli og ut perioden var denne oppetiden rundt 98,5%.

Månedsvis tilgjengelighet:

Maskinen har vært benyttet i om lag 80 timer per uke over en periode på 24,5 uker (98 dager). Antall loggede driftstimer er 1949 timer. Det er levert 18.925 kWh. Maskinen har forbrukt 1076,5 kg hydrogen. Forbruket og energiproduksjonen per måned er oppsummert i dataanalysen i neste del.

Levering og henting av tank er utført av instruert ADR-sertifisert sjåfør. Leveringene har vært koordinert av NAPON som har overvåket tank-status og forventet kommende forbruk i kommende ukes-periode og gjennomført avtale med transportselskap og hydrogenprodusent. Planen om å benytte helgeperiodene mellom hver ukes arbeidsøkt for henting (torsdag ettermiddag) og leveranse før uken begynner (mandag morgen) er delvis gjennomført. Tanken er sendt til fylling og returnert Gran ved 8 anledninger. I prosjektet har NAPON stått for tilkobling/ frakopling av tank. Etter utskifting av tom tank med ny, har ladeansvarlig på anleggsplassen stått for oppstart med noen få unntak.

Grunnet veldig varierende forbruk av hydrogen per dag og uke i prosjektet, har det vært vanskelig å forutse når det er hensiktsmessig å fylle hydrogentanken. Det er ikke gunstig å fylle tanken før den er relativt tom. Leverandøren av tank anbefaler å ikke tømme denne til under 20 bar noe som samsvarer med rundt 10 % av kapasiteten (gravimetrisk). Rent praktisk har dette vært vanskelig å oppnå. Tanken har derfor vært levert med et resttrykk mellom 30 og 60 bar tilsvarende henholdsvis 16 og 32 % av tankens totale kapasitet. I snitt er tanken levert med et resttrykk på 45 bar. Tabellen nedenfor viser hvordan tankens kapasitet har blitt utnyttet.

	350 bar	200 bar	200-45÷145 bar
Kg H ₂ (ved 15 °C)	356	222	166
Utnyttelsesgrad (δ)	100	62,5	47

Figur 32 Trykk og lagringskapasitet hydrogentank. Eier: NAPOP.

Merk: På grunn av forsinkelser knyttet til utstyr for trykkregulering, kunne tanken anvendt i prosjektet kun fylles til 200 bar. Som følge av begrensningen i prosjektet med kun 1 tank tilgjengelig samt at bytte av tank måtte skje når anlegget ikke var i drift (etter arbeidstid torsdag og før oppstart mandag), er tankbytte ofte gjort når tanken fremdeles har inneholdt vesentlig mengder med hydrogen.

I perioden har maskinen eller hydrogenbrenselcellen hatt 100% tilgjengelighet. Det har ikke oppstått alarmer eller driftsstans. Det har heller ikke vært behov for vedlikehold i perioden. Maskin med tilhørende infrastruktur har imidlertid blitt periodisk ettersett og kontrollert i henhold til NAPOPs prosedyrer (inkludert funksjonskontroll, lekkasjekontroll og kontroll av etablerte tiltak (inngjerding med annet).

Nedetid som har oppstått som følge av periodisk manglende tilgjengelighet av hydrogen kunne vært begrenset/ eliminert ved bruk av 2 tanker.

Produksjon og forbruk:

I perioden fra 04.04.2024 til og med 20.10.2024 har maskinen mistet kontakt med nettet i noen perioder. Følgelig mangler registrert data for om lag 11% av perioden. Registrert/ rapportert forbruk av hydrogen i perioden med tilhørende leveranse av elektrisitet er presentert i tabellen nedenfor.

Periode	Forbruk (kg H ₂)	Produksjon (kWh)
April	198	3180
Mai	120	1790
Juni	202	3629
Juli	97	1708
August	153	3166
September	218	3979
Oktober	88,5	1473
SUM	1076,5	18925

Figur 33 Energiproduksjon fra hydrogen. Eier: NAPOP.

I snitt har maskinen hatt en virkningsgrad på 52%.

Hydrogenleveranser – utfordringer i logistikk:

Det er få produsenter av grønt hydrogen i Norge i dag og hvert anlegg har en begrenset produksjonskapasitet. Dette gjør at det er vanskelig å bestille fylling av hydrogentank på kort varsel og forvente å få en rask levering over eksempelvis en helg, noe som har vært ønsket praksis i prosjektet.

NAPOP har benyttet Hydrogen Solution AS (HYDS) som leverandør av hydrogen. HYDS hadde i april 2024 to produksjonsfasiliteter for grønt hydrogen henholdsvis på Stord (500 km fra Gran) og Kaupanes (550 km fra Gran). Begge disse anleggene er levert av samme leverandør (Green Hydrogen Systems (GHS)). Som reserve har NAPOP etablert Asko, Trondheim (425 km fra Gran) samt Nippon Gases, Rjukan (206 km) som leverandør (Nippon har begrenset kapasitet for eksterne kunder og Asko produserer primært til eget behov og har kun periodisk overkapasitet som kan leveres til tredjepart).

I prosjektperioden har HYDS hatt nedetid som følge av samme type feil/ utfordringer på begge sine anlegg. Dette har delvis blitt håndtert av leveranser fra Asko. Imidlertid har Asko hatt nedetid på sitt anlegg som følge av vedlikehold. Disse utfordringene kombinert med

manglende redundans med tanke at prosjektet kun har hatt én tank til rådighet, har ført til forsinkelser i hydrogenleveranser til prosjektet og dermed til nedetid.

Det er svært viktig å ha flere hydrogenleverandører å basere seg på for å redusere forsinkelser i leveransene. Underveis i prosjektet (som følge av erfaringene med ustabil leveransekapasitet hos produsent), ble det vurdert å ha to hydrogencontainere i rotasjon for å etablere redundans. Årsaken til at dette ikke var inkludert i prosjektet i utgangspunktet, var som følge av at anlegget (prosjektet Miljøgate Gran) har hatt strømløse fra nett og følgelig en redundans i nettet. Prosjektet gjorde en vurdering underveis med tanke på anskaffelse av en ekstra tankcontainer. I lys av allerede etablert redundans samt fra et kostnadsperspektiv, ble dette ikke gjennomført.

Det er også svært begrenset tilgang på transportaktører som har ADR kjøretøy/ sjåfører (godkjent for transport av farlig gods som bl.a. kan være hydrogen), som også er utslippsfrie/fossilfrie. I prosjektet på Gran er det benyttet to transportaktører (Haugland Transport AS/ Litra AS). Kjøretøyene benyttet har benyttet biodrivstoff.

Ved enkelte tankbytter har forsinkelser også oppstått som følge av manglende tilgjengelighet av ADR kjøretøy/ sjåfør.

Ved fylling av hydrogen, har prosjektet opplevd store forsinkelser som i utgangspunktet ikke var forutsett. En av disse er begrensninger i kompressorkapasitet hos leverandør. Dette medfører lang fylletid (mellom 20 – 30 timer). Siden prosjektet har basert seg på 1 tank som fylles ved retur i forbindelse med helg, har dette fått en konsekvens i relasjon til kostnader hos leverandør så vel som kostnader knyttet til lang ventetid for sjåfør. I forhold til transport, har prosjektet også opplevd forsinkelser/ kostnader som følge av pålagt hviletid (lange transporter/ lang ventetid hos produsent).

I tillegg til transport tilkommer kostnader knyttet til oppbevaring og lagring av hydrogen. I prosjektet er benyttet 9 gassylindre av type 4 (komposittanker med gasstett innerliner) med et samlet volum på 14850 liter med en trykkgrensning på 350 bar arrangert i en 20 ft. container. På grunn av forsinkelser har NAPOP i prosjektet benyttet et trykkkontroll-arrangement med en begrensning på 200 bar (som nevnt over). Underveis i prosjektet, har imidlertid egnede trykkreguleringsenheter for håndtering av inntil 380 bar blitt tilgjengelige.

Tanken benyttet i prosjektet er ikke representativ for de arrangementene som vil benyttes for kommersiell anvendelse av hydrogen i bygg/ anleggsektoren. Disse vil ha operasjonstrykk på 350 (380) bar eventuelt 700 bar og ha en høyere volumkapasitet (om lag 20% høyere).

Imidlertid ansees 350 bar å bli det mest sannsynlige trykkgrensning for operasjoner i bygg- og anleggsektoren. I tabellen nedenfor presenteres anvendt tank sammenstilt med alternative tankarrangementer og antall respektive transporter.

Tank, trykk/ størrelse	Kapasitet @ 10 °C	Antall transporter / utkjørt distanse
200 (350) / 20 ft.	222/ 356	7 / 8400
350 / 20 ft.	435	3 - 4 (3.12) / 3744
350 / 40 ft.	1037	1 -2 (1.33) / 1596

Figur 34 Sammenligning av ulike tankstørrelser. Eier: NAPOP.

Med utgangspunkt i ovenstående, er kostnadene knyttet til Gran Hadeland som gjennomført satt opp. Disse er så sammenliknet med en mere reell konfigurering der moderne hensiktsmessige tankløsninger benyttes, se tabellen under:

Scenario	H ₂ pris/ kg	Transport	Pris/ kWh
FoU prosjekt	129,50	268.800	23,45
350 bar / 20ft	129,50	119.000	15,50
380 bar / 40 ft.	129,50	51072	12

Figur 35 Kostnader for hydrogen. Eier: NAPOP.

Kostnader knyttet til kontainer, generator samt kabler/ skap er ikke tatt med her.

Brenselcellen benyttet har en oppgitt virkningsgrad på 50% som er typisk for denne typen. Prosjektet har målt virkningsgraden til rundt 52%. Resterende energi i hydrogenet avsettes i hovedsak til varme med en andel til maskinens egen drift (ca. 8%). Det avgis altså anslagsvis 40% til varme. I prosjektet har maskinen da produsert om lag 14.350 kWh varme.

Bygg- og anleggsektoren har omfattende behov for oppvarming, tørking og teletining. Disse er delvis sesongavhengig. Videre er innføringen av spesielt lavkarbonbetong en økende utfordring. Denne krever oppvarming ved lavere temperaturer enn 15 °C og innebærer dermed et sesong-uavhengig behov (i Norge). Varmebehovene er ulike. Noen krever varme via luft mens andre krever varme via væske. Varme fra en brenselcelle kan effektivt og enkelt utnyttes til behov som krever varmluft. En samlet virkningsgrad for en hydrogenbasert energistasjon kan i slike optimale tilfeller komme opp i rundt 90%.

NAPOP arbeider med utvikling av kombinasjonsløsninger der denne varmen utnyttes i kombinasjon med en forbrenningsteknologi (CTC) som kan gi store varmemengder (også væskebåren) uavhengig av størrelsen på brenselcellen.

Erfaringene fra bruk av hydrogenbasert strømproduksjon i prosjektet kan oppsummeres slik:

- Teknologien er pålitelig og moden, og kan drive en anleggs plass uten nettilkobling.
- Produksjon av grønt/ bærekraftig hydrogen er nå begrenset til noen geografier.
- Tidlige produksjonsanlegg har vist seg å ha utfordringer i forhold til oppetid.
- Varme-energi fra brenselceller kan enkelt nyttiggjøres.
- Kostnader for fylling og levering av hydrogengass blir høy med få produksjonssteder og lange transportavstander.
- Få produksjonssteder og utfordringer med transport gjør leveranse/påfylling av hydrogengass usikkert, med risiko for nedetid på hydrogenanlegget.

Mobilisering av strømproduksjon fra en hydrogenbasert energistasjon kan gjennomføres på en dag. I tilfeller slik erfart i Miljøgate Gran, der en i ettertid ble klar over konsesjonskrav relatert til nett-tilkobling som kunne medføre behandling hos NVE med lang behandlingstid (3-6 mnd.), ville energistasjonen kunne drifte anlegget etter 1-2 dager.

Kostnader ved bruk av hydrogen ved Gran Hadeland har vært rundt 18,00 kr/kWh ekskludert kostnader knyttet til tank/energistasjon og med full utnyttelse av tankens trykkapasitet. Medtatt slike leiekostnader antatt alminnelige avskrivninger for denne type anleggsutstyr ville kostnaden ligget på rundt kr 29,90. Ved en mer optimal hydrogenlogistikk (bruk av to tanker i sirkulasjon reduserer transportkostnadene med 50%) vil denne kostnaden komme ned til om lag 26 kr/kWh (inkludert konteinerleie og leie av generator).

I situasjoner/ perioder der varme kan utnyttes, vil energikostnaden komme ytterligere (betydelig) ned. Imidlertid ville kostnader relatert til tank/ konteiner komme i tillegg.

Hydrogen er en betydelig energibærer i EUs fremtidige energimix og inkluderer bruk i samferdsel, til husholdningene og ikke minst i bygg-/ anleggsektoren. Eksempelvis er det besluttet (og påbegynt) en utbygging av hydrogen fyllestasjoner i hele hovedveinettet med en tetthet på minimum 1 fyllestasjon per 200 km. Norge vil påvirkes av dette og en vil se at hydrogen vil finne anvendelser på alle de områdene der en i dag benyttes fossile energikilder. Det vil derfor utvikles hydrogenproduksjon med distribusjonsnett for distribuert hydrogen i hele landet. Dette gjør det mulig å etablere kostnadseffektive hydrogen distribusjonsløsninger slik at hydrogen blir en tilgjengelig energibærer på bygg-/ anleggs-plassene.

Batteriteknologienes begrensninger sees nå ved at tilbudet for utslippsfrie større anleggs-maskiner (typisk fra 30 – 40 tonn og over) inkluderer hydrogenløsninger. I motsetning til batteriteknologier, påvirkes ikke lagret energinivå/ energitettheten av lave temperaturer i hydrogenbaserte systemer. Som følge av disse forholdene, antas det at hydrogen vil etablere seg som en vesentlig energibærer i bygg- og anleggsektoren.

Kostnader – prosjektets produksjon:

Ved fylling av hydrogen, har prosjektet opplevd store forsinkelser som i utgangspunktet ikke var forutsett. En av disse er begrensninger i kompressorkapasitet hos leverandør. Dette medfører lang fylletid (mellom 20 – 30 timer). Siden prosjektet har basert seg på 1 tank som fylles ved retur i forbindelse med helg, har dette fått en konsekvens i relasjon til kostnader hos leverandør så vel som kostnader knyttet til lang ventetid for sjåfør. I forhold til transport, har prosjektet også opplevd forsinkelser/ kostnader som følge av pålagt hviletid (lange transporter/ lang ventetid hos produsent).

Prosjektets hydrogenleveranser er vist i tabellen nedenfor.

Dato	Leverandør	Kg H ₂	Pris/kg	Pris, H ₂ trykksatt	Tillegg*	Totalt
27.03.24	Everfuel	229	75	17.175	45.325	62.500
26.04.24	Asko	179	110	30.548,56	31.951	62.500
24.05.24	Nippon	191	155,8	29.107,65	44.201,35	73.309
09.06.24	HYDS	186	123,80	19.690	38.040	57.730
27.06.24	HYDS	219	149,27	23.026,80	26.203,20	49.230
24.08.24	HYDS	195	149,45	32.729,55	12.873,45	45.603
09.09.24	HYDS	177	144,62	25.597,74	62.757,26	88.355
29.09.24	HYDS	197	128	25.088	33.267	58.355
SUM		1577	129,50	202.963,30	294.618,70	497.582

Figur 36 Oversikt hydrogenleveranser. Eier: NAPOP.

*Tilleggs kostnader assosiert med ekstra personell i helg for fylling/ tilpassinger av utstyr ved tilkobling. M.fl.

Tabellen viser mengde hydrogen levert. Ved prosjektets avslutning var det om lag 100 kg hydrogen i tanken. Mengde levert er om lag 35% mer enn benyttet for produksjon av elektrisk energi (som følge av retur av tank som ikke er tom. Bruk av to tanker vil eliminerer dette).

I lys av prosjektets natur (FoU) og tatt i betraktning utfordringer knyttet til begrenset leveranse av hydrogen, er det påløpt tilleggskostnader i forhold til hydrogenleveransene. I tillegg til de presentert over (ekstra personell ved fylling/ ventetid for transportør o.l.), inkluderer slike også utstyr og tilpasninger, administrasjonskostnader relatert til logistikkutfordringer m.m.

Avstanden mellom Gran og produksjonsfasilitetene benyttet har vært betydelige. Transport inkludert returtransport har utgjort en kjørestand på anslagsvis 8000 – 8500 km. En enkel leveranse har utgjort inntil 1200 kjørte km.

I gjennomsnitt har netto pris prosjektet har betalt for hydrogen vært 129,50 kr/kg. Netto hydrogenkostnad per produsert kWh har variert fra 4,3 – 9 kr/ kWh (netto kostnad hydrogen delt på produsert elektrisk energi hensyntatt brenselcellens virkningsgrad).

Elektrisk produksjon med bruk av hydrogen består av ulike kostnadskomponenter. Disse inkluderer:

- Netto hydrogenkostnad (som levert, komprimert fra leverandør).
- Transport.
- Emballasje/ tank(er).
- Forsyningskontroll (trykk/ mengde).
- Energistasjon.
- Kabler og skap.

Isolert til FoU-prosjektet medtatt alle kostnader over med utgangspunkt i innkjøp av 1577 kg H₂, en produksjon på 18.925 kWh samt kostnader av leie av utrustning og kjøp av kabler/ skap som avskrives i prosjektet, er produksjonen i prosjektet gjennomført til Kr.: 103,35/ kWh.

Tatt hensyn til at prosjektet utnyttet 1076,5 kg H₂ for produksjonen og antatt kabler/ skap avskrives over 10 år, reduseres kostnaden til Kr.: 90/ kWh.

Utrustningen prosjektet har benyttet har hatt en kostnad tilsvarende en 100% avskrivning på 24 mnd. Normal levetid på hydrogentanker er 15 – 20 år. Antatt avskrivningsperiode på en brenselcelle er 5 år. Hensyntatt dette, er produksjonskostnadene for hydrogenbasert elektrisk produksjon etter oppsettet på Gran kr.: 39,90/ kWh.

Ved bruk av hele tankens potensiale kapasitetsmessig (350 bar) samt en bedre tilpasset tank men innenfor samme størrelses- og kostnadselement, økes kapasiteten uten kostnadsøkning. Dette bidrar til en reduksjon i antall transporter. Hensyntatt dette er produksjonskostnadene for hydrogenbasert elektrisk produksjon kr.: 31,50/ kWh

Antatt høyere tetthet av produsenter av hydrogen og redusert transportkostnad begrenset ytterligere til 200 km t/r, ville produksjonskostnadene reduseres til Kr.: 27,43/ kWh.

Hydrogenprisen har hatt stor variasjon i prosjektet, fra Kr.: 75,00 – Kr 155,80. Antatt en fremtidig hydrogenpris sammenliknet med biodiesel, vil denne ligge på mellom Kr 75 – 90 kr/ kg. Kostnaden av produsert elektrisk energi fra hydrogen vil da gjennomføres for Kr.: 24,30 – 25,00/ kWh.

Ved bruk av to konteinere hentes tom konteinere og erstattes med ny fyll konteinere i samme transport. Transportkostnadene halveres. Hydrogenprodusert elektrisk energi kan da gjennomføres for Kr.: 23,80

I Norge oppføres det rundt 650 – 700 store bygg/ år. Disse har behov for varme i snitt på mellom 2800 – 3500 timer for tining/ tørking/ oppvarming/ herding. NAPOPs ES leverer om lag 30% av tilført energi som varme. I perioder med behov for varme der denne restvarmen benyttes, reduseres energikostnadene til Kr.: 18/ kWh.

5. Nattlading av maskiner og prov.strøm langs anleggsbeltet

De store beltegraverne i prosjektet, 3 stk. Cat 320 Z-line, har blitt ladet om natten fra byggestrømskap som er etablert langs anleggsbeltet. Den opprinnelige planen var at beltegraverne skulle nattlade også fra hver sin mobile batterihenger. Dette var for å slippe å etablere og flytte lavspenkabler og byggestrømskap i graveområdet, da dette ble vurdert som upraktisk. I utgangspunktet skulle det kun være provstrøm og ladeutstyr på de to riggplassene i prosjektet, og mobile batterier skulle brukes til lading av maskiner utenfor riggplass.

Hovedårsaken til at det ble besluttet å etablere byggestrøm utenfor riggområdene etter at prosjektet var igangsatt, var at det var behov for teletinging helt i begynnelsen av gravearbeidene i februar 2024. Elektrisk teletiner hadde behov for 3 stk. 63 A kurser på 400 V, et effektbehov på ca. 108 kW for å tine grunnen ved rundkjøring der de første gravearbeidene skulle gjennomføres. Teletineren måtte stå på 24 timer i døgnet over flere døgn i strekk for å tine grunnen før graving, og dette energibehovet er ikke mulig å dekke med bruk av batterihengere. Batterihengerne i prosjektet kunne maksimalt ha gitt 80 A på 400 V ut på industrikontakt, altså maksimalt 55 kW i 3,5 time.

Dermed ble det besluttet å etablere et 250 A byggestrømskap ved rundkjøring forsynt med kabel direkte fra lavspenningsnett i prov.nettstasjonen i prosjektet, ca. 230 m unna. Ut fra skapet var det 3 stk. 63 A industrikontakter, som da var tilgjengelig for nattlading av maskiner der de sto langs gravetrase etter teletiningsperioden. Etter at denne infrastrukturen var etablert, var det gunstig å fortsette med å legge prov.strøm frem til maskinene for nattlading.

Fordelen med å ha byggestrømskap med kapasitet til nattlading av maskiner tilgjengelig der maskinene står er at maskinene blir fulladet i løpet av natten. Cat 320 Z-line maskinene har 300 kWh batterikapasitet og ved lading på 63 A/43 kW i 9 timer er de fulladet. I tillegg har det i prosjektet vist seg å være mer stabilt å lade fra byggestrømskap, siden det ikke blir påvirket av software og kommunikasjon mellom lader og maskin som kan feile og avslutte ladingen uforutsett. Nattlading av Cat 320 Z-line-beltegravere fra batterihengere på AC industrikontakt 125 A/400 V har vært testet enkelte netter og dette har teknisk fungert fint og uten ladestans.

Dersom nattladingen skulle foregått fra mobile batterihengere ville maskinens batterier kun bli 60 % ladet ettersom energien lagret i batterihengeren er 192 kWh, mens batteriet i maskinen er 300 kWh. I tillegg ville det vært behov for en ekstra flytting av batterihengeren på kvelden og morgenen, og batterihengeren ville vært tom om morgenen. Anlegg Øst Entreprenør sin opprinnelige plan var å hurtiglade beltemaskinene en time kl. 19-20 om kvelden og en time kl. 6-7 om morgenen for å sikre at maskinene var fulladet før arbeidsdagens start kl. 7. Dette ville ført til ekstra arbeidstid for ladeansvarlig hver arbeidsdag som utgjør en stor kostnad.

Det vil dermed i fremtidige prosjekter være nyttig å sammenligne kostnaden for å etablere provstrøm-fordeling langs gravetraseen, med kostnaden for flytting av batterihenger hver dag. Dette vil avhenge av avstander inne på anlegget, og mellom anlegget og tilknytningspunkter fra nettet, driften i prosjektet og lengden på prosjektet.

6. Datahentning i praksis

Driftsutfordringene knyttet til lading og provstrøm i prosjektet har i all hovedsak vært relatert til softwareløsningen for å måle energidata per maskin i prosjektet. Utfordringen har vært at hurtiglader og batterihengere i prosjektet ikke hadde OCPP-støtte fra produsentene på plass ved prosjektstart. Det tok mer tid enn antatt å etablere støtte for OCPP og få dette til å fungere stabilt. Først ca. 3 måneder ut i prosjektperioden fungerte integrasjonen slik at ladeappen kunne brukes til autentisering operativt. Det har allikevel i perioder vært ladeproblemer som trolig har skyldtes mangelfull integrasjon mellom ladere og app, slik at autentiseringen har måttet bli avskrudd for å ikke gå utover driften.

For de andre små laderne i prosjektet var OCPP allerede implementert fra produsentene og for disse fungerte integrasjonen mot ladeapp og plattform godt fra begynnelsen. Dette viser at det er mulig, ved korrekt implementering av OCPP, å bruke en ladeapp til autentisering og datahentning på bygg- og anleggsplass.

Det finnes også flere andre måter å hente data fra energibruk fra elektriske maskiner og utslippsfrie prosjekter. I prosjektet har Anlegg Øst Entreprenør valgt å bruke en plattformleverandør i tillegg, som henter data direkte fra hver maskin over deres API. Dette krever at eieren av maskinen tillater deling av data og tilgjengeliggjør sine APIer, så de kan brukes i entreprenørens valgte plattform. Det varierer mellom eiere av maskiner hva de vil dele per i dag. De fleste utleieselskapene og maskinprodusentene har egne portaler og flåtestyringssystemer, hvor de samler og tilbyr data til sine kunder som del av sitt produkt.

Det er ikke alle maskinene i prosjektet på Gran som har vært mulig å integrere mot plattformen og integrasjonen mot maskiner har tatt tid i begynnelsen av prosjektet. Det er altså ikke enkelt å få data fra alle maskiner inn i samme system for et prosjekt fra start, men dette vil forhåpentligvis bli bedre etter hvert som byggherrer og entreprenører krever dette fra maskinleverandørene de bruker.

Det er også sannsynlig at maskinene i økende grad vil dele datapunktet EV ID, altså identifikasjonsnummeret for sin maskin, til laderen i sin kommunikasjon mellom maskin og lader. Dette skjer automatisk for flere av maskintypene i dag, men i hovedsak for serieproduserte elmaskiner f.eks. Liugong hjullasteren som er brukt på Gran. For de ombyggede maskinene, slik som Cat 320 Z-line, er dette ofte ikke tilgjengelig data, men det vil trolig komme fremover. Når EV ID sendes til laderen fra alle maskiner vil det erstatte behovet for RFID brikker og ladeapper for å vite hvilken maskin som lader. Dette vil også være nyttige for autentisering for å regulere hvem som får lov til å lade fra ladeanlegget og hvem som skal betale for ladingen.

3.2 Læring og ting vi kunne gjort annerledes

1. Valg av elektriske maskiner:

For de elektriske maskinene har det primært vært driftsutfordringer med beltegraverne som er ombygget fra diesel til elektrisk. For hjulmaskinene og lastebilene i prosjektet, som er levert som elektriske fra produsent, har det vært få problemer både med drift og lading. For fremtidige prosjekter er det anbefalt å bruke maskiner som er bygget som elektrisk heller enn ombyggede maskiner.

2. Autentisering/datahenting fra ladere:

Dersom vi ikke hadde benyttet ladeapp som autentisering, via OCPP protokollen, ville trolig de alle fleste ladeproblemene fra batterihengerne og kraftig hurtiglader på Gran vært unngått. Andre alternative løsninger er bruk av RFID brikker, altså fysiske brikker som f.eks. kan henge på nøkkelknippe per maskin og som må scannes for at ladesesjonen skal starte. Ulempen med denne løsningen hadde vært at prosjektet ikke kunne samlet data fra ulike ladere til én dataplattform. Det ville blitt mange datakilder som måtte manuelt sammenstilles. Fremover bør leverandører av ladere og maskiner samle seg om og implementere noen standard APler og kommunikasjonsprotokoller for deling av data slik at datahenting for utslippsfrie byggeplasser ikke kommer til hinder for effektiv lading og drift i prosjekter.

Det er også andre måter som kan brukes som underlag for energirapportering til byggherre som ikke går via ladeutstyr, bl.a. totalt energiforbruk til byggeplassen hentet fra strømmålerne i hovedsentral, antall maskintimer per ulike maskiner registrert i timeføringssystem, eller å hente data fra maskinenes portaler der det finnes.

3. Ladeansvarlig:

Det har vært svært nyttig å ha en ansvarlig ressurs med ADR godkjenning og BE førerkort som har kunnet ta ansvaret for å flytte batterihengere og sørge for at maskinene har blitt ladet i pauser og om natten. Denne rollen anbefales for andre utslippsfrie prosjekter som skal bruke batterihengere.

4. Support:

Det var vært svært nyttig å ha en tilgjengelig supportfunksjon per telefon gjennom hele prosjektet i hele anleggets arbeidstid fra kl. 7-19. Supportfunksjonen har blitt hyppig brukt og denne har kunnet løse og feilsøke problemer løpende. Det er svært nyttig at hengerne og laderne har vært overvåket og styrt remote slik at det meste av feilsøking kan gjøres uten utrykning til prosjektet.

5. Hydrogenlogistikk:

Hvis vi skulle gjennomført prosjektet på nytt hadde vi benyttet en 40 fot container med 350 bar trykk i stedet for 20 fot container med 200 bar trykk. Dette ville gitt mulighet for lagring av 4 ganger så mye hydrogen i prosjektet og hadde redusert behovet for transport til kun 1-2 tankfyllinger. Da ville problematikken med å estimere tidspunkt for tankfylling og forsinkelser/nedetid fra hydrogenprodusent vært unngått. Man må også ha en plan B for alternativt produksjonssted og forsikre seg om at transporten går som planlagt.

6. Teletining og annet elektrisk utstyr med i plan for provstrøm:
Teletining var ikke med i den opprinnelige maskinlisten som var utgangspunktet for planleggingen av provstrøm i prosjektet. Det er viktig å ikke bare legge en plan for lading og strøm til anleggsmaskiner, men også til annet elektrisk forbruk i prosjektet som brakker, varme, teletining, boring, kompressor, lifter, kran og annet. Flere av disse har et stort effektbehov og et stort energibehov som kan være dimensjonerende for hele provstrømsanlegget, og gjøre etablering av provnettstasjon eller provstrøm ut i hele anleggsområdet nødvendig for å få til å gjennomføre alle arbeidsoperasjoner elektrisk.
7. Etablere provstrøm langs gravetrasé fra start: Det ble vurdert som praktisk å slippe å etablere provstrøm rundt på anleggsplassen, men det viste seg i gjennomføringen i prosjektet mer hensiktsmessig å ha byggestrømskap langs hele gravetraseen. Ettersom prosjektet var langt i tid, ca. 11 måneder og avstandene ned til graveområdene var maks ca. 200-300 m var det gunstig driftsmessig og kostnadsmessig å ha provstrøm i linja, og dette burde dermed vært på plass fra start for å unngå forsinkelse for teletining og stabil nattlading for beltegraverne.

3.3 Hva har fungert bra i prosjektet

1. Provisorisk strømanlegg:
Selv om nettstasjonen i prosjektet ble 2,5 uker forsinket pga. prosessen med å få konsesjon, er dette en svært kort forsinkelse med tanke på at beskjeden om at konsesjon var påkrevet kom kun litt over 1 måned før anleggsstart, og saksbehandlingstiden hos NVE var estimert til 3-6 måneder. Dette kunne fått svært alvorlige følger for fremdriften i prosjektet. Grunnet raskt og effektivt samarbeid mellom elektroentreprenøren og nettselskapet med å utarbeide en konsesjonssøknad iht. kriteriene, og godt arbeid fra prosjektets side med å få saken prioritert hos NVE, lyktes prosjektet i å få konsesjonen på plass på kun 4 uker. Netstasjonen og trafo har vært dimensjonert stor nok til å dekke effektbehovet i prosjektet. Det har ikke vært nedetid på provisorisk nettstasjon.
2. Utslippsfri drift:
Så godt som alle arbeidene i prosjektet har blitt gjennomført med elektriske maskiner. Det har vært elektriske gravemaskiner og lastebiler tilgjengelige fra utleieselskaper og transportleverandør. De elektriske maskinene som ikke har vært tilgjengelig er veghøvel, en stor nok vals og asfaltutlegger. Disse maskinene har vært dieseldrevne i prosjektet. Totalt sett er 94% av alle maskintimer og 94% av alle kjørte km i prosjektet utført med elektriske maskiner og kjøretøy.
3. Fremdrift og tidsbruk:
Selv om det har vært nedetid på særlig beltegraverne i prosjektet og utfordringer med ladeapp/software for ladere har prosjektet blitt gjennomført på tilnærmet planlagt tid og med planlagte antall maskiner. Miljøgata på Gran har blitt ferdigstilt på ca. 11 måneder, tross elektrisk drift, bruk av ny teknologi og kalde vintertemperaturer. Prosjektet ble avsluttet ca. 3 uker etter estimert frist 30. november, men kom i gang også 2,5 uker senere enn planlagt pga. forsinkelsen ved konsesjonsbehandling for provisorisk nettstasjon.

4. Elektriske maskiner:

De elektriske hjulmaskinene fra Liugong og Develon har hatt god driftstid og har tatt imot lading uten problemer. De elektriske lastebilene fra Volvo i prosjektet har også fungert godt i drift. Dette viser at det er fullt mulig å ha god drift med elektriske maskiner etter hvert som maskinprodusentene produserer maskinene elektriske fra bunnen, slik at man slipper å bygge hver maskin om fra diesel til elektrisk. De maskinene som er produsert som elektriske originalt synes å være bedre utviklet og testet, og kvaliteten har vært stabil fra produsenten. Leverandører som Liugong og Develon produserer allerede både hjulmaskiner og beltemaskiner som elektriske, og øvrige leverandører som Cat og Volvo vil trolig komme etter. Selv om utslippsfrie anleggsprosjekter er i et begrenset omfang i dag er det andre bruksområder som driver frem behovet for elmaskiner, bl.a. tunnel- og gruveprosjekter.

5. Ladeutstyr:

Ladeutstyret som ble planlagt for prosjektet har vært dekkende for behovet i den perioden med mest intensivt arbeid. Oppsettet med hurtiglader for massetransport og batterihengere for hurtiglading av beltegravere, samt byggestrømskap for natlading av beltegravere er et eksempel som kan gjenbrukes i andre utslippsfrie prosjekter. I de fleste periodene har ladeapp fungert, og i noen perioder har den vært skrudd av for å unngå nedetid for prosjektet. Da har lading av maskiner, når maskinens batterier har vært i orden, fungert godt med det utstyret som har vært tilgjengelig i prosjektet.

6. Batterihengere:

Bruk av batterihengere for hurtiglading av beltegravere er demonstrert i prosjektet, og har vært viktig for å få til en effektiv drift på anlegget. Elektriske beltegravere på 25 tonn bruker mye energi om de skal belte mye frem og tilbake, sammenlignet med å stå kontinuerlig å grave. Bruk av batterihengerne har sørget for en rimelig effektiv hurtiglading gjennomsnittlig 2 ganger per dag av 3 beltegravere rundt om på anleggsplassen.

7. Ladeeffekt:

Både batterihengerne og kraftig hurtiglader har levert tett opptil maskinens maksimale ladeeffekt gjennom hele ladesesjonen. Ladeeffekten synes å bli lite påvirket av utetemperatur. Ladeutstyret i prosjektet har tilgjengeliggjort den effekten maskinene har kunnet ta imot og slik bidratt til mest mulig effektiv drift og mest mulig driftstid for maskinene i prosjektet.

8. Support:

Det har vært en tilgjengelig support-funksjon for ladeanlegget i prosjektet hele arbeidsdagen fra kl. 7 til 22 på hverdager. Supportfunksjonen har kunnet feilsøke og løse de fleste utfordringene som har oppstått, som har hatt med lader/ladeapp å gjøre, remote og derfor relativt raskt. Det har vært nedetid for bruken av ladeanlegget, men alle problemer har kunnet bli tatt tak i og løst så raskt som mulig løpende gjennom hele prosjektet.

9. Hydrogen:

Hydrogenbrenselcellen har hatt 90% oppetid og har i praksis ikke hatt driftsutfordringer. Dette viser at brenselcellen er en moden teknologi som fungerer bra på bygg- og anleggsplass. Hydrogenanlegget har vært raskt å rigge opp og ned, og krever ingen konsesjon/tillatelse fra offentlige myndigheter. Prosjektet på Gran har demonstrert at dette er en teknisk løsning som kan løse behovet for utslippsfri forsyning av strøm og varme på en anleggsplass uten nett tilgjengelig. Prosjektet har også vist at det finnes leverandører

som kan levere hydrogen, transport og utstyr for hydrogenlagring og strømproduksjon i Norge i dag. Vi ser også at antall leverandører og produksjonssteder for hydrogen vil øke de kommende årene i Norge, og at etterspørsel for hydrogen fra industri, transportsektoren og bygg- og anlegg vil drive frem en mer kostnadseffektiv hydrogenverdikjede.

10. Læring og samarbeid:

Prosjektet har lyktes i å samarbeide mellom alle parter for å fremme og utveksle læring om planlegging og drift av et utslippsfritt anleggsprosjekt. Det har vært tett dialog mellom Statens vegvesen, Anlegg Øst, Hafslund og NAPOP i prosjektet – både i planleggingsfasen og i drift, og på ulike nivåer i prosjektorganisasjonene. Alle parter har deltatt på jevnlig statusmøter for å være informert om hva som har fungert bra og mindre bra gjennom prosjektet og bidratt med data til en felles læringsrapport. Gjennom prosjektet har det også blitt arrangert totalt 3 offisielle demonstrasjonsdager for 18 norske eksterne entreprenørselskaper, samt besøk med Startuplab, Clean-Con, CO-PI, Sintef, Oslo kommune og andre organisasjoner og leverandører som jobber med å tilby eller fremme løsninger for utslippsfrie anleggsplasser. Det har vært besøkende gjester fra bl.a. USA, Japan, Australia, Danmark og andre europeiske land. Partene i prosjektet har gjort et godt arbeid med å dele erfaring og læring og fremme utslippsfri anleggsdrift i bransjen og eksternt.

4. Energi- og effektanalyser

En sentral del av pilotprosjektet har vært å samle inn detaljerte data om energi- og effektforbruket for å sikre en helhetlig oversikt og legge til rette for maksimal læring som kan overføres til fremtidige utslippsfrie anleggsprosjekter. Gjennom datainnsamlingen har det vært mulig å dokumentere energiforbruk, belastning på ladeinfrastruktur og effekten av ulike ytre faktorer. Analyseperioden strekker seg fra 15. januar til 19. november, som dekker i overkant av 90% av den totale prosjektperioden. Dette inkluderer hoveddelen av anleggsarbeidet og gir et representativt grunnlag for videre analyser.

I dette kapittelet presenteres en detaljert gjennomgang av energi- og effektforbruket i prosjektet, både på anleggsplassen som helhet og fordelt på de ulike maskintypene som er benyttet. Det undersøkes videre hvordan ladeutstyrets ytelse har blitt påvirket av temperaturvariasjoner, spesielt i vintermånedene hvor det ble registrert ekstreme temperaturer. I tillegg analyseres fordelingen i bruk av ulike ladeløsninger og hvordan dette har påvirket prosjektgjennomføringen. Kapittelet har som mål å gi innsikt i sentrale erfaringer knyttet til energistyring i utslippsfrie anleggsprosjekter og identifisere nøkkelfaktorer som kan bidra til mer effektiv planlegging og drift i fremtidige prosjekter.

4.1 Energi- og effektforbruk for hele anleggsplassen

For å få en helhetlig oversikt over energiforbruket og effektbelastningen i prosjektet, vil det totale forbruket analyseres for hele prosjektperioden, per måned og per dag. I tillegg er det beregnet spart CO₂-utslipp som følge av bruken av utslippsfrie løsninger i prosjektet. Effektforbruket vil også bli analysert for å identifisere perioder med høy belastning på infrastrukturen og for å vurdere behovet for kapasitetsplanlegging i fremtidige prosjekter.

Det totale energiforbruket er målt ved hjelp av målere tilkoblet provisorisk strøminfrastruktur på riggplass 1, riggplass 2 og Lygna, samt en separat måler i hydrogenbrenselcellen. Måleren på riggplass 1 er plassert i den provisoriske nettstasjonen og dekker energiforbruket til laderne og strømskapene på riggplassen ([se skisse under kapittel 2](#)). Tilsvarende dekker måleren på riggplass 2 energiforbruket til annet utstyr som HMS-brakker, utstyrscontainere og verksted. Hydrogenbrenselcellens måler registrerer den totale energien produsert fra brenselcellen, som har forsynt deler av riggplass 2 med strøm etter april 2024.

Forbruket på riggplass 1, Lygna og hydrogenbrenselcellen har i hovedsak gått til lading av elektriske maskiner, mens energiforbruket på riggplass 2 i større grad har vært knyttet til drift av annet utstyr. I beregning av spart CO₂-utslipp vil derfor data fra riggplass 1, Lygna og hydrogenbrenselcellen benyttes som grunnlag da dette representerer elektrisk energiforbruk som ville vært dekket av diesel i et prosjekt med fossile anleggsmaskiner.

Energiforbruk for hele anleggsplassen

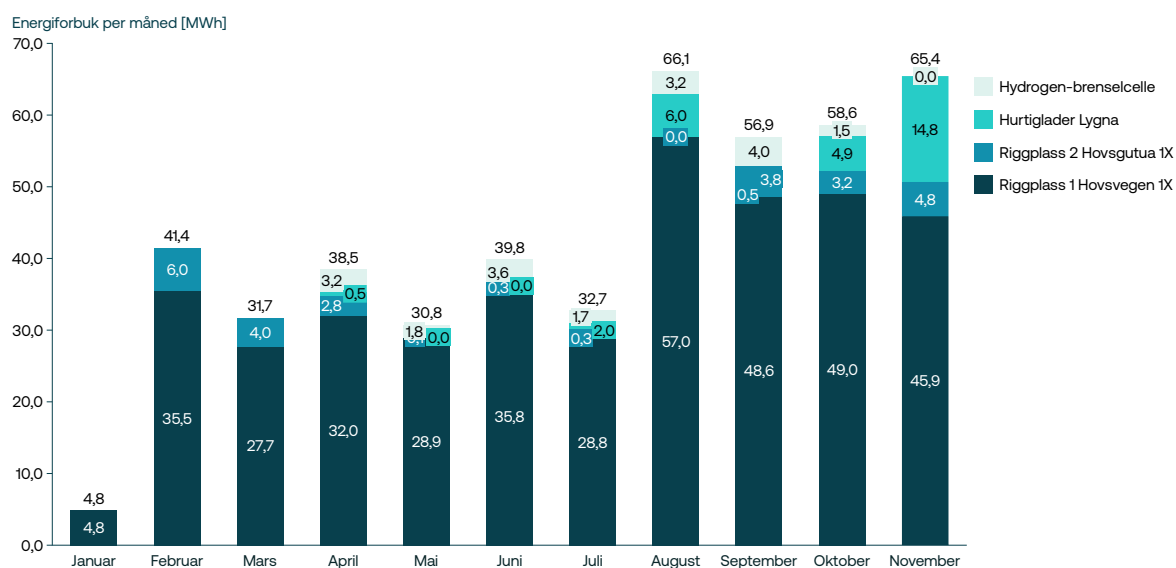
Totalt energiforbruk for anleggsplassen i prosjektperioden har vært omtrent 467 MWh. Energiforbruket har variert gjennom prosjektperioden, med tydelige svingninger knyttet til prosjektets ulike faser og aktivitetsnivå. Figur 4.1.1 viser hvordan energiforbruket har fordelt seg per måned, hvor gjennomsnittlig forbruk per måned har vært 42,4 MWh. Energiforbruket per måned varierer fra ca. 30 MWh i måneder med mindre aktivitet, som mai og juli, til ca. 60 MWh i måneder med mer aktivitet, som august-november.

Den måneden med høyest registrerte energiforbruk var august, med et totalforbruk på 66,1 MWh. Dette skyldes en kombinasjon av høy driftstid for maskinparken og uker med ekstra høy arbeidsbelastning for å sikre fremgang i prosjektet og overholde tidsplanen.

Forbruket i januar var betydelig lavere sammenlignet med de påfølgende månedene, noe som kan tilskrives at prosjektet var i en tidlig testfase med begrenset nettkapasitet og få maskiner i drift. Energiforbruket steg derimot markant i februar, da driften gikk over i en mer normal fase. Det er usikkert hva som skyldes høyere forbruk i februar sammenlignet med mars, det kan skyldes mer aktivitet for maskiner, men også lavere temperaturer i februar.

Perioder som mai og juli preges av lavere energiforbruk sammenlignet med øvrige måneder, hovedsakelig på grunn av flere fridager og redusert aktivitet. Etter sommerferien har energiforbruket økt, med høyere driftstid for hele maskinparken og et større behov for lading.

Figur 4.1.1: Totalt energiforbruk for anleggsplassen per måned fordelt på ulike målere. Eier: Hafslund Vekst.



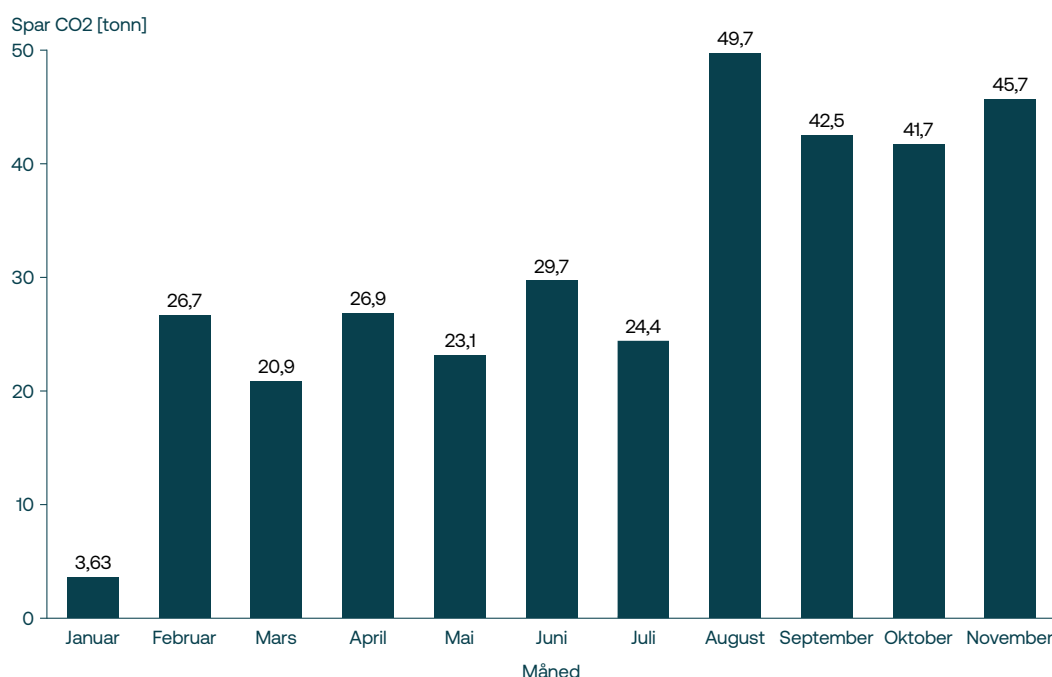
I prosjektet har det blitt oppnådd en betydelig reduksjon i klimagassutslipp sammenlignet med et tilsvarende prosjekt med konvensjonell drift. Totalt har prosjektet spart beregnet 335 tonn CO₂ gjennom bruk av utslippsfrie maskiner og infrastruktur. Figur 4.1.2 viser fordelingen av CO₂ spart per måned i prosjektperioden. Mengden CO₂ spart per måned har variert i takt med energiforbruket, med høyest utslippsreduksjon i periodene med størst aktivitet og energibruk.

For å illustrere miljøgevinsten ytterligere, tilsvarer den totale reduksjonen på 335 tonn CO₂ utslippene fra omtrent 200 dieselbiler i Norge på ett år. Dette underbygger hvor betydelige klimagevinster som kan oppnås ved å benytte utslippsfrie løsninger i anleggsprosjekter.

Beregningen av spart CO₂ er utført med utgangspunkt i følgende formel der 0,35 er estimert virkningsgrad på en dieselmotor, 10,1 kWh/l er energimengden i en liter diesel og 2,66 kg CO₂ er mengden CO₂-utslipp ved forbrenning av 1 liter diesel:

$$CO_2 \text{ utslipp spart [kg CO}_2\text{]} = \frac{\text{Energiforbruk [kWh]}}{0,35} \cdot \frac{2,66 \text{ kg CO}_2}{10,1 \text{ kWh}_{\text{diesel}}}$$

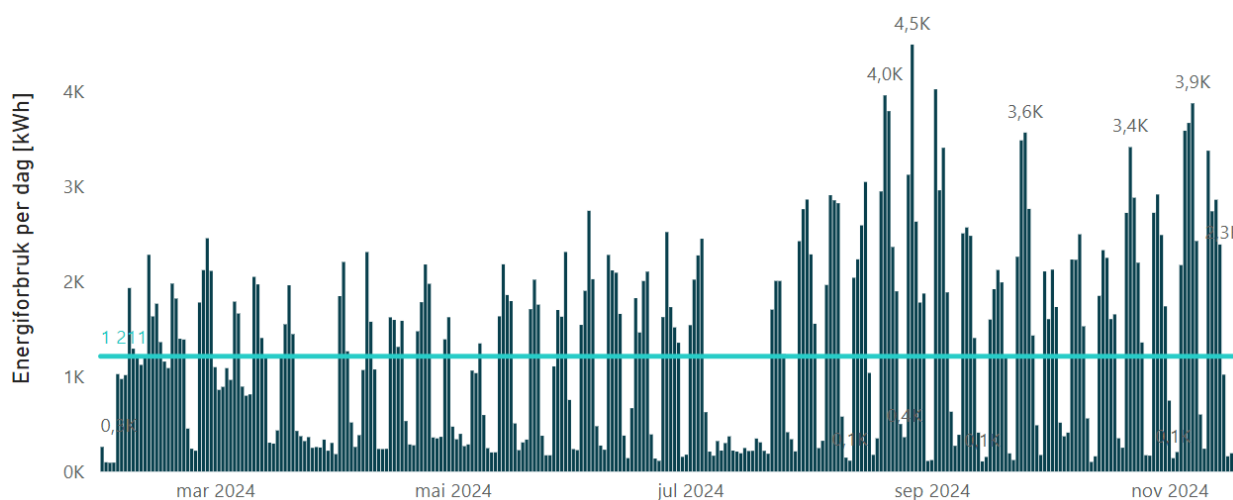
Figur 4.1.2: Spart CO2 per måned for anleggsplassen. Eier: Hafslund Vekst.



Energiforbruket på anleggsplassen varierer betydelig gjennom prosjektperioden, som vist i Figur 4.1.3. Medianforbruket per dag på riggplass 1 er på 1211 kWh, markert med trendlinjen i figuren. Dette representerer et typisk energibehov for en normal driftsdag. Forbruket på en full driftsdag varierer fra omtrent 1000 kWh til 4500 kWh, mens det laveste registrerte forbruket er 92 kWh på dager uten drift.

Toppene i energiforbruk sammenfaller med perioder med høy aktivitet og intensiv bruk av maskinparken, mens lavere forbruk reflekterer redusert drift, for eksempel i forbindelse med fridager eller pauser i prosjektarbeidet. Denne variasjonen gir en indikasjon på fleksibiliteten som kreves i energiforsyningen for å møte daglige behov og kan fungere som et grunnlag for dimensjonering av infrastruktur i fremtidige prosjekter.

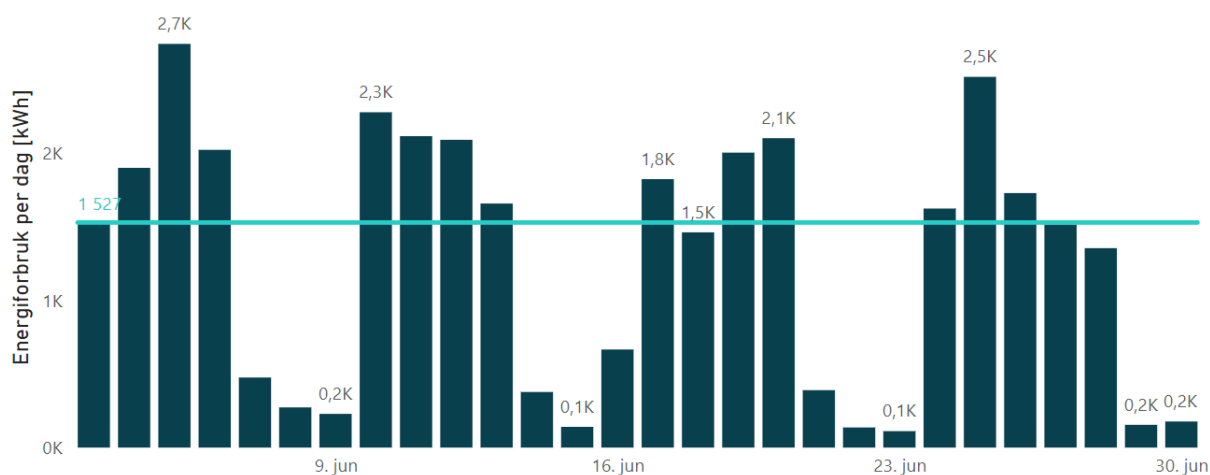
Figur 4.1.3: Energiforbruk per dag for riggplass 1. Eier: Hafslund Vekst.



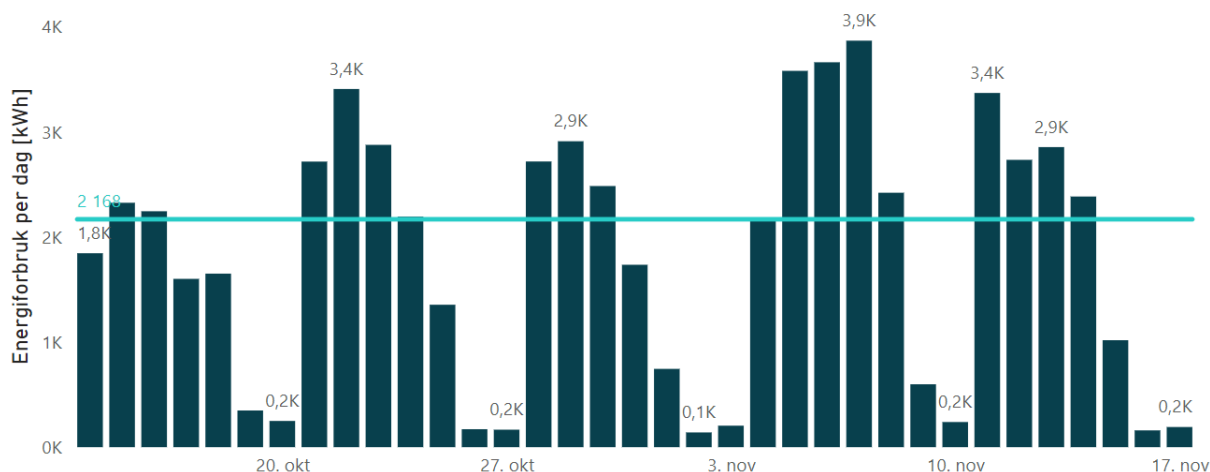
Det er også variasjon i energiforbruket over en måned. Figur 4.14 og 4.15 viser henholdsvis forbruket for en måned om sommeren og høsten. For begge periodene er forbruket høyest på dager med full drift (mandag til torsdag), med noe variasjon fra uke til uke. Samtidig viser grafene et uventet høyt forbruk på fredager, til tross for at det normalt sett ikke har vært planlagt drift av anleggsplassen. Dette kan skyldes at maskiner blir satt til lading torsdag kveld og at hovedvekten av batterikapasiteten lades opp i løpet av fredag morgen. Det er ikke installert noe smart styring av lading på anleggsplassen, så normalladingen bestemmes av sikringer i strømskap og ladekapasiteten til maskinene.

Det laveste forbruket oppstår i helgene, noe som er forventet da maskinene og batterihengerne hovedsakelig lader på AC-strøm for å bli fulladet til oppstart av en ny driftsuke. Medianforbruket per dag i juni er på rundt 1500 kWh, mens det for en måned på høsten er rundt 2160 kWh, altså omtrent 650 kWh høyere. Dette høyere forbruket trenger ikke nødvendigvis å skyldes temperaturforskjeller, men kan heller knyttes til økt aktivitetsnivå og større omfang av arbeid i høstperioden.

Figur 4.14: Energiforbruk per dag for riggplass 1 for en sommer måned. Eier: Hafslund Vekst.



Figur 4.15: Energiforbruk per dag for riggplass 1 for en høst måned. Eier: Hafslund Vekst.



Effektforbruk for hele anleggsplassen

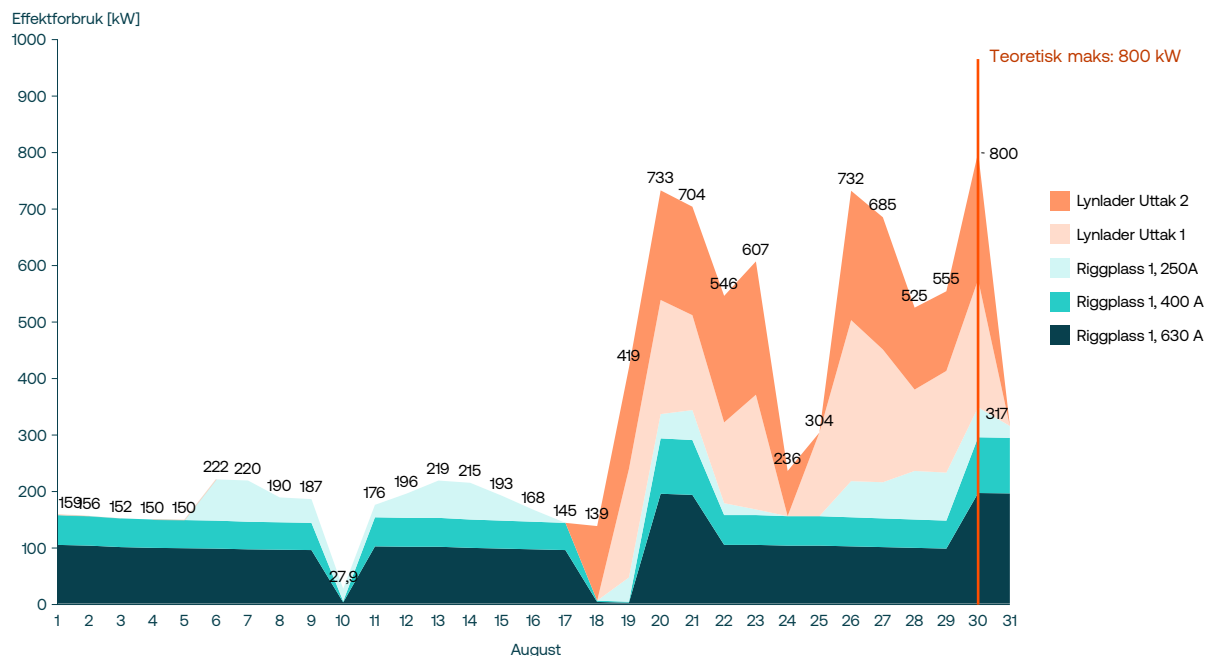
Effektforbruket på anleggsplassen har ikke blitt like nøyaktig målt som energiforbruket, men analyser er gjennomført for riggplass 1, som har vært forsynt av en provisorisk nettstasjon med en kapasitet på 1000 kVA. Fra figur 4.1.1 fremgår det at august var den mest energikrevende perioden i prosjektet, både for riggplass 1 og totalt. September hadde også høyt energiforbruk for riggplass 1. Basert på denne fordelingen er det gjennomført analyser av effektforbruket i disse periodene, da dette trolig er tidspunktene med størst belastning på strømmettet.

For å estimere maksimalt effektforbruk per dag er data hentet fra tre byggestrømskap med kapasitet på henholdsvis 630 A, 400 A og 250 A, samt en lynlader som har vært direkte tilkoblet den provisoriske nettstasjonen. Disse målerne representerer det totale effektforbruket fra riggplass 1. Summen av den maksimale effekten fra hver enkelt måler gir et teoretisk maksimalt effektforbruk for riggplassen. Dette er imidlertid en overestimering, da toppene fra de ulike målerne ikke nødvendigvis inntreffer samtidig. Den provisoriske nettstasjonen har en tilgjengelig kapasitet på 1000 kVA, men det forventes et tap på 5–20 %, noe som reduserer den reelle tilgjengelige effekten til 800–900 kW.

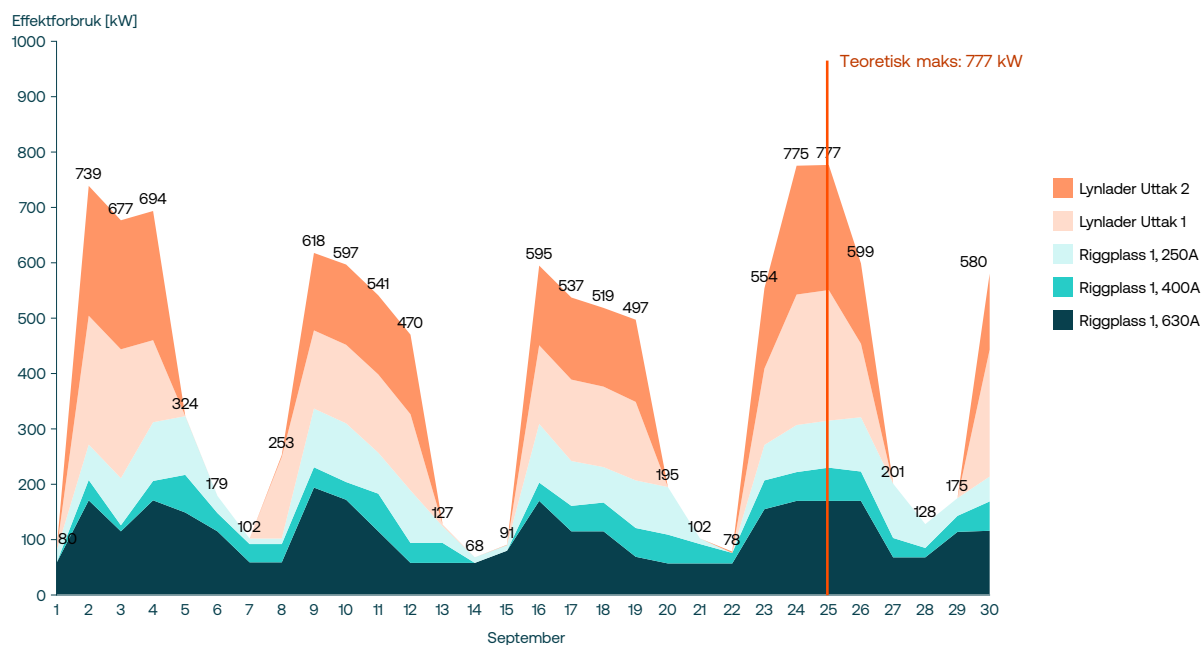
Grafene i figur 4.1.6 og 4.1.7 viser at effektforbruket teoretisk sett nærmer seg denne maksen på enkelte dager i august og september, men forbruket er betydelig lavere store deler av perioden. En nærmere analyse av 25. september, dagen med høyest teoretisk maks (777 kW), viser at faktisk makseffekt inntraff kl. 12 og var på 624 kW, altså en del lavere enn den teoretiske maksen, se figur 4.1.8. Analysen viser også at lynlading er den største driveren for effekttopper, med tydelige forbrukstopper på starten av arbeidsdagen, i pauser og ved arbeidsdagens slutt.

Siden det teoretiske maksimale effektforbruket i prosjektperioden aldri overstiger 800 kW, kan det tyde på at anlegget har vært noe overdimensjonert, og at en lavere effektkapasitet kunne vært tilstrekkelig.

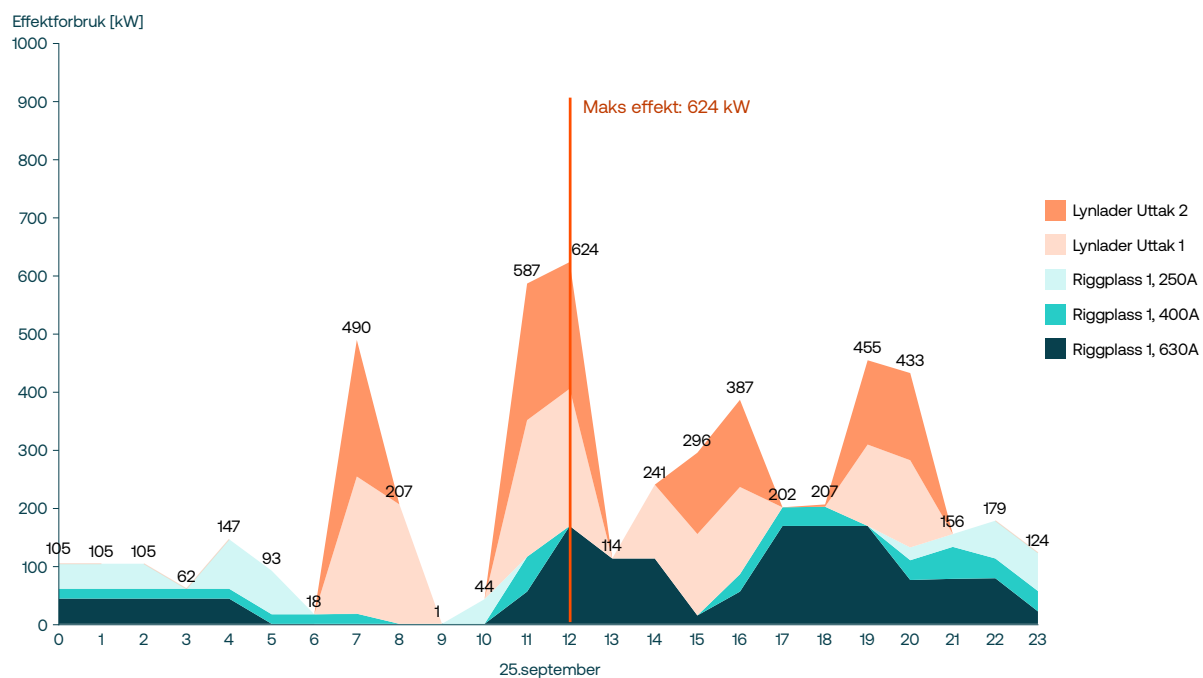
Figur 4.1.6: Aggregert maks effekt per dag i august for ulike målere på Riggplass 1. Eier: Hafslund Vekst.



Figur 4.1.7: Aggregert maks effekt per dag for september for ulike målere på Rigglass 1. Eier: Hafslund Vekst.



Figur 4.1.8: Aggregert maks effekt per time for 25.september for ulike målere på Rigglass 1. Eier: Hafslund Vekst.



4.2 Energi- og effektforbruk for ulike maskiner og kjøretøy

For å øke forståelsen for hvordan energi- og effektforbruket er fordelt i anleggsprosjektet vil denne delen av rapporten ta for seg energi- og effektforbruk for ulike maskintyper og kjøretøy som har blitt benyttet i prosjektet. For hver maskintype presenteres totalt energiforbruk, effektforbruk og lademønstre for både hurtiglading og nattlading. Data som ligger til grunn for analysene er hentet fra laderne som har blitt brukt i prosjektet, med varierende oppløsning avhengig av ladertype.

Maskiner og kjøretøy som inngår i analysen:

- 3 stk. 25 tonns elektriske beltegravere Cat 320 Z-line
- 2-4 stk. elektriske lastebiler fra Volvo
- 1 stk. 20 tonns elektrisk hjullaster Liugong 856 HE Max
- 1 stk. elektrisk hjulgraver DX165 Develon 17 tonn, og i perioder Mecalac hjulgraver
- Flere elbiler

For beltegravere og lastebiler er det tilgang på effektdata med høy oppløsning, mens det for andre ladere er begrenset til makseffekt per ladesesjon. Der detaljert data er tilgjengelig, vil det legges frem grundige analyser for å gi verdifull innsikt som kan bidra til bedre planlegging av elektriske anleggsprosjekter med lignende maskiner og kjøretøy.

Totalt energi- og effektforbruk fordelt per type maskin og kjøretøy

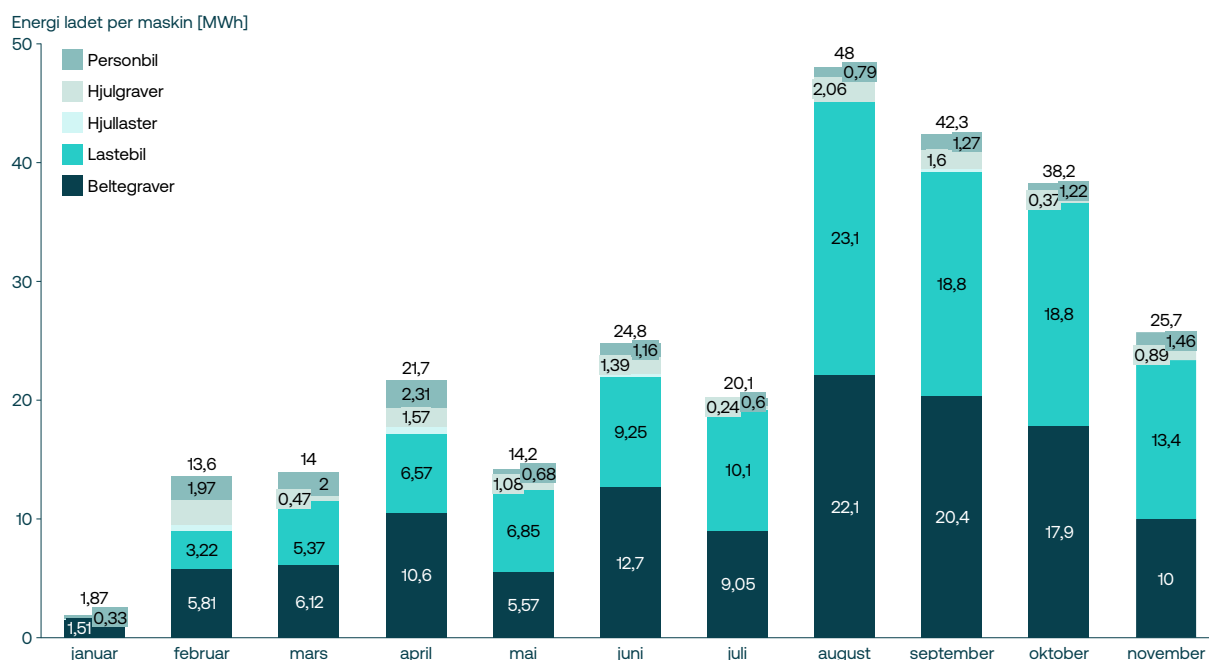
Det totale forbruket målt levert for lading av maskiner og kjøretøy i prosjektet er på rundt 265 MWh (sum av energi levert i ladesesjoner fra ladere og nattlading fra smartskap fra august). Sammenlignet med det samlede energiforbruket målt for hele anleggsplassen, ekskludert forbruket fra byggestrømskap på riggplass 2 som hovedsakelig forsyner annet forbruk enn lading, mangler det rundt 40%. Noe av forskjellen mellom tallene kan forklares med energitap i infrastrukturen. Erfaringstall fra prosjektet viser et tap på omtrent 4 % fra nettstasjon til strømskap, 25 % i batterihengere som hovedsakelig har blitt brukt til lading av beltegravere, og 7 % i hurtiglading av lastebiler. Ved å hensynta disse tapene gjenstår det fortsatt en differanse på 29% av det totale forbruket. Dette utgjør trolig i all hovedsak umålt nattlading fra strømskap, da måling på byggestrømskap for nattlading av beltegravere først kom på plass fra august i prosjektet.

Fordelingen av det målte energiforbruket til lading, vist i Figur 4.2.2, viser at lastebiler til massetransport står for 44 % av det totale ladeforbruket, etterfulgt av beltegravere med 46 %. Dette tilskrives høy driftstid og store batteripakker for de 2-4 elektriske lastebilene som typisk lades 3 ganger daglig, samt de 3 elektriske beltegraverne som er benyttet kontinuerlig gjennom prosjektperioden. Hjullasteren og hjulgraveren står for en mindre andel på 4-5 % hver, mens elbiler har det laveste forbruket med 1 %.

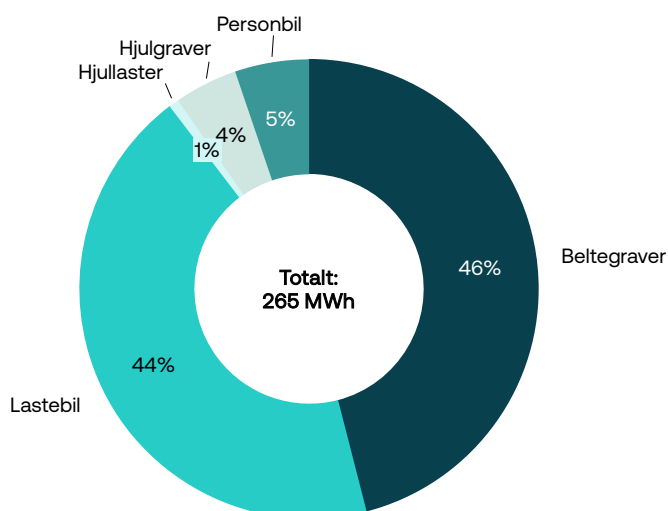
Variasjonen i energiforbruk per måned, vist i Figur 4.2.1, viser et høyere forbruk i perioder med intensiv drift, spesielt mot slutten av prosjektet hvor lastebiler og beltegravere hadde økt aktivitet. Dette bekreftes av grafene som tydelig viser toppene i energiforbruk. Lastebiler har et høyt behov for hurtiglading i løpet av dagen, mens beltegraverne har hatt betydelig lading ved bruk av batterihengere for hurtiglading og strømskap for nattlading, noe som også påvirker det samlede forbruket.

Store maskiner og kjøretøy med store batteripakker og behov for hurtiglading i løpet av arbeidsdagen utgjør hoveddelen av det totale energibehovet. Dette er en viktig erfaring som bør tas med i planleggingen av fremtidige elektriske anleggsprosjekter, særlig med tanke på dimensjonering av ladeløsninger og håndtering av energitap i infrastrukturen.

Figur 4.2.1: Energiforbruk fra lading per maskin- og kjøretøystype per måned [MWh]. Eier: Hafslund Vekst.



Figur 4.2.2: Energiforbruk fra lading per maskin- og kjøretøystype som prosent av totalen. Eier: Hafslund Vekst.

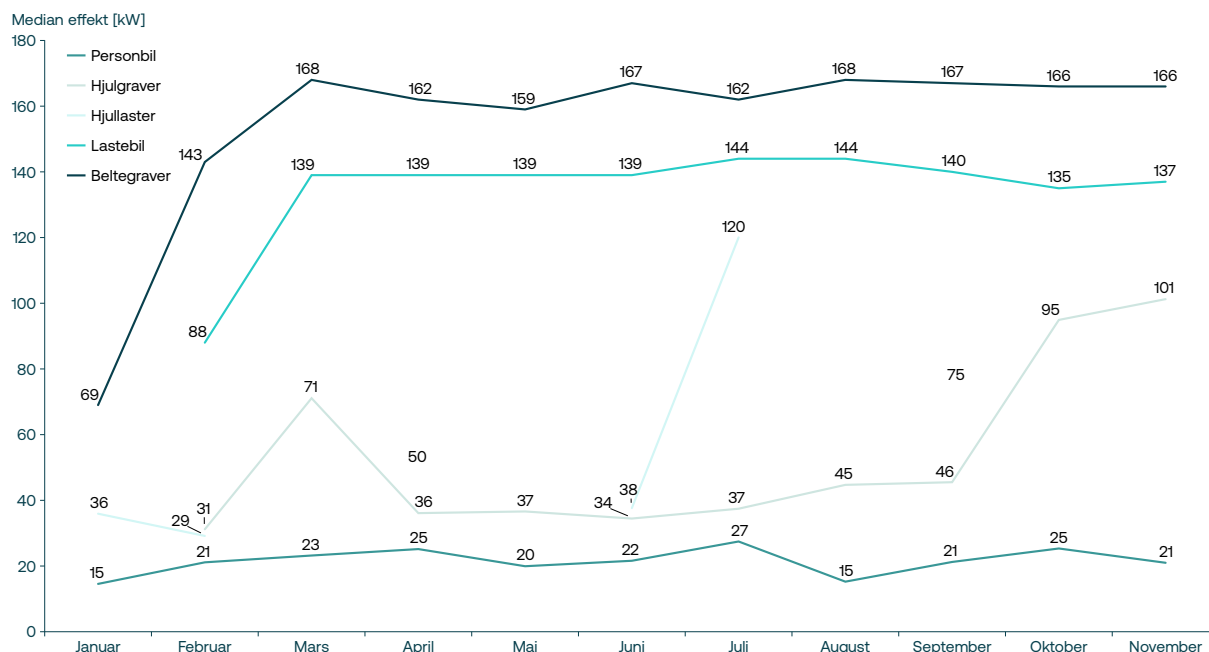


Effekt levert fra ladere benyttet i arbeidstiden varierer både per maskintype og over tid. Hovedsakelig skyldes dette hva slags type ladere som er brukt til hver maskin, behovet for hurtiglading og hvor mye effekt maskinene kan ta imot. Figur 4.2.3 viser variasjon i median av maks effekt levert fra lader til hver maskintype, hvor det er tydelig at lastebiler og beltegravere har mottatt høyest effekt på typisk hhv. 140 kW og 167 kW. Dette henger tett sammen med hvilken effekt maskinene kan ta imot og hva laderne kan levere. Beltegraverne i prosjektet har vært Cat 320 Z-line maskiner i ulike modeller som kan hurtiglade på maksimalt 150 kW eller

opp mot 190 kW avhengig av versjon, ifølge databladene for maskintypen. Cat maskinene har primært blitt hurtigladet fra batterihengere i prosjektet, som kommer i to versjoner som kan levere hhv. 150 kW og 240 kW utilkoblet. Lastebilene i prosjektet har vært ulike modeller av Volvos elektriske lastebiler, der de tidligste versjonene kunne motta maks 130–140 kW og de nyeste versjonene opp mot 250 kW. Lastebilene har primært ladet på kraftig hurtiglader-containeren i prosjektet som kunne levert 300 kW dersom kjøretøyet tillot å motta denne effekten.

Det har vært en økning i median ladeeffekt fra januar til mars før effekten har stabilisert seg. Dette kan knyttes til økt aktivitet og forbedret utstyr gjennom læringseffekter. For hjulgraver og hjullaster er effekten mer varierende over tid, noe som kan tilskrives begrenset datagrunnlag og sporadisk bruk av ladere.

Figur 4.2.3: Median effekt per måned per maskin- og kjøretøystype. Eier Hafslund Vekst.



Beltegravere

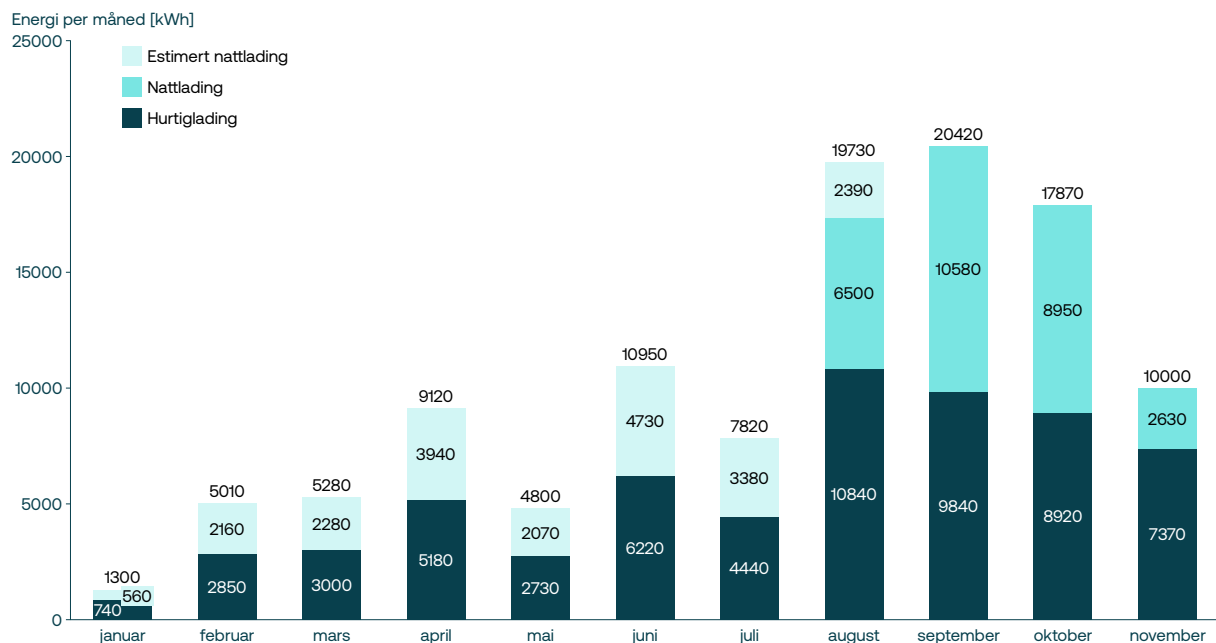
Beltegravene som er benyttet på Gran har primært blitt hurtigladet via batterihengere og nattladet ved bruk av byggestrømskap. Totalt energiforbruk for beltegravere i prosjektperioden, inkludert estimert nattlading, er på 121,7 MWh. Dette tilsvarer en CO₂-besparelse på omtrent 91,6 tonn CO₂ sammenlignet med bruk av konvensjonelle dieseldrevne gravemaskiner.

Data fra softwareplattformen som er benyttet for registrering av ladeøkter viser at 90% av hurtigladeøkterne for beltegravere er ved bruk av batterihengere. Derimot har softwareplattformen noe manglende data fra tidlige faser av prosjektet grunnet tekniske problemer med softwaretilkobling mellom lader og ladeapp. Grunnet denne manglende dataen og siden rundt 90% av registrerte ladinger fra batterihengerne er gjort for beltegravere, vil analysene for hurtiglading basere seg på ladedata fra batterihengere.

Nattlading av beltegravere har hovedsakelig skjedd via byggestrømskap, men målinger har ikke vært tilgjengelig før 8. august, da nødvendig måleutstyr ble installert. Analysen for nattlading baserer seg derfor på data for perioden etter at måleren ble installert. For månedene uten måling er forbruket for nattlading estimert basert på fordeling av nattlading sammenlignet med hurtiglading for september og oktober, som er de to hele månedene med fullstendig måling. Estimater viser en fordeling på omtrent 50% nattlading og tallene bidrar til å gi et riktigere bilde på totalt forbruk fra lading av beltegravere for hele prosjektperioden.

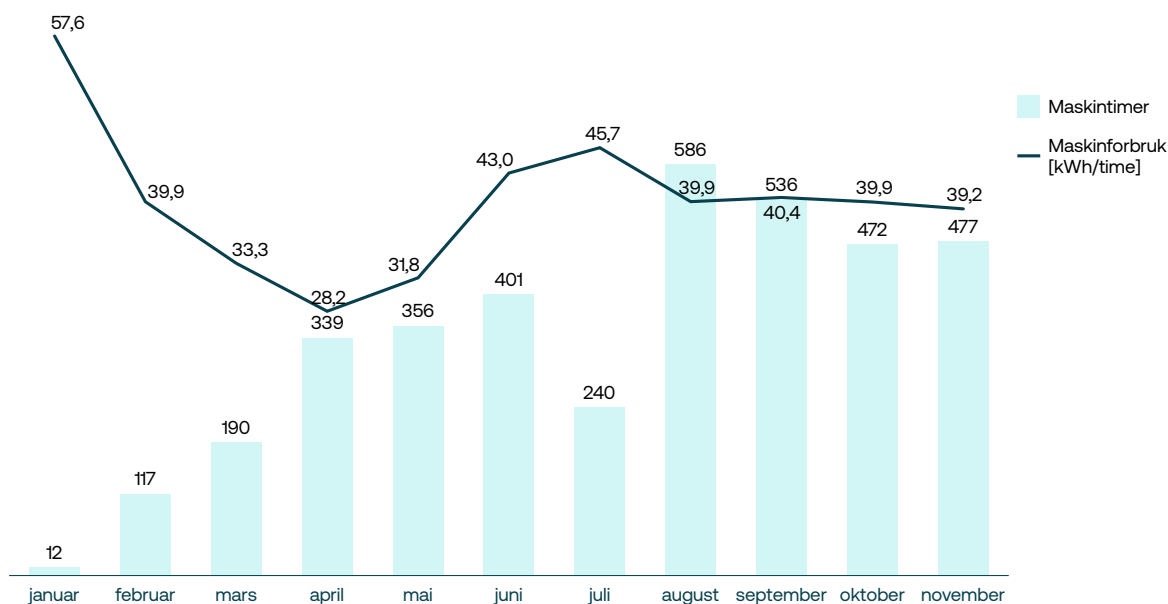
For prosjektperioden er det målt et energiforbruk på 62,1 MWh til hurtiglading og 59,6 MWh til nattlading, inkludert estimer. Figur 4.2.4 viser fordelingen av energiforbruk for lading per måned.

Figur 4.2.4: Energiforbruk per måned for beltegravere [kWh]. Eier: Hafslund Vekst.



Tilsvarende som energiforbruket, har antall maskintimer for beltegraverne økt gradvis fra januar, med en tydelig topp i juni, før en kort nedgang i juli og stabilisering utover høsten, se figur 4.2.5. Samtidig viser gjennomsnittlig energiforbruk per time en motsatt trend, med høyere forbruk per time i perioder med lav maskinaktivitet og en stabilisering rundt 40 kWh fra august. Dette tyder på mer effektiv drift ved høy aktivitet. Sammenhengen mellom maskintimer og energiforbruk per time antyder at økt maskinbruk fører til bedre utnyttelse av energien. I januar var det spesielt kaldt, med temperaturer under -20 grader. Dette var den kaldeste perioden i prosjektet og kan ha bidratt til det høye maskinforbruket denne måneden.

Figur 4.2.5: Gjennomsnittlig energiforbruk per time og antall driftstimer per måned for beltegraver [kWh]. Eier: Hafslund Vekst.



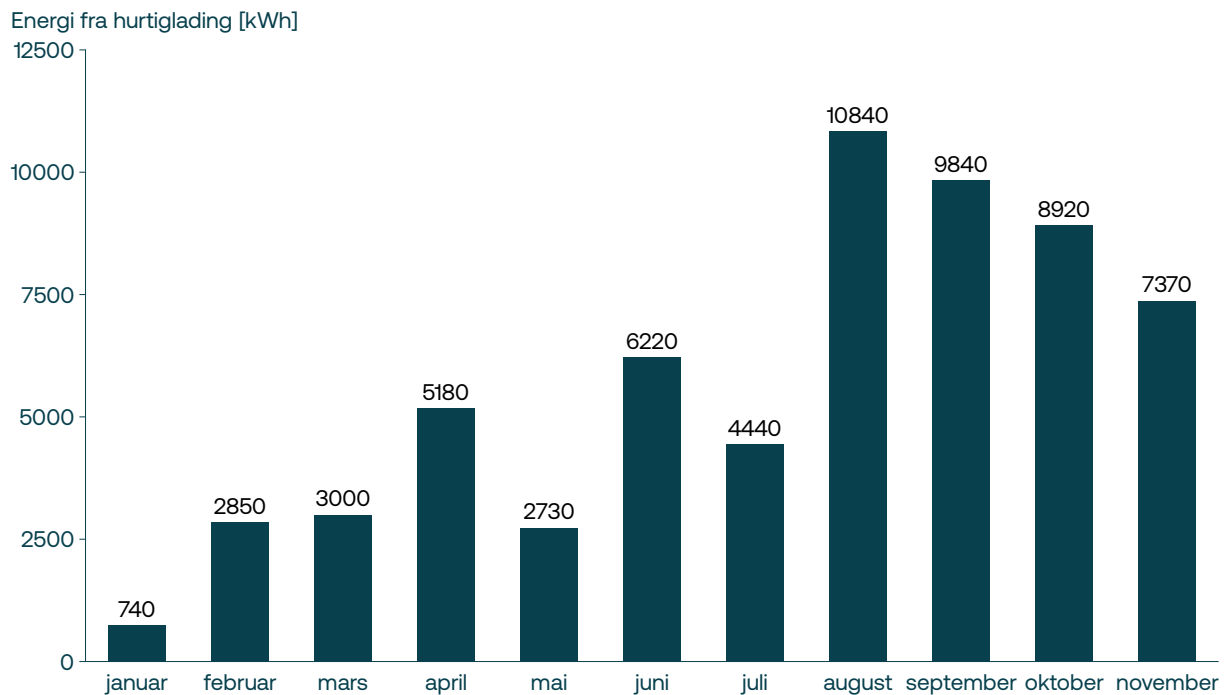
Hurtiglading

Totalt energiforbruk for hurtiglading av beltegraver i prosjektperioden er 62,1 MWh, hovedsakelig levert via batterihengere. Videre vil det gås inn på energiforbruket fordelt per måned og per dag, samt lademønstre som inkluderer energi levert per ladeøkt, tidspunkt for lading og ladevarighet. I tillegg vil en typisk uke og dag for sommer- og høstperioden bli presentert for å illustrere variasjoner i drift og ladebehov over tid. Dette gir en helhetlig forståelse av hurtigladingens rolle og energibehovet til beltegraverne i prosjektet.

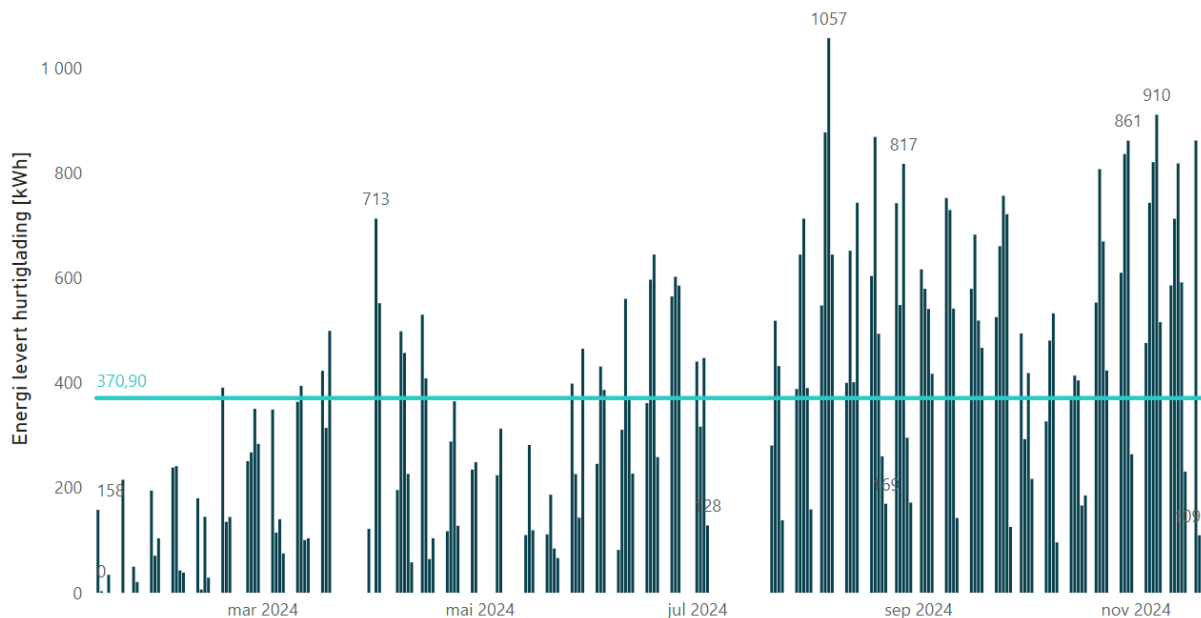
Energiforbruket for hurtiglading av beltegraver viser stor variasjon gjennom prosjektperioden. Forbruket per måned varierer fra under 1000 kWh i prosjektets tidlige fase til hele 10 800 kWh i august, med et gjennomsnitt på 5578 kWh/måned. Figur 4.2.6 viser at belastningen økte betydelig mot slutten av prosjektet, noe som samsvarer med høyere aktivitet og økt behov for hurtiglading.

Ved å se på forbruk per dag, viser Figur 4.2.7 et medianforbruk på 370 kWh, med et tydelig skille mellom første og andre halvdel av prosjektperioden. I første halvdel var de fleste dagene under medianforbruket, mens forbruket etter sommeren ofte oversteg dette nivået. Toppforbruket på 1057 kWh per dag, registrert i starten av august, tilsvarer omtrent 3 fullladinger av 25T beltegraver, noe som understreker høy drift og intensive ladesykluser i denne perioden.

Figur 4.2.6: Energiforbruk til hurtiglading av beltegravere per måned [kWh]. Eier: Hafslund Vekst.

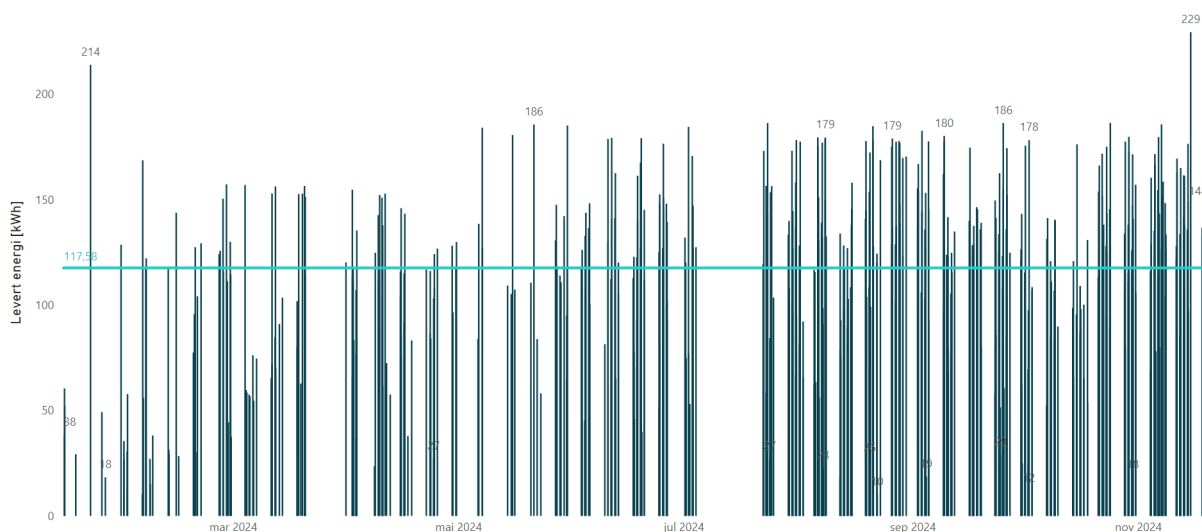


Figur 4.2.7: Energi levert fra hurtiglading til beltegravere per dag. Median markert i blå strek. Eier: Hafslund Vekst.



I prosjektperioden er det registrert totalt 545 ladesesjoner for beltegravere. Dette inkluderer ladesesjoner som har vart i mer enn 10 minutter og levert mer enn 10 kWh energi. Figur 4.2.8 viser fordeling av ladesesjoner og levert energi over prosjektperioden. Median levert energi per ladesesjon er 118 kWh, som illustrerer et typisk energibehov for beltegraverne per lading. Maksimalt levert energi i én ladesesjon er 229 kWh, som ble registrert mot slutten av prosjektet, noe som tilsvarer en fullading av en nesten tom 25T beltegraver.

Figur 4.2.8: Energi levert per ladeøkt for hurtiglading av beltegraver. Median markert i blå strek. Eier: Hafslund Vekst.

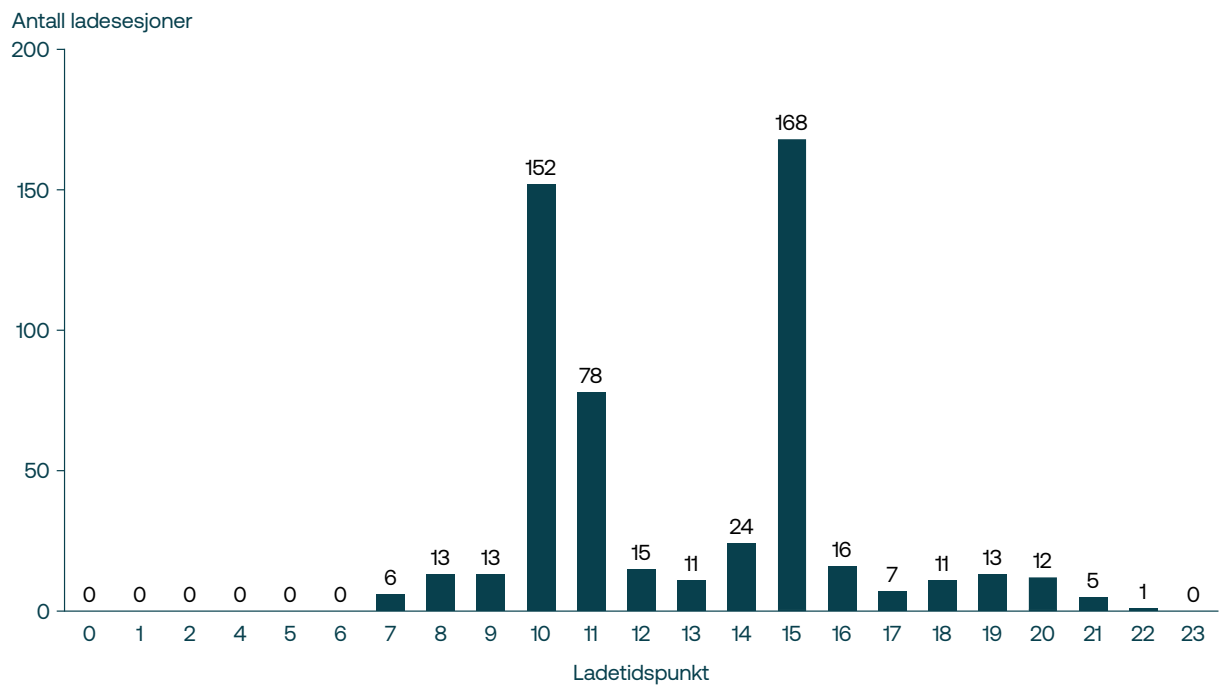


I tillegg til å se på levert energi ved hurtiglading over prosjektperioden, vil det være nyttig å undersøke lademønsteret for beltegraverne. Dette kan være nyttig innsikt for oppsett av fremtidige ladeplaner for lignende type maskiner. Figur 4.2.9 viser fordelingen av starttidspunktet for ladesesjoner per time i løpet av en dag. Her kommer det frem at majoriteten av hurtigladesesjonene starter mellom kl. 10 og 11 og igjen like før middag, rundt kl. 15. Det er verdt å merke seg at tidspunktene i grafen representerer intervaller, og mange av ladesesjonene som er registrert kl. 10 kan i praksis ha startet nærmere kl. 11.

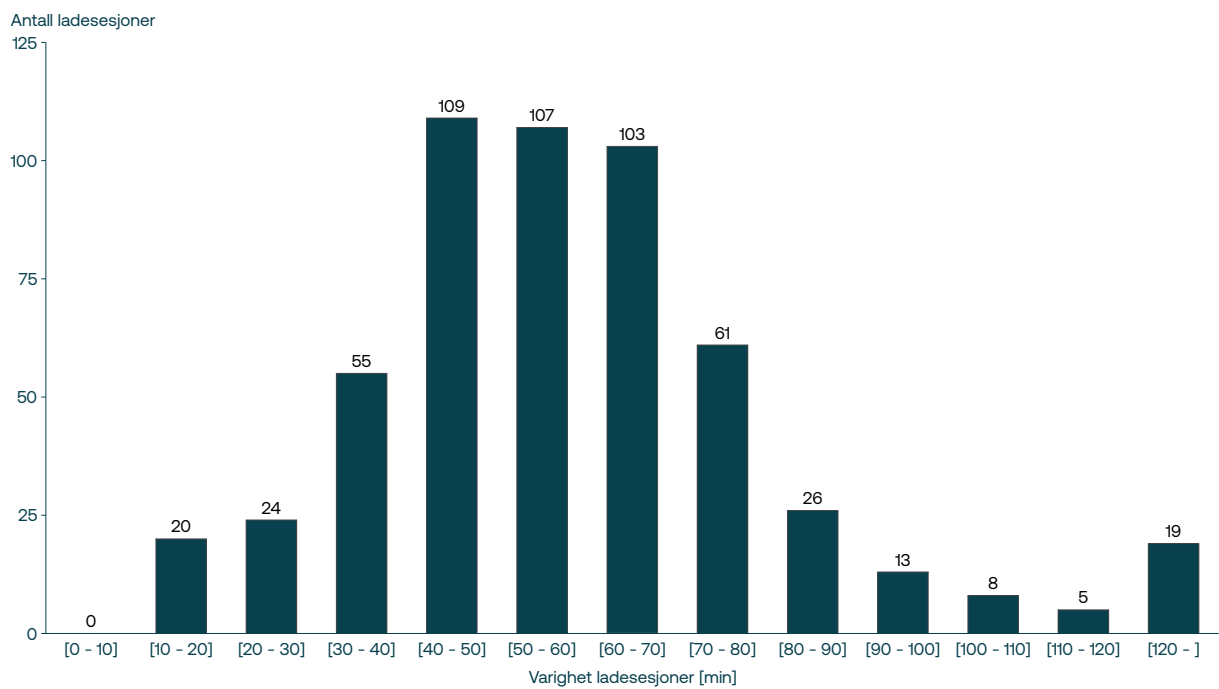
Varigheten av ladesesjonene varierer, som vist i Figur 4.2.10. De fleste ladesesjonene varer mellom 40–80 minutter, med en median ladetid på 55 minutter per sesjon. Når det gjelder daglig ladeaktivitet, som vist i Figur 4.2.11, brukes det i median 196 minutter per dag til hurtiglading av beltegraverne. Dette tilsvarer i snitt én ladesesjon på litt over én time per beltegraver. Maksimalt registrert tid brukt på lading på én dag er 527 minutter, som tilsvarer omtrent 3 ladesesjoner på 60 minutter per beltegraver.

Energimengden levert per hurtigladesesjon er i de fleste tilfeller mellom 100–150 kWh, som vist i Figur 4.2.12. Dette indikerer at beltegraverne sjelden lades når batteriene er helt tomme, da batterikapasiteten på maskinene er 300 kWh. Beltegraverne kan ta imot maksimalt 190 kW effekt, mens batterihengerne som brukes til lading har en kapasitet på mellom 150–240 kW.

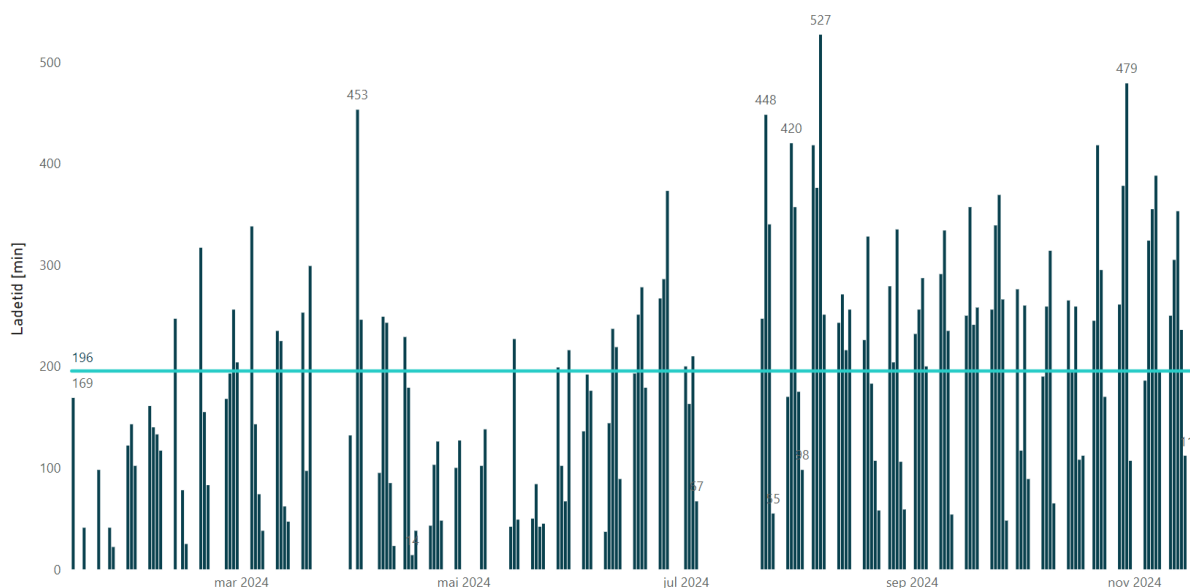
Figur 4.2.9: Antall ladesesjoner basert på timen ladesesjonen startet. Eier: Hafslund Vekst.



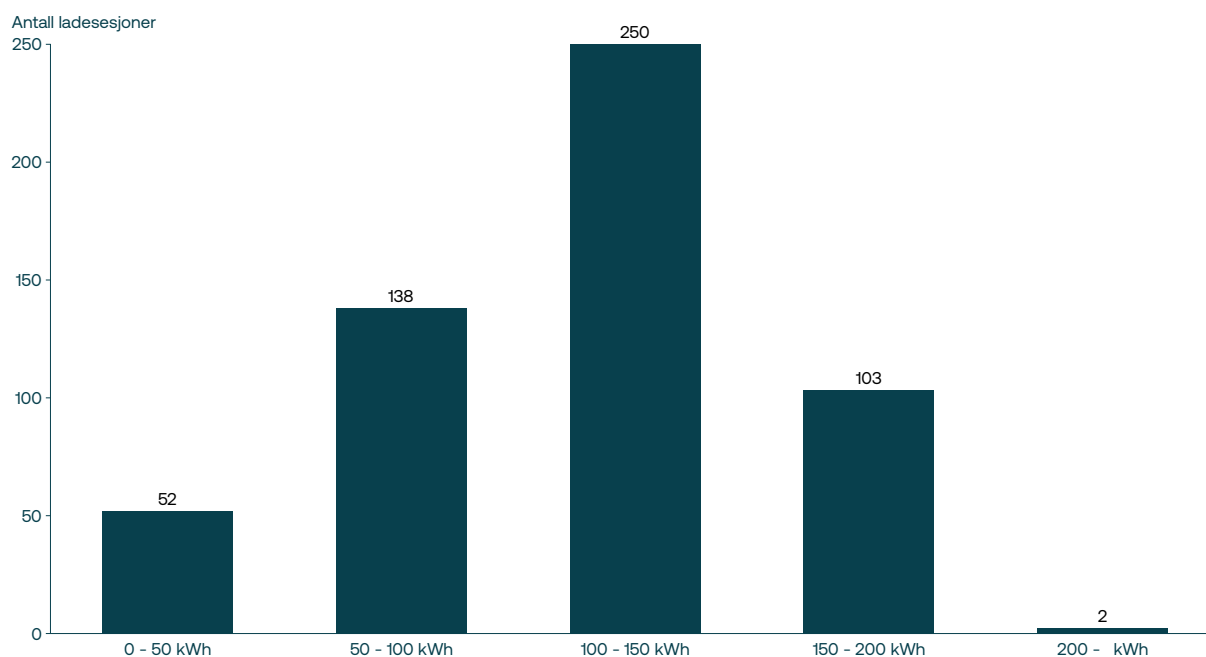
Figur 4.2.10: Varighet på hurtigladesesjoner for beltegravere i løpet av prosjektperioden. Eier: Hafslund Vekst.



Figur 4.2.11: Antall minutter beltegraverne har blitt ladet hver dag. Median markert i blå strek. Eier: Hafslund Vekst.



Figur 4.2.12: Antall ladesesjoner fordelt på ulik energi levert til beltegravere i løpet av en ladeøkt. Eier: Hafslund Vekst.

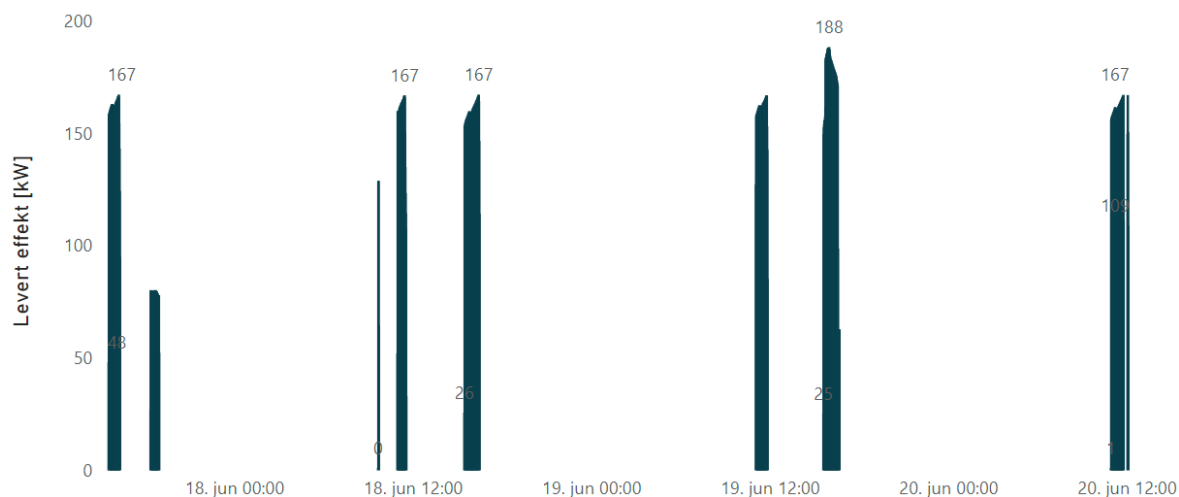


For å forstå beltegravernes lademønster i løpet av prosjektet, er en typisk driftsuke for en beltegraver hentet fra juni (17.–23. juni) og november (11.–17. november) som eksempler. Figur 4.2.13 og 4.2.14 viser fordeling av effekt utover uka og en dag om sommeren, mens Figur 4.2.15 og 4.2.16 viser tilsvarende innsikt om høsten. Oversikten for juniuka viser typisk to ladinger per dag mandag til onsdag rundt lunsj (kl. 11) og middag (kl. 15:30), samt én ladeøkt på torsdag rundt lunsj. Dette samsvarer med planlagt arbeidstid kl. 07–19 mandag til onsdag og 07–14 på torsdag. Effekten per ladeøkt er ofte opp mot maskinens maks på 190 kW, men ligger vanligvis

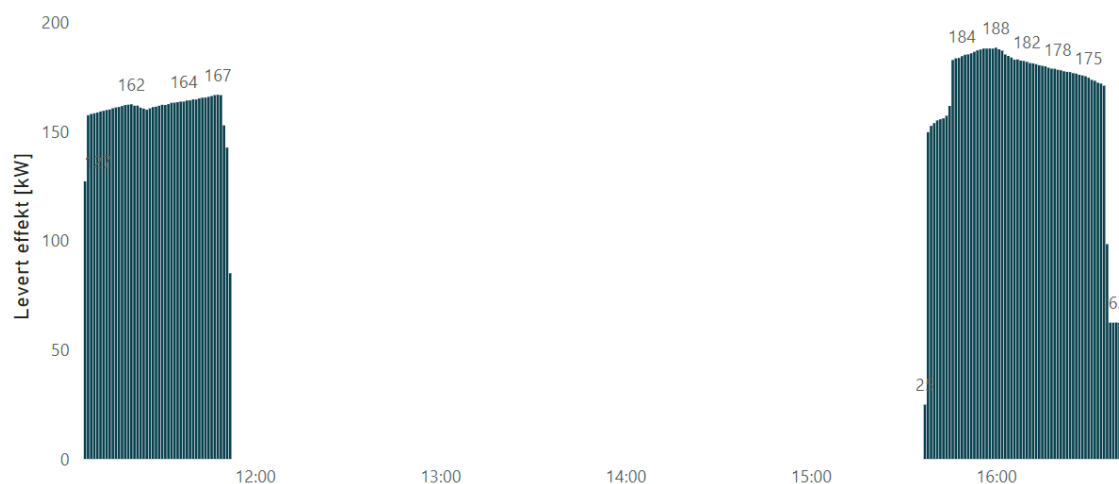
nærmere 160–170 kW. Ladeeffekten gjennom ladeøkten er jevnt høy, og varierer eksempel mellom 160–167 kW i en eksempel-ladeøkt og mellom 175–188 i en annen.

For høstuka viser lademønsteret et lignende bilde, men med manglende ladeøkter på mandagen. Dette kan skyldes at beltegraveren har ladet fra en annen batterihenger eller at ladebehovet var redusert. Ladingen skjer fortsatt typisk i forbindelse med lunsj (kl. 11) og middag (kl. 15:30). Effekten for lading i november går, som i juni, opp mot 190 kW.

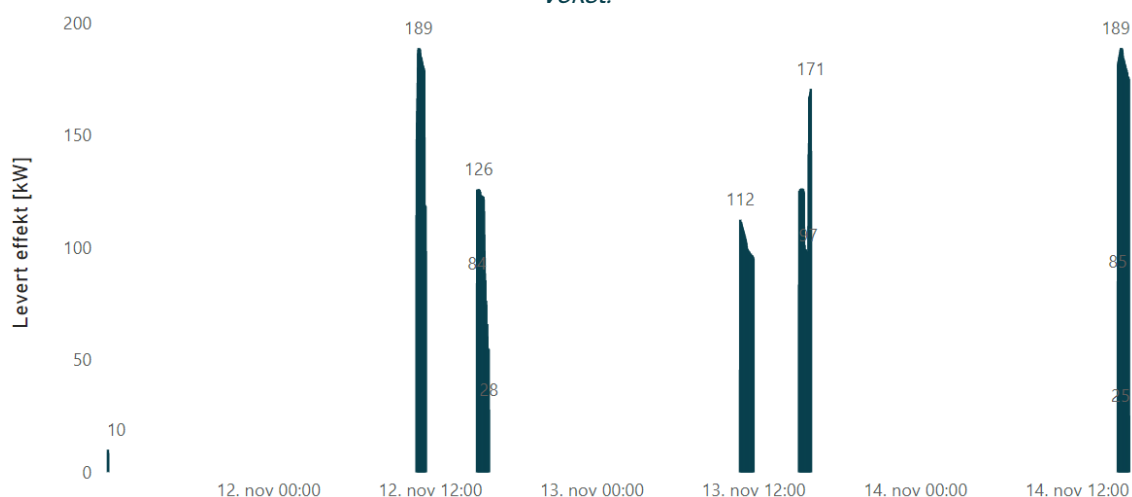
Figur 4.2.13: Levert effekt [kW] per minutt for lading av en beltegraver over en sommeruke. Eier: Hafslund Vekst.



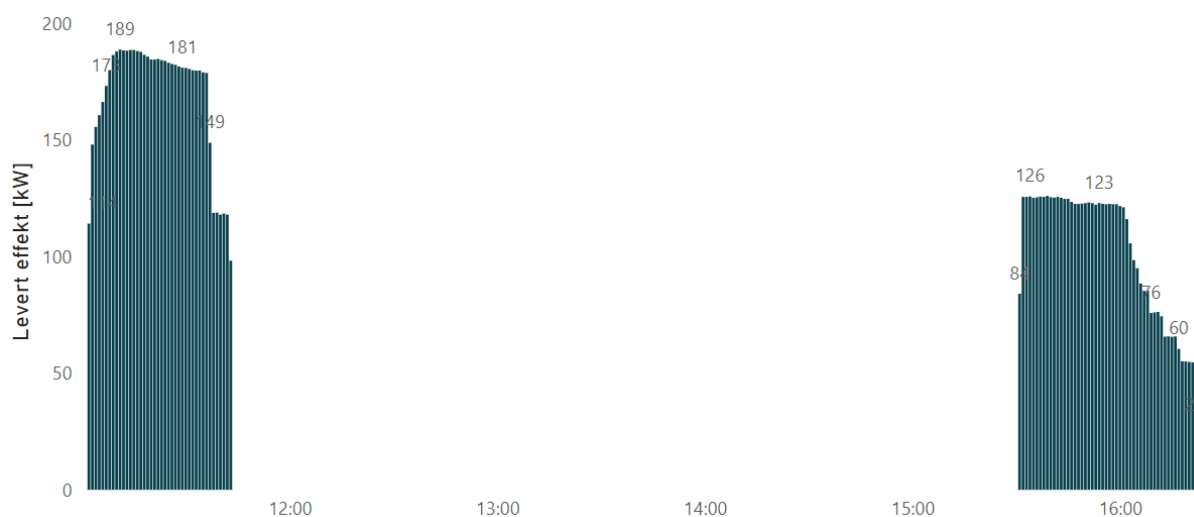
Figur 4.2.14: Levert effekt [kW] per minutt for lading av en beltegraver over en sommerdag. Eier: Hafslund Vekst.



Figur 4.2.15: Levert effekt [kW] per minutt til lading av en beltegraver over en høstuke. Eier: Hafslund Vekst.

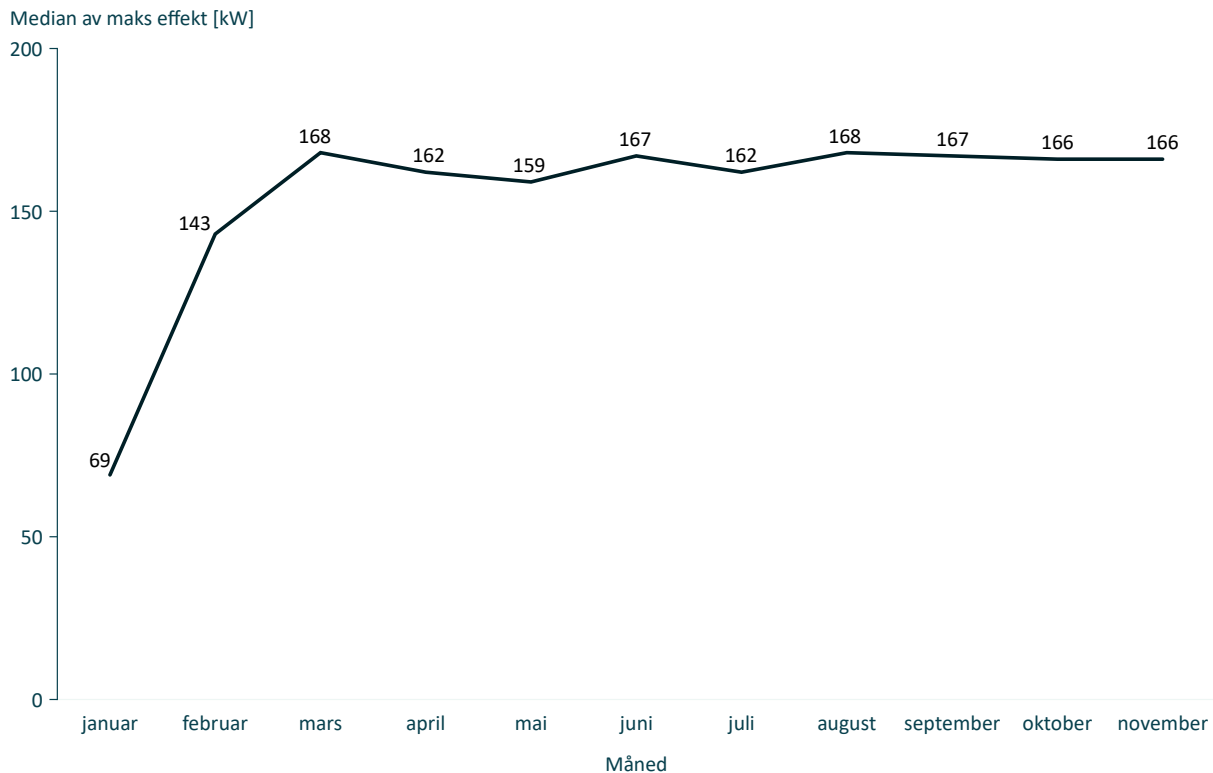


Figur 4.2.16: Levert effekt [kW] per minutt for lading av en beltegraver over en høstdag. Eier: Hafslund Vekst.



Levert effekt for hurtiglading av beltegravere har variert over prosjektperioden. Median av maks effekt lever under lading var på 162 kW. Figur 4.2.17 viser median effekt per måned i løpet av prosjektperioden. Batterihengerne som er blitt benyttet til hurtiglading av beltegraverne kan maks levere mellom 150 kW til 240 kW avhengig av versjon av henger. Fra januar til mai har median av maks effekt økt drastisk fra 61 kW til 157 kW, deretter har det stabilisert seg. Dette kan ha en sammenheng med at det var oppstartsperiode for prosjektet, lavere driftsaktivitet, kalde temperaturer i starten og forbedring av utstyr. Det kan også skyldes dårligere datakvalitet fra tidlige deler av prosjektet. Den høyeste registrerte effekten i løpet av hele prosjektperioden var 190 kW.

Figur 4.2.17: Median av maks effekt levert ved hurtiglading per måned for beltegravere. Eier: Hafslund Vekst.

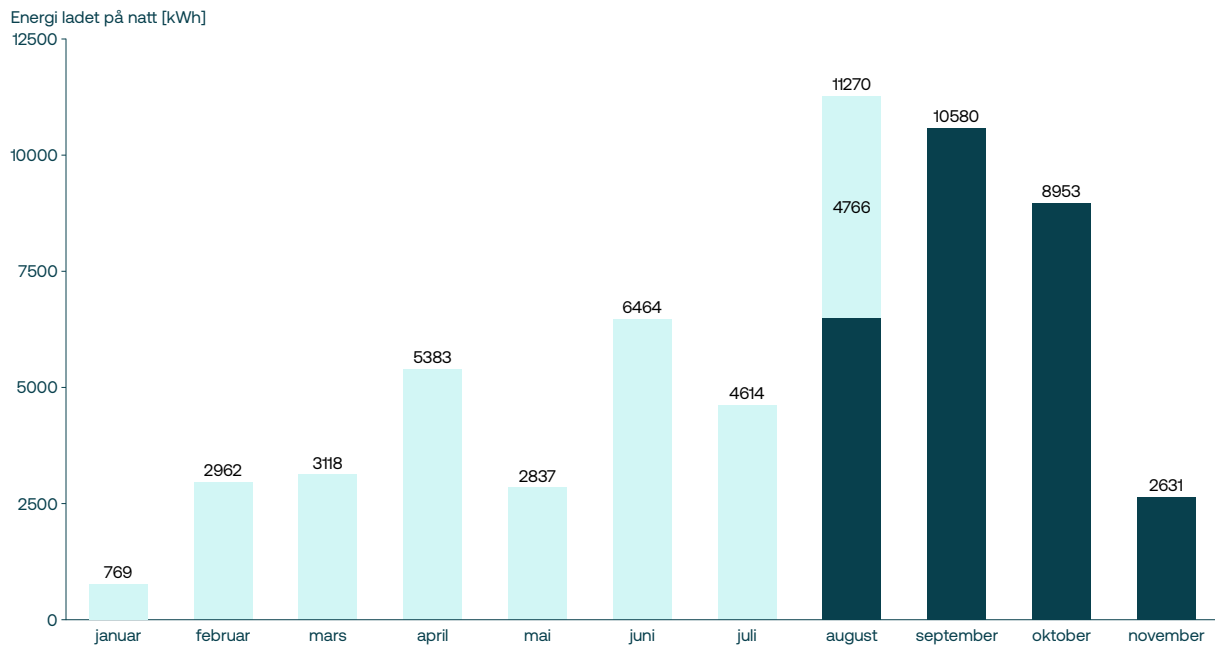


Nattlading

Nattlading av beltegravere har foregått via byggestrøm langs graveområdet, med forbruk målt ved hjelp av smartmåler fra 8. august til november. For månedene før august er forbruket estimert basert på trender og forholdet mellom hurtiglading og nattlading for de målte månedene. Det er beregnet at nattlading utgjør omtrent 4 % mer energi per måned sammenlignet med hurtiglading.

Figur 4.2.17 viser forbruket per måned for nattlading av beltegravere, inkludert både estimerte og målte tall. Basert på disse dataene har beltegraverne hatt et gjennomsnittlig forbruk til nattlading på 5416 kWh per måned, som tilsvarer 6 hele fulladinger fra 0-100% for 3 beltegravere. Med typisk 16 driftsdager per måned viser dette til at beltegraverne typisk har 60% batterikapasitet ved oppstart av nattladingen. Dette varierer selvsagt over prosjektperioden, men erfaringer viser til at batteriet på beltegraverne er langt fra tomt i det nattladingen starter.

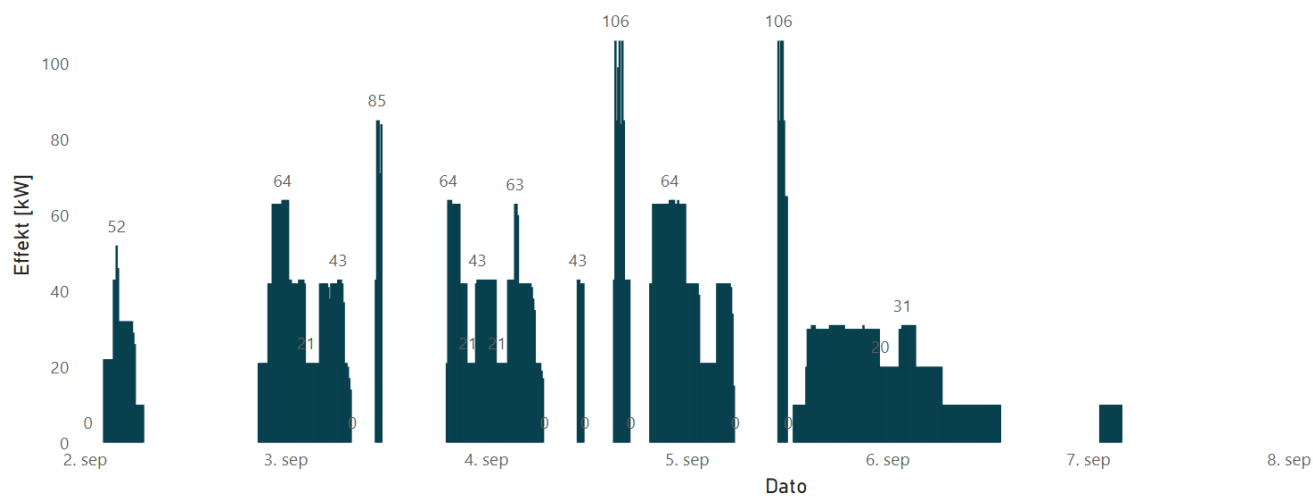
Figur 4.2.18: Energi levert ved nattlading per måned for beltegravere. Eier: Hafslund Vekst.



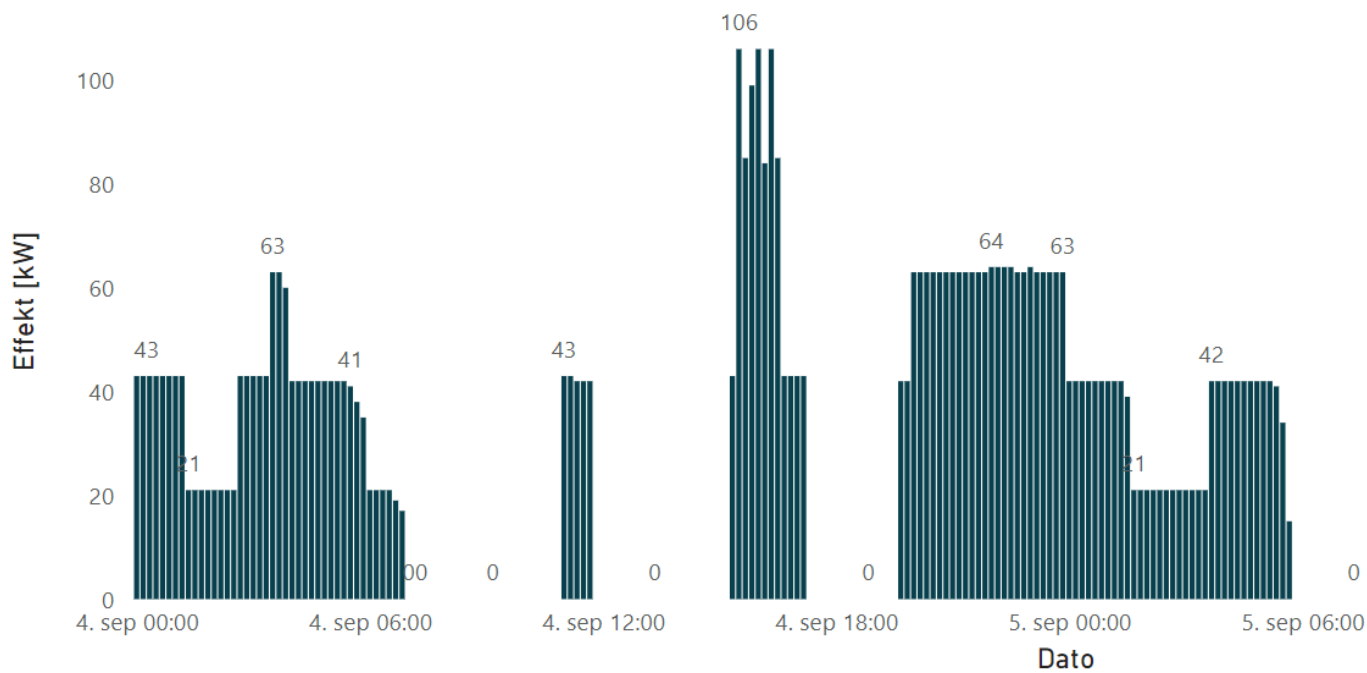
I likhet med hurtiglading, varierer lademønsteret for nattlading over en uke. Figur 4.2.19 og 4.2.20 viser fordeling av effekt over en uke og en dag i september. For driftsdagene, mandag til torsdag, er det noe lading også fra byggestrømskapet i løpet av dagen, og kategoriseres ikke som nattlading. Omfanget av dette er lite i løpet av prosjektet, men bidrar til en svakhet i datakvaliteten for analysene. Uansett kan de overordnede trendene tas med som læring til andre prosjekter som skal gjennomføres elektrisk. Av dataen kommer det frem at flere beltegravere lader samtidig, noe som er tydelig ved topper i ladeeffekt på torsdag og fredag på dagtid. Lading i løpet av dagen med byggestrøm istedenfor hurtiglading kan bidra til å avlaste nettet da det trekker mindre effekt.

Effekten om natten er typisk 63 kW, som sannsynligvis skyldes lading fra flere beltegravere da maskinene benytter 63A kabler med maks effektuttak på 44 kW. Etter midnatt går effekten gradvis ned til rundt 40 kW, som kan være en konsekvens av mindre behov når batteriene nærmer seg full kapasitet.

Figur 4.2.19: Levert effekt per 10.minutt for nattlading over en uke. Eier: Hafslund Vekst.



Figur 4.2.20: Levert effekt per 10.minutt for nattlading over en dag. Eier: Hafslund Vekst.



Lastebiler til massetransport

Lastebilene som er benyttet til massetransport på Gran er primært Volvo lastebiler. I prosjektperioden har det vært mellom 2–4 lastebiler i drift, som har kjørt skytteltransport mellom Gran og pukkverket på Lygna, en avstand på 12 km hver vei. Lastebilene har ladet både på Lygna og på Gran, hvor laderen på Gran har vært en 2x300 kW hurtiglader.

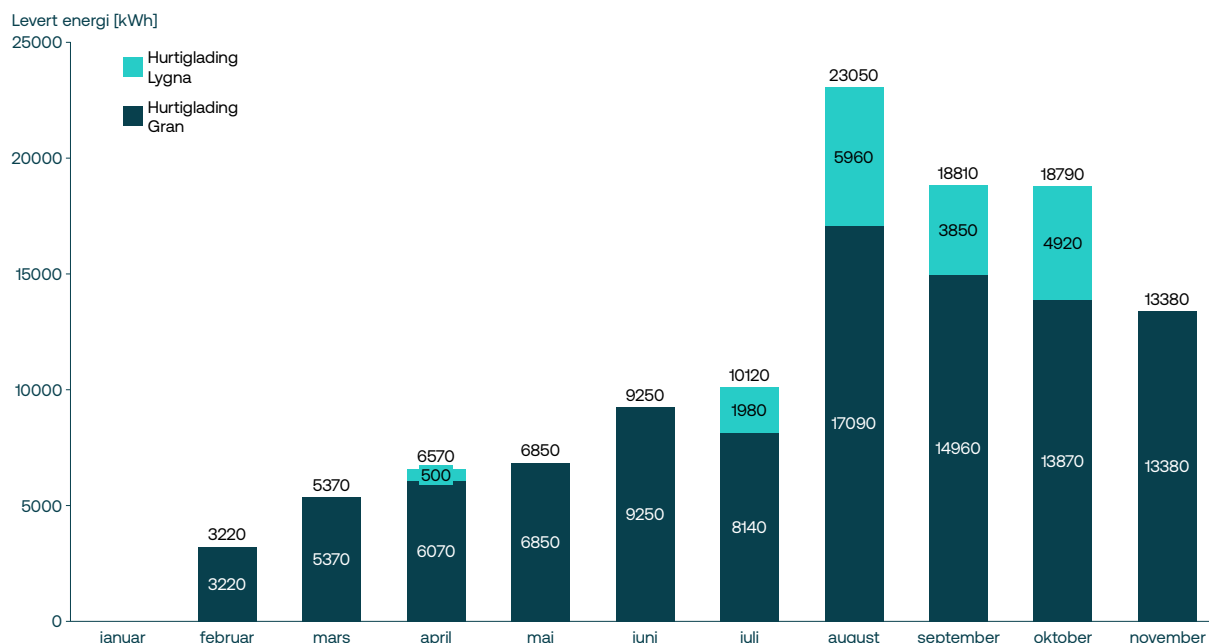
For analysene benyttes data fra nettstasjonen tilknyttet laderen på Lygna, samt data fra hurtigladeren på Gran. Ladingen har utelukkende foregått som hurtiglading, men noe av denne har skjedd etter arbeidstid (kl. 19–07) og omtales som "nattlading". Analysene som følger, dekker hurtiglading totalt sett, fordelt per måned og per dag, samt lademønstre som inkluderer energi levert per ladeøkt, tidspunkt for lading og ladevarighet. I tillegg presenteres en typisk uke og dag for sommer- og høstperioden for å illustrere variasjoner i drift og ladebehov over tid.

Til slutt vil "nattlading" analyseres separat for å fremheve lading som har foregått utenfor arbeidstid. Disse tallene inngår i hurtigladeanalysene, men er skilt ut i en egen del for å hente ut mest mulig innsikt. Analysene er ment å bidra til en helhetlig forståelse av hurtigladingens rolle og energibehovet til lastebilene i prosjektet.

Hurtiglading

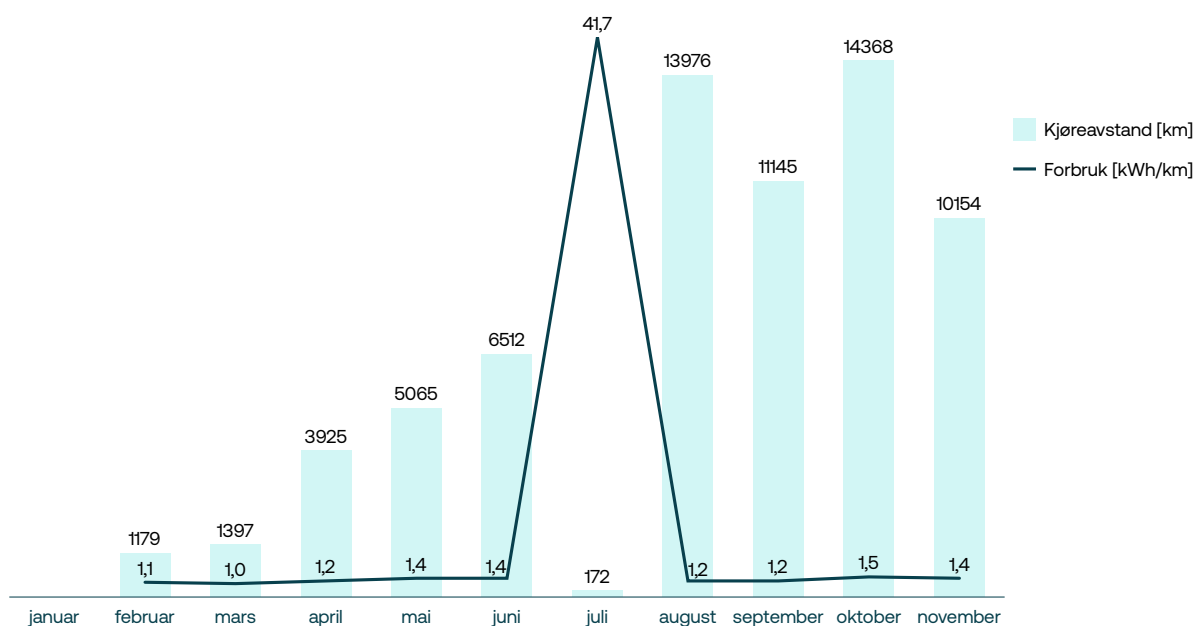
Den totale energimengden levert til hurtiglading av lastebiler i prosjektperioden er 115,4 MWh, hvorav 98,2 MWh er ladet på Gran og 17,2 MWh på Lygna. Behovet for hurtiglading har variert i løpet av prosjektet, med 1–2 lastebiler i drift i første fase og 3–4 lastebiler i siste fase. Figur 4.2.21 viser at energiforbruket økte betydelig mot slutten av prosjektet, hvor massetransport krevde mellom 18–23 MWh/måned. Perioden etter sommeren står for hele 64 % av den totale energimengden levert, noe som reflekterer den høye driftsintensiteten og behovet for flere lastebiler i denne fasen.

Figur 4.2.21: Energiforbruk per måned for lastebiler [kWh]. Eier: Hafslund Vekst.



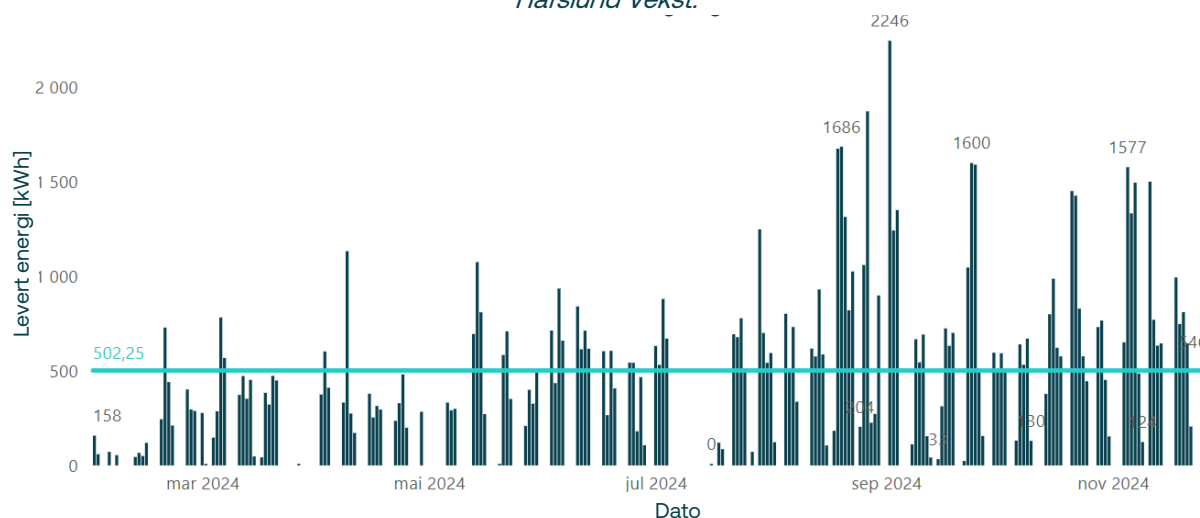
Tilsvarende som energiforbruket, har lastebilenes totale kjøreavstand økt gradvis gjennom prosjektperioden, med en tydelig topp i august, september og oktober, før en mindre nedgang i november, se figur 4.2.22. Samtidig har gjennomsnittlig energiforbruk per kjørt kilometer vært relativt stabilt, med verdier rundt 1,2–1,5 kWh/km gjennom mesteparten av perioden. I juli er det derimot registrert en spesielt høy verdi, noe som skiller seg ut fra resten av målingene. Dette kan skyldes feilkilder, som lavere kjøreavstand kombinert med ufullstendig eller feilaktig registrering av energiforbruk. Sammenhengen mellom kjøreavstand og energiforbruk per kilometer tyder på at høyere transportvolum bidrar til en mer effektiv energibruk.

Figur 4.2.22: Gjennomsnittlig energiforbruk per kjøreavstand og total kjøreavstand per måned for lastebiler. Eier: Hafslund Vekst.

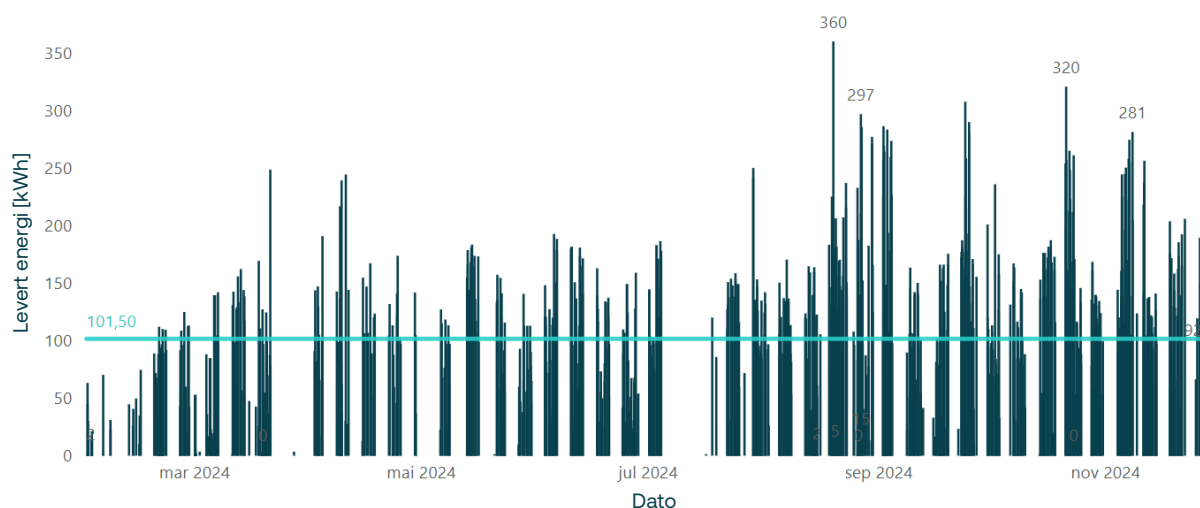


Videre følger kun analyser av data fra Gran, ettersom det foreligger mangelfull datainnsamling fra Lygna. Figur 4.2.23 og Figur 4.2.24 viser variasjon i energi levert fra hurtiglading på Gran per dag og per ladesesjon i prosjektperioden. Grafene fremhever også en økt ladeaktivitet etter sommeren. Fra grafen kommer det frem at median levert energi per dag er 502 kWh, mens høyeste registrerte energi levert på én dag var 2246 kWh, som inntraff i september. Levert energi per ladeøkt har noe mindre variasjon, med en median på 101,5 kWh, og en topp på 360 kWh. Høyere energitall for siste fase av prosjektet henger tett sammen med at flere og nyere lastebiler bidro til prosjektet med større batterikapasitet, i tillegg til økt aktivitet.

Figur 4.2.23: Energi levert fra hurtiglading til lastebiler per dag. Median markert i blå strek. Eier: Hafslund Vekst.



Figur 4.2.24: Energi levert per ladeøkt for hurtiglading av lastebiler. Median markert i blå strek. Eier: Hafslund Vekst.

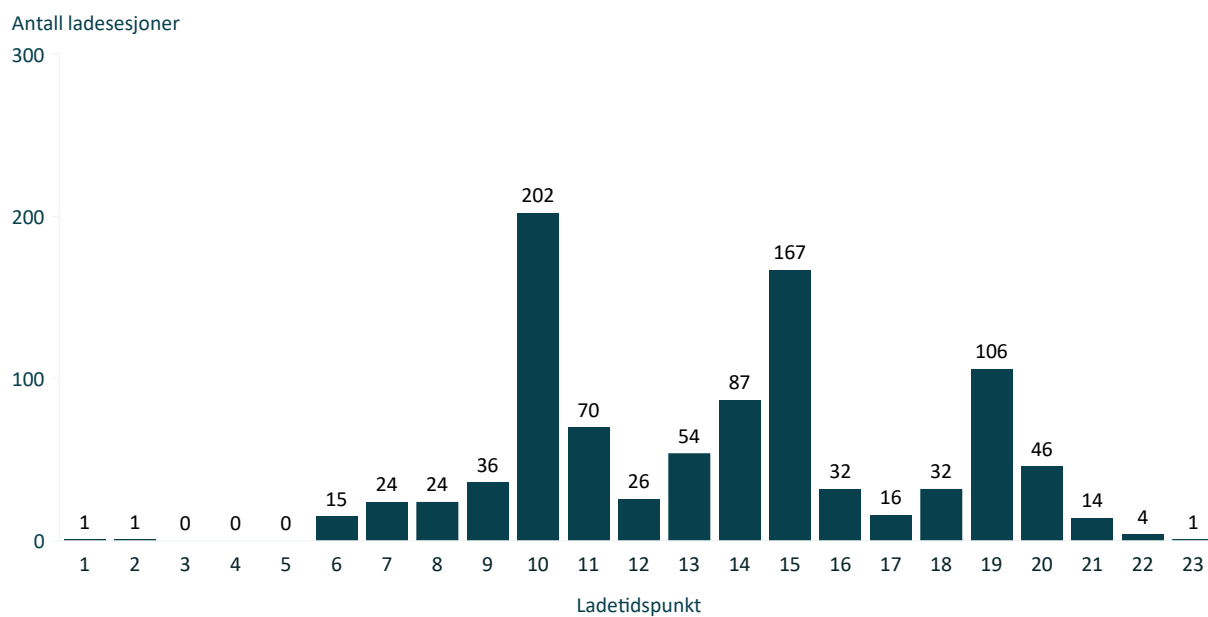


I prosjektperioden er det registrert totalt 939 ladesesjoner for massetransport. de fleste ladesesjonene har en varighet på 40–60 minutter, som illustrert i Figur 4.2.26. Gjennomsnittlig ladetid er 44 minutter, og hele 85 % av ladesesjonene varer under 70 minutter, noe som reflekterer at lastebilene typisk har behov for raske ladeøkter. Figur 4.2.25 viser at lading forekommer hyppigst rundt kl. 10–11, kl. 15–16 og kl. 19–20, noe som sammenfaller med lunsjpauser, arbeidsavslutning og ladeøkter etter arbeidstid før retur til depot.

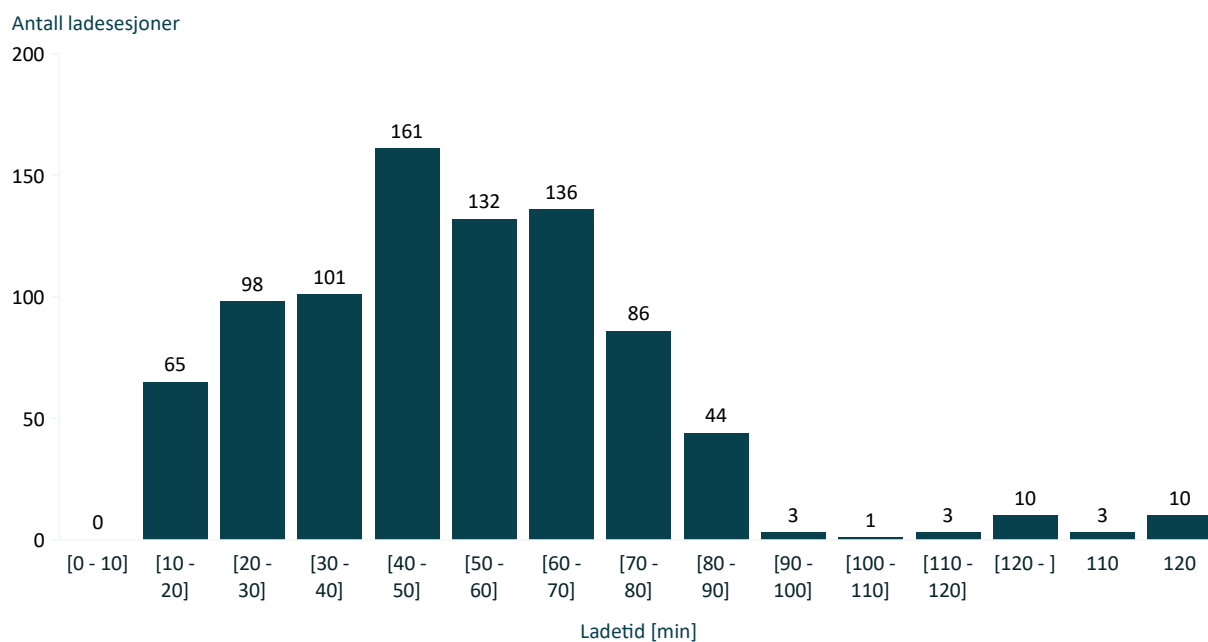
På daglig basis, som vist i Figur 4.2.27, brukes det en median på 235,5 minutter til lading per dag, med variasjoner mellom ulike driftsdager. Maksimalt registrert daglig ladetid var 718 minutter, noe som tilsvarer flere korte ladeøkter fordelt utover en intens driftsdag.

Når det gjelder batteriets State of Charge (SoC) ved oppstart av lading, hadde lastebilene en medianverdi på 45 %, noe som indikerer at batteriene sjelden var helt tomme før lading. SoC ved oppstart varierte på månedsbasis mellom 38 % og 53 %, med lavere verdier i prosjektets slutfase, da lastebilene var i mer intensiv drift. Dette lademønsteret understreker behovet for fleksible ladeplaner som kan tilpasses arbeidets intensitet og logistikk.

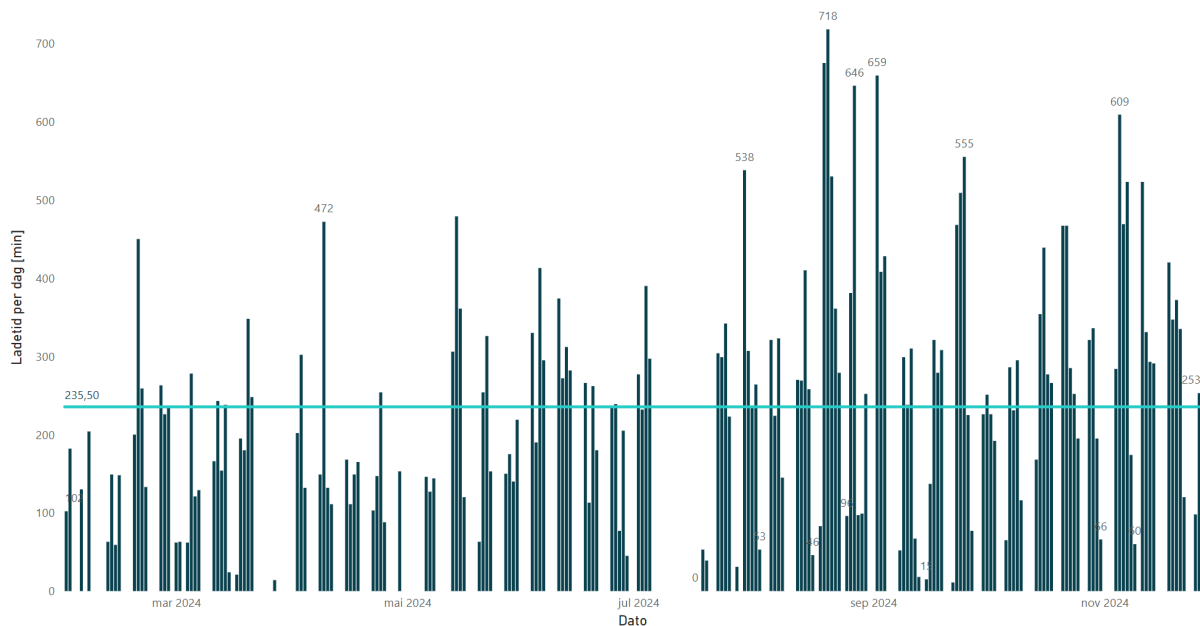
Figur 4.2.25: Antall ladesesjoner basert på timen ladesesjonen startet. Eier: Hafslund Vekst.



Figur 4.2.26: Varighet på hurtigladesesjoner for lastebiler i løpet av prosjektperioden. Eier: Hafslund Vekst.



Figur 4.2.27: Antall minutter lastebilene har blitt ladet hver dag. Median markert i blå strek. Eier: Hafslund Vekst.

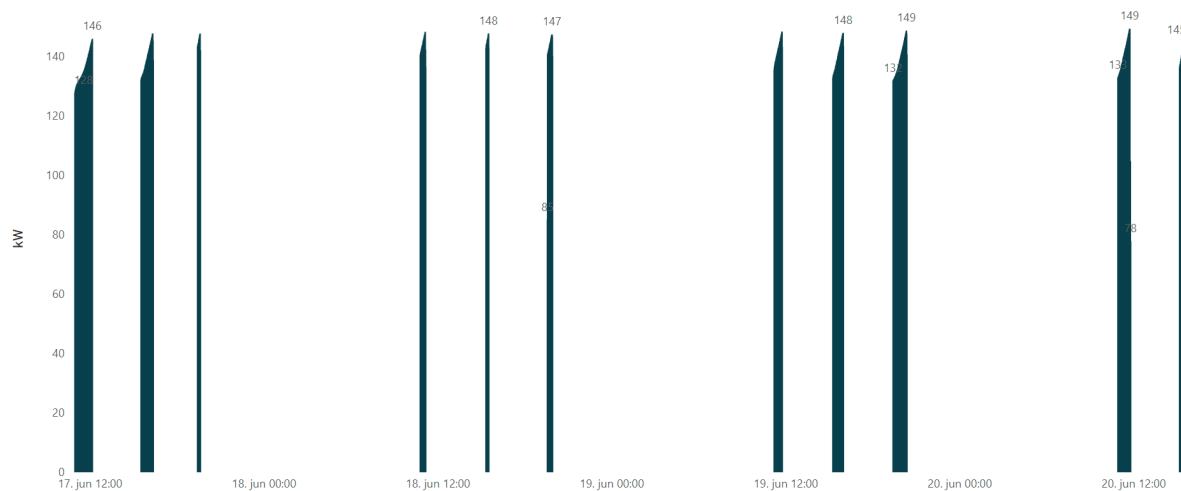


For å forstå massetransportens lademønster i løpet av prosjektet, er en typisk driftsuke for en beltegraver hentet fra juni (17.–23. juni) og november (11.–17. november) som eksempler. Figur 4.2.28 og 4.2.29 viser fordeling av effekt utover uka og en dag om sommeren, mens Figur 4.2.30 og 4.2.31 viser tilsvarende innsikt om høsten.

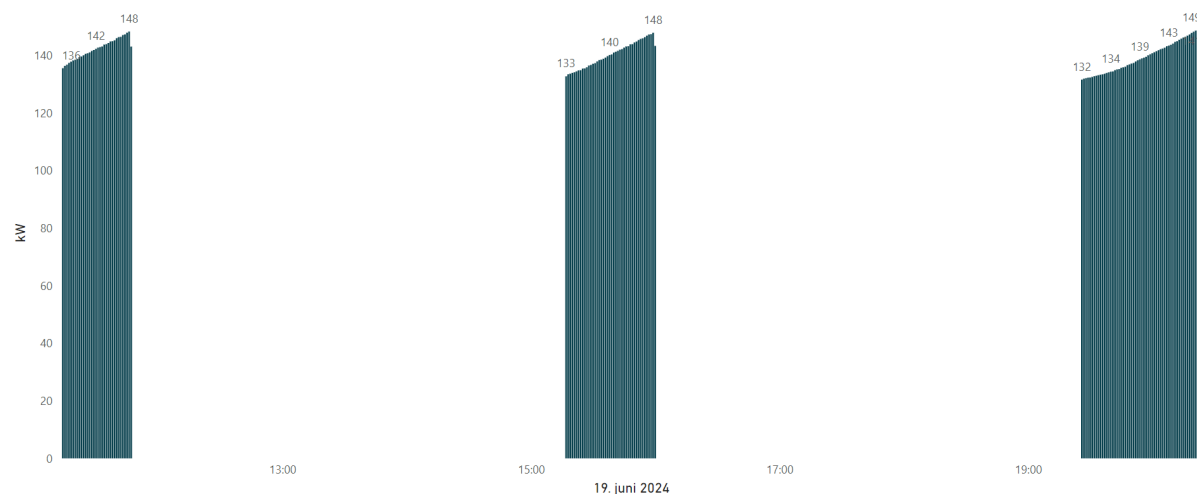
Eksempeluka om sommeren viser et lademønster med tre ladeøkter per dag på de lengste driftsdagene, én økt mellom kl. 10–11, én mellom kl. 15:30–16:30, og en siste økt mellom kl. 19–20. På de kortere driftsdagene er det gjennomført to ladeøkter. Ladingen har foregått med en relativt konstant effekt på nærmere 150 kW, som er maksimal ladeeffekt for lastebilene som ble benyttet før sommeren. Begrensningen ligger altså i lastebilenes maksimale ladeeffekt, ikke i laderens kapasitet. Noe mer overraskende er effektkurven til ladesesjonene som viser en oppadstigende trend, hvor en skulle tro at med et mer oppladet batteri vil effekten reduseres. Dette kan tyde på at batteriet sannsynligvis ikke ble ladet opp til 100 %, men kanskje heller til rundt 80 %. Totalt ble det levert 330 kWh til lading av én lastebil på en eksempeldag, og 985 kWh i løpet av uken.

I novemberuka observeres et tilsvarende lademønster, men her ser det ut til at to lastebiler lader de første dagene i uka. Den ene lastebilen har en maksimal ladeeffekt på 150 kW, mens den andre, som er en nyere modell, kan lade med opptil 240 kW. Denne høyere kapasiteten gjør det trolig mulig for den nyere lastebilen å klare seg med to ladeøkter for normal drift. Dette kan også reflektere belastningen knyttet til arbeidet for massetransporten. På mandagen i eksempeluka ble det levert totalt 831 kWh til hurtiglading av to lastebiler med ulik batteristørrelse, og totalt 1790 kWh for hele uka.

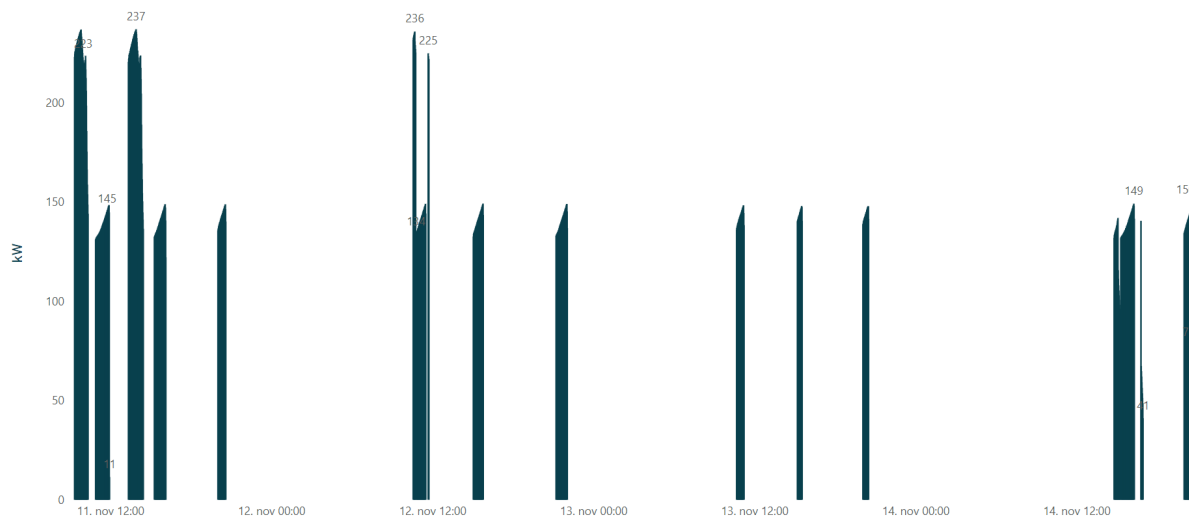
Figur 4.2.28: Levert effekt [kW] per minutt for lading av lastebiler over en sommeruke. Eier: Hafslund Vekst.



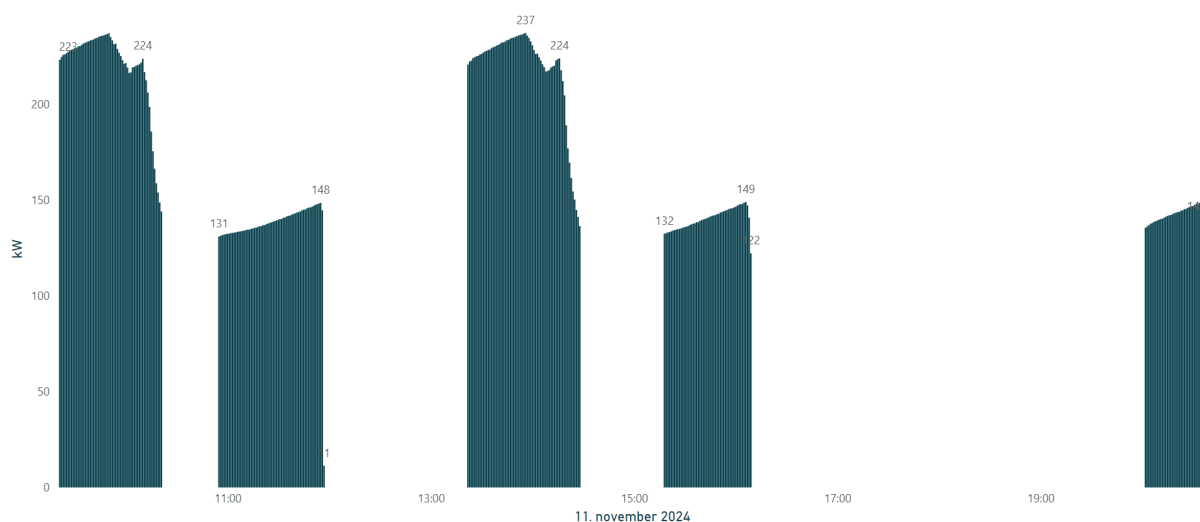
Figur 4.2.29: Levert effekt [kW] per minutt for lading av lastebiler over en sommerdag. Eier: Hafslund Vekst.



Figur 4.2.30: Levert effekt [kW] per minutt for lading av lastebiler over en høstuke. Eier: Hafslund Vekst.

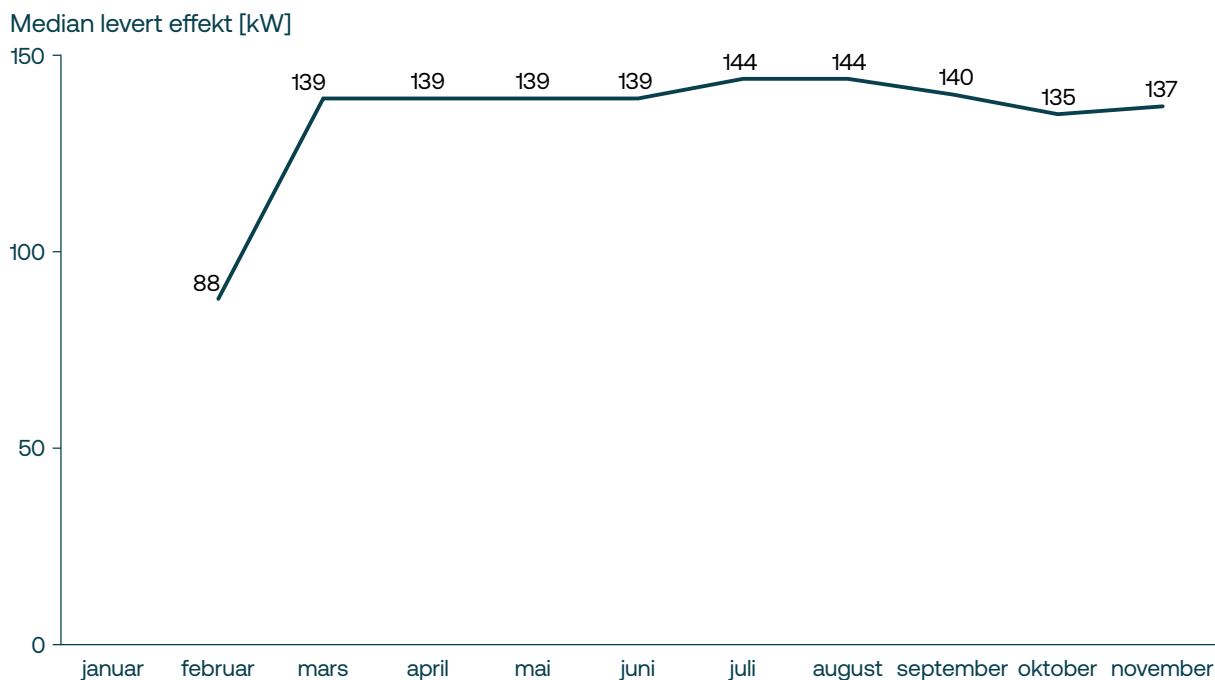


Figur 4.2.31: Levert effekt [kW] per minutt for lading av lastebiler over en høstdag. Eier: Hafslund Vekst.



Levert effekt for hurtiglading av lastebiler har vært relativt konstant over prosjektperioden. Median av maks effekt levert under lading var på 148,5 kW. Figur 4.2.32 viser median effekt per måned i løpet av prosjektperioden. Laderen kan levere maks 300 kW, men majoriteten av lastebilene som er blitt benyttet har ikke kunnet ta imot mer effekt enn 150 kW. I februar var medianen for maks effekt 120 kW, mens den i mars var 61,3 kW. Dette kan ha sammenheng med en svært kald periode, samt at det var i oppstartsfasen av prosjektet hvor det var 1-2 lastebiler med lav driftstid. Den høyeste registrerte effekten i løpet av hele prosjektperioden var 237,4 kW.

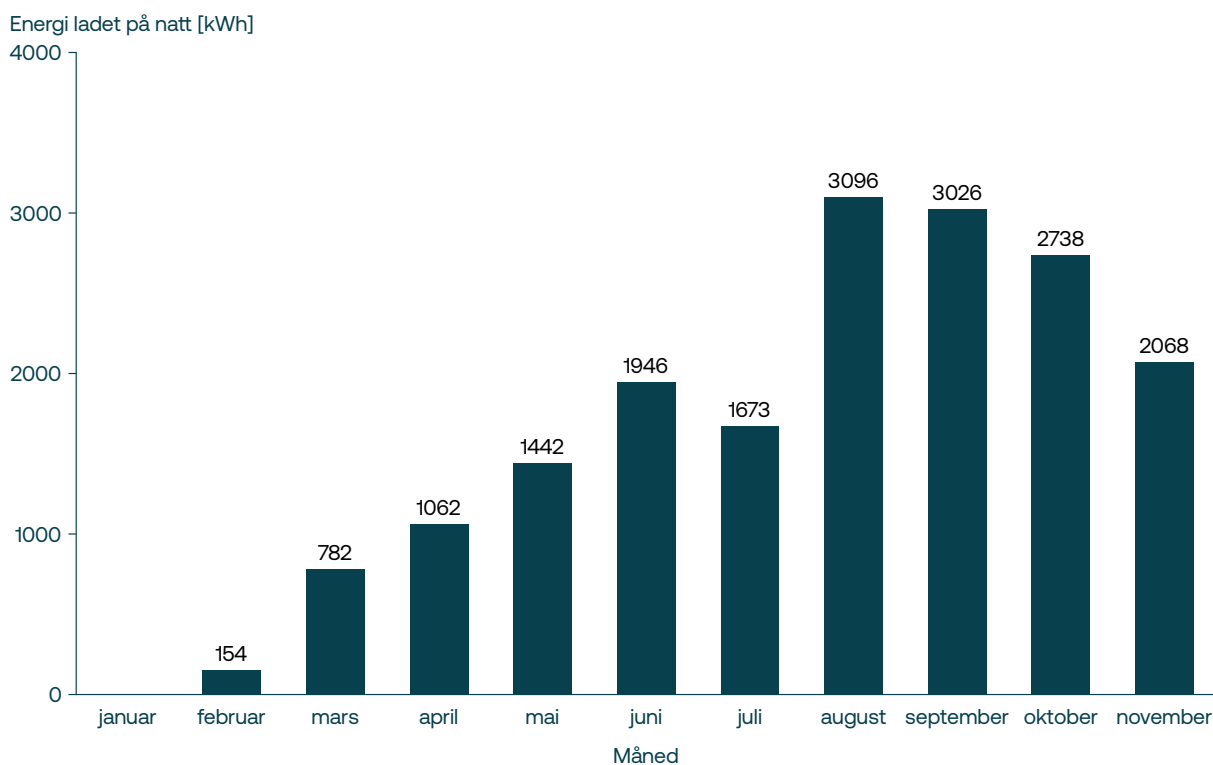
Figur 4.2.32: Median av maks effekt levert ved hurtiglading per måned for lastebiler. Eier: Hafslund Vekst.



Nattlading

Lading utenfor arbeidstid for massetransporten har foregått ved hurtiglading på Gran og omtales her som nattlading. Gjennom prosjektet er det registrert 188 ladesesjoner på natt (startet mellom kl. 19-07) for lastebiler. Lastebilene har i snitt mottatt 98 kWh per nattladesesjon. Se Figur 4.2.25 lenger opp for fordeling av ladesesjoner per tidspunkt. De fleste ladeøktene utenfor arbeidstid er mellom 20 og 21. Dette er trolig koblet til at lastebilene må lades før de reiser hjem for dagen, og vil ikke være det samme som nattlading av maskiner. Figur 4.2.33 viser total energi levert fra nattlading per måned, med en maks i august på 3095 kWh. I gjennomsnitt utgjør nattladingen 17% av all hurtiglading på Gran.

Figur 4.2.33: Energi levert ved nattlading per måned for lastebiler. Eier: Hafslund Vekst.

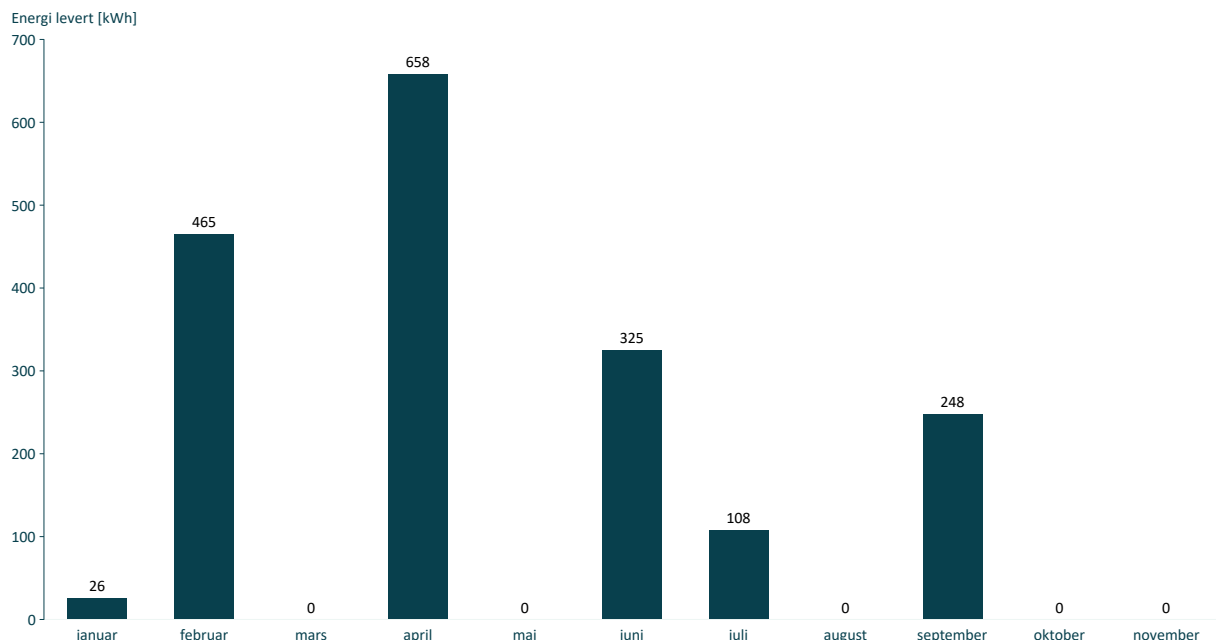


Hjullaster

Hjullasteren i prosjektet er registrert med totalt 16 ladesesjoner for hele prosjektperioden. Dette er svært få ladesesjoner for et prosjekt som strekker seg over et år, og samsvarer ikke med den faktiske bruken av maskinen. Dårlig datakvalitet, blant annet på grunn av variasjon i registrerte navn for maskinen ved bruk av ladeappen, har ført til mangelfulle analyser. Til tross for dette kan lademønsteret fremdeles gi verdifull innsikt som kan være nyttig for planlegging av tilsvarende prosjekter med lignende maskiner.

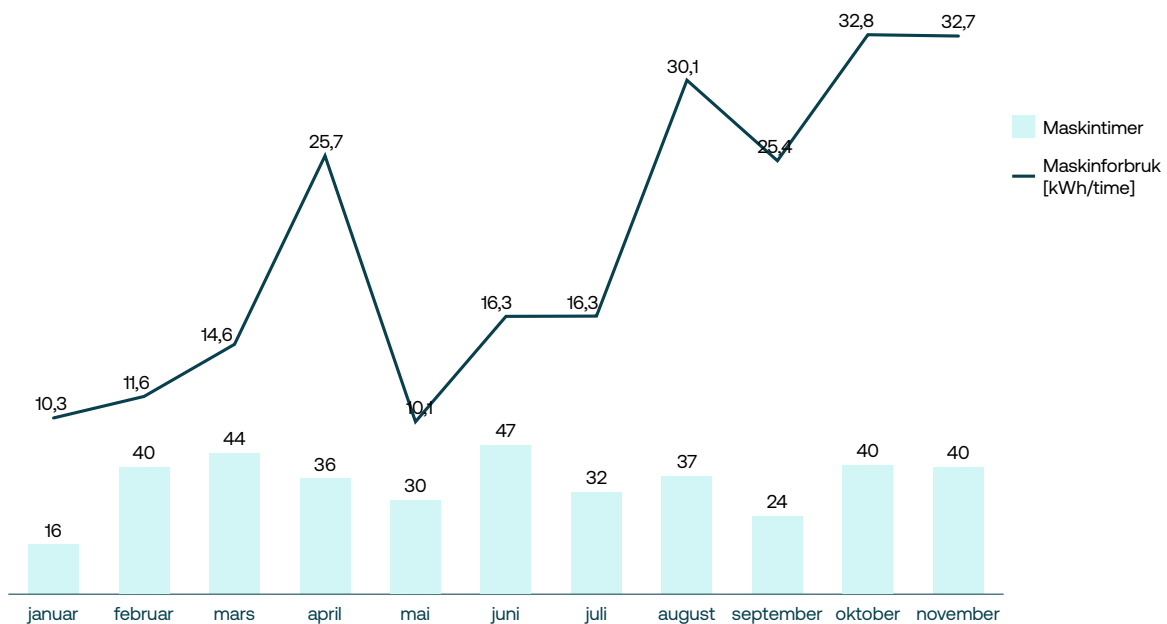
Hjullasteren har hovedsakelig ladet på ladere med lav effekt, henholdsvis 20 kW og 40 kW med type 2- og CCS-uttak. Totalt er det registrert 1505 kWh levert energi fra lading i prosjektperioden. Figur 2.4.34 viser fordelingen av energi levert per måned. Flere av månedene har ingen registrerte ladesesjoner, og den høyeste ladeaktiviteten er registrert i april måned. Dette kan reflektere variasjon i bruken av hjullasteren samt utfordringer med datainnsamlingen.

Figur 4.2.34: Energi levert til lading av hjullaster per måned. Eier: Hafslund Vekst.



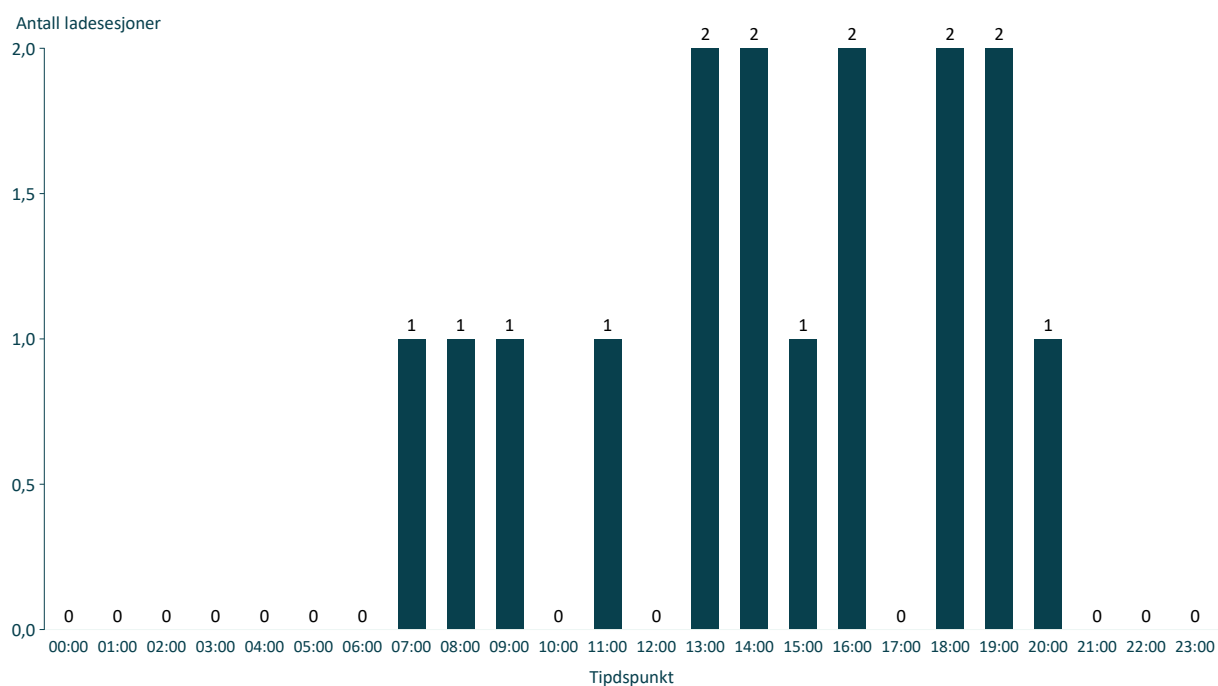
Tilsvarende som energiforbruket, har hjullasterens driftstimer variert gjennom prosjektperioden, med økt aktivitet i mars–april, en topp i juni og en stabilisering utover høsten, se figur 4.2.35. Etter sommeren økte gjennomsnittlig energiforbruk per time markant, fra rundt 15 kWh/t til en dobling i september og oktober. Dette skjer til tross for at mengden maskintimer holder seg jevn, noe som tyder på mer intensiv bruk av maskinen i denne perioden, sannsynligvis med tynge oppgaver eller mer krevende driftsforhold.

Figur 4.2.35: Gjennomsnittlig energiforbruk per time og antall driftstimer per måned for hjullaster [kWh]. Eier: Hafslund Vekst.

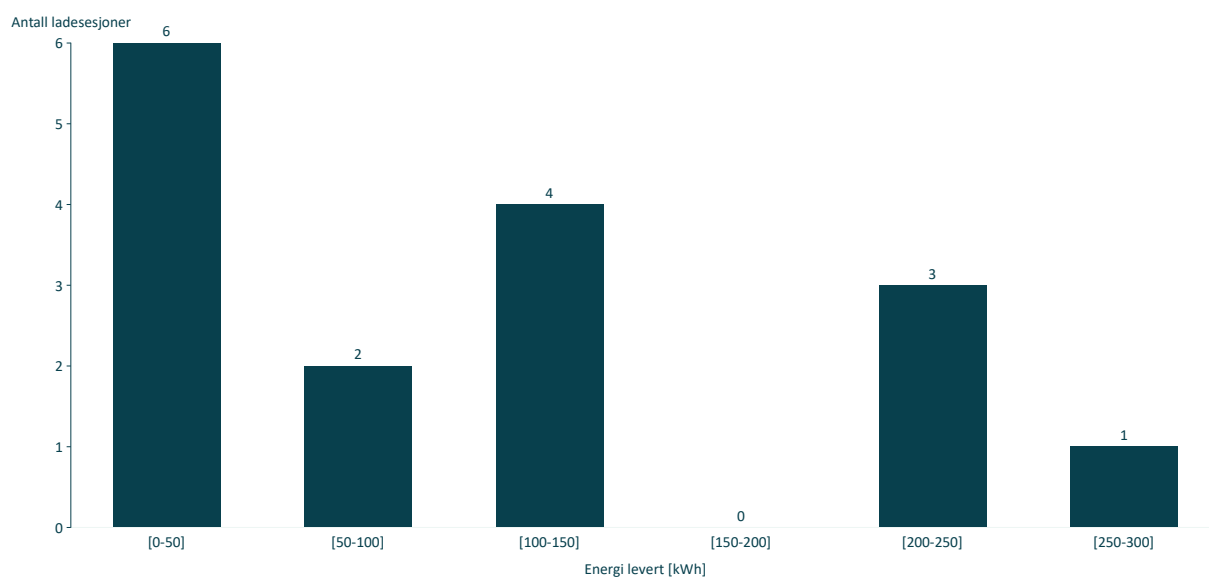


I motsetning til andre maskiner kommer det ikke frem av analysene at hjullasteren har et tydelig lademønster. Figur 4.2.36, 4.2.37 og 4.2.38 viser en oversikt over ladetidspunkt, ladevarighet og levert energi per ladesesjon over prosjektperioden. Av de registrerte ladesesjonene ser vi at det er startet ladesesjoner for hjullaster oftest kl. 13-14 og kl. 18-19. Med et tynt datagrunnlag er det sporadisk lading i løpet av dagen vi kan trekke ut som en trend. Det lades oftest under 50 kWh per ladesesjon. Median kWh per ladesesjon er 90 kWh. De fleste ladesesjonene hadde en varighet på mellom 30-120 minutter, mens noen ladesesjoner brukte over 3 timer på en ladesesjon. Dette kan ha sammenheng med at noen ganger lades maskinen kort i løpet av dagen, mens det er lengre ladesesjoner for nattlading.

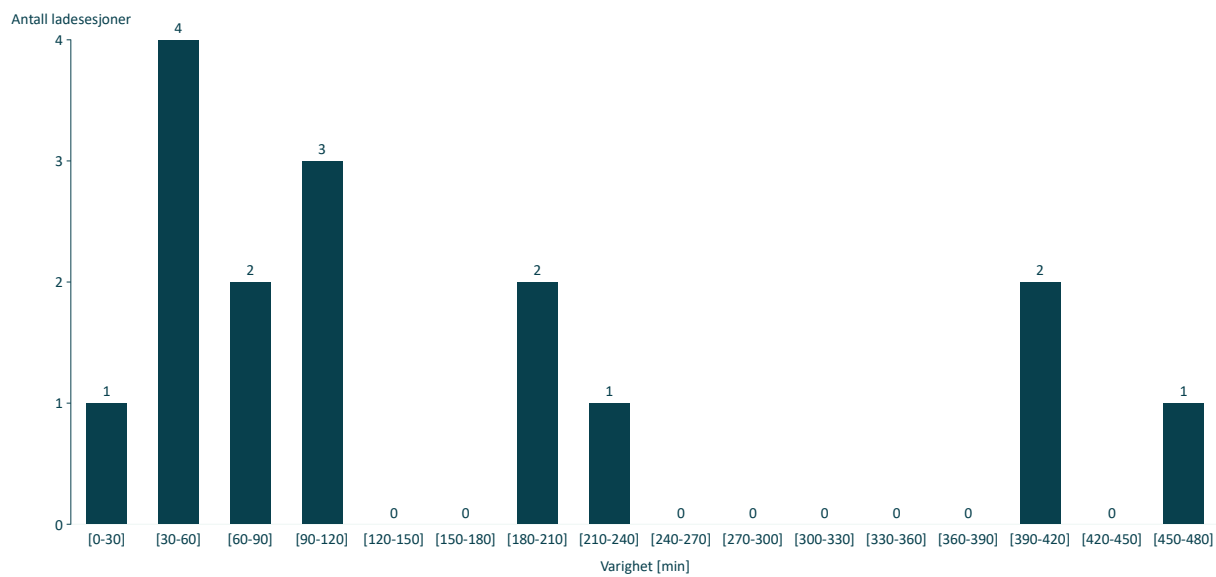
Figur 4.2.36: Antall ladesesjoner basert på timen ladesesjonen startet for hjullaster. Eier: Hafslund Vekst.



Figur 4.2.37: Energi lever per ladesesjon for hjullaster i løpet av prosjektperioden. Eier: Hafslund Vekst.



Figur 4.2.38: Varighet på ladesesjoner for hjullaster i løpet av prosjektperioden: Eier: Hafslund Vekst.



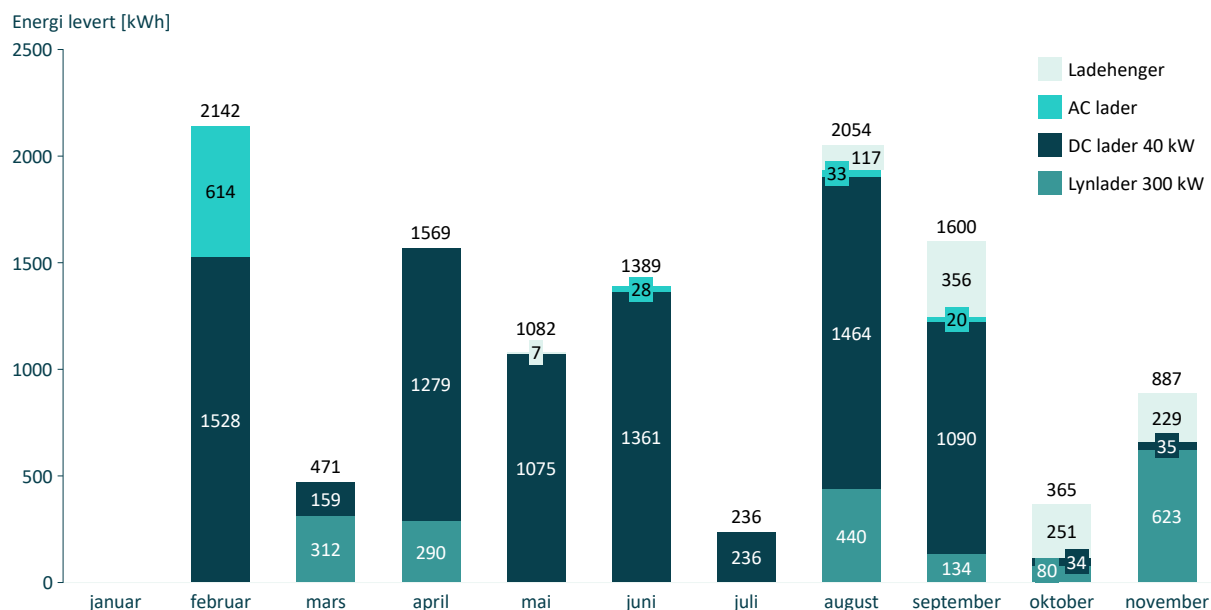
Hjulgraver

I prosjektet ble en hjulgraver brukt som servicemaskin. Til å begynne med en Mecalac-maskin, som etter hvert ble byttet ut med en Develon DX165. Hjulgraverne har primært ladet på ladere med lavere effekter, hovedsakelig en 40 kW DC-lader og en 20 kW AC-lader, men også en hurtiglader med 300 kW ble benyttet i enkelte tilfeller. Maks ladeeffekt for Develon maskinen er på 120 kW, så den totale hurtigladeeffekten er ikke blitt fullstendig utnyttet. Som for hjullasteren er datakvaliteten begrenset, delvis på grunn av variasjon i registrerte navn for maskinene i ladeappen, noe som har resultert i mangelfulle analyser.

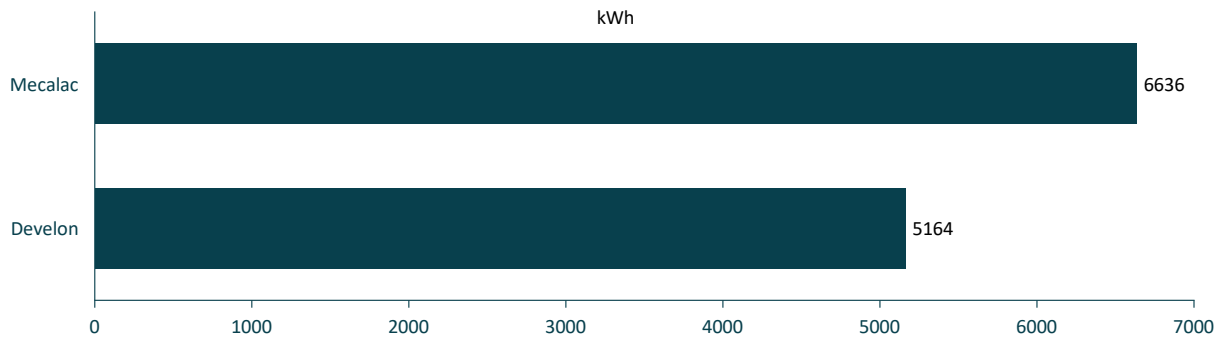
Totalt energiforbruk for hjulgraverne i prosjektperioden fra februar til november var 11 799 kWh, med et gjennomsnittlig forbruk på 1180 kWh per måned. Figur 4.2.39 viser fordelingen av levert energi per ladertype over perioden. Energibruken var omtrent likt fordelt mellom de to maskintypene, som vist i Figur 4.2.40.

Figur 4.2.41 illustrerer energileveransen fra lading per dag for hele prosjektperioden. Grafen viser perioder med opphold i lading, spesielt om våren, sommeren og mot slutten av prosjektet. Selv om noen av disse oppholdene skyldes fridager, antas det også at mangelfull registrering av ladesesjoner kan være en medvirkende årsak. Median levert energi per dag er beregnet til 127 kWh av de registrerte ladesesjonene, mens maksimalt levert energi på én dag var rundt 400 kWh. Batterikapasiteten på maskinen er på 400 kWh, så dette tilsvarer en fullstendig fullading fra 0-100%.

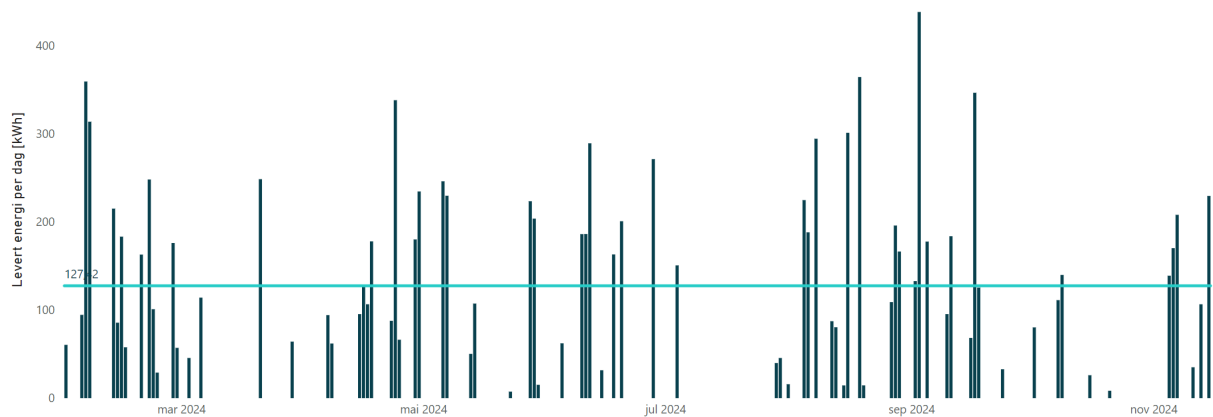
Figur 4.2.39: Energi levert fra lading av hjulgraver per måned. Eier: Hafslund Vekst.



Figur 4.2.40: Total energi levert fra lading per type hjulgraver. Eier: Hafslund Vekst.

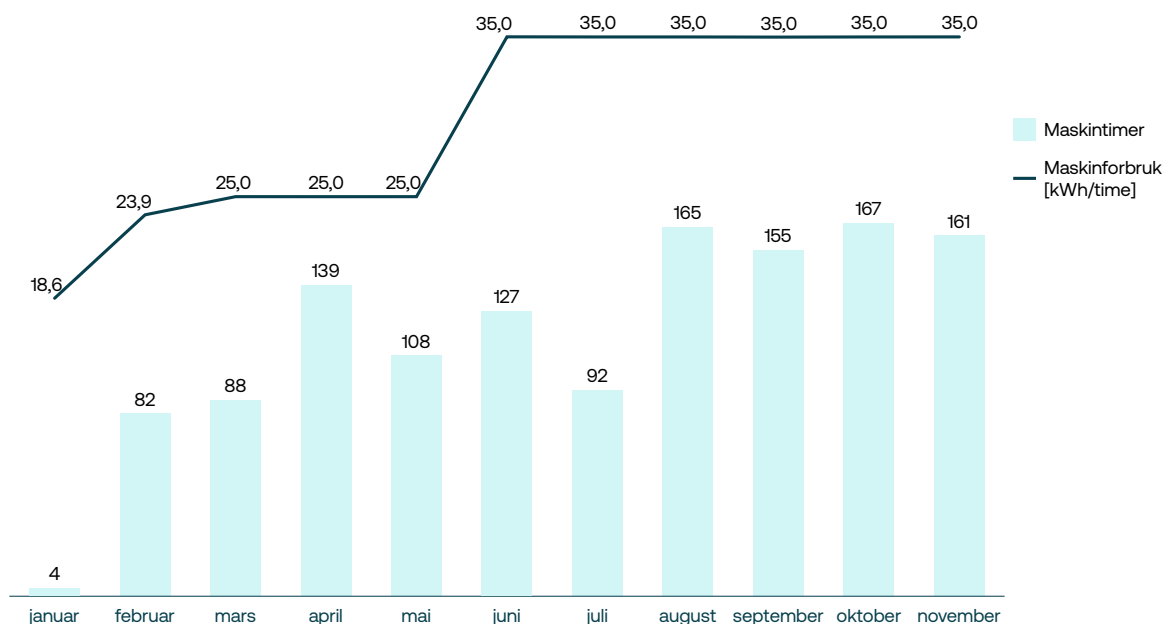


Figur 4.2.41: Energi levert fra lading per dag for hjulgraver. Eier: Hafslund Vekst.



Tilsvarende som energiforbruket, har hjulgravernes driftstimer variert gjennom prosjektperioden, med en gradvis økning frem til april, en midlertidig nedgang i juli, og deretter stabilisering på et høyere nivå utover høsten, se figur 4.2.42. Samtidig har gjennomsnittlig energiforbruk per time økt jevnt i løpet av perioden, med en tydelig oppgang fra juni og frem til prosjektets slutt. Dette kan indikere en mer intensiv bruk av maskinen eller tyngre oppgaver i den siste fasen av prosjektet. Verdien samsvarer imidlertid ikke helt med energi levert fra lading, noe som kan tyde på mangelfull data knyttet til ladesesjonene.

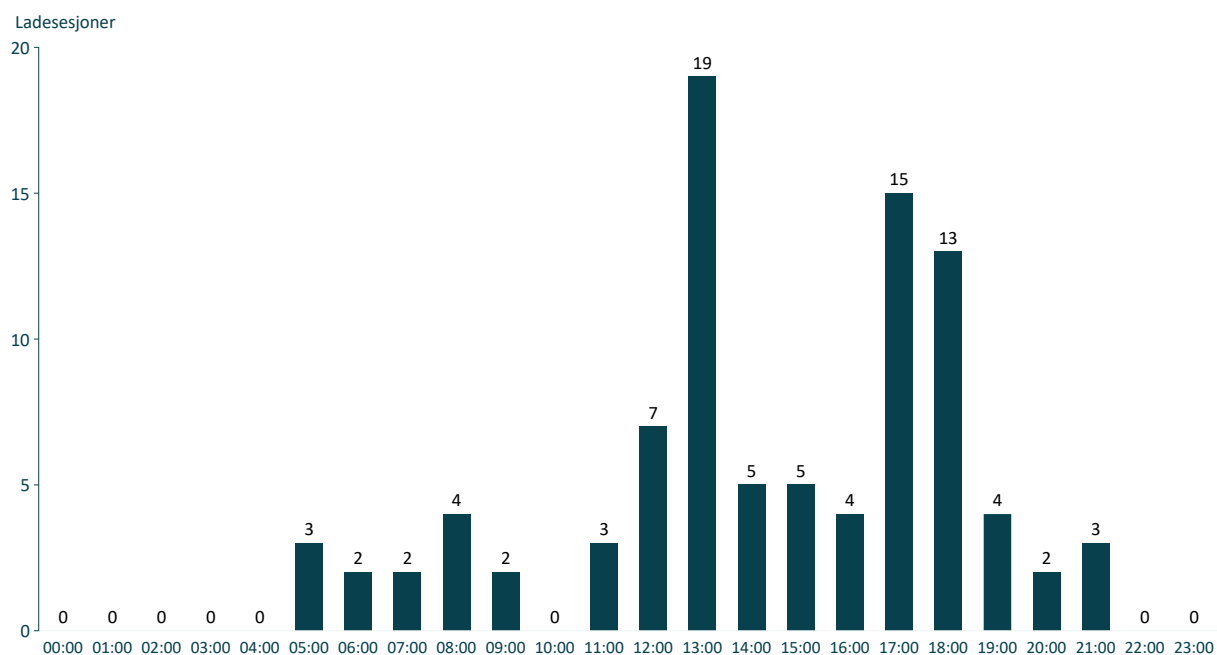
Figur 4.2.42: Gjennomsnittlig energiforbruk per time og antall driftstimer per måned for hjulgraveren [kWh]. Eier: Hafslund Vekst.



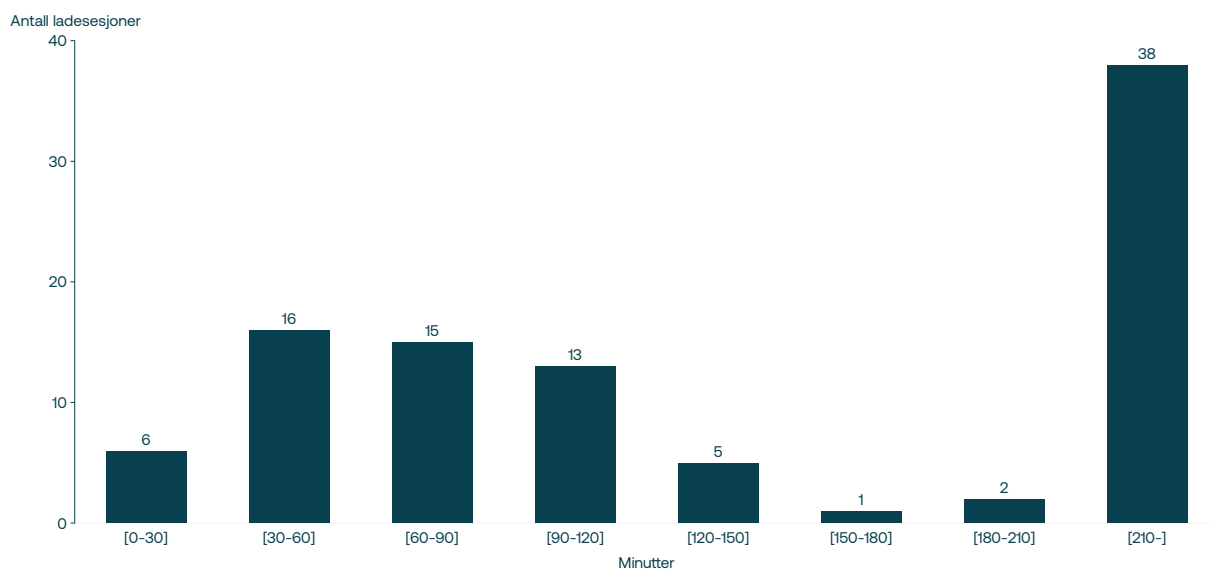
Det er registrert totalt 96 ladesesjoner for hjulgraver i prosjektperioden, noe som gir grunnlag for å identifisere enkelte ladetrender. Figur 4.2.43 viser en fordeling av starttidspunkt for lading over prosjektets periode. De fleste ladesesjonene startet enten mellom kl. 13 og 14 eller mellom kl. 17 og 19. Median ladetid for disse sesjonene var 118 minutter, altså rett under 2 timer. Dette er betydelig lengre enn hva som er observert for andre maskiner i prosjektet, noe som kan indikere at hjulgraverne i større grad klarte seg gjennom arbeidsdagen uten behov for lading. I stedet kan det tyde på at maskinene kun krevde én lengre ladeøkt på slutten av dagen for å være fulladet til neste dags drift. Figur 4.2.44 viser fordeling av lengde på ladesesjonene hvor flere er over 2 timer.

Develon-maskinen, med en batterikapasitet på 400 kWh og en estimert driftstid på 8 timer, reflekterer dette lademønsteret. Median levert energi per ladesesjon var 100 kWh, som tilsvarer en oppladning fra omtrent 25 % til 75 % av maskinens batteri. Dette understreker at hjulgraverne ikke nødvendigvis ble ladet fullt opp hver gang, men kun tilstrekkelig til å sikre nødvendig driftstid for maskinen. Figur 4.2.45 viser en fordeling av levert energi per ladesesjon over prosjektperioden.

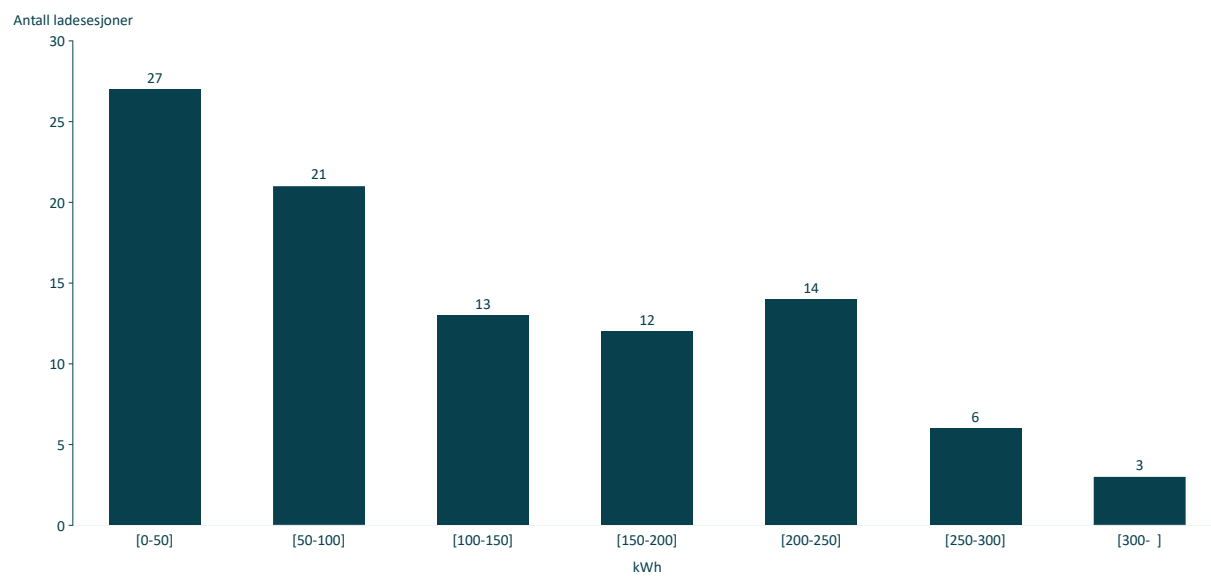
Figur 4.2.43: Antall ladesesjoner basert på timen ladesesjonen startet for hjulgraver. Eier: Hafslund Vekst.



Figur 4.2.44: Varighet på ladesesjoner for hjullaster i løpet av prosjektperioden. Eier: Hafslund Vekst.



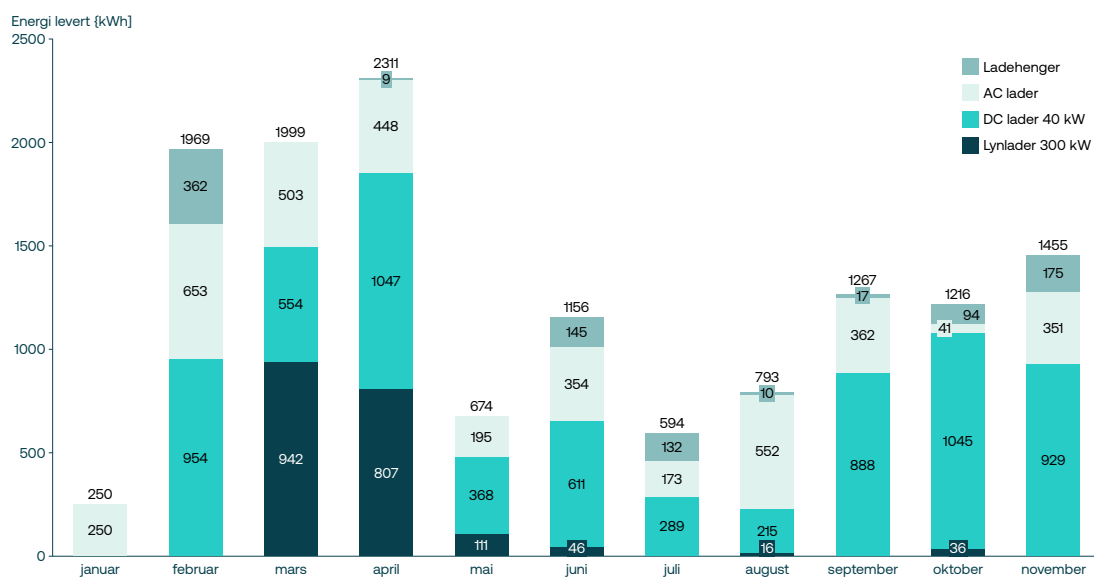
Figur 4.2.45: Energi lever per ladesesjon for hjullaster i løpet av prosjektperioden. Eier: Hafslund Vekst.



Biler

Flere elbiler har blitt benyttet gjennom perioden med behov for lading. Ladingen har hovedsakelig foregått på ladere med lavere effekt, som en DC-lader med 40 kW og AC-ladere med 20 kW. Det har også vært noe bruk av hurtiglading, særlig fra ladehenger og en lynlader med kapasitet på 300 kW. Figur 4.2.46 viser fordelingen av ladere som har blitt benyttet per måned gjennom prosjektperioden, noe som gir innsikt i hvordan ladeinfrastrukturen har blitt utnyttet. Totalt har energiforbruket til lading av elbiler vært 13 761 kWh, som tilsvarer ca 5% av totalt energiforbruk til lading av maskiner og kjøretøy.

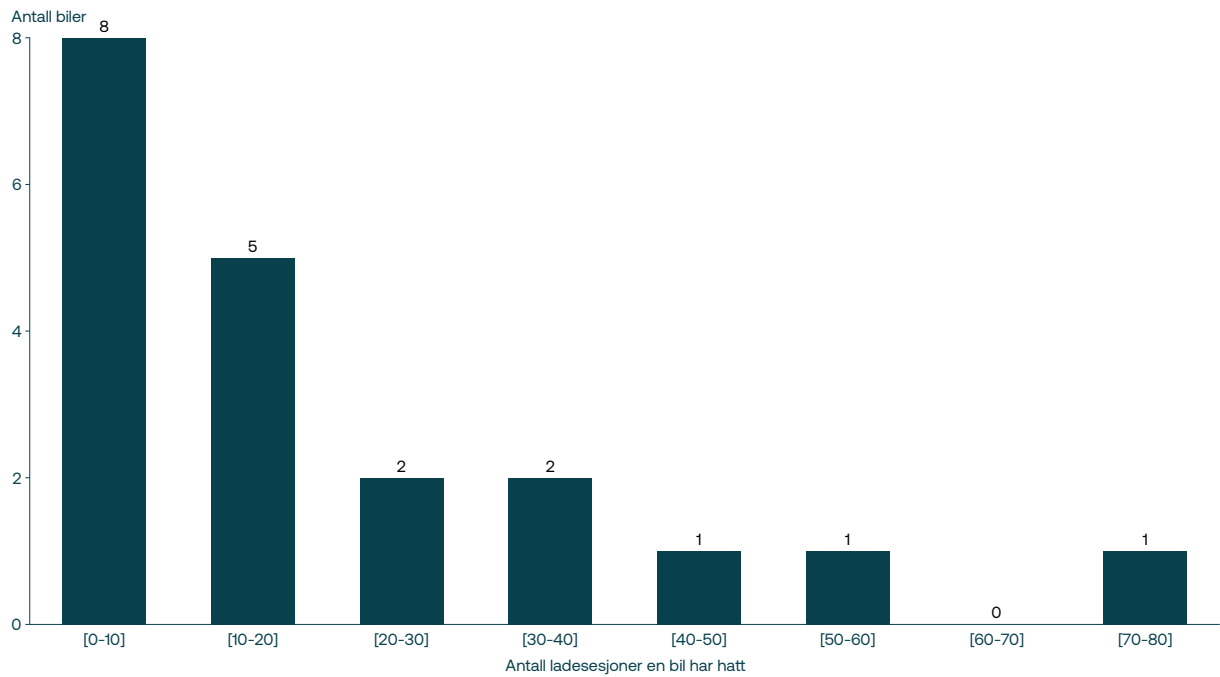
Figur 4.2.46: Energi levert fra lading av elbiler per måned. Eier: Hafslund Vekst.



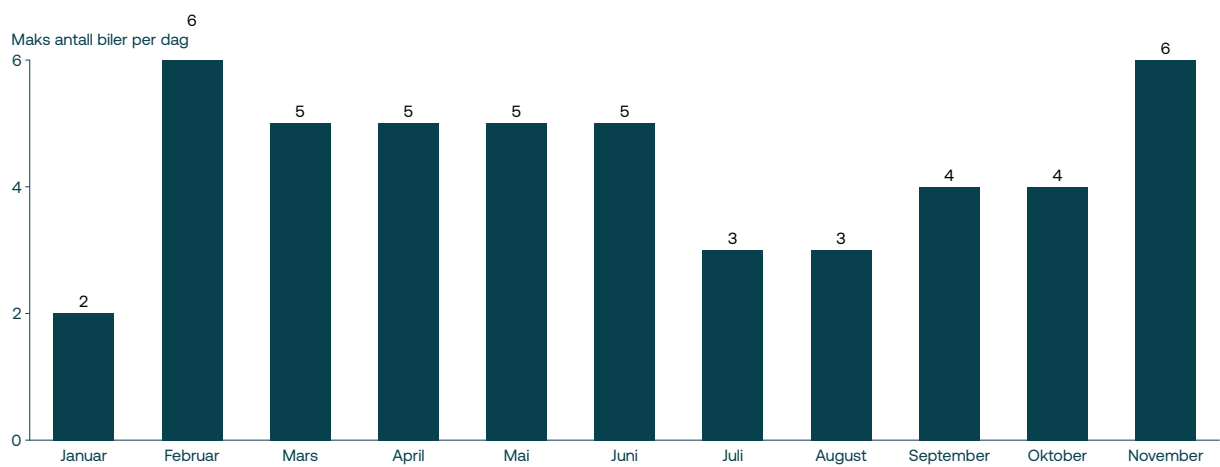
Lading av elbiler i prosjektet har vært preget av sporadisk aktivitet med totalt 380 registrerte ladesesjoner. Figur 4.2.47 viser hvordan ladesesjonene fordeler seg på ulike elbiler, og det fremgår at majoriteten av ladeøkterne er knyttet til et fåtall biler. De elbilene som har vært hyppigst på anleggsplassen har brukt mellom 700–2100 kWh totalt i løpet av prosjektet. Dette samsvarer med forventningen om at bilene ofte tilhører anleggsarbeidere som bidrar kontinuerlig til prosjektet.

Gjennomsnittlig har 2 elbiler ladet per driftsdag, med et maksimum på 6 biler per dag, som vist i figur 4.2.48. På Gran er det tilrettelagt for 8 AC-ladere med type 2 for lading av elbiler og maskiner. Basert på dataene for elbillading, kan det tyde på at denne kapasiteten har vært overdimensjonert. Gjennomsnittlig maksimal effekt for lading av elbiler har vært 23 kW, mens den høyeste registrerte ladeeffekten har vært rundt 150 kW. Dette viser at elbiler hovedsakelig har benyttet ladere med lavere effekt, mens hurtiglading har vært et unntak, som også er vist i Figur 4.2.46.

Figur 4.2.47: Fordeling av antall ladesesjoner per bil for prosjektperioden. Eier: Hafslund Vekst.



Figur 4.2.48: Maks antall biler som har ladet per dag fordelt over månedene i prosjektet. Eier: Hafslund Vekst.



4.3 Ladeeffektivitet og temperatur

Utetemperatur kan ha en betydelig innvirkning på maskinenes effektivitet og energiforbruk. Det er en hypotese om at temperatur også kan påvirke ladeeffektiviteten, altså forholdet mellom ladeeffekten levert fra laderen til maskinen, i tillegg til hvor mye energi som faktisk overføres.

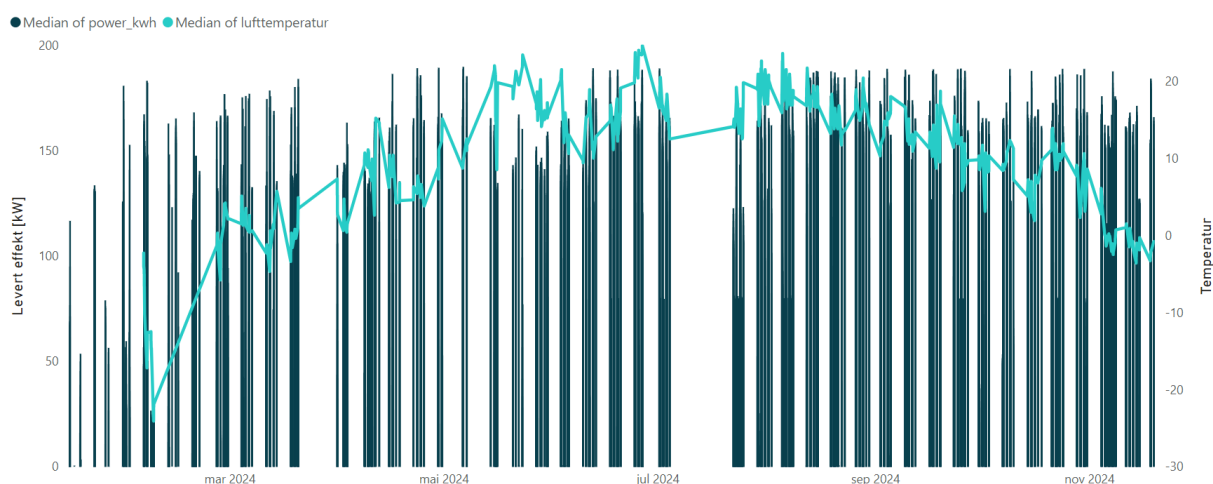
I dette kapittelet vil vi undersøke hvordan ladeeffektiviteten for ulike maskiner påvirkes av temperatur og trekke ut læringspunkter som kan være nyttige for planlegging av fremtidige prosjekter under ulike klimatiske forhold. Data for utetemperatur er hentet fra lokal værstasjon i nærheten av anleggsplassen.

Ladeeffekt for beltegravere i ulike temperaturer

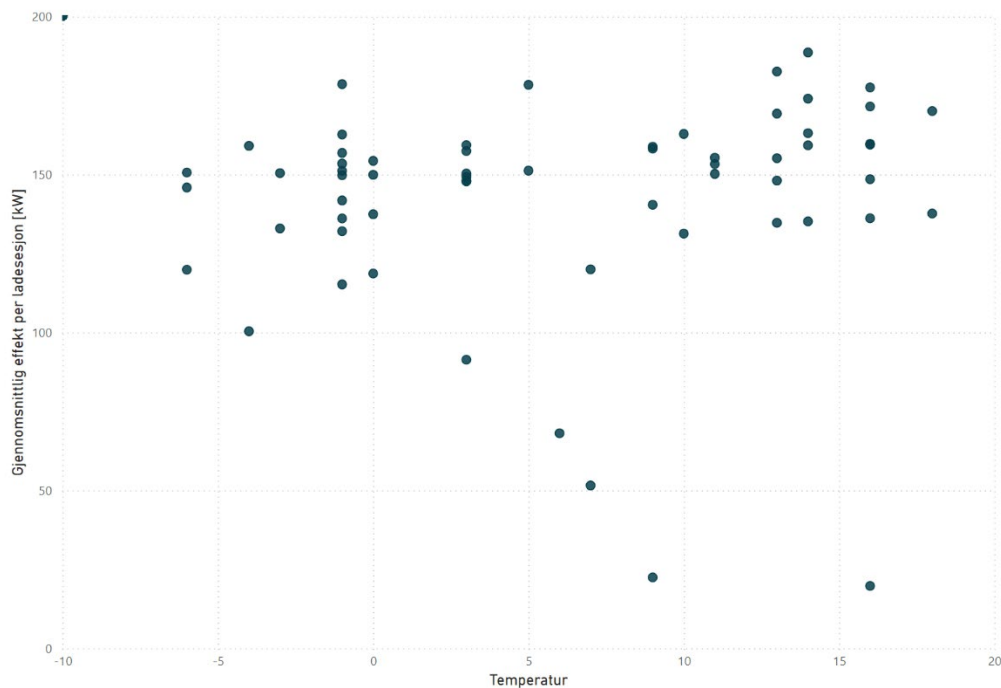
Beltegraverne har hovedsakelig hurtigladet ved bruk av mobile batterihengere, og det vil derfor benyttes data fra batterihengerne for å se på innvirkning på temperatur.

Figur 4.3.1 viser en fremstilling av levert effekt til hurtiglading av beltegravere sammen med variasjon i utetemperatur over prosjektperioden. Det er verdt å merke seg at det ikke er registrert temperaturdata fra værstasjonen i januar og det var i denne perioden de kaldeste temperaturene er erfart med temperaturer ned mot -30 grader. Fra grafen kan det sees at effekten er lav i januar, men som i tillegg til temperatur også kan skyldes begrenset bruk av ladeutstyr i prosjektets tidlige fase. Gjennom hele prosjektperioden er det variasjon i levert effekt til hurtiglading, men det kommer ikke frem av grafene at det er noen tydelig sammenheng med levert effekt og utetemperatur. Figur 4.3.2 underbygger også denne observasjonen, som tar for seg gjennomsnittlig levert effekt per ladesesjon opp mot utetemperatur. Denne grafen viser at gjennomsnittlig effekt typisk varierer mellom 130 kW og 170 kW uavhengig av temperatur.

Figur 4.3.1: Levert effekt til hurtiglading av beltegravere og variasjon i temperatur over prosjektperioden. Eier: Hafslund Vekst.



Figur 4.3.2: Gjennomsnittlig levert effekt fra lading av beltegravere opp mot utetemperatur. Eier: Hafslund Vekst.

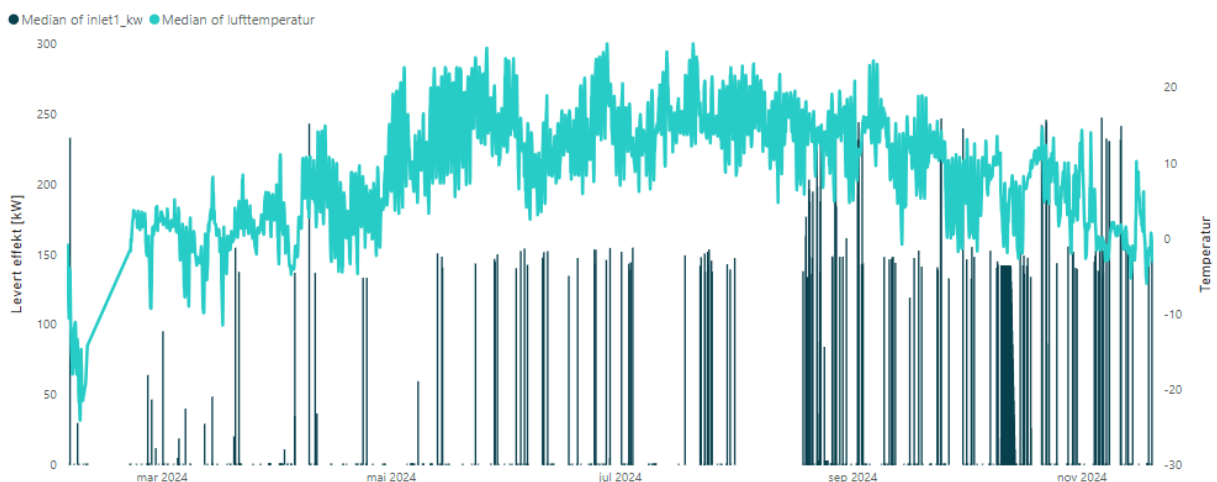


Ladeeffekt lastebiler i ulike temperaturer

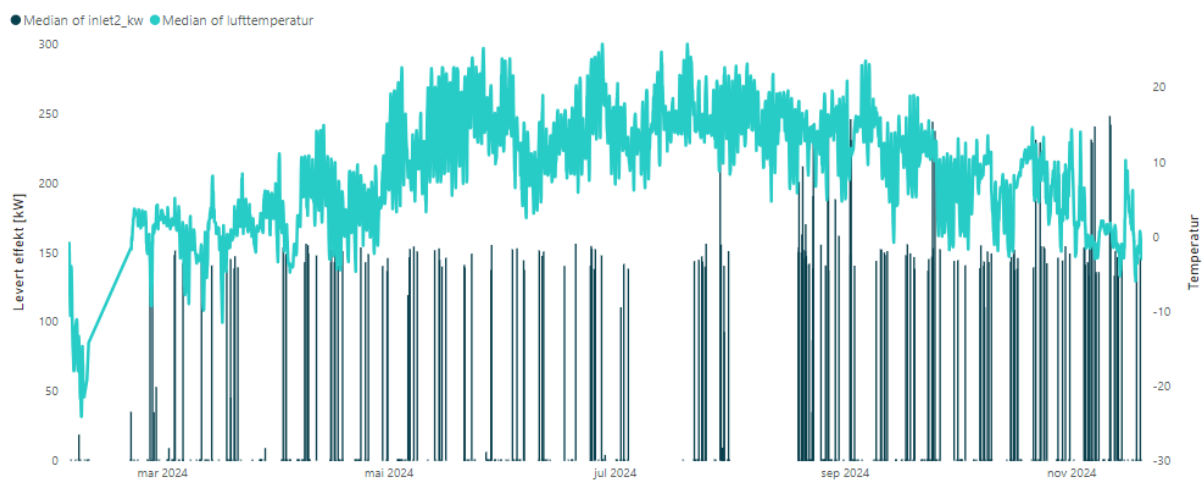
Figur 4.3.3 og 4.3.4 viser levert effekt fra hurtiglading av lastebiler på henholdsvis uttak 1 og uttak 2 på hurtigladeren sammen med variasjon i utetemperatur gjennom prosjektperioden. Gjennom prosjektperioden ligger effekten stabilt rundt 150 kW uavhengig av utetemperatur, med noen toppene på over 200 kW. Disse toppene kan tilskrives nyere lastebiler som har høyere kapasitet til å ta imot effekt. Figur 4.3.5 underbygger dette, og viser gjennomsnittlig levert effekt per ladesesjon opp mot temperatur.

Dataene gir likevel verdifull innsikt om ladeeffektiviteten under ulike temperaturforhold og bekrefter at lastebilene har vært i stand til å opprettholde relativt stabile ladeeffekter gjennom prosjektet, selv ved varierende temperaturer.

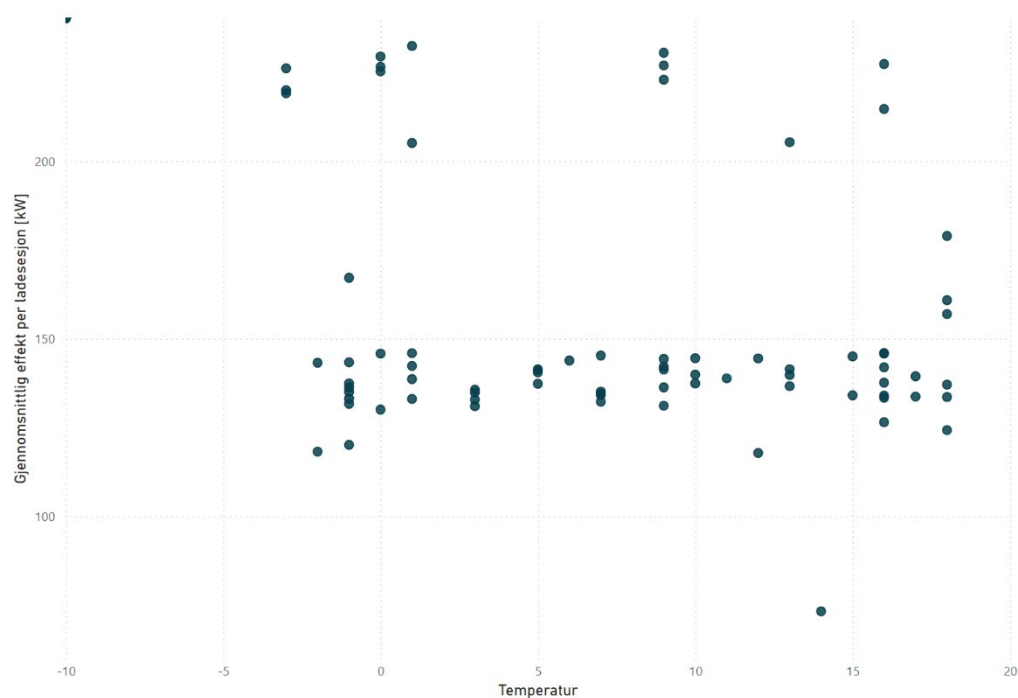
Figur 4.3.3: Levert effekt til hurtiglading av lastebiler (uttak 1 på hurtigladeren) og variasjon i temperatur over prosjektperioden. Eier: Hafslund Vekst.



Figur 4.3.4: Levert effekt til hurtiglading av lastebiler (uttak 2 på hurtigladeren) og variasjon i temperatur over prosjektperioden. Eier: Hafslund Vekst.



Figur 4.3.5: Gjennomsnittlig levert effekt fra lading av lastebiler opp mot utetemperatur. Eier: Hafslund Vekst.

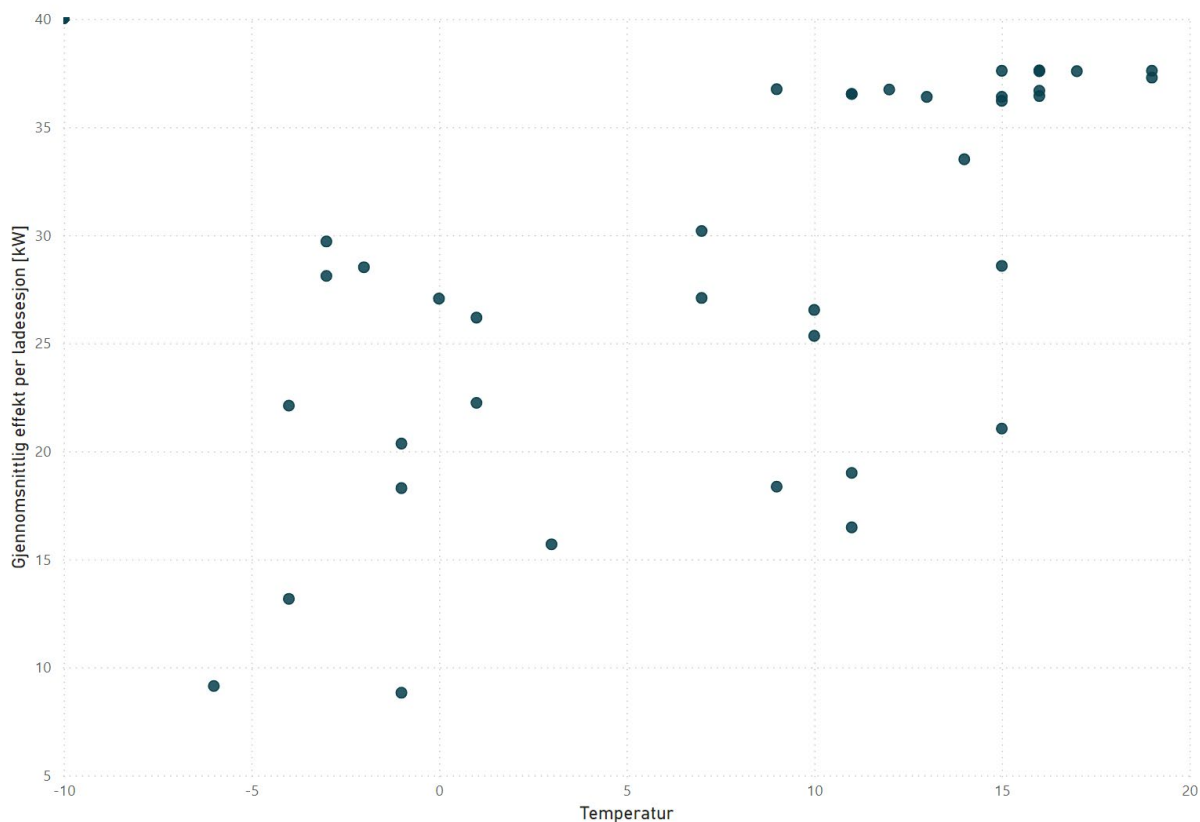


Ladeeffekt hjulgraver i ulike temperaturer

Figur 4.3.6 viser gjennomsnittlig levert effekt fra 40 kW DC-lading av hjulgraver i sammenheng med utetemperatur. I motsetning til hurtigladingen for lastebiler og beltegravere, ser vi her større variasjon i levert effekt i forhold til temperatur. Det fremgår tydelig at effekten nærmer seg laderens maksimale kapasitet på 40 kW ved temperaturer over 5 grader, mens den ofte ligger lavere ved kaldere temperaturer.

Det er viktig å merke seg at datagrunnlaget for disse ladesesjonene er mindre omfattende, og variasjonen kan derfor også være påvirket av andre faktorer, som batteriets tilstand eller varierende ladebehov. Likevel antyder denne trenden at 40 kW DC-ladere kan være mer sårbare for temperaturpåvirkninger sammenlignet med hurtigladerne som er benyttet for lastebiler og beltegravere.

Figur 4.3.6: Gjennomsnittlig levert effekt fra 40 kW DC lading av hjulgraver opp mot utetemperatur. Eier: Hafslund Vekst.

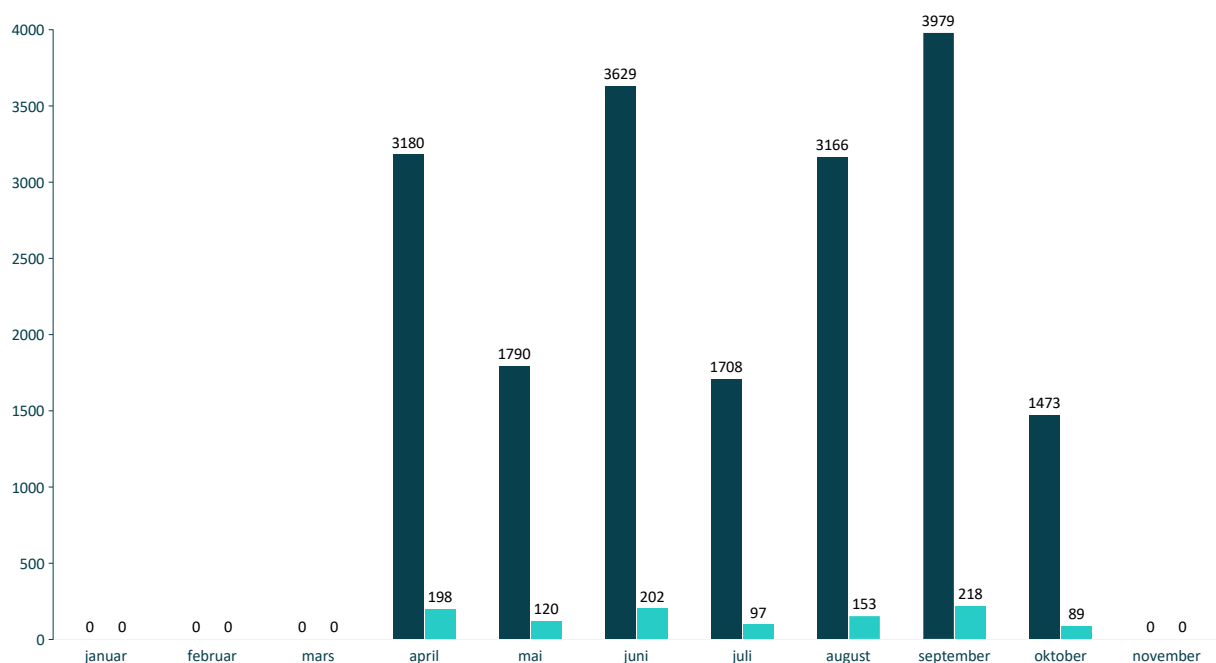


4.4 Energiproduksjon fra hydrogen

Hydrogenbrenselcellen har levert mellom 1500 og 4000 kWh per måned. Det har vært svært varierende last på hydrogenanlegget, men de fleste dager har anlegget levert mellom 300 og 500 kWh energi.

Produksjon av strøm fra hydrogen innebærer ca. 50 % tap som går ut som varme. I anlegget på Gran ser vi at hver kg hydrogen produserer gjennomsnittlig 17,6 kWh elektrisk strøm.

Figur 4.4.1: Strømproduksjon fra hydrogenbrenselcelle. Eier: Hafslund Vekst.



	April	Mai	Juni	Juli	August	Sept	Okt
Hydrogen forbruk kg	198	120	202	97	153	218	88,5
Produsert strøm kWh	3180	1790	3629	1708	3166	3979	1473
Varmetap kWh	3430	2442					
Virkningsgrad	48 %	44,9 %					
kWh strøm/kg H2	16,1	14,9	18,0	17,6	20,7	18,3	16,6

Figur 37 Strømproduksjon fra hydrogen. Eier: Hafslund Vekst.

5. Økonomi

Entreprisen Fv.2300 Miljøgate Gran er finansiert under etappe 1 av prosjektet Rv.4 Lunner grense – Jaren. I Stortingsproposisjon 50 S (2012-2013) ble det bevilget 50 mill. kr til tiltak på daværende rv.4 gjennom Gran sentrum for å tilpasse vegen til sin nye rolle som lokalveg, bl.a. med tiltak i Gran sentrum. Beløpet er indeksregulert til 78 mill. kr i 2024. Denne bevilgningen skal dekke alle kostnadene for de tradisjonelle elementene i prosjektet, inkludert planlegging, prosjektering, byggherrekostnader, entreprisekostnad mv. Kontraktsummen i avtalen med Anlegg Øst Entreprenør er 47 mill. kr.

VA-arbeidene for Gran kommune dekkes av kommunen. Disse planlagte arbeidene var anslått til ca. 6,5 millioner kroner.

Pilotprosjekt for utslippsfrie anleggsplasser

I tillegg til bevilgning til prosjektet for de tradisjonelle elementene under Rv.4-prosjektet har prosjektet fått støtte fra Samferdselsdepartementets støtteordning *Pilotprosjekter for utslippsfrie anleggsplasser i transportsektoren*. Prosjektet fikk innvilget 12 mill. kr i 2023 og 5,1 mill. kr i 2024, totalt 17,1 mill. kr. Disse midlene har i sin helhet gått til ulike tiltak relatert til kravene om utslippsfri anleggsplass. Siden Miljøgate Gran er et pilotprosjekt og FoU-prosjekt er denne merkostnaden ikke uten videre representativ for kostnadene som følger av krav til utslippsfri drift. I tillegg til ekstra kostnader som følger av de utslippsfrie kravene som er stilt i kontrakten, er det tatt med noen elementer i prosjektet som SVV ønsket å opparbeide kunnskap om, som har medført noen kostnader utover krav relatert til utslippsfri drift av anleggsplassen. Dette gjelder blant annet ladeløsninger, off-grid hydrogenløsning og omfattende datainnsamling fra lading og drift av elektriske maskiner og kjøretøy. Tilskuddet på 17,1 mill. kr. er derfor ikke korrekt prislapp for de utslippsfrie kravene som er stilt.

FoU-avtale mellom Statens vegvesen og Hafslund Vekst AS

Statens vegvesen som byggherre og Hafslund Vekst AS inngikk i november 2023 en FoU-avtale: *Forskning på og ladeløsninger til utslippsfritt anlegg*. Intensjonen med avtalen var at begge parter skulle opparbeide seg kunnskap og erfaringstall rundt lading av anleggsmaskiner og utslippsfri drift av anleggsplass.

Avtalen er regulert slik at begge parter selv dekker eget timeforbruk til arbeider knyttet til avtalen. Statens vegvesen betaler markedspris for leie av alt ladeutstyr, som vist under i utdrag fra avsnittet om vederlag for leie av utstyr fra FoU-avtalen (priser eks.mva.):

1.2 Prisene for respektive Utstyr skal være:

Batterihengere:	2.970.000 kr
Hurtiglader:	743.625kr
Billadere:	42.000 kr
Provisorisk Nettstasjon og Byggestrømskap:	898.000 kr
Hydrogenbrenselcelle og Hydrogentank:	2.570.000 kr
TOTALT PRIS LEIE AV UTSTYR:	7.223.625kr

Figur 38 Vederlag for leie av utstyr, fra FoU-avtalen. Eier: Statens vegvesen og Hafslund.

Transport, montering, demontering, driftsleder, vakttelefon, evt. ytterligere ladeutstyr og hydrogengass kommer i tillegg. I avtalen var det avsatt 1,44 mill. kr til innkjøp og transport av hydrogengass.

Under anleggsgjennomføringen har det også dukket opp noen mer eller mindre uventede kostnader og krav, i hovedsak fra entreprenøren. Under gjennomføringen har Anlegg Øst Entreprenør hatt uventet merarbeid, nedetid og andre utfordringer og kostnader relatert til ladeutstyret som byggherren står ansvarlig for. Det er derfor sendt krav for dekning av ekstra kostnader som entreprenøren mener at de ikke kunne forutse på tilbudsstadiet. Når denne læringsrapporten skrives er sluttoppgjøret mellom byggherre Statens vegvesen og Anlegg Øst Entreprenør ikke avsluttet og det er derfor ikke klart nøyaktig hva det omforente beløpet blir, men summen av kravene fra entreprenøren ligger pr. nå på mellom 1 og 2 mill. kr. Kostnaden i disse kravene er i hovedsak relatert til feil og nedetid på ladeutstyr og ulike avtalte tilleggsarbeider forbundet med ladeutstyr. Denne kostnaden, dvs. det den ender på ved omforent sluttoppgjør, er uforutsett av både entreprenør og byggherre. Siden forskningsprosjektet utreder ukjente løsninger var det likevel forventet at ulike utfordringer og uforutsette kostnader ville dukke opp.

Prosjektet får ofte spørsmål om hva kostnaden er for de utslippsfrie kravene som er stilt. Siden dette er et pilotprosjekt med støtte og betingelser fra SD og et FoU-prosjekt i samarbeid med Hafslund er det et spørsmål som ikke kan besvares kort og presist. Her er det mange elementer som går inn i hverandre og som ikke er direkte overførbare til andre prosjekter uten krav fra SD og FoU-betingelser. Noen momenter er:

- Ladeutstyret ble dimensjonert på tilbudsstadiet for å dekke behovet fra tre ulike tilbydere med noe ulik plan for maskinpark og ladebehov.
- SN/TS 3770 legger føringer for ansvar og oppgaver i utslippsfrie anlegg. Denne spesifikasjonen som kom ut i september 2023, altså etter utlysningen av entreprisen Miljøgate Gran, legger opp til at entreprenøren er ansvarlig for ladeutstyr til anlegget. Dette betyr at de kan tilpasse det bedre til sin konkrete maskinpark og plan for lading. I prosjektet på Gran har byggherren stått for ladeutstyret og måtte dimensjonere det på tilbudsstadiet, før man visste nøyaktig hvilken maskinpark som ville bli brukt.
- Et viktig moment var at prosjektet ville teste ut bruk av batteritilhengere på et anlegg. Disse hengerne er kostbare å leie og en entreprenør ville kanskje valgt andre enklere og rimeligere løsninger, for eksempel opplegg for mer direkte lading i linja. Som vist i utdrag fra avsnittet om vederlag for leie av utstyr, er kostnaden for leie av de tre batteritilhengerne kr 2 970 000 i prosjektperioden. Denne leiekostnaden tilsvarte om lag halvparten av innkjøpskostnaden for tilsvarende batteritilhenger.
- Hydrogenløsningen var ikke nødvendig på Gran. Det var tilstrekkelig tilgang på strøm fra nettet og hydrogenløsningen ble valgt som et rent forskningselement for å undersøke hvordan denne løsningen ville fungere på andre prosjekter uten tilgang på strøm fra ordinært strømnett (off-grid). Hydrogenløsningen har vært en betydelig kostnad, med en kostnad på ca. kr 4 mill. eks. mva.
- Både Statens vegvesen, Hafslund og NAPOP bidrar inn i FoU-prosjektet med en betydelig egeninnsats. Betingelsen var blant annet at leiekostnadene for ladeutstyret skulle ligge på markedsnivå. Kanskje kan entreprenører forhandle/velge rimeligere løsninger enn dette prosjektet har brukt.
- Når volumet av utslippsfrie anleggsmaskiner i markedet øker, forventer vi at maskinene produseres mer effektivt og at kostnaden for innkjøp går ned, som den har gjort for elbiler. Ved oppstart av dette prosjektet var innkjøpsprisen for en elektrisk maskin 2-3 ganger så mye som en tilsvarende fossil maskin, men vi forventer at denne differansen reduseres

framover. Dette har betydning for entreprenørenes kostnader og tilbudssum på entreprisen.

- Anleggsmaskiner, kjøretøy, ladeutstyr, ladeautorisasjon, datafangst mv. er under stadig utvikling. Forhåpentligvis har mye skjedd i tidsperioden dette prosjektet har pågått, slik at systemer og materiell blir mer effektivt og feil og nedetider reduseres. Merkostnaden for å stille utslippsfrie krav vil dermed også etter hvert reduseres.

Byggherren/Statens vegvesen har oppgitt 25 % merkostnad totalt for kostnader direkte knyttet til de utslippsfrie kravene. 25 % økning er beregnet av entreprisekostnaden på kr 47 mill., dvs. ca. 12 mill. kr. Dette dekker kostnaden for ladeutstyr som har vært nødvendig for driften, med noe fratrekk for ladere som har vært lite brukt, samt fratrekk for hydrogenløsningen, som vi anser som ren forskning. Det dekker også merkostnaden på ca. 6,5 mill. kr som Anlegg Øst Entreprenør i tilbudet beskrev som en økt entreprisekostnad i sammenlikning til et tilbud på tilsvarende arbeider uten krav til utslippsfrie maskiner og kjøretøy, dvs. ved bruk av tradisjonelle dieselmaskiner. Det er selvsagt ukjent for byggherren hvilken fortjeneste Anlegg Øst Entreprenør har kalkulert med i tilbudet, men de viste i tilbudsfasen et sterkt ønske om å vinne anbudet og på den måten bygge opp kompetanse i organisasjonen og et viktig referanseprosjekt på utslippsfri drift for firmaet.

Byggherren antar at økt entreprisekostnad oppgitt av entreprenøren skal dekke økte leiekostnader for maskiner, redusert effektivitet, kostnad til ladeansvarlig, ekstra lynlader på Lygna, ekstraordinær risiko mv. Entreprenøren måtte selv betale for strømmen som ble brukt på anlegget, men hadde langt mindre drivstoffkostnader enn i tradisjonelle prosjekter. Entreprenøren selv har oppgitt at timeprisene for maskiner er 50-60 % høyere enn for tilsvarende dieselmaskiner, som følge av høyere leiekostnader og lavere produktivitet.

Tabellen under oppsummerer byggherrens kostnader relatert til utslippsfrie krav og FoU-elementer i prosjektet (beløp kr eks.mva):

Kostnad	Beløp
Leie, batterihengere	2 970 000
Leie, hurtiglader	743 625
Leie, billadere	42 000
Prov.nettstasjon og byggestrømskap, leie (reduert leietid) og tilrigg/nedrigg	757 000
Hydrogenanlegg, leie	2 570 000
Hydrogengass, innkjøp og transport	1 440 000
Montering og transport av ladeutstyr, ekstra ladere, etablering av lavspenutstyr, vakttelefon, driftsleder nettstasjon mm.	1 500 000
Merkostnad i entreprisekost	6 500 000
Tilleggskrav på entreprisen under gjennomføring	1 500 000
SUM	Ca. 18 mill.

Figur 39 Byggherrens kostnader forbundet med utslippsfrie krav, ladeutstyr og FoU. Eier: Statens vegvesen.

Når prosjektet Miljøgate Gran er ferdig bygget er det så vidt vi kjenner til ennå ikke lyst ut en anleggsentreprise med like strenge krav til utslippsfri drift i Norge. Det antas at krav i prosjektene som lyses ut framover gradvis vil strammes inn i takt med både bærekraft og utvikling av kompetanse og materiell, slik at mange av de ulike utfordringene som dette

prosjektet møtte på i stor grad vil reduseres eller løses. Dette prosjektet er tidlig ute med utslippsfrie krav og det er normalt at aktører som leder en utvikling har uvanlig høye kostnader for å ligge i front. Når slike løsninger blir mer utbredt og utprøvd vil kostnadene for å stille krav til utslippsfri drift reduseres. Mer økonomiske, effektive og hensiktsmessige løsninger vil også kunne bli valgt av andre prosjekter uten de samme betingelsene som Miljøgate Gran har i kraft av å være et pilotprosjekt med støtte fra Samferdselsdepartementet, samt FoU-samarbeidet med Hafslund. Av disse årsakene, og av momentene i punktlisten over, mener vi derfor at det er rimelig å anta at andre prosjekter kan beregne langt mindre merkostnad enn 25 %, selv om det stilles strenge krav til utslippsfrie maskiner og kjøretøy.

6. Oppsummering og konklusjon

Gjennomføringen av Miljøgate Gran i 2024 som utslippsfritt anlegg har i all hovedsak fungert som planlagt. Gjennomføringen har gitt meget verdifull læring og praktisk erfaring i hva som fungerer i dag og hva som må videreutvikles. I det vesentlige er prosjektet gjennomført innenfor den tidsmessige og økonomiske rammen, som viser at det er mulig å gjennomføre prosjekter tilnærmet utslippsfritt.

Siden dette har vært et pilotprosjekt for både Statens vegvesen og Samferdselsdepartementet med betydelig økonomisk støtte fra departementet for å teste ut ulike løsninger, er merkostnaden for de utslippsfrie løsningene og kravene som er stilt, ikke direkte overførbart til andre prosjekter. Dagens utslippsfrie maskiner og kjøretøy er dyrere og mindre effektive enn tradisjonelle fossile løsninger, men det er likevel gode muligheter for å gjennomføre andre prosjekter med høy grad av utslippsfrihet, til betydelig mindre kostnad enn Miljøgate Gran.

I tillegg til direkte effekter på økonomi, fremdrift, energiforbruk, klimagassutslipp mv., er det flere andre indirekte effekter av det å gjennomføre et anlegg utslippsfritt/elektrisk:

Helse og miljø

Det har vært markant lavere støynivå rundt dette anlegget enn et tradisjonelt anlegg, hvilket oppleves positivt for spesielt naboer/beboere rundt anlegget og myke trafikanter. Det var dette momentet som opprinnelig sådde idéen i 2023 om å gjennomføre prosjektet elektrisk. På Gran kunne vi høre fuglekvitring mens gravemaskiner arbeider for fullt like ved, det er uvanlig å oppleve på tradisjonelle anleggsprosjekter i full drift.

Med lavere støynivå har det vært langt lettere å snakke sammen på anlegget. Dette oppleves mer behagelig for arbeidere på anlegget og tredjepersoner rundt anlegget. Lavere støynivå reduserer risikoen for hørselsplager og er også positivt for HMS-en på anlegget, fordi bedre/lettere kommunikasjon reduserer sannsynligheten for misforståelser og at personer på anlegget ikke oppfatter hendelser eller beskjeder. Stillegående elektriske maskiner har dermed hatt en positiv sikkerhetseffekt.

Reduksjon i lukt og partikler fra eksos er også positivt, selv om moderne dieselmaskiner har lave utslipp. En kraftig reduksjon i bruken av fossilt drivstoff på anlegget har også redusert faren for søl av drivstoff og uønskede miljøhendelser i form av utslipp av bensin/diesel. Med hensyn på ytre miljø er dette en positiv bieffekt av et elektrisk anlegg.

6.1 Lavthengende frukter

Slik situasjonen er i dag kommer man ikke utenom at krav til utslippsfrie maskiner og kjøretøy i anleggsprosjekter har en betydelig merkostnad. Vår forventning er derimot at denne kostnaden vil reduseres i tiden som kommer, mye på grunn av utvikling av teknologi og økt produksjonsvolum av ladeutstyr og utslippsfrie maskiner og kjøretøy. Vi sammenlikner her med elbiler, som har hatt en svært positiv utvikling i både teknologi og pris i løpet av de siste 10-15 årene. Fram til dette skiftet for alvor setter inn for anleggsutstyr, ser vi at noen tiltak har større effekt per kostnad enn andre, dvs. mer verdi for pengene:

Sats på hjul

I prosjektet har hjulgående maskiner og kjøretøy i hovedsak fungert bedre enn beltegående kjøretøy. Både Cat og Volvo beltegravere har hatt langt flere feil enn lastebiler, hjullaster og hjulgraver, som virker å være mer gjennomtestet enn beltemaskinene. Strømforbruket i lastebiler er av entreprenøren oppgitt til ca. 110 000 kWh, i beltegravere ca. 150 000 kWh. Lastebiler og hjulgående maskiner er også mer mobile og bruker mindre energi på forflytning, så det er lettere å lade slike enheter. De kan om ønskelig benytte offentlige ladere. De nyeste lastebilene har høy ladeeffekt og hjullaster og hjulgraver har store batteripakker slik at disse fungerer godt i driften og anbefales å satse på.

Strøm i linja

Etablering av byggestrømskap i linja er hensiktsmessig om man skal lade beltemaskiner i anlegget. Dette er en mindre kostbar løsning enn hurtiglader og mobile batteriladere, men har lavere ladeeffekt. Løsningen anbefales til natlading av beltemaskiner. I følge leverandør/produsent bør maskiner uansett ikke lade kun med hurtiglading, da dette kan være skadelig for batteriet. Dersom det er behov for hurtiglading i løpet av arbeidsdagen er derimot en hurtiglader eller mobil lader nødvendig, men omfanget av disse kan kanskje reduseres når mange av maskinene lader på byggestrømskap om natten.

Andre energikrevende forhold

Vinterstid kreves det mye energi for å tine bakken for graving. Anlegg Øst Entreprenør foreslo å benytte en elektrisk teletiner til dette formålet, men etablering av strømforsyning til denne var kostbart. Teletineren har en maksimal effekt på ca. 110 kW, og når den brukes døgnet rundt mange dager gjennom vinteren, går det med en betydelig mengde energi. Byggherren aksepterte derfor å ta deler av kostnaden med etablering av strømforsyning til denne teletineren, og ved å bruke strøm til teletining sparte prosjektet forbruk av ca. 1850 liter diesel og kuttet utslipp tilsvarende ca. 4,5 tonn CO₂e. På generelt grunnlag oppfordres det til å se på løsninger utenfor bare anleggsmaskiner og kjøretøy, for å finne mulige justeringer som kan spare utslipp.

Utnytting av overskuddsvarme

Dersom prosjektet benytter en hydrogenstasjon liknende den som ble brukt på Gran, vil det være en betydelig varmeproduksjon fra brenselcellen mens denne produserer strøm. Denne varmeenergien ble ikke utnyttet på Gran, men dersom prosjektet har behov for oppvarming av bygg/lager, varme til oppvarming av armering og forskaling eller til herding av betong, eller andre varmebehov, kan overskuddsvarmen fra hydrogenbrenselcellen med fordel brukes til slike formål. Denne varmeenergien blir da "gratis" og øker utnyttelsesgraden av energien i hydrogengassen betraktelig. Det finnes også andre løsninger for varmeproduksjon med lave utslipp av klimagasser, men det har dette prosjektet ikke sett på.

6.2 Forbedringspunkter

Byggestrømsladere

Før oppstart var det ikke planlagt faste ladepunkter i linja, det var planlagt at beltegravere skulle hurtiglade fra mobile batterihengere både under arbeidsdagen og før/etter. Dette ville medført mye arbeid på entreprenørens ladeansvarlige, som måtte ha kjørt ut batteritilhengere og startet lading av beltegravere ofte. Dette ble løst med at byggestrømskap ble etablert i linja med samme strømkabel som gikk til den elektriske

teletineren fra februar. Dermed kunne beltegravere saktelade gjennom natten i linja, og ladeansvarlig fikk færre oppgaver.

Autentisering/datainnsamling/app

Prosjektet brukte en app for autorisasjon av ladesesjoner og innsamling av data fra ladingen. Dette var kilde til flere av feilene vi opplevde med lading, både under oppstart og i selve ladesesjonen. Det anbefales å finne en annen løsning på dette, for eksempel med en ladebrikke, eller ved at OCPP utformes slik at ladepunkt og enheten som lades i større grad kommuniserer sammen.

Utvikling av maskiner

Det har oppstått for mange feil på spesielt elektriske anleggsmaskiner, til dels også ladere. Vi oppfordrer produsenter og leverandører til å satse på utvikling av slikt utstyr og utvikle produktene mer robust slik at feilkilder reduseres. Deler av utstyret vi har hatt i Miljøgate Gran har ikke virket ferdig utviklet og testet, og det har gått med mye tid til feilsøking og reparasjoner av både software og hardware, spesielt batterimoduler. Det forventes at denne utviklingen går naturlig framover ettersom omfanget av elektriske maskiner øker og erfaringene bygges opp, men utviklingen vil trolig gå raskere dersom det gjøres en tydelig investering i skiftet fra fossilt til elektrisk utstyr.

Hydrogenanlegg

Hydrogenløsningen som ble brukt av prosjektet har fungert svært godt teknisk sett. Det var noe skepsis fra det lokale brannvesenet før oppstart, men det har ikke forekommet noen uønskede hendelser relatert til dette anlegget. Det som kan forbedres med hydrogenanlegget er løsning og rutiner for oppbevaring av hydrogengass på anlegget og fylling av hydrogentanken.

Grunnet begrensning på en trykkreduksjonsenhet i hydrogenanlegget som ble brukt på Gran var det ikke anledning til å fylle tanken med mer enn 200 bar, mens det i før oppstart ble planlagt for 350 bar. Når anlegget i praksis slutter å virke når det gjenstår 20 bar igjen på tanken blir utnyttbar gassmengde ytterligere redusert fra 200 bar / 222 kg til 180 bar / 202 kg. Sammenliknet med tankens egentlige potensiale utgjør dette en utnyttelsesgrad på 59% (330 bar vs. 180 bar). I tidligere tekst om hydrogenanlegget og forbedringspotensial er det beskrevet at det i fremtiden kan brukes 40 fots container fremdeles med 350 bars trykk, noe som vil øke disponibel gassmengde på anlegget fra 202 kg til 1100 kg. Dette øker driftstiden på anlegget, reduserer behov for transport av tankanlegg for påfylling av hydrogengass og reduserer risikoen for nedetid som følge av mangel på gass. I kap. 3.1, punkt 4 om bruk av hydrogenbrenselcelle i praksis er det vist at antall fyllinger i vårt tilfelle på denne måten kunne vært redusert fra 7 fyllinger til 1-2 fyllinger.

Nye fabrikker/anlegg for produksjon av hydrogengass i Norge og sannsynligvis kortere transportavstander til bygg- og anleggsprosjektene vil også redusere usikkerhet rundt påfylling av gass og redusere den samlede transportavstanden og produksjons-/ leveringskostnaden for hydrogengass.

6.3 Andre erfaringer

Konsesjonssøknad

Byggherren bør undersøke tilgang på strøm og behov for konsesjonssøknad i god tid før oppstart av byggingen. Utfordringen med konsesjon er omtalt tidligere i rapporten. Ved etablering av midlertidig høyspenningsanlegg som f.eks. en nettstasjon, vil det sannsynligvis

være nødvendig med godkjent konsesjon fra NVE. Denne prosessen mot oss signalisert å ta inntil 6 måneder og behovet og hvordan dette eventuelt løses må derfor sjekkes av byggherre tidlig i planleggingen, spesielt når byggestart vil være kort tid etter kontrahering av entreprisen.

Hydrogenstasjon

Hydrogen kan være en løsning dersom svar på konsesjonssøknad forsinker oppstart. Etablering av hydrogenanlegg er ikke konsesjonspliktig og kan i mange tilfeller etableres raskere enn tilkobling til strømmettet. Strøm produsert fra hydrogengass er betydelig mer kostbart enn fra strømmettet. For et langvarig prosjekt vil det derfor normalt sett være hensiktsmessig å koble seg til strømmettet, men for kortvarige prosjekter, prosjekter der tilkobling på strømmettet er uforholdsmessig kostbart eller i en oppstartsfase, kan strømproduksjon i et hydrogenanlegg være en løsning.

Energiplan

Det bør utarbeides en god plan for lading av de ulike maskinene og kjøretøy. For Miljøgate Gran ble lade- og energiplaner utarbeidet av både Hafslund for byggherren, og av entreprenøren før oppstarten av prosjektet. Planene viste hvilke maskiner som var i drift i anleggstiden, hvor mye de trengte å lade, hvilken effekt de ladet på og hvilket ladeutstyr som var tilgjengelig for hver time gjennom hele uken. Slik fikk både byggherren, Hafslund og entreprenøren oversikt over hva som var nødvendig av ladeutstyr og hvordan dette ble utnyttet.

Massetransport

Entreprenøren bør utarbeide en god plan på transport av masser. Det må tas hensyn til transportavstand, topografi, hvor det finnes ladepunkter mv. Planen for massetransport er nødvendig for å beregne behov for lastebiler og andre masseflyttingsmaskiner, samt som input til ladeplanen i punktet over.

Support og feilretting

Av den som holder maskiner og ladeutstyr, i de fleste tilfeller entreprenøren, bør det utarbeides en avtale om teknisk support og feilretting på både ladeutstyr og maskiner. Feil og nedetid på elektrisk utstyr, både ladeutstyr og maskiner/kjøretøy, er kostbart og medfører frustrasjon og forsinkelser. En rask løsning av tekniske feil er viktig for å minimere ulempene med elektrisk utstyr. Miljøgate Gran hadde slik avtale på ladeutstyret, inkludert responstider på både telefon/remote support og fysisk oppmøte på anleggsplassen. Det har vært mye bruk av ulike mekanismer for problemløsning, og det anbefales implementere gode løsninger for support og feilretting i andre prosjekter også.

Opplæring av personell

Aktuelt personell må få nødvendig opplæring på bruk av elektrisk utstyr. Dette omfatter nødvendige kurs, innføring i praktisk bruk av ladere, instruks for økonomisk håndtering av maskiner og kjøretøy mv. For eksempel er effektiv bruk av elektriske gravemaskiner av en annen karakter enn ved bruk av dieselmaskiner, slik at føreren må lære seg å bruke maskinen på en annen måte.



Statens vegvesen
Pb. 1010 Nordre Ål
2605 Lillehammer

Tlf: (+47) 22 07 30 00

firmapost@vegvesen.no

ISSN: 1893-1162

vegvesen.no

Tryggere, enklere og grønnere reisehverdag