

Marianne Kjendseth Wiik • Nils-Olav Haukaas
Jan Ivar Ibsen • Randi Lekanger • Romeo Thomassen
Dominique Sellier • Odd Olaf Schei • Jon Suul

Nullutslippsgravemaskin

LÆRINGSUTBYTTE FRA ELEKTRIFISERING AV ANLEGGSMASKINER



SINTEF Fag

Marianne Kjendseth Wiik, Nils-Olav Haukaas, Jan Ivar Ibsen, Randi Lekanger,
Romeo Thomassen, Dominique Sellier, Odd Olaf Schei og Jon Suul

Nullutslippsgravemaskin

Læringsutbytte fra elektrifisering av anleggsmaskiner

SINTEF akademisk forlag

SINTEF Fag 67

Marianne Kjendseth Wiik, Nils-Olav Haukaas, Jan Ivar Ibsen,
Randi Lekanger, Romeo Thomassen, Dominique Sellier, Odd Olaf Schei og
Jon Suul

Nullutslippsgravemaskin

Læringsutbytte fra elektrifisering av anleggsmaskiner

Emneord: nullutslippsgravemaskin, batteri, elektrisitet, utslippsfri byggeplass

Prosjektnummer: 102017554

ISSN 1894-2466

ISBN 978-82-536-1668-1

Foto forside: NASTA

25 eks. trykt av AIT Bjerch

Innmat: 100 g munken polar

Omslag: 240 g trucard

© Copyright SINTEF akademisk forlag 2020

Materialet i denne publikasjonen er omfattet av åndsverklovens bestemmelser. Uten særskilt avtale med SINTEF akademisk forlag er enhver eksemplarframstilling og tilgjengeliggjøring bare tillatt i den utstrekning det er hjemlet i lov eller tillatt gjennom avtale med Kopinor, interesseorgan for rettighetshavere til åndsverk.

Utnyttelse i strid med lov eller avtale kan medføre erstatningsansvar og inndragning, og kan straffes med bøter eller fengsel.

SINTEF akademisk forlag

SINTEF Community

Børrestuveien 3

Postboks 124 Blindern

0314 OSLO

Tlf.: 40 00 51 00

www.sintef.no/community

www.sintefbok.no

Forord

Zero Emission Digger (ZED) ble innvilget finansiell støtte som et PILOT-E-prosjekt med oppstart januar 2018. Prosjektet finansieres i hovedsak av prosjekteier Nasta med bidrag i form av egeninnsats av de øvrige samarbeidspartnerne Bellona, Omsorgsbygg, Digitaliseringsdirektoratet (Digdir) og Skanska. Prosjektet ledes av SINTEF.

Arbeidet med denne rapporten er utført av en flerfaglig arbeidsgruppe med deltakere fra både SINTEF og partnere. Marianne Kjendseth Wiik (SINTEF) har ført rapporten i pennen, med tekstlige bidrag og innspill fra Nils-Olav Haukaas og Jan Ivar Ibsen (NASTA), Randi Lekanger (Skanska), Romeo Thomassen (Omsorgsbygg), Dominique Sellier og Odd Olaf Schei (Digdir) og Jon Suul (SINTEF Energi). Cecilie Flyen og Kristin Fjellheim (SINTEF) er kvalitetssikrere i prosjektet.

Oslo, 14.05.2020

Partow Henriksen
Forskningsjef
SINTEF Community

Marianne Kjendseth Wiik
Prosjektleder
SINTEF Community

Sammendrag

Prosjektet "Zero Emission Digger" (ZED) har som hovedmål å realisere prototyper for to utslippsfrie 17,5 tonns beltegravemaskiner tilpasset bruk på byggeplasser. Hensikten med prosjektet er å utvikle maskinene fra et konseptdesign til et kommersielt markedsledende produkt innen miljø- og klimavennlige anleggsmaskiner. Gjennom samarbeid mellom industri- og forskningspartnere vil prosjektet videreutvikle dagens "state of the art" for hybride og batterielektriske framdriftssystemer slik at det blir mulig å realisere bruk av nullutslippsgravemaskiner i storskala. De utslippsfrie gravemaskinene vil bli demonstrert på byggeplasser i Oslo kommune, og erfaringer herfra vil gi føringer for det videre utviklingsarbeidet med anleggsmaskiner og nullutslippsløsninger. Denne rapporten presenterer det tekniske, organisatoriske, miljømessige og økonomiske læringsutbyttet fra elektrifisering av anleggsmaskiner, og samler erfaringer fra ulike aktørers utprøving av de elektriske pilot-gravemaskinene på diverse byggeplasser i Norge. Rapporten beskriver også utfordringene som oppstår i forbindelse med anskaffelse og bruk av utslippsfrie anleggsmaskiner. I 2017 ble forskrift om offentlige anskaffelser¹ §7-9 endret til at "Oppdragsgiveren skal legge vekt på å minimere miljøbelastningen og fremme klimavennlige løsninger ved sine anskaffelser og kan stille miljøkrav og kriterier i alle trinn av anskaffelsesprosessen der det er relevant og knyttet til leveransen".

Hendelser har åpnet muligheten for å innhente informasjon fra flere maskiner og flere bruker-situasjoner enn opprinnelig planlagt. Prosjektet ZED har bidratt med informasjon til mange offentlige og private prosjekter, rapporter og kunnskapsgrunnlag, inklusive Klimakur 2030.

¹ <https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2016-08-12-974>

Innhold

| | |
|---|-----------|
| FORORD | 3 |
| SAMMENDRAG..... | 4 |
| INTRODUKSJON | 6 |
| BAKGRUNN | 7 |
| ZED-LØSNINGEN | 12 |
| BYGGEPLASSERFARINGER..... | 17 |
| BIRI OMSORGSSENTER | 17 |
| OLAV VS GATE | 19 |
| OSLO STORBYLEGEVAKT | 22 |
| ØKONOMISKE ASPEKTER..... | 24 |
| MILJØASPEKTER..... | 29 |
| ORGANISATORISKE OG ANSKAFFELSESFAGLIGE ASPEKTER..... | 36 |
| OFFENTLIGE ANSKAFFELSER | 36 |
| 1 AVKLARE BEHOV OG PLANLEGGE | 39 |
| 2 KONKURRANSEGJENNOMFØRINGEN | 40 |
| 3 KONTRAKTSOPPFØLGING..... | 43 |
| FORRETNINGSMODELLER | 44 |
| KONKLUSJONER OG ANBEFALINGER..... | 45 |
| KONKLUDERENDE OPPSUMMERING | 47 |
| REFERANSER | 48 |
| VEDLEGG A: LCA RESULTATENE PER LIVSSYKLUSMODUL | 50 |
| VEDLEGG B: UTDRAK FRA ANBUDSUTLYSNING FOR OLAV VS GATE | 53 |

Introduksjon

Zero Emission Digger (ZED) ble innvilget finansiell støtte som et PILOT-E-prosjekt med oppstart januar 2018. Prosjektet finansieres i hovedsak av prosjekteier NASTA med bidrag i form av egeninnsats fra de øvrige samarbeidspartnerne Bellona, Omsorgsbygg, Digitaliseringsdirektoratet (Digdir) og Skanska. Prosjektet ledes av SINTEF.

Prosjektet "Zero Emission Digger" (ZED) har som hovedmål å realisere to prototyper av utslippsfrie 17,5 tonns beltegravemaskiner tilpasset bruk på byggeplass. Hensikten med prosjektet er å utvikle maskinene fra et konseptdesign til et kommersielt markedsledende produkt innen miljø- og klimavennlige anleggsmaskiner. Gjennom samarbeid mellom industri- og forskningspartnere vil prosjektet videreutvikle dagens "state of the art" for hybride og batterielektriske framdriftssystemer slik at det blir mulig å realisere bruk av nullutslippsgravemaskiner i storskala. De utslippsfrie gravemaskinene vil bli demonstrert på byggeplasser i Oslo kommune (se Figur 1), og erfaringer herfra vil gi føringer for det videre utviklingsarbeidet med anleggsmaskiner og nullutslippsløsninger. Denne rapporten presenterer det tekniske, organisatoriske, miljømessige og økonomiske læringsutbyttet fra elektrifisering av anleggsmaskiner, og samler direkte erfaringer fra ulike aktørers utprøving av de elektriske pilot-gravemaskinene på diverse byggeplasser i Norge.



Figur 1. Bilder av ZERON 17,5 t beltegående gravemaskin. Kilde: NASTA.

Bakgrunn

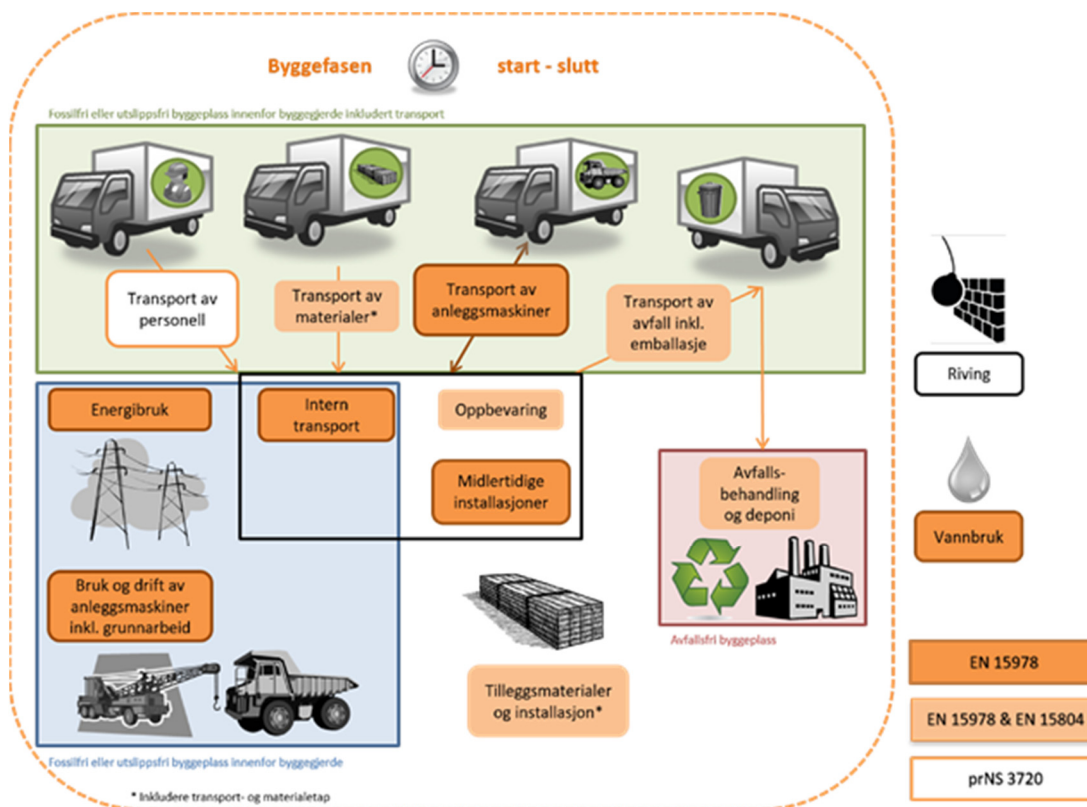
DNV-GL rapporten om fossil- og utslippsfrie byggeplasser påpeker at mobile elektriske gravere over 75kW ikke er kommersielt tilgjengelig per i dag [1, 2]. Økonomiske og tekniske utfordringer er identifisert som den største barrieren for å ta i bruk utslippsfrie anleggsmaskiner [1, 2]. Bakgrunnen er at store gravemaskiner har høyt forbruk i drift sammenliknet med andre typer anleggsmaskiner. I tillegg har man på en aktiv byggeplass behov for å bruke flere maskiner samtidig, noe som betyr høy belastning på det elektriske nettet (begrenset elektrisk kapasitet) samt stor batterikostnad for mellomagring av strøm. Innen 2020 skal alle nye bygninger være nesten nullenergi [3]. Dermed blir tilgjengeligheten av strøm enda mer begrenset, siden energibehovet i byggefasen kan overskride all forbrukt energi gjennom bygningens levetid. Derfor er det av stor betydning å realisere en stor utslippsfri gravemaskin med fleksible energilagringmuligheter. En slik gravemaskin vil kunne spare miljøet for klimagassutslipp samt være helt uten utslipp av hydrokarboner, svevestøv og nitrose gasser.

Bystyret i Oslo innledet "det grønne skiftet" som svar på den første juridisk bindende globale klimaavtalen som ble signert i Paris i 2015 (COP21). Kommunen har satt seg som mål å halvere CO₂-utslippene innen 2020 og å redusere klimagassutslippene med 95 % innen 2030 sammenliknet med 1990-nivå [4, 5]. Byrådet vil gjøre Oslo til verdens første utslippsfrie storby. De har vedtatt at alle kommunens egne bygg- og anleggsplasser skal være utslippsfrie innen 2025. Fram mot 2025 vil alle kommunens virksomheter stille krav til fossilfri bygg- og anleggsdrift og bruke tildelingskriterier for å premiere de leverandørene som kan levere utslippsfrie maskiner og kjøretøy for oppdrag på vegne av kommunen. Alle private bygg- og anleggsprosjekter i Oslo skal være utslippsfrie innen 2030. Et av tiltakene omfatter blant annet utfasing av fossildrevne varetransporter innen utgangen av 2025. Den norske bygg- og anleggsvirksomheten (i byggefasen) står for ca. 1,2 % av landets totale utslipp [6]. Det tilsvarer om lag 854 000 tCO₂-ekvivalenter av klimagasser (GHG) i 2015 [7]. Rundt 95 % av utslippene stammer fra transport og drift av maskiner [6]. DNV-GLs rapport om utslippsfrie byggeplasser beregner det totale energibehovet på byggeplasser til å være i størrelsesorden 640 GWh med tilhørende utslipp av om lag 340 000 tCO₂e og 4 700 tNO_x [1, 2]. Studien viser at disse utslippene kan reduseres med henholdsvis 99 og 96 % sammenliknet med dagens utslipp, og at beregnede gevinster knyttet til realisering av dette utslippspotensialet er i størrelsesorden 24 MNOK gitt en CO₂-pris på 70 NOK/tonn [1, 2]. I Oslo står anleggsmaskiner for 30 % av de totale CO₂-utslippene fra transportsektoren [5], noe som representerer et stort markedspotensial.

Det nasjonale forskningscenteret for nullutslippsbygg (ZEB) fant at utslipp fra hele driftsfasen av et undervisningsbygg tilsvarte de totale utslippene fra byggefasen av bygningen [8, 9]. Slike utslipp skjer i løpet av få år, mens utslipp i driftsfasen foregår over 60 års levetid (eller mer). Det viser at byggefasen (se Figur 2) er et område med stort potensial for reduksjon av de samlede miljøeffektene over bygningens levetid. I tillegg kommer omtrent 50 % av utslippene i byggefasen fra forbrenning av diesel i anleggsmaskiner, hvorav gravemaskiner er opphav til 53 % av alle utslipp knyttet til anleggsmaskiner i Norge [10]. Mesteparten av disse utslippene er knyttet til grunn- og fundamenteringsarbeid [10].

Omlag 206 000 personer arbeider i bygg- og anleggsvirksomheten, og det skapes verdier for over 482 mrd. kroner årlig [11, 12]. Osloregionen er en av de raskest voksende regionene i Europa og byggeaktiviteten er ventet å øke, samtidig som utslippene skal ned i en hovedstad som er preget av dårlig luft. Omsorgsbygg, som er en av de offentlige byggherrene underlagt Oslo kommune, står klare til å investere over 10 milliarder kroner i oppføring av nye og oppgradering av gamle bygninger

i regionen de neste 6 årene. Oslo var også Europas miljøhovedstad i 2019, og utslippsreduksjon fra byggeplass var et sentralt tema i søknaden.



Figur 2. Diagram som viser systemgrensene for alle byggeaktivitetene som skjer i byggefase
Kilde: SINTEF [10, 13].

Eksempel: Lia barnehage er et byggeprosjekt med Omsorgsbygg som byggherre og Skanska som entreprenør. Bygningen har et oppvarmet areal på 1 600 m² og består av en prefabrikkert trekonstruksjon. Prosjektet hadde ambisjon om å være den aller første fossilfrie byggeplassen i Oslo, og hadde tre fokusområder: anleggsmaskiner, uttørking og oppvarming, og transport til og fra byggeplassen (10, 13-15). Byggefase begynte 10. april 2016 og bygningen sto ferdig 27. november 2017 (166 dager) – en måned foran skjema. Nedkortet byggetid ble oppnådd på grunn av god planlegging, bedre transportlogistikk, bruk av lokale, prefabrikkerte elementer som også bidro til mindre klimagassutslipp fra materialer og transport, samt mindre avfall. I anbudsfase var det søkelys på å ta i bruk elektriske anleggsmaskiner der det var mulig, og å bruke fornybar energi til byggvarme og tørking hvis tilgjengelig. På byggeplassen ble det brukt små elektriske gravemaskiner og hjullastere til spesifikke byggeaktiviteter. Det var vanskelig å få tak i større elektriske anleggsmaskiner, derfor brukte entreprenøren biodiesel i de større anleggsmaskinene. En utfordring i den forbindelse var at flere maskiner ble levert til byggeplassen med en full tank vanlig diesel, selv om det var planlagt at de skulle kjøres med biodiesel. Anskaffelsesprosessen inkluderte kvalitets- og miljøkriterier (vektning 60 %), mens priskriterier var vektet 40 %. Førstehåndsopplevelser fra Lia barnehage har ført til at Omsorgsbygg kan øke kvalitets- og miljøkriterier i sine anskaffelsesprosesser til opptil 75 % i Tåsen sykehjem. Omsorgsbygg planlegger også å bruke reduksjon av klimagasser og lokale utslipp på byggeplasser som kriterier i framtidige anskaffelsesprosesser.

Et annet eksempel er Lindeberg sykehjem, som skal bli et av Norges mest miljøvennlige sykehjem. Det skal inneholde 144 nye sykehjems plasser over seks etasjer og kjeller. Arealet er 15 700 m² BTA. Prosjektet omfatter riving av Lindeberg omsorgssenter fra 1979 og bygging av nytt sykehjem på samme tomt i bydel Alna, samt åpning av Lindebergbekken og etablering av et grønt drag med turvei. Prosjektet har et sterkt miljøfokus og satser på BREEAM-NOR Excellent, nZEB, lave LCC-kostnader og 20 % reduksjon i klimagassutslipp sammenliknet med et referansebygg. I tillegg har bygget varme og kjøling i gulv via varmpumpe og 28 geobrønner, høyeffektive monokrystallinske solceller på tak, bygningsintegrerte solceller i fasader, glassvegger og pergola samt en fossilfri byggeplass. Byggefase er fra 2018 til 2020. I konkurransegrunnlaget sto det at "der det finnes elektriske alternativer med tilsvarende kapasitet for anleggsmaskiner skal disse benyttes" og "de maskiner som ikke kan gjøres elektriske, skal kjøres på bærekraftsertifisert biodiesel". I tillegg skal tomgangskjøring begrenses til 15 %, og dette skal loggføres og rapporteres i byggemøtene. Arbeidsbelysningen skal være tidsstyrt led-belysning, det skal være tett bygg før oppvarming, og brønnpark for væskebåren oppvarming skal etableres tidlig. Dersom det ikke er nok effekt i varmpumper, skal de kombineres med elektrisk oppvarming.

I oppstart av ZED-prosjektet deltok prosjektpartnerne på en befaring på Ensjø torg byggeplass (se Figur 3). Der fortalte prosjektlederen at en utfordring med elektrifisering er at det er behov for å kunne ha mange maskiner i drift samtidig og at byggeplassen er dynamisk. Typisk driftstid er fra kl. 7 til 19 mandag til torsdag, med to hovedpauser. På grunn av mange ansatte og manglende kapasitet på lompebrakke avvikles lunsj mellom 10.30 og 12.30. Dermed vil noen maskiner kunne gå fra 07.00 til 10.30 (3,5 timer) og andre fra 07.00 til 12.00 (5 timer). Lunsjpause avvikles på 30 til 45 minutter. Tidspunkt for gjennomføring og lengde på lunsj er ofte avhengig av transporten av masser til og fra byggeplassen. Videre kan det være opptil ti lastebiler i drift, men dette er ikke med i byggeplassens energiregnskap. En dieseltank på 3000 liter flyttes etter behov, og etterfylles av tankbil to ganger i uken. Maskinene etterfylles samtidig direkte fra tankbilen. Estimert dieselforbruk per uke er 7 500 liter. Dieselforbruket er omregnet til 75 MWt per uke (brennverdi), og fordelt til 17,5 MWt per arbeidsdag. I prosjektet er det tre anleggsmaskiner på ca. 125 kW peak (maks forbruk) og tre maskiner på ca. 90 kW peak. Det tilsvarer ca. 650 kW peak eller ca. 5 MWt per dag. På byggeplassen var det tilgjengelig 1,6 MW, eller 19,2 MWt per 12 timer, fra hovedtrafoen. Den forsyner to byggekraner på 200 kW, en byggekran på 180 kW, lys, varme i noen containere, samt håndverktøy. Estimert ledig kapasitet på nattetid (12 timer) er 0,8 MW eller 9,6 MWt. På dagtid er det ingen ledig kapasitet.



Figur 3. Bilde fra befaring på Ensjø Torg, januar 2018. Kilde: SINTEF.


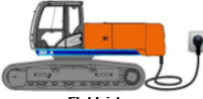



Prosjektlederen fortalte at klagen fra naboene som oftest er knyttet til ryggelyder, bruk av grabb og ved pigging, ikke til selve motorlyden. Det ble også poengtert som viktig at energitilknytningspunkter bør kunne flyttes fordi aktivitetene på byggeplassen vil variere fra fase til fase. I dag flyttes dieseltanken avhengig av hvor behovet for tilgangen er størst. Det aller viktigste for driften er å ha en fleksibel ladestasjon, tilstrekkelig driftstid og sikkerhet med hensyn til tilgang til elektrisitet (for eksempel i tilfelle strømbrudd). Et annet viktig moment er at det ikke er tilstrekkelig strøm til å kjøre på kabel siden det ikke er ledig strømkapasitet til å dekke toppforbruk. Batterilading om natta kan være en god løsning, men en maskin med 125kW peak forbruk vil ha behov for batteri med opp mot 800 kWh for å jobbe en hel dag uten å lade i pausene. Det betyr at for å kunne utnytte utslippsfrie maskiner på byggeplassen, vil hele byggeprosjektet inklusive infrastruktur for elektrisitet måtte gjøres på en annen måte allerede fra planleggingsfasen.

Tidlig i prosjektet ble det lagt ned mye arbeid i å utforske løsninger som inkluderte bruk av hydrogen som energibærer. Befaring hos Unibuss' anlegg på Rosenholm og flere besøk hos leverandører belyste hvordan dette kunne løses. Mot slutten av 2018 og inn i 2019 ble det klart at tilgang på hydrogen ville bli et hinder for kommersiell utbredelse innenfor en relevant tidshorison, og NASTA besluttet derfor å stille i bero løsninger som involverte brenselcelle.

Tidlig i ZED-prosjektet ble det skrevet en rapport om teknologistatus, kartlegging og erfaringer fra utslippsfrie gravemaskiner i Norge. En oppsummering av tilgjengelig teknologi for gravemaskiner er presentert i tabellform i Figur 4. Tabellen inkluderer en oversikt over energieffektivitet, direkteutslipp, rekkevidde og antatt egnethet av beltedrevne maskiner i ulike størrelsesklasser. ZED-prosjektet anvender en batteri-elektrisk løsning for å demonstrere løsningen for ekstra store gravemaskiner.

Gravemaskiner med belter

Tilgjengelig i klasser

| Drivlinje | Unyttbar energi | Årlig utslipp av CO2 | Rekkevidde | Mini | Små | Middels | Store | Ekstra store | Gigantiske |
|---|-----------------|----------------------|--------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|--------------------------------|-------------------|
| | Estimert | Estimert | Estimert | 30kW | 30kW-60kW | 60kW-100kW | 100kW-200kW | 200kW-400kW | 400kW+ |
|  Forbrenning | 30% | 100 tonn | To skift | 2018 | 2018 | 2018 | 2018 | 2018 | 2018 |
|  Elektrisk | 95% | 0 | Kabelens lengde | Prototype kan lages | Prototype kan lages | Prototype kan lages | Prototype kan lages | 2019 | 2018 |
|  Batteri-elektrisk | 92% | 0 | Kabelens lengde ++ | Prototype kan lages | Prototype kan lages | 2019 | 2019 | Forskningsprosjekt ferdig 2020 | Foreløpig uegnet? |
|  Batteri | 85% | 0 | 5 til 7 timer | 2019 | 2019 | 2019 | Prototype kan lages | Forskningsprosjekt ferdig 2020 | Foreløpig uegnet? |
|  Batteri-brenselcelle | 50% | 0 | Ett skift | Foreløpig uegnet? | Foreløpig uegnet? | Foreløpig uegnet? | Prototype kan lages | Forskningsprosjekt ferdig 2020 | Foreløpig uegnet? |

Figur 4. Tabell som viser energieffektivitet, direkteutslipp, rekkevidde og antatt egnethet av beltedrevne maskiner i ulike størrelsesklasser per 2018. Kilde: NASTA [16].

ZED-løsningen

Prosjektet Zero Emission Digger har levert to 17,5 t beltegående utslippsfrie gravemaskiner ved å bygge om eksisterende diesel-gravemaskiner (se Figur 5). Løsningen, som NASTA har døpt ZERON PeakShaver+, tar i bruk en batteri- og kabelløsning og introduserer PeakShaver+ teknologi. PeakShaver+ teknologien består hovedsakelig av tre komponenter: 1) en elektrisk drivmotor som erstatter dieselmotor, 2) invertere og programvare, og 3) et 42 kWt batteri som avbildet i Figur 6. For brukeren likner PeakShaver+ litt på en bærbar datamaskin: tilkoblet nettet vil den kunne jobbe 24/7, den kan jobbe en periode uten å være tilkoblet nettet og når batteriet er tomt, kan den kobles til nettet og jobbe videre uten å vente på lading. De tilrettelagte løsningene for kabel- og strømtilførsel blir som "docking-stasjonen".

PeakShaver+ har mange fordeler:

- Den er 100 % utslippsfri i bruk.
- Den har vesentlig lavere forbruk av energi – kanskje over 75 %.
- Den har vesentlig lavere vedlikeholdskostnad.
- Den har lengre levetid.
- Den kan jobbe kontinuerlig – 24/7 – uten stans for påfylling av drivstoff eller lading.
- Den vil være minst like "sprek" som en tilsvarende maskin med forbrenningsmotor.
- Den vil være støysvak.
- Den vil ha et strømforbruk som gjør at det lokale strømmettet ikke vil bli unødig belastet med store svingninger.
- Den lokale elektriske infrastrukturen vil kunne være vesentlig mindre, og derfor lettere å håndtere på byggeplassen og rimeligere å anskaffe.
- Den kan jobbe en periode uten å være tilkoblet strømmettet, noe som vil være til stor hjelp når maskinen skal flyttes rundt på byggeplassen eller fraktes til neste byggeplass.
- Dersom batteriet blir kjørt ned, kan maskinen fortsette å jobbe så fort den får en strømtilkobling: Den bør ikke stå i ro mens den lader siden den vil lade seg under bruk.
- Den løser problemet med gravemaskinens store energibehov og svært store svingninger i energibehovet.
- Den løser problemet med kabelavhengighet.



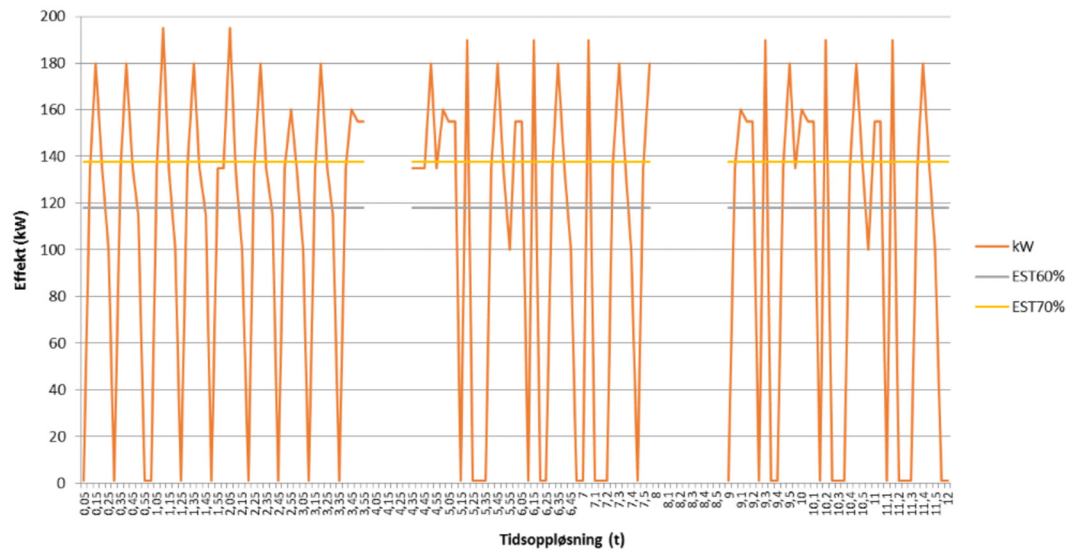
Figur 5. Fjerning av dieseltank og klargjøring av motor for ombygging. Kilde: NASTA.



Figur 6. PeakShaver+ teknologikonsept. Kilde: NASTA.

Den elektriske drivmotororen er væskekjølt, bruker vekselstrøm for god ytelse, har lang levetid og er svært effektiv. Egenutviklet programvare styrer invertere, som kontrollerer strømmen. Invertere er væskekjølt, og sammen med hydraulikk og en elektrisk drivmotor styres strømmen fram og tilbake mellom motor og batteri, mellom vekselstrøm og likestrøm, og opp og ned i spenning. Det tillater tre driftsformer: kabel, batteri og kombinasjon, hvor den siste gjør det mulig å utnytte utilstrekkelig mengde strøm. Batteri 42 (kWt) benyttes til peak shaving og litt autonomi siden hyppige og svært store svingninger i energibehov (en særegenhet for gravemaskiner) barberes (se Figur 7). Dette er en stor fordel når energien kommer fra strømmett eller brenselcelle. Batterienes komforttemperatur krever avstand fra varmekilder. Batteribank, batterisystem, batterivarmer og batterikjøler er i en enhet, og det gir muligheter for å tilpasse batterikapasitet ved å legge til moduler. Det er utviklet en 230 meter lang kabelløsning med motoriserte og fjernstyrte kabeltromler med tanke på at maskinen vil ta

med seg konteineren i HK-festet som er avbildet i Figur 8 og 9. Figur 10 viser teknologiutviklingen til batterikonteineren med ombygging av den andre prototypen. Prototype nr. 2 har en mindre batteri-konteiner-løsning tilpasset byggeplass. Her går kabel inn på undervogn med 60 m kabel på kabeltrommel, med magnet sluredrev og galvanisk skilletrafo i en felles enhet. Konteineren inkluderer nødstop, strømintak og -uttak, skap med jordfeilovervåking og -styring, manuell kjøring av kabel og varme.



Figur 7. Diagram av antatt lastprofil for en Hitachi ZX300LC-6 gravemaskin med maks effekt på 197 kW, gjengitt med minutters tidsopløsning. Kilde: NASTA.



Figur 8. Diagram og bilde av motoriserte og fjernstyrte kabeltromler. Kilde: NASTA.



Figur 9. Diagram av kabelløsning med motoriserte, fjernstyrte kabeltromler. Kilde: NASTA.



Figur 10. Utvikling av konteinerløsning til den andre prototypen.

Erfaringsmessig er det mange fordeler og ulemper med denne maskinutviklingen, fra dieseldrevne til elektrifiserte/batteridrevne maskiner. Elektrifisering er en stor utfordring både teknisk og økonomisk. Det er få som har kompetanse innenfor maskinutvikling, og underleverandørene er ukjente med anleggsbransjen. Det utfordrer eksisterende forretningsmodeller og løfter fram flere problemstillinger: Hvem handler med hvem? Hvem gjør hva? Og, er det mulig for aktørene å tjene penger på dette? Elektriske anleggsmaskiner på byggeplassen fører til mindre farlig avfall som må deponeres. Dagens standard dieseldrevne anleggsmaskiner har en typisk levetid på 10 000 timer. NASTA forventer en lengre levetid for batteridrevne maskiner, opptil ca. 15 000 timer. På grunn av et lite utviklet leverandørmarked, og fordi det er behov for digital kraftelektronikk og skilletrafo, er elektrifiseringen av maskinene vanskelig å gjennomføre. Kompetanse fra marin teknologi er ikke

nødvendigvis direkte overførbar. Komponenter til et skip fungerer ikke like bra mot det landbaserte strømmettet, kommer ofte i små serier, er dyre og har lang leveringstid. Prototyper er ofte dyre å produsere, men når de først er kommet i masseproduksjon, vil enhetene bli rimeligere. Det er minimum 12 måneder leveringstid på alle anleggsmaskiner. Som leverandør har NASTA opplevd at dette er noe byggherrer, planleggere, innkjøpere og entreprenører ikke er innforstått med. Det er klare problemstillinger og bekymringer knyttet til markedsutviklingen fordi etterspørselen er uforutsigbar. Man har liten oversikt over hva som vil skje med prototyper og beta-versjoner som nå testes ut i markedet. Dessuten er det usikkert når det kommer løsninger fra store produsenter – det kan ta flere år. Batterikomponenter kan ha opptil tre måneders leveringstid. Det fordrer at leverandøren må ha reservedeler og komponenter på lager, noe som kan være vanskelig ettersom slike reservedeler er utviklet som prototyper og kan være kostbare før masseproduksjon igangsettes.

Byggeplasserfaringer

I begynnelsen visste ingen hvordan denne maskinutviklingen skulle gjøres. Leverandørmarkedet har vært preget av fungerende konkurranse. Utvikling mot elektrifisering av bygg- og anleggsmaskiner vil føre til endringer i markedssituasjonen. For å utvikle og teste maskiner som markedet trenger, har flere bygge- og anleggsplasser i Norge blitt valgt ut til pilotprosjekter for utprøving av ombygde anleggsmaskiner. Maskinserien ZERON er testet i tre bygge- og anleggsprosjekter: Biri omsorgssenter, Olav Vs gate i Oslo og Oslo Storbylegevakt.

De elektriske og utslippsfrie maskinene fra NASTA har til sammen gått 6 817 timer (inklusive ZE85, ZE160LC og ZE350LC) per april 2020. Samlet driftserfaring fra maskiner med PeakShaver+ teknologi er 3 849 timer, og samlet driftserfaring fra byggeplasser er 2 968 timer. Til sammen har gravemaskinene spart over 372.000 NOK i energikostnader, og over 91 tCO₂e direkte utslipp så langt.

En av PeakShaver+ gravemaskinene er forsinket grunnet problemer med skade på batterisettet under testing. Batterisettet er hos produsent for reparasjon av en modul og oppgradering av batteristyringssystemet. Målet er en løsning tilpasset byggeplass, med kabeltrommel på undervogn med kapasitet til 60 meter kabel (tilsvarende ZE160LC), og skilletrafo i en felles enhet. Det skal løse mye av infrastrukturen på byggeplassen. Gravemaskinen PeakShaver+ har strøm om bord, noe som er en fordel ved forflytning av maskinen på lastebil fra en byggeplass til en annen.

Generelle erfaringer har vist at byggeplasser må være forberedt for elektriske maskiner før de blir levert. Det bør også inkludere planlegging og tilrettelegging sammen med nettleverandør. Kompetent personale må være til stede ved levering av maskiner og oppstart av bygge- og anleggsplassen. Det omfatter kvalifisert elektriker og annet personale fra leverandør. Av hensyn til overholdelse av forskrift om sikkerhet ved arbeid i og drift av elektriske anlegg (FSE) må det være kompetent personale til stede ved all maskindrift. Feil kan få store konsekvenser og føre til framdriftsproblemer, blant annet fordi løsningen består av dyre komponenter med lang leveringstid. Byggeplassen må være avstengt og kontrollert, og styres av en ansvarlig aktør. Det må også være streng styring med det elektriske anlegget. Alle operatører må ha fått opplæring og være innforstått med planlagt drift på byggeplassen.

I eksemplene under har anskaffelsesprosessen vært viktig, ikke minst ved valg av den teknologiske løsningen. I prosjektutviklingen av løsningene har det vært viktig å integrere innkjøpsfunksjonen tidlig i planleggingsfasen. En nærmere beskrivelse av denne prosessen med de ulike milepælene fins i kapitlet "Organisatoriske og anskaffelsesfaglige aspekter".

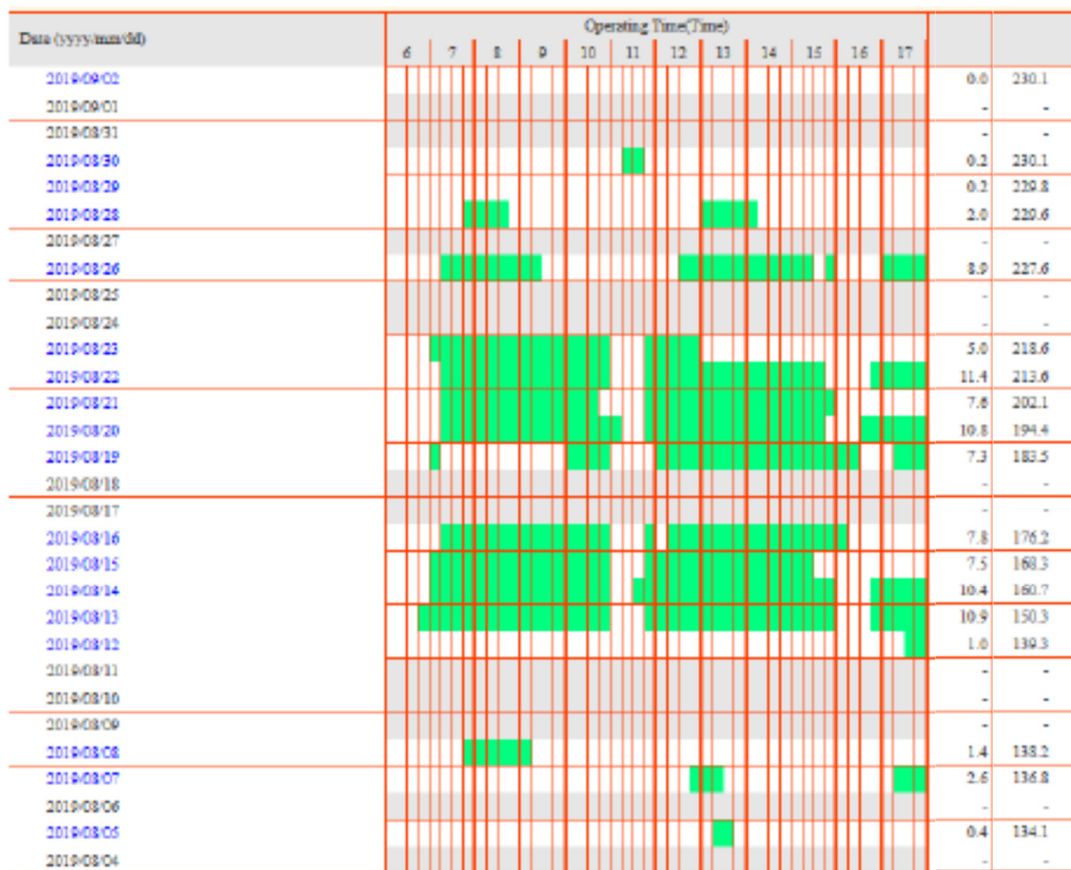
Biri omsorgssenter

Det nye omsorgssenteret på Biri har satt flere overordnede miljømål om blant annet å redusere klimautslipp med 40 % ved å bygge i tre og bruke lavkarbon-betong, bruke oppvarming basert på fornybar energi fra varmpumper og solcelleanlegg, og å bruke fossilfrie og elektriske anleggsmaskiner. I dette caset er en ZERON ZE 350LC Eldar plug-in gravemaskin testet for erfaringsinnsamling (se Figur 11). I tillegg benyttes anleggsmaskiner som kun går på biodiesel i byggefasen. Biri Omsorgssenter skal inneholde 16 sykehjemsplasser og 16 omsorgsboliger. Bygget skal oppfylle passivhusstandard og energiklasse A. Avfallet skal reduseres gjennom høy grad av prefabrikkerte løsninger samt god tilrettelegging og oppfølging på byggeplassen. Målet er satt til 25 kg/m² avfall med en sorteringsgrad på 85 %. Byggefasen strekker seg fra 14. mai 2019 til utgangen av 2020.

ZERON ZE350LC Eldar er den første 38 tonns plug-in elektriske beltegravemaskin som er produsert. Den har samme motor og drivlinje som Peakshaver+, men er uten batterier, batterivarmer, batterikjøling og batteristyringsystem. I tillegg har den en enklere pakke invertere og programvare. ZERON ZE350LC Eldar plug-in har gått 392 timer. En tilsvarende dieseldrevet gravemaskin vil normalt bruke 30 liter diesel i timen og har et forventet dieselforbruk på 11 760 liter eller omtrent 117 600 kWt. Den elektriske beltegravemaskinen har et strømforbruk på bare 24 % av dieselforbruket, det vil si 28 224 kWt. Den elektriske gravemaskinen sparer miljøet for 30 liter diesel i timen, noe som utgjør rundt 144 000 NOK i energikostnader og ca. 35 tCO₂e i direkte klimagassutslipp. Føreren har erfart at maskinen er litt for stor for jobben, men har ikke opplevd driftsstans eller skade på kabel (se Figur 12). Imidlertid har det forekommet noe elektrisk støy da det lekker strøm på samme vis som en gammel dieselgravemaskin lekker diesel. Noe blinking fra rørløys ble opplevd som ubehagelig og førte til feilmeldinger. Ved oppgradering av maskinen må sammensetningen av komponenter gjennomgås. Egen trafo til maskinen kan være en løsning for å unngå slike problemer.



Figur 11. ZERON ZE 350LC Eldar plugin. Kilde: NASTA.



Figur 12. Bruksmønster og forbruk på ZERON ZE 350 LC Eldar plugin. Kilde: NASTA.

Olav Vs gate

Olav Vs gate ligger mellom Nationaltheatret og Rådhuskaia og skal bygges om til en fotgjengerprioritert gate/gågate med brede fortau, utsikt til fjorden og nye trær med rotvennlig forsterkningslag. Oslo kommune har bestemt at hele denne byggeplassen skal være utslippsfri, noe som betyr at alle maskiner og alt utstyr innenfor gjerdet på byggeplassen skal være utslippsfrie. Det blir verdens første 100 % utslippsfrie byggeplass. Det skal blant annet tilrettelegges for Oslos første ladeplass for elektriske drosjer. Byggefase begynte 2. september 2019 og skal fortsette fram til årsskiftet 2020/2021.

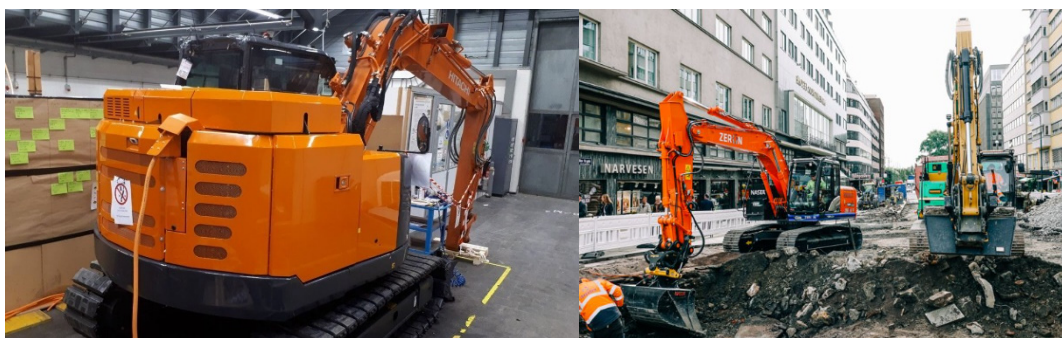
ZE85 gravemaskinene har gått ca. 1 140 og 365 timer hver, mens gravemaskinen ZE160LC Peakshaver+ (se Figur 13 og 14) har gått ca. 1 071 timer. På anleggsplassen i Olav Vs gate har de opplevd to driftsstanser. Den første skjedde ved overlevering av gravemaskinene, der 2 ladere ble brent på grunn av nettproblematikk. Den andre skjedde ved igangkjøring av gravemaskinen CAT 323 (avbildet i Figur 13), som ikke var elektriskmagnetisk støyisolert (EMC) via skilletrafo. Den siste driftsstansen førte til at en lader ble brent. Et viktig læringsutbytte fra disse hendelsene er å benytte en galvanisk skilletrafo i det lokale nettet. Dette tiltaket har blitt iverksatt med den andre prototypen (ZE160LC Peakshaver+). Videre har det vært en skade på et kabelførerstag og to skader på tilførselskabelen, men det har ikke ført til kritiske situasjoner eller henvendelser. Kabelløsningene som ble valgt, var resultat av innkjøpstekniske forhold, men leveringstiden virker usikker og beslutningen lite gjennomtenkt. Kabelføring og kabelhåndtering er ikke ferdig utviklet, og krever lokaltilpasning. Her kan det ligge en mulighet for forretningsutvikling. I tillegg skyldes noen driftsstans programvareinnstillinger av temperaturer og ladeparametre. Batteriytelsen kan bli noe

reduisert på grunn av lavere temperaturer. Dermed måtte man anvende varmeapparatet slik at batteriene ikke blir for kalde (de bør heller ikke bli for varme). Det ble korrigert ved lading på 63A (44kW) i pauser. For å ha nok strøm hele dagen var det nødvendig å lade i lunsjpausen, og sørge for at batteriene ble holdt tilstrekkelig varme gjennom natta. Lave utetemperaturer medførte også noe redusert driftstid, blant annet fordi det går med mer strøm til varme og belysning for å opprettholde komfortnivået til fører vinterstid. Dette viser at en utslippsfri byggeplass krever god logistikk og etablering av nye rutiner for å sikre at batteriene lades når maskinen ikke er i bruk. I tillegg må de respektive strømuttakene være tydelig merket med hvilke maskiner som kan lades. Figur 15 viser drift med batteri og kabel for gravemaskinen Zeron ZE160LC Peakshaver+ på anleggsplassen i Olav Vs gate. Følgende maksforbruk er registrert:

- Fra nettet: 40 kW
- Fra batteri: 95 kW
- Fra maskin: 80 kW

Figur 16 viser batterilading for Zeron ZE85 i Olav Vs gate. Maskinen lader 44kW i pausen, natlading er på 11 kW i 6–10 timer, i tillegg til at det tidvis kan være bruk for kort ladepuls for å vedlikeholde temperatur og batteriforbruk. Figur 17 viser batteritemperatur for Zeron ZE85 i Olav Vs gate. Batteriene blir alltid mellom 23 og 27 grader, og hver kurv er fra en batterimodul. Gravemaskinen ZE160LC Peakshaver+ sparer miljøet for ca. 10 liter diesel i timen. Det utgjør 126 500 NOK i energikostnader og 31 tCO₂e direkte utslipp i prosjektet. Zeron ZE85-gravemaskinene sparer miljøet for ca. 5,5 liter diesel i timen. Zeron ZE85 nr. 1 sparer ca. 77 000 NOK i energikostnader og 18 tCO₂e direkte utslipp i prosjektet, og Zeron ZE85 nr. 2 sparer ca. 25 000 NOK i energikostnader og 6 tCO₂e direkte utslipp i prosjektet.

Erfaringer fra Olav Vs gate viser at de elektrifiserte maskinene har samme ytelse som tradisjonelle dieseldrevne maskiner. Det ligger begrensninger i at utvalget av elektrifiserte maskiner i markedet er mangelfulle. Dermed kan det bli vanskelig å få tak i utslippsfrie maskiner dersom behovet øker gjennom et større antall utslippsfrie byggeplasser, inntil slike maskiner blir produsert i større skala.

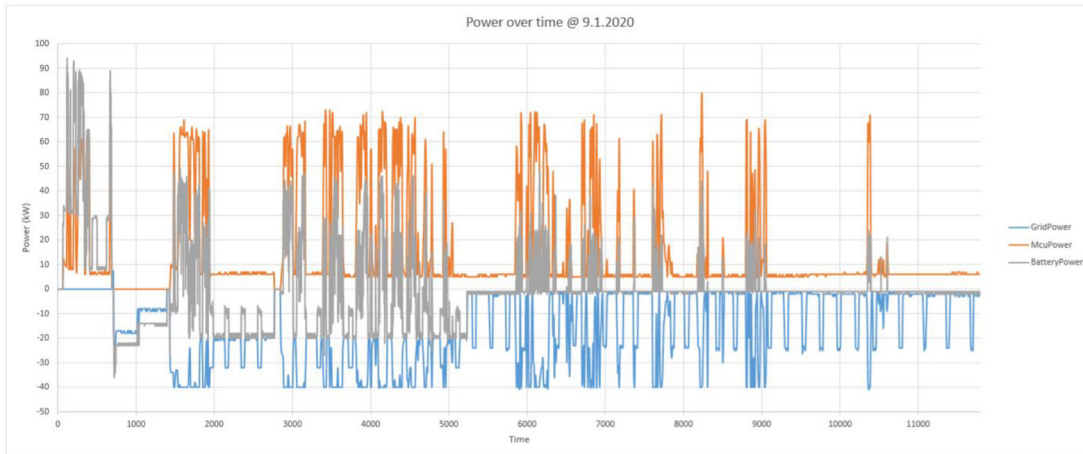


Figur 13. Bilder av gravemaskinene Zeron 85 klar på fabrikk (til venstre), og Zeron ZE160LC Peakshaver+ på anleggsplassen i Olav Vs gate (til høyre). Kilde: NASTA.

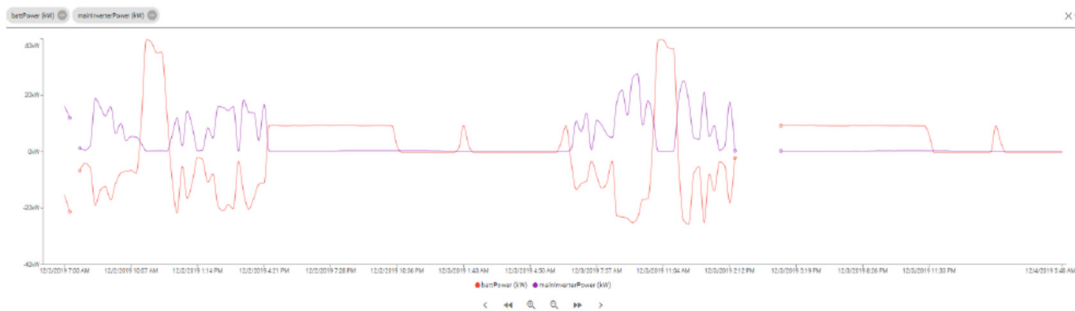
| Date (yyyy/mm/dd) | Operating Time(Time) | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-------------------|----------------------|---|---|---|----|----|----|----|----|----|----|--|--|----|--|--|------|-------|
| | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | | | 17 | | | | |
| 2020/02/20 | | | | | | | | | | | | | | | | | - | - |
| 2020/02/19 | | | | | | | | | | | | | | | | | 8.8 | 788.8 |
| 2020/02/18 | | | | | | | | | | | | | | | | | 9.1 | 780.0 |
| 2020/02/17 | | | | | | | | | | | | | | | | | 9.1 | 770.8 |
| 2020/02/16 | | | | | | | | | | | | | | | | | - | - |
| 2020/02/15 | | | | | | | | | | | | | | | | | - | - |
| 2020/02/14 | | | | | | | | | | | | | | | | | - | - |
| 2020/02/13 | | | | | | | | | | | | | | | | | 8.7 | 761.6 |
| 2020/02/12 | | | | | | | | | | | | | | | | | 11.1 | 752.9 |
| 2020/02/11 | | | | | | | | | | | | | | | | | 8.9 | 741.8 |
| 2020/02/10 | | | | | | | | | | | | | | | | | 6.8 | 732.8 |
| 2020/02/09 | | | | | | | | | | | | | | | | | - | - |
| 2020/02/08 | | | | | | | | | | | | | | | | | - | - |
| 2020/02/07 | | | | | | | | | | | | | | | | | - | - |
| 2020/02/06 | | | | | | | | | | | | | | | | | 8.5 | 725.9 |
| 2020/02/05 | | | | | | | | | | | | | | | | | 9.5 | 717.4 |
| 2020/02/04 | | | | | | | | | | | | | | | | | 9.2 | 707.8 |
| 2020/02/03 | | | | | | | | | | | | | | | | | 9.7 | 698.6 |
| 2020/02/02 | | | | | | | | | | | | | | | | | - | - |
| 2020/02/01 | | | | | | | | | | | | | | | | | - | - |
| 2020/01/31 | | | | | | | | | | | | | | | | | - | - |
| 2020/01/30 | | | | | | | | | | | | | | | | | 9.4 | 688.8 |
| 2020/01/29 | | | | | | | | | | | | | | | | | 9.0 | 679.4 |
| 2020/01/28 | | | | | | | | | | | | | | | | | 9.6 | 670.3 |
| 2020/01/27 | | | | | | | | | | | | | | | | | 8.7 | 660.6 |
| 2020/01/26 | | | | | | | | | | | | | | | | | - | - |
| 2020/01/25 | | | | | | | | | | | | | | | | | - | - |
| 2020/01/24 | | | | | | | | | | | | | | | | | - | - |
| 2020/01/23 | | | | | | | | | | | | | | | | | 6.8 | 651.9 |
| 2020/01/22 | | | | | | | | | | | | | | | | | 7.8 | 645.1 |
| 2020/01/21 | | | | | | | | | | | | | | | | | 9.2 | 637.2 |

| Date (yyyy/mm/dd) | Operating Time(Time) | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-------------------|----------------------|---|---|---|----|----|----|----|----|----|----|--|--|----|--|--|------|-------|
| | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | | | 17 | | | | |
| 2019/12/04 | | | | | | | | | | | | | | | | | 10.8 | 493.6 |
| 2019/12/03 | | | | | | | | | | | | | | | | | 9.6 | 482.7 |
| 2019/12/02 | | | | | | | | | | | | | | | | | 9.5 | 473.1 |
| 2019/12/01 | | | | | | | | | | | | | | | | | - | - |
| 2019/11/30 | | | | | | | | | | | | | | | | | - | - |
| 2019/11/29 | | | | | | | | | | | | | | | | | - | - |
| 2019/11/28 | | | | | | | | | | | | | | | | | - | - |
| 2019/11/27 | | | | | | | | | | | | | | | | | 3.3 | 463.5 |
| 2019/11/26 | | | | | | | | | | | | | | | | | 5.1 | 460.1 |
| 2019/11/25 | | | | | | | | | | | | | | | | | 9.3 | 455.0 |
| 2019/11/24 | | | | | | | | | | | | | | | | | - | - |
| 2019/11/23 | | | | | | | | | | | | | | | | | - | - |
| 2019/11/22 | | | | | | | | | | | | | | | | | 1.1 | 445.7 |
| 2019/11/21 | | | | | | | | | | | | | | | | | 7.1 | 444.5 |
| 2019/11/20 | | | | | | | | | | | | | | | | | 9.2 | 437.3 |
| 2019/11/19 | | | | | | | | | | | | | | | | | 9.1 | 428.1 |
| 2019/11/18 | | | | | | | | | | | | | | | | | 9.0 | 419.0 |
| 2019/11/17 | | | | | | | | | | | | | | | | | - | - |
| 2019/11/16 | | | | | | | | | | | | | | | | | - | - |
| 2019/11/15 | | | | | | | | | | | | | | | | | - | - |
| 2019/11/14 | | | | | | | | | | | | | | | | | 5.9 | 410.0 |
| 2019/11/13 | | | | | | | | | | | | | | | | | 8.6 | 404.0 |
| 2019/11/12 | | | | | | | | | | | | | | | | | 9.9 | 395.3 |
| 2019/11/11 | | | | | | | | | | | | | | | | | 9.8 | 385.4 |
| 2019/11/10 | | | | | | | | | | | | | | | | | - | - |
| 2019/11/09 | | | | | | | | | | | | | | | | | - | - |
| 2019/11/08 | | | | | | | | | | | | | | | | | - | - |
| 2019/11/07 | | | | | | | | | | | | | | | | | 7.0 | 375.5 |
| 2019/11/06 | | | | | | | | | | | | | | | | | 12.6 | 368.4 |
| 2019/11/05 | | | | | | | | | | | | | | | | | 9.7 | 355.7 |
| 2019/11/04 | | | | | | | | | | | | | | | | | 9.6 | 345.9 |

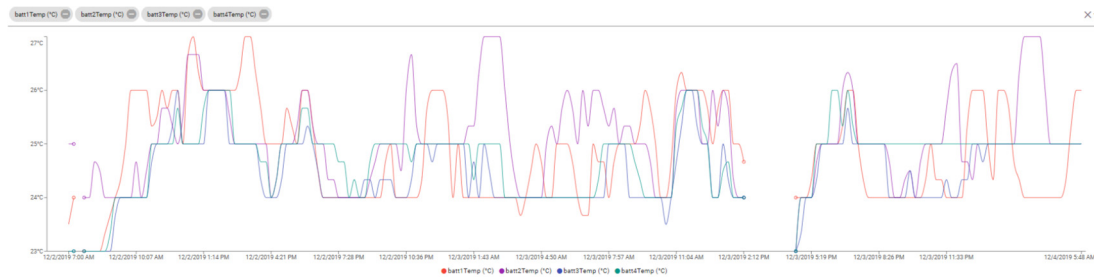
Figur 14. Bruksmønster og forbrug for ZERON ZE160LC Peakshaver+. Kilde: NASTA.



Figur 15. Driftsprofil med batteri og kabel for ZERON ZE160LC Peakshaver+. Kilde: NASTA.



Figur 16. Diagram av batterilading til Zeron ZE85 i Olav Vs gate. Kilde: NASTA.



Figur 17. Diagram av batteritemperatur for Zeron ZE85 i Olav Vs gate. Kilde: NASTA.

Oslo storbylegevakt

Bygningsmassen til Storbylegevakten er på ca. 26 000 m² når prosjektet er ferdig bygd. I tillegg skal det bygges et tilstøtende underjordisk parkeringshus på ca. 4 400 m², samt at internveier og kryss skal legges om. Storbylegevakten skal bygges på området til Aker sykehus, og skal være i full operativ drift i 2023 (se Figur 18 og 19). Omsorgsbygg og Oslo kommune har en tydelig og ambisiøs miljøprofil, og målet er å bygge storbylegevakten på en måte som gir lavest mulig energibruk i hele levetiden til bygningen. Storbylegevakten skal bygges som passivhus, med målsetninger om å oppnå graden "Excellent" i BREEAM og at byggeplassen skal være fossilfri. Byggefase er fra 28. august 2019 til 2023.



Figur 18. Illustrasjon av Oslo storbylegevakt. Kilde: Skanska.



Figur 19. Illustrasjon av Oslo storbylegevakt. Kilde: Skanska.

Tidligere har gravemaskinen ZE85US-6 deltatt ved rivestarten av Oslos nye storbylegevakt. Fra januar 2020 skal gravemaskinen ZERON ZE 350LC Eldar plug-in være i drift på byggeplassen. Videre er det planlagt å bruke gravemaskinen ZERON ZE 160 LC Peakshaver+ prototype nr. 2, men den er forsinket på grunn av et batterisett som ble ødelagt under testing av prototypen. Batterisetet er hos produsenten for reparasjon og oppgradering av batteristyringssystem (BMS). For å bidra til å løse infrastrukturen på byggeplassen vil det bli benyttet en løsning der kabelen går inn på en undervogn med 60 meter kabel på kabeltrommel (tilsvarende ZERON ZE 350 LC, som beskrevet i Biri omsorgssenter) og har en skilletrafo i en felles enhet.

Økonomiske aspekter

Livssyklus kostnader (LCC) er en metode som kan brukes for å beregne summen av kostnader på en gravemaskin over dens levetid. I denne rapporten er det beregnet LCC for en 17,5 t diesel og 17,5 t elektrisk gravemaskin (ZERON ZE160LC Peakshaver+) med mål om å dokumentere og sammenlikne kostnadene mellom de to alternativene. Det er viktig å huske at ingen av de maskinene som er produsert til nå, er helt like. Beregningene er gjennomført i henhold til ISO 15686-5: 2017 [17]. Det er lovpålagt å ta hensyn til LCC ved alle offentlige anskaffelser der det er relevant, jf. §6 i Lov om offentlige anskaffelser² og i anskaffelsesforskriften §7-9 "Minimering av miljøbelastning". LCC-beregninger er basert på netto nåverdi for alle komponenter. Netto nåverdi gir nåverdi av framtidige komponenter avhengig av rentesats og restverdi. LCC består av fem deler: anskaffelseskostnader fra produksjon av gravemaskinen, driftskostnader, vedlikeholdskostnader, andre kostnader som forsikring og restverdi. Det vil si:

$$\text{LCC} = \text{Anskaffelseskostnader} + \text{Driftskostnader} + \text{Vedlikeholdskostnader} + \text{Andre kostnader} - \text{Restverdi}$$

Data for LCC-beregningene er supplert av NASTA i april 2020. Referansestudieperioden er satt til 10 år, hvorav diesel gravemaskinen har 8 års levetid og den elektriske gravemaskinen er forventet å ha 10 års levetid. Diskonteringsrente er satt til 5 %, mens inflasjonsrate er satt til 2,2 %. Alle priser er oppgitt i norske kroner (NOK). LCC-analysen inkluderer også følsomhetsanalyser for å synliggjøre hva som må til for at 17,5 t elektriske gravemaskiner er konkurransedyktige med dagens dieselstandard.

Anskaffelseskostnader

Kjøpesum for en ny 17,5 t diesel gravemaskin er i størrelsesorden 1 650.000 NOK, og 4 000.000 NOK for en ny 17,5 t elektrisk gravemaskin. I tillegg har den elektriske gravemaskinen installasjonskostnader på 650 000 NOK for tilkobling, kabeltrommel og galvanisk skille. Videre er det forventet at kostnadene for ombygging går ned over tid, spesielt når man tenker på at gjennomsnittspris for elektrisk batteri (\$/kWt) har sunket 73 % siden 2010 [18]. Derfor er det forventet lavere total kostnad for maskinen når batteriteknologi blir enda billigere. I tillegg er total kostnaden for produksjon av elektriske gravemaskiner en "economics of scale", hvorav de første prototypene vil være dyrere på grunn av lang leveringstid på komponenter og fordi komponenter er dyrere i små mengder versus storskalaproduksjon.

Driftskostnader

Drivstofforbruk på 17,5 t dieselgravemaskinen er på ca. 10 liter i timen. Pris for diesel per april 2020 er 14,96 kr/liter [19]. Elektrisk forbruk på 17,5 t elektrisk gravemaskin er på 28 kW/t. Pris for elektrisitet per april 2020 er 1,123 kr/kWt [20]. Det er forventet at en overgang fra diesel til biodiesel medfører en økning i energikostnader på omtrent 30 %, mens en overgang til elektrisitet vil redusere energikostnadene ytterligere siden elektrisitet er en billigere energikilde. Elektriske maskiner har også en høyere energiutnyttelse som medfører et lavere energiforbruk, og dermed også reduserte kostnader.

Vedlikeholdskostnader

Vedlikeholdskostnader inkluderer årlige servicekostnader på 33 NOK/timer for diesel og 26 NOK/timer for elektrisk, og det er antatt 1 800 driftstimer i året for begge maskiner, som gir en vedlikeholdskostnad på 59 400 NOK per år for diesel og 46 800 NOK per år for elektrisk. Dette er

² <https://lovdata.no/dokument/NLO/lov/1999-07-16-69>

fordi det er forventet at elektriske gravemaskiner vil ha mindre behov for service, noe som vil medføre en lavere servicekostnad. Videre er det forventet lavere driftskostnad for entreprenører på grunn av mulighet for mer optimalisert vedlikehold, da elektriske maskiner har færre bevegelige deler enn dieselmaskiner, oljeservice for motor bortfaller og det er ingen behov for stans for påfylling av drivstoff og service [21].

Andre kostnader

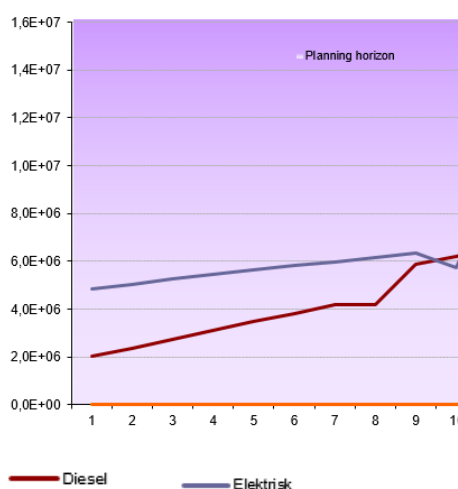
Andre kostnader inkluderer årlige forsikringskostnader på 2,5 % av kjøpesum for begge maskinene.

Restverdi

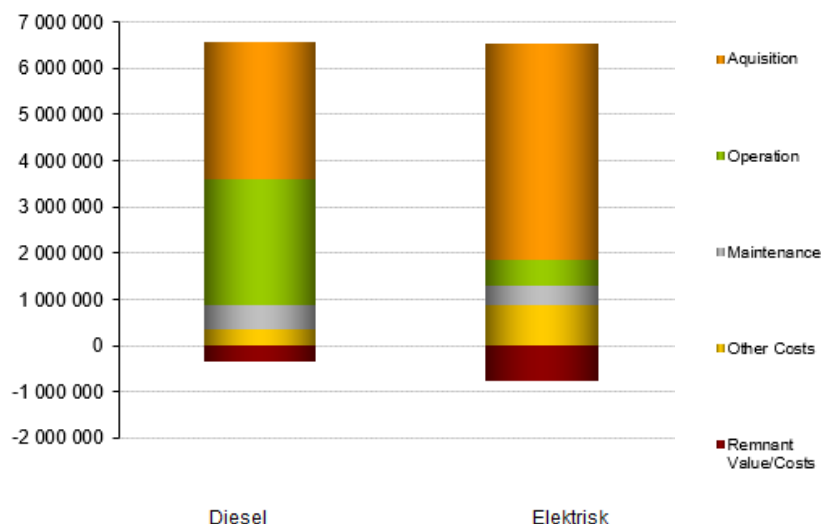
Restverdien er svært usikker siden det er et estimat om bruktmarkedetsverdien om 8 til 10 år. I dette tilfellet er det satt til 25 % av kjøpesum i begge tilfeller, men det kan antas at det vil være mindre etterspørsel etter diesel gravemaskiner i Norge om 8 til 10 år siden de fleste norske bygge- og anleggsplasser skal være utslippsfrie innen 2030. Dette vil mest sannsynlig redusere restverdien av diesel gravemaskiner.

Resultatene

Figur 20 viser de akkumulerte kostnadene over en 10 års tidshorisont for 17,5 t elektrisk og diesel gravemaskin. Figur 21 viser sum kostnader per livssykluskategori etter endt planlagt tidshorisont på 10 år, mens Tabell 1 viser sum kostnader i netto nåverdi. Resultatene viser at den største kostnaden for diesel gravemaskinen er driftskostnader, etterfulgt av anskaffelseskostnader, vedlikeholdskostnader og andre kostnader. For den elektriske gravemaskinen er anskaffelseskostnader høyest etterfulgt av andre kostnader, restverdi, driftskostnader og vedlikeholdskostnader. Resultatene viser at den elektriske gravemaskinen har høyere anskaffelseskostnader enn diesel, men lavere driftskostnader. Det er omtrent 480 000 NOK forskjell i totale kostnader etter en ti-års referansestudieperiode, hvor den elektriske gravemaskinen kommer best ut. Siden en diesel gravemaskin har kortere levetid og den elektriske gravemaskinen har lavere driftskostnader vil nåverdien, hvis man ikke inkluderer restverdielementet, av de to maskinene være ganske like etter 10 år på rundt 6,5 MNOK.



Figur 20. Akkumulert sum kostnader (i NOK) over en 25 års tidshorisont. Referansestudieperiode er 10 år.



Figur 21. Sum kostnader (i NOK) per livssykluskategori etter endt planlagt tidshorisont på 10 år.

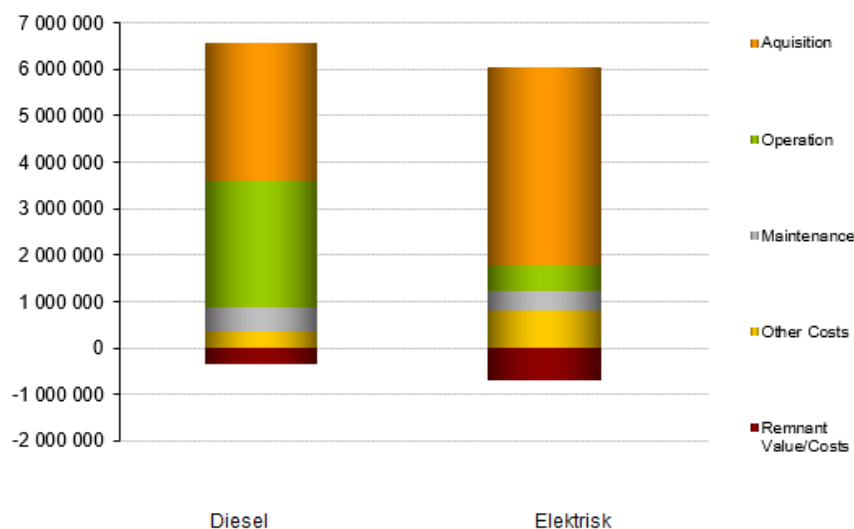
Tabell 1. Sum kostnader (i NOK) i netto nåverdi med en 10 års levetid på elektrisk gravemaskin

| | Enhet | Diesel | Elektrisk |
|--|--------|------------|------------|
| Totale kostnader i netto nåverdi etter 10 år | NOK | 6 217 424 | 5 736 586 |
| Årlige kostnader | NOK/år | 621 742 | 573 659 |
| Totale kostnader etter 25 år | NOK | 12 627 455 | 13 585 247 |

En rekke følsomhetsanalyser har blitt gjennomført på anskaffelseskostnader, levetid og energikostnader for å se hva som må til for å gjøre elektriske gravemaskiner enda mer konkurransedyktige med dagens dieselstandard.

Anskaffelseskostnader

Hvis anskaffelseskostnader reduseres med 10 % for elektrisk gravemaskin til 3 600 000 NOK, kan de totale kostnadene etter ni år være konkurransedyktige med diesel. Figur 22 viser sum kostnader per livssykluskategori med en 10 % reduksjon i anskaffelseskostnader, og Tabell 2 viser sum kostnader i netto nåverdi med en 10 % reduksjon i anskaffelseskostnader.

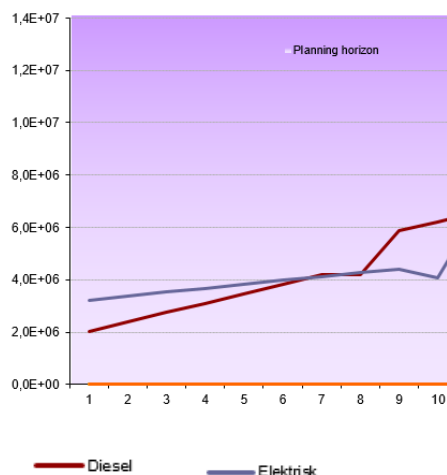


Figur 22. Sum kostnader (i NOK) per livssykluskategori etter endt planlagt tidshorisont på 10 år med reduserte anskaffelseskostnader.

Tabell 2. Sum kostnader (i NOK) i netto nåverdi med en 10 % reduksjon i anskaffelseskostnader for elektrisk gravemaskin

| | Enhet | Diesel | Elektrisk |
|--|--------|------------|------------|
| Totale kostnader i netto nåverdi etter 10 år | NOK | 6 217 424 | 5 325 988 |
| Årlige kostnader | NOK/år | 621 742 | 532 599 |
| Totale kostnader etter 25 år | NOK | 12 627 455 | 12 605 624 |

Hvis anskaffelseskostnader reduseres med 40 % for elektrisk gravemaskin til 2 400 000 NOK, kan den elektriske gravemaskinen lønne seg framfor diesel etter 6 år. Figur 23 viser akkumulert sum kostnader over en 10 års tidshorisont med 40 % reduserte anskaffelseskostnader.



Figur 23. Akkumulert sum kostnader (i NOK) over en 10 års tidshorisont med 40 % reduserte anskaffelseskostnader for elektrisk gravemaskin. Referansestudieperiode er 10 år.

Levetid

Hvis levetiden på elektrisk gravemaskin endres fra 10 til 13 år, kan den være konkurransedyktig med diesel ekvivalent også etter 25 år. Tabell 3 viser sum kostnader i netto nåverdi med 13 års levetid på elektrisk gravemaskin.

Tabell 3. Sum kostnader (i NOK) i netto nåverdi med 13 års levetid på elektrisk gravemaskin

| | Enhet | Diesel | Elektrisk |
|--|--------|------------|------------|
| Totale kostnader i netto nåverdi etter 10 år | NOK | 7 248 170 | 6 293 507 |
| Årlige kostnader | NOK/år | 557 552 | 484 116 |
| Totale kostnader etter 25 år | NOK | 12 627 455 | 11 281 858 |

Energikostnader

Hvis markedspris for diesel økes med 10 % og markedspris for elektrisitet reduseres med 10 %, kan den elektriske gravemaskinen være enda mer konkurransedyktig med dieselvarianten. Tabell 4 viser sum kostnader i netto nåverdi med 10 % endring i markedspris.

Tabell 4. Sum kostnader (i NOK) i netto nåverdi med 10 % endring i markedspris for diesel og elektrisitet

| | Enhet | Diesel | Elektrisk |
|--|--------|------------|------------|
| Totale kostnader i netto nåverdi etter 10 år | NOK | 6 486 704 | 5 679 987 |
| Årlige kostnader | NOK/år | 648 670 | 567 999 |
| Totale kostnader etter 25 år | NOK | 13 300 655 | 13 443 749 |

Følsomhetsanalysene viser at det er ikke så mye som skal til for at en 17,5 t elektrisk gravemaskin er mer konkurransedyktig enn dieselevivalenten. Samlet effekt av følsomhetsanalysene er ikke vurdert, men den største muligheten for kostnadsbesparelestiltak for 17,5 t elektrisk gravemaskin er i anskaffelseskostnadene, etterfulgt av forlenget levetid.

Miljøaspekter

En elektrisk gravemaskin gir ingen direkte utslipp av klimagasser og forurensere ikke lokalmiljø med NO_x, SO_x, partikler eller tilsvarende, og gir dermed bedre luftkvalitet. Det gir samfunnsøkonomiske gevinster og positive helseeffekter. Anskaffelsesforskriften §7-9 "Minimering av miljøbelastning" peker også på at "oppdragsgiveren skal legge vekt på å minimere miljøbelastningen og fremme klimavennlige løsninger ved sine anskaffelser og kan stille miljøkrav og kriterier i alle trinn av anskaffelsesprosessen der det er relevant og knyttet til leveransen". En elektrisk gravemaskin bidrar til bedre arbeidsmiljø (spesielt for føreren) og bedre bymiljø gjennom kutt av utslipp, vibrasjoner og støy. Den bråker langt mindre ettersom forbrenningsmotoren er byttet ut med elmotor. I tillegg vil en elektrisk gravemaskin ikke tvinges til å stå i ro på dager med sterk luftforurensing. I den forrige rapporten [16] ble det regnet ut at en 30 t utslippsfri gravemaskin vil redusere det årlige klimagassutslippet med ca. 100 tCO₂e.

Livsløpsanalyse (LCA) er metoden som skal brukes i denne studien for å kvantifisere miljøpåvirkninger fra en 17,5 t diesel gravemaskin og en 17,5 t elektrisk gravemaskin (ZERON ZE160LC Peakshaver+), med mål om å dokumentere og sammenlikne klimagassutslipp mellom de to alternativene. Det er viktig å huske at ingen av maskinene som er produsert til nå, er helt like. Beregningene er gjennomført i henhold til ISO 14040 [22]. Funksjonell enhet for begge gravemaskiner er en times drift gitt 1 800 timer driftstid per år. Levetid på diesel gravemaskinen er 8 år og levetiden på den elektriske gravemaskinen er 10 år. Referansestudieperioden for begge maskiner er derfor 10 år. Figur 24 gir en oversikt over livsløpsmoduler gjennom hele livsløpet. I denne studien er følgende livsløpsmoduler tatt med: A1-A3 produksjonsfasen, A4-A5 byggefasen, B6 energibruk i driftsfasen, C3-C4 sluttfasen. LCA er gjennomført i verktøyet Simapro versjon 8 [23] ved bruk av livsløpsinventar database Ecoinvent versjon 3.3 [24]. LCA konsekvensutredningsmetoden som er brukt, er RECIPE midpoint hierarchist v1.13 [25] og inkluderer miljøpåvirkninger som:

- global oppvarming [26] – det vil si klimagassutslipp
- nedbryting av ozonlaget
- forsuring på land
- forsuring i ferskvann
- forsuring i havvann
- menneskelig toksisitet
- dannelse av fotokjemisk smog
- partikler
- økotoksitet på land
- økotoksitet i ferskvann
- økotoksitet i havvann
- ioniserende stråling
- forbruk av jordbruksområder
- forbruk av urbane områder
- forbruk av naturområder
- forbruk av vann
- forbruk av metall
- forbruk av fossile ressurser

| A1-3 Produktstadiet | | | A4-5 Gjennomføringsstadiet | | B1-7 Bruksstadiet | | | | | | | | C1-4 Livsløpets sluttstadiet | | | | D Konsekvenser utover systemgrensen |
|---------------------|---------------|----------------|----------------------------|---|-------------------|-----------------|----------------|----------------|---------------|------------------------|-------------------------|-----------------------|------------------------------|---------------|-----------------------|---------------|---|
| A1: Råvarer | A2: Transport | A3: Produksjon | A4: Transport | A5: Anlegg-, bygge- og monteringsarbeid | B1: Bruk | B2: Vedlikehold | B3: Reparasjon | B4: Utskifting | B5: Ombygging | B6: Energibruk i drift | B7: Vannforbruk i drift | B8: Transport i drift | C1: Riving | C2: Transport | C3: Avfallsbehandling | C4: Avhending | D: Material- og energigjenvinning og ombruk av materialer eksport av egenprodusert energi |

Figur 24. Oversikt over livsløpsmoduler gjennom hele livsløpet.

A1-A3 Produksjon

Begge maskinene er produsert i Japan hos Hitachi og fraktet til Larvik i Norge på konteinerskip. Tabell 5 og 6 viser den opprinnelige 15 t "hydraulic digger"-prosessen i Ecoinvent [27]. Denne prosessen tilpasses til en 17,5 t diesel og en 17,5 t elektrisk gravemaskin basert på livssyklusinventardata oppgitt av NASTA. "Hydraulic digger"-prosessen har derfor vært tilpasset fra en 15 t diesel gravemaskin produsert i Europa til en 17,5 t diesel gravemaskin produsert i Japan. Prosessene er byttet ut fra europeiske prosesser (RER), som bruker europeisk strømmiks, til japanske prosesser (JP) som bruker japansk strømmiks. Når de japanske prosessene ikke var tilgjengelige, har prosesser som er representative for "rest of world" (ROW) blitt brukt. Den elektriske gravemaskinen er deretter ombygd til elektrisk drift på NASTA Spesialproduksjon i Larvik og bruker prosesser med norsk strømmiks (NO). I ombyggingsprosessen har den 17,5 t elektriske gravemaskinen behov for ekstra komponenter som 42 kWt batteri, elektrisk motor og drivlinje, invertere, 230 m kabel, en galvanisert skilletrafo og en konteiner. Disse er tatt med i regnskapet.

Tabell 5. Livssyklusinventardata på 15 t gravemaskin i Ecoinvent database [27].

| | Skid-steer loader | | Hydraulic digger | | Building machine | |
|--|-----------------------------|------------------------|---------------------------------------|------------------------|--|---------|
| Type in "Off-road Database" | "Raupenlader" = traxcavator | | "Hydraulik-Bagger" = Hydraulic digger | | Average over different types of building machines excluding road building machines | |
| Function of machine | Raising | | Excavation, digging | | All different functions as rollers, hydraulic equipment, twist driller, etc. | |
| Average mechanical power per single machine (with 100% work-load) | 110 | kW | 100 | kW | 120 | kW |
| Average mechanical energy per single machine (with 50% work-load) | 55 | kWh/h | 50 | kWh/h | 60 | kWh/h |
| Average mechanical energy per load or time | 0.5 | kWh/m ³ | 0.5 | kWh/m ³ | 60 | kWh/h |
| Average specific time need (*) | 9.09 | h / 1000m ³ | 10 | h / 1000m ³ | | |
| Diesel consumption used for all types: | 290 g Diesel / kWh | | | | | |
| Diesel consumption rate (1990) | 145 | g / m ³ | 145 | g / m ³ | 17.4 | kg / h |
| Coefficient of correction for diesel consumption from 1990 to 2000 | 0.9 | | 0.9 | | 0.9 | |
| Diesel consumption per unit (2000) used in this study | 0.013 | kg / m ³ | 0.013 | kg / m ³ | 0.023 | kg / MJ |
| Lubricating oil consumption (**) | 0.0025 | kg / m ³ | 0.003 | kg / m ³ | 0.0005 | kg / MJ |

(*): Quotient of the average mechanical energy per single machine (with 50% work-load) and average mechanical energy per load

(**): Frischknecht et al. (1996)

Tabell 6. Ecoinvent database metainformasjon på "hydraulic digger" [27].

| | | |
|---------------------------------------|---|--|
| Name | Hydraulic digger | Excavation, hydraulic digger |
| Location | RER | RER |
| Infrastructure Process | 1 | 0 |
| Unit | unit | m3 |
| Data Set Version | 2.0 | 2.0 |
| Included Processes | Includes the most important materials, the transportation of the parts to the assembly plant and of the hydraulic digger to the end-user. Also included is the requirement of electricity and heating energy. No disposal is included as it is assumed that all materials used in the machine are 100% recycled. | Includes the inputs "hydraulic digger" for infrastructure, lubricating oil and fuel consumption, and some measured air emissions as output. |
| Amount | 1 | 1 |
| Local Name | Hydraulikbagger | Aushub Hydraulikbagger |
| Synonyms | excavator//engine | excavator//engine |
| General Comment to reference function | The module describes a fictitious machine made 100% of steel. The energy consumption for the production process is assumed to be the same as the energy consumption for the production of a car. The transportation distances for delivering the parts to the assembly plant are estimated. This module should not be used if its relative importance would be high in a certain environmental inventory. Average service life: 10'000 hours. | This module is based on the data included in the report "Ökoinventare von Energiesysteme" (Frischknecht et al. (1996)). The diesel consumption and the emissions are updated using the Swiss "Off-road database" and applied to year 2000 (BUWAL (2000b)). This module should not be used if its relative importance would be high in a certain environmental inventory. |
| Start Date | 1996 | 1996 |
| End Date | 2001 | 2001 |
| Data Valid For Entire Period | 1 | 1 |
| Other Period Text | | |
| Geography text | Certain elementary flows or intermediate product flows are extrapolated from Swiss conditions. | Certain elementary flows or intermediate product flows are extrapolated from Swiss conditions. |
| Technology text | Average current technology for one typical machine representing the category. | Average current technology for one typical machine representing the category. |
| Representativeness [%] | | |
| Production Volume | Unknown | Unknown |
| Sampling Procedure | Most data from the LCA study Frischknecht et al. (1996) (Frischknecht et al. (1996)). | Some data from the LCA study Frischknecht et al. (1996) and emissions from the Swiss "Off-road" database (BUWAL (2000b)). |
| Extrapolations | See geography | See geography |
| Uncertainty Adjustments | None | None |

A4-A5 Byggefase

Byggefase inkluderer transport fra Larvik til Olav Vs gate i Oslo og installasjon av gravemaskinene på anleggsplassen. Det antas at gravemaskinene er på byggeplasser i ca. ett år før de flyttes til et nytt oppdrag, og det antas at neste oppdrag er i Oslo og at avstand fra et oppdrag til neste oppdrag er neglisjerbart.

B6 Energibruk i driftsfase

Utslippsfaktoren for diesel er 3,32 kgCO₂e/liter [24]. To utslippsfaktorer er brukt for elektrisitet, den første (ZEB) ta hensyn til strømutvekslinger med resten av Europa og er på 0,136 kgCO₂e/kWt [28] mens den andre (NO) er en ren vannkraft strømmiks for Norge på 0,033 kgCO₂e/kWt [29]. For å kunne bruke norsk strømmiks bør byggeplassen ha opprinnelsesgarantert strøm. Drivstofforbruk på 17,5t diesel gravemaskinen er ca. 10 liter i timen eller 100 kWt. Elektrisk forbruk på 17,5t elektrisk gravemaskin er på 28 kW/t. Begge har en driftstid på 1800 timer i året.

C3-C4 Sluttfasen

Begge gravemaskinene gjennomgår avfallshåndtering og avhendingsprosesser. Den opprinnelige 17,5 t gravemaskinen produsert i Japan består hovedsakelig av stål og sendes til resirkulering. For den elektriske gravemaskinen er batteriene og kabler sendt til avhending, konteineren selges på bruktmarkedet, elektrisk motor og drivlinje demonteres og resirkuleres, mens invertere hovedsakelig består av aluminium og resirkuleres.

Resultatene

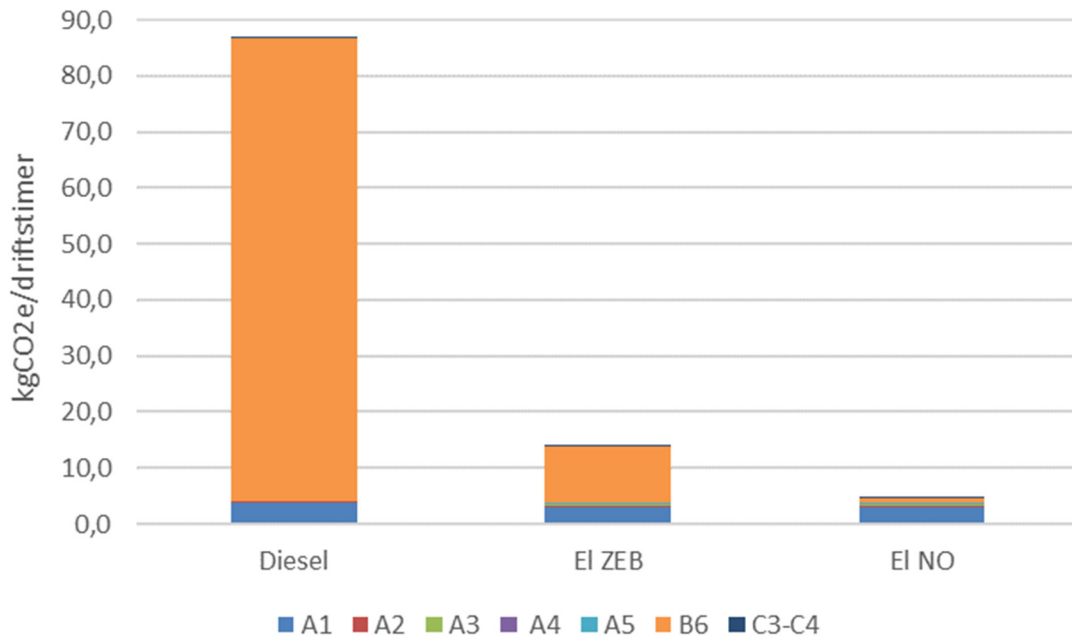
LCA-resultatene vises i Tabell 7 og viser de totale miljøpåvirkningsresultatene for 17,5 t diesel og elektrisk gravemaskin med ZEB og NO elektrisitetsfaktorer. Den største miljøpåvirkningen for diesel gravemaskinen er global oppvarming (86,7 kgCO_{2e}), etterfulgt av forbruk av fossile ressurser (13,3 kg oil e). Den største miljøpåvirkningen for elektrisk gravemaskin er global oppvarming (4,8–14 kgCO_{2e}), etterfulgt av menneskelig toksisitet (10,5–10,9 kg 1,4-DBe), forbruk av metall (4,6–4,7 kgFee) grunnet produksjon av batterier, invertere og elektrisk motor.

Tabell 7. Totale miljøpåvirkningsresultatene for 17,5 t diesel gravemaskin, og 17,5 t elektrisk gravemaskin med ZEB og NO elektrisitetsfaktorer

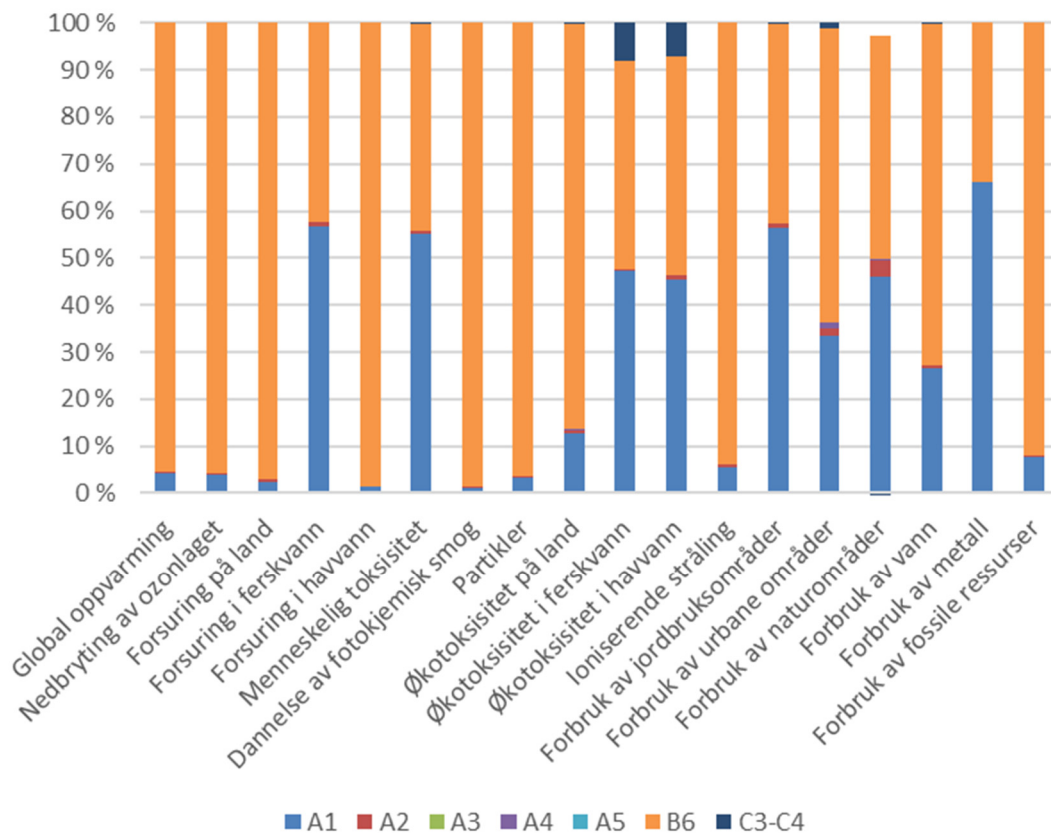
| Miljøpåvirkning | Enhet | Diesel | Elektrisk ZEB | Elektrisk NO |
|------------------------------|-----------------------|---------|---------------|--------------|
| Global oppvarming | kg CO _{2e} | 86,7 | 14,0 | 4,8 |
| Nedbryting av ozonlaget | kg CFC-11e | 6,7E-06 | 4,5E-07 | 5,5E-07 |
| Forsuring på land | kg SO _{2e} | 0,7 | 0,03 | 0,03 |
| Forsuring i ferskvann | kg Pe | 0,003 | 0,01 | 0,01 |
| Forsuring i havvann | kg Ne | 0,05 | 0,003 | 0,003 |
| Menneskelig toksisitet | kg 1,4-DBe | 4,4 | 10,5 | 10,9 |
| Dannelse av fotokjemisk smog | kg NMVOC | 1,2 | 0,02 | 0,02 |
| Partikler | kg PM _{10e} | 0,4 | 0,02 | 0,02 |
| Økotoksisitet på land | kg 1,4-DBe | 0,002 | 0,001 | 0,001 |
| Økotoksisitet i ferskvann | kg 1,4-DBe | 0,2 | 0,3 | 0,3 |
| Økotoksisitet i havvann | kg 1,4-DBe | 0,2 | 0,3 | 0,3 |
| Ioniserende stråling | kBq U _{235e} | 2,7 | 0,2 | 0,5 |
| Forbruk av jordbruksområder | m ² a | 0,3 | 0,2 | 0,5 |
| Forbruk av urbane områder | m ² a | 0,1 | 0,1 | 0,1 |
| Forbruk av naturområder | m ² | 0,002 | 0,001 | 0,001 |
| Forbruk av vann | m ³ | 0,1 | 0,04 | 0,9 |
| Forbruk av metall | kg Fee | 3,8 | 4,6 | 4,7 |
| Forbruk av fossile ressurser | kg oil e | 13,3 | 1,1 | 1,3 |

Figur 25 viser 84–94 % reduksjon i klimagasser fra ombygging av en 17,5 t diesel til en 17,5 t elektrisk gravemaskin, avhengig av om man bruker NO eller ZEB elektrisitetsfaktor. De fleste klimagassutslippene for diesel gravemaskinen kommer fra energibruk i drift (95 %), etterfulgt av produksjon (4,2 %), transport til byggeplassen (0,02 %) og avhending i sluttfasen (0,01 %). De fleste klimagassutslippene for elektrisitetsmikts ZEB gravemaskinen kommer fra energibruk i drift (72 %), etterfulgt av produksjon (25 %), transport og installasjon på byggeplassen (2,1 %) og avhending i sluttfasen (0,6 %). De fleste klimagassutslippene for elektrisitetsmikts NO gravemaskinen kommer fra produksjon (73 %), etterfulgt av energibruk i drift (19 %), transport og installasjon på byggeplassen (6,2 %) og avhending i sluttfasen (2 %). Vedlegg A presenterer LCA-resultatene for alle tre scenarioer (diesel, el ZEB og el NO) per livssyklusmodul. Figurene 26 og 27 viser miljøpåvirkninger per livsløpsmodul for 17,5 t diesel og elektrisk gravemaskin. Resultatene for diesel gravemaskin viser at de største miljøpåvirkninger kommer fra dieselforbruk i drift i livsløpsmodul B6 og produksjon av gravemaskinen i livsløpsmodul A1. Resultatene for den elektriske gravemaskinen viser at det også foregår klimagassutslipp i ombyggingsprosessen (batterier, elektrisk

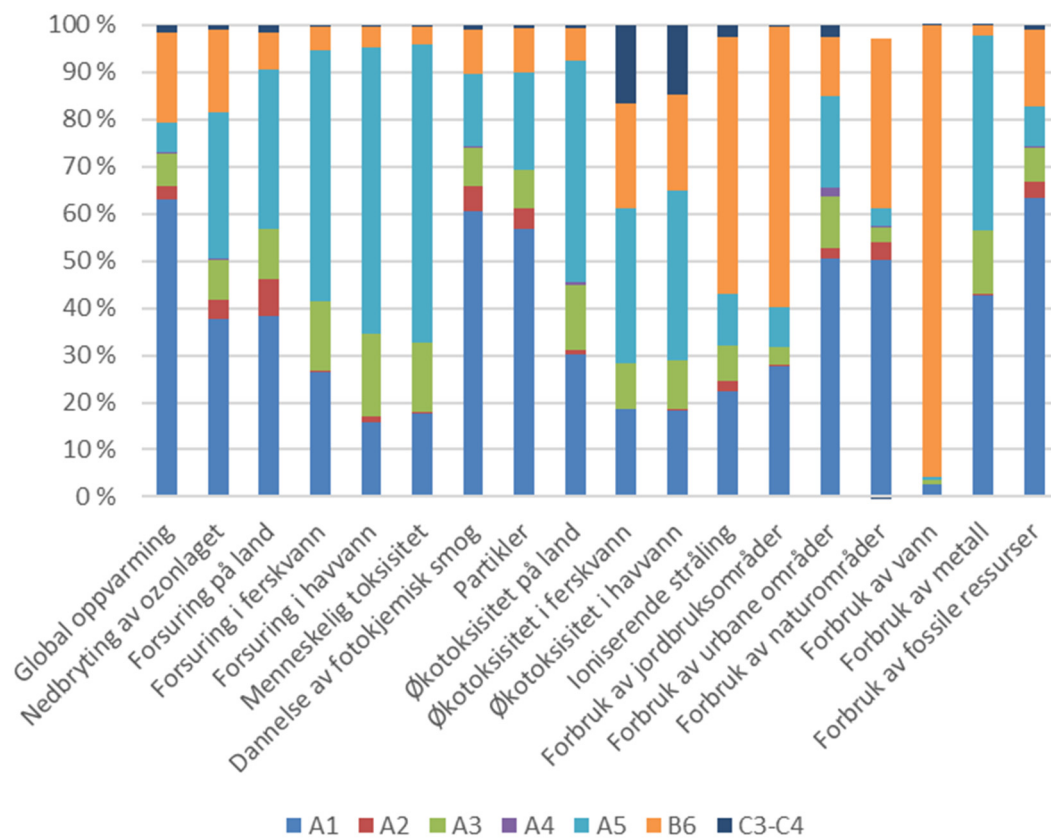
motor og invertere) i livsløpsmodul A3 samt installasjon på byggeplassen (konteiner og kabel) i livsløpsmodul A5.



Figur 25. Totale klimagassutslipp fra livsløpet til en 17,5 t diesel og elektrisk gravemaskin med ZEB og NO elektrisitetsfaktorer.



Figur 26. Miljøpåvirkninger per livsløpsmodul for 17,5 t diesel gravemaskin.



Figur 27. Miljøpåvirkninger per livsløpsmodul for 17,5 t elektrisk gravemaskin med NO elektrisitetsfaktor.

Organisatoriske og anskaffelsesfaglige aspekter

Dette kapitlet diskuterer rammebetingelser for storskala produksjon og rask implementering. Kapitlet begynner med å forklare den offentlige anskaffelsesprosessen, byggeprosessen og rollefordelingen. Deretter blir de ulike stadiene i anskaffelsesprosessen gjennomgått – fra avklaring av behov og planlegging til konkurransegjennomføring og kontraktsoppfølging. Til slutt diskuteres ulike forretningsmodeller.

Offentlige anskaffelser

Figur 28 viser at påvirkningsmulighetene er størst tidlig i prosessen.³ Dette er spesielt viktig ved anskaffelse av utslippsfrie løsninger for bygge- og anleggsplasser, hvor tilgang til strøm, effekt, leveringstid for utslippsfrie anleggsmaskiner, fordeling av risiko, opplæring av personale m.m. bare er noen av flere aspekter som bør vurderes og analyseres før man gjennomfører anskaffelseskonkurransen. Dialog med markedet i en tidligfase kan bidra til at leverandørene får bedre kunnskap om byggherrens behov, og at oppdragsgiver kan få innspill til hvordan de bør utforme konkurransegrunnlaget for å sikre en best mulig konkurranse med innovative løsninger.⁴ Det fins også en egen veiledning for innovasjon og innovative anskaffelser,⁵ hvor de seks metodene for innovative anskaffelsesprosedyrer er beskrevet nærmere: 1) Innovasjonspartnerskap, 2) Konkurransepreget dialog, 3) Før-kommersielle anskaffelser, 4) Plan- og designkonkurranse, 5) Forsknings- og utviklingskontrakter, og 6) Best Value Procurement (BVP) prestasjonsinnkjøp.



Figur 28. Illustrasjon av anskaffelsesprosessen. Kilde: DigDir.

Byggeprosessen⁶ i Figur 29 er også beskrevet i fem ulike steg: 1) Avklare behov, 2) Konseptutvikling og -bearbeiding, 3) Detaljprosjektering, samt 4) Utførelse, og 5) Overlevering. Offentlige

³ <https://www.anskaffelser.no/anskaffelsesprosessen/anskaffelsesprosessen-steg-steg>

⁴ <https://www.anskaffelser.no/hva-skal-du-kjope/bygg-anlegg-og-eiendom-bac/utslippsfrie-bygg-og-anleggsplasser/hvordan-gjennomfore-en-dialogkonferanse-utslippsfrie-byggeplasser>

⁵ <https://www.anskaffelser.no/innovasjon>

⁶ <https://www.anskaffelser.no/anskaffelsesprosessen/byggeprosessen-steg-steg/avklare-behov>

anskaffelser skal ha et spesielt søkelys på avklaring av behov og konseptutvikling ved anskaffelse av utslippsfrie løsninger.



Figur 29. Illustrasjon av byggeprosessen steg for steg. Kilde: DigDir.

Rollefordeling

Figur 30 viser at det er flere aktører som er involvert i anskaffelse og bruk av en elektrisk gravemaskin – fra myndigheter, byggherrer, entreprenører, maskinførere, utleieselskap og maskinleverandører til produsenter og underleverandører.



Figur 30. Oversikt over sentrale aktører i byggeprosessen og anskaffelse av utslippsfrie anleggsmaskiner.

Myndighetene

Der det offentlige stiller krav om nullutslippsløsninger i sine anskaffelser, kan dette bety merkostnader, for eksempel knyttet til økte investerings- eller driftskostnader for løsningen. Det er ulike måter å løse utfordringene med eventuelle merkostnader. Et relevant virkemiddel er direkte støtte, enten til oppdragstaker (leverandør) eller oppdragsgiver (bestiller) for å dekke eventuelle merkostnader. Dette kan benyttes alene eller i kombinasjon med andre virkemidler. Videre fins det andre økonomiske virkemidler for å dekke eventuelle merkostnader. Når det gjelder direkte støtte, er det imidlertid viktig å kjenne til de økonomiske og juridiske rammene knyttet til statsstøtteregelverket og krav om utløsende effekt. Noen relevante støtteordninger er ENOVA, Innovasjon Norge og Miljødirektoratets Klimasats-ordning. Disse ordningene har ulike rammer og begrensninger.

ENOVA har ikke noen rolle i å støtte tjenestekjøp i offentlige anskaffelser. Derimot kan de støtte leverandørers (eiers) investeringskostnader, og de kan støtte investeringer i infrastruktur i regi av det offentlige eller det private, for eksempel lade- og fyllestasjoner. De har en støttesats på normalt inntil 40 prosent av merkostnaden (30–50 prosent avhengig av tiltak og størrelse på virksomhet), på grunn av begrensninger i statsstøtteregelverket.

Byggherre

Byggherre må sørge for tilstrekkelig strøm gjennom en tidlig fase og god dialog med nettleverandøren på lokasjonen til bygge- eller anleggsplassen. Planleggingen må blant annet omfatte at strøm fra bygge-/anleggsplassen settes i drift, kjenne til størrelsen av anlegget og vite hvordan batteripakke, konteiner, kabel eller en kombinasjon av disse skal løses.

Entreprenør

Entreprenøren er ansvarlig for planlegging og organisering av byggeplassen, og dette må være bestemt før elektriske anleggsmaskiner leveres. Det omfatter også dialog med nettselskapet, slik at man unngår unødvendige problemstillinger knyttet til flytting av masser, tidsbruk, kostnader, tilgjengelig effekt, elektrisk infrastruktur, bøter for forsinkelser eller manglende gjennomførbart, ansvarsfordeling mellom operatører eller entreprenører o.l. Feil og manglende planlegging kan ha store konsekvenser i form av forsinkelser, dyre komponenter som må byttes ut, lang leveringstid, personlig skade m.m.

Maskinfører

Kompetent personale må være til stede ved levering av maskiner og oppstart og drift av bygge- og anleggsplassen. Det omfatter kvalifisert elektriker og annet personale fra leverandør. Byggeplassen må være lukket og under kontroll, alle førere må forstå oppsett av byggeplassen, riktig stikkontakt må brukes til riktig maskin, og maskiner det ikke planlagt for kan ikke anvendes på byggeplassen. Maskinførerne er svært sentrale i alle masseforflytningsjobber og har avgjørende påvirkning på framdrift og sluttresultat.

Utleieselskap/maskinleverandør

De elektrifiserte produktene som nå er tilgjengelige, er prototyper og betaversjoner. Man har liten oversikt over hva som vil skje med de versjonene som nå testes ut i markedet, ettersom det er ukjente ytelser og verdier i annenhåndsmarkedet og ukjent levetid på komponenter og moduler. Videre er brukeraspekter og spørsmål knyttet til når det kommer nye og bedre versjoner ukjent. Det gjelder også servicebehov og levetid, som man foreløpig ikke har erfaringsgrunnlag for å kunne vurdere. Elektrifisering er en stor utfordring både teknisk og økonomisk, og krever kompetanse som ingen har. Dette gir et behov for opplæring av både underleverandører og andre som skal bruke produktene. Alt dette utfordrer eksisterende forretningsmodeller og løfter fram flere problemstillinger: Hvem handler med hvem? Hvem gjør hva? Er det mulig å tjene penger på dette? Uløste oppgaver inkluderer mulige uforutsette problemer forbundet med flere elektriske maskiner på samme byggeplass, støy på grunn av uren strøm som mates tilbake i nettet og lager forstyrrelser, og at høye kostnader kan være en barriere for å få inn nye bestillinger. NASTA har ingen bestillinger på Peakshaver+ eller plug-in maskiner per i dag, og produksjonen tar 12 måneder. Derfor er det knyttet for stor risiko for NASTA til å bygge på spekulasjon. Det er sannsynlig at lang leveringstid vil forsinke oppskalering og igangsetting av storskalaproduksjon. Dette vil uansett medføre behov for en markedssituasjon som etterspør og bestiller maskiner, servicekapasitet og kompetanse som må opparbeides og lager av reservedeler som må utvikles.

Produsent

Så langt har NASTA bygd maskiner på bestilling fra NASTA Utleie. NASTA Utleie kan leie ut maskiner til andre selskaper, men fordi annenhåndsverdien på prototyper og betaversjoner er svært usikker, er det nødvendig med kortere nedskrivningstid enn normalt. Elektrifisering av anleggsmaskiner er mer komplisert enn forventet, underleverandører er ikke kjent med anleggssektor, utfordringer med elektrisk støy, lang leveringstid på komponenter, dyrere komponenter i små mengder og aktører høyere opp i verdikjeden som ikke forstår at det er lang leveringstid (min. 12 måneder) på elektriske anleggsmaskiner, er noen av flere utfordringer man må håndtere. Det internasjonale markedet er i utvikling, men det knytter seg fortsatt usikkerhet til når storskalaproduksjon av anleggsmaskiner blir igangsatt og utviklingen blir tilsvarende som for eksempel elbiler. Videre er det knyttet stor usikkerhet til annenhåndsverdi på prototyper og betaversjoner, og videre omsetning og salgbarhet av disse.

Underleverandører

Underleverandører leverer batterier og andre nødvendige komponenter for ombygging og vedlikehold av diesel gravemaskiner til elektrisk drift. Den raske overgangen fra diesel til elektriske biler fører til økt press på batteriproduksjonen, men det er planer om å starte opp batteriproduksjon i både Norge (Mo i Rana), Sverige (Norvolt) og Europa. Det vil kunne bedre leveransesituasjonen av batterier i framtiden.

1. Avklare behov og planlegge

Vi antar at den største kilden til klimagasser og luftforurensing fra en bygge- og anleggsplass er de tyngste anleggsmaskinene. Rundt 80 % av direkte klimautslipp kommer fra gravemaskiner, dumpere og hjullastere. Selv om man i dette prosjektet fokuserer spesielt på de større gravemaskinene, vil det være relevant for planlegging av utslippsfrie byggeplasser også å ta med i betraktning andre typer maskiner, utstyr som mobiltårnkraner, asfaltleggere, valsemaskiner, boremaskiner og vibroplater. I anskaffelsesprosessen er det derfor utslagsgivende med nøyaktige beskrivelser av de relevante systemgrensene på byggeplassen (se Figur 2).

I planleggingsfasen av en anskaffelse oppstår det ulike type spørsmål som skal løses før man beskriver i detalj hvilke behov som må ivaretas i konkurransegjennomføringsfasen. Noen eksempler er:

- Skal leverandøren kjøpe eller leie nye maskiner?
- Hvordan unngå at innovative løsninger kan gi mulig forsinkelse og risiko for byggeplassen?
- Hvordan kompensere kostnadsdrivende løsninger?
- Hvordan sikre forutsigbarhet og langsiktighet for å oppmuntre entreprenører til å investere i ny maskinpark? Bør man satse på felles innkjøpsordninger?
- Hvordan sikre tilgang til strøm og effektbehov gjennom avtaler med nettleverandører?
- Hva slags alternative løsninger skal man ivareta hvis det ikke fins strømtilkobling i området (for eksempel mobile batterikonteinere / "mobile powerbanks")?

Økt bruk av el-maskiner vil skape et behov for større effekt fra strømmnettverket. Dimensjonen på byggestrømmen bør derfor planlegges ut fra dette økede behovet fra dag én i prosjektet. Før prosjektet settes i gang, bør det opprettes en dialog med det aktuelle nettselskapet for å få tilgang til tilstrekkelig effekt på byggeplassen. Nettselskapet har leverings- og tilknytningsplikt for et gitt energi- og effektbehov i et prosjekt.

For å kartlegge mulige løsningsforslag for disse identifiserte utfordringene er det hensiktsmessig å benytte en dialogkonferanse. Det handler om å kartlegge og forstå markedet.⁷ Noen suksesskriterier for en dialogkonferanse inkluderer å:

- sørge for politisk forankring og kobling mot lokal klimastrategi
- vise konkrete eksempler på tekniske løsninger
- synliggjøre potensialet som ligger i utslippsfrie løsninger
- invitere leverandører til å gi innspill
- ha "en til en"-samtaler med leverandører
- samarbeide med lokale aktører

⁷ <https://www.anskaffelser.no/hva-skal-du-kjope/bygg-anlegg-og-eiendom-bae/utslippsfrie-bygg-og-anleggsplasser/hvordan-gjennomfore-en-dialogkonferanse-utslippsfrie-byggeplasser>

Ved anskaffelse av utslippsfrie løsninger for en bygge- og anleggsplass må man beregne ekstra god tid, både til planlegging og valg av løsninger. Alle de presenterte eksemplene som har valgt utslippsfrie løsninger, poengterer blant annet viktigheten av å ha en tett og god dialog med alle relevante leverandører som nettselskap, utstyrsleverandører og entreprenører.

2. Konkurransgjennomføringen

Det fins fire ulike typer spesifikasjoner som kan brukes i formuleringen av et konkurransegrunnlag: kvalifikasjonskrav (krav til leverandørens egenhet), spesifikasjonskrav (krav til ytelsen og grensesnitt), tildelingskriterier (vektlegging av kvalitet ut over det som er beskrevet i kravene) og kontraktsvilkår (for gjennomføringen av leveransen). Det kan være nyttig å teste ut ny kontraktsutforming som er i tråd med regelverket for offentlige anskaffelser for å få på plass innovative løsninger som utslippsfrie anleggsmaskiner.

Anskaffelsesløsningen som ble valgt for prosjektet i Olav Vs gate (se eksempelbeskrivelsen under), var å dele opp i to konkurranser. Den første dreide seg om å sikre tilgang til elektriske maskiner. Da brukte Oslo kommune en konsesjonsavtale med et maskinutleieselskap. Konsesjonsavtaler har til nå vært mest brukt i kommuner for brukerstyrt personlig assistanse (BPA). Derfor kan det være aktuelt å bruke det også for bygg- og anleggsanskaffelser. Det forutsetter tilgang til et spesielt budsjett i kommunen. I dette tilfellet var det midler fra Oslos klimabudsjett som ble brukt for å investere i forkant, og til fordel for entreprenørene som vil bruke de leide elektriske maskinene. I vedlegg B fins det et utdrag fra anbudsutlysning for Olav Vs gate. I en overgangsfase vil det være relevant for kommunene å vurdere om det er mulig å sette opp konsesjonsavtaler koblet til et lokalt tilgjengelig klimabudsjett. Overgangsfasen vil vare til el-gravemaskiner er blitt konkurransedyktige i markedet sammenliknet med tradisjonelle dieselmaskiner.

Når det gjelder entreprisform og gjennomføringsmodeller, er totalentreprise blitt mest benyttet for byggeprosjekter. Det gjelder spesielt for store og/eller dupliserbare prosjekter, og forutsetter at entreprenøren får ansvar for prosjekteringen i tillegg til utførelse av bygningsmessige og tekniske fag. I andre entrepris- og kontraktsmodeller som generalentreprise eller hovedentreprise vil derimot byggherren beholde stor påvirkningsmulighet og bære risikoen for feil og mangler i prosjekteringen. Spørsmålet er hvordan valg av entreprisformer og gjennomføringsmodeller kan påvirke implementeringen av innovative løsninger med bruk av utslippsfrie anleggsmaskiner. Vi kan anta at god koordinering på en byggeplass med en detaljert beskrivelse av nødvendige ytelser i byggefasen vil bli desto mer etterspurt når man bruker nye utslippsfrie teknologier. Det fins en læringskurve og et behov for økt kompetanse hos offentlige byggherrer for bedre å styre og kontrollere hva som skjer på byggeplass. Dette kan rettferdiggjøre at byggherren blir mer involvert i planlegging av byggeprosjektet med et valg av entreprisform hvor man kan kontrollere og styre arbeidet på byggeplass. God dialog og samarbeid mellom den offentlige bestilleren og entreprenøren er nøkkelen til suksess for disse innovative løsningene. Det betyr at man må styrke samhandlingsevnen mellom partnere for å håndtere prosessen med tidspress og risiko- og ansvarsfordeling. I bygge- og anleggsprosjekter arbeider man mest med bestiller/utfører-relasjoner der utførende, det vil si entreprenøren, selv kan ha underleverandører. Derfor er det viktig å framheve de forskjellige interessentene som kan spille en rolle i verdikjeden av leverandører.

Kravspesifikasjoner

Når det gjelder valg av kravspesifikasjoner for utslippsfrie løsninger, vil det være fornuftig å skille på systemgrensene mellom minimumskrav innenfor og utenfor byggegjerdet, og stille forskjellige krav til aktivitetene innen de forskjellige definerte systemgrensene. For eksempel, kan man stille krav til bruk av utslippsfrie løsninger for maskiner innenfor/på selve byggeplassen, samt eventuelt for transport internt på byggeplassen og ved oppvarming/tørking. For aktiviteter utenfor byggeplassen kan man stille krav til minimum fossilfritt for transport av personer, materialer, masser og avfallshåndtering.

Et dialogmøte med frivillige lokale entreprenører vil først vurdere tilgjengeligheten på markedet av ulike typer utslippsfrie anleggsmaskiner. Dermed blir offentlige bestillere bedre i stand til å definere minimumskravene for bruk av ønskede kategorier av maskiner.

Kvalifikasjonskrav

Det viktigste for oppdragsgiveren er å få en bekreftelse fra tilbyderne om at de har tilstrekkelige menneskelige og organisatoriske ressurser, kompetanse og økonomi til å gjennomføre kontraktsforpliktelsene om utslippsfrie maskiner. Det skal ikke settes for høy ambisjon med for eksempel allerede eksisterende erfaringer mot entreprenører og sjåfører, for å unngå at det blir for få leverandører som kan konkurrere. For å dokumentere at tilbyderne har den økonomiske soliditet, kompetanse og kapasitet som er nødvendig, kan man bruke en ESPD (det europeiske egenerklæringsskjemaet) og en oppdragsforståelse med en kvalitativ beskrivelse. Se mer på nettsidene om kvalifikasjonskrav i anskaffelser.no.⁸

Tildelingskriterier

I tillegg til minimumskrav er det mulig å bruke tildelingskriterier for å premiere de beste tilbudene fra leverandører. Det gir dem muligheten til å foreslå nye løsninger som går utover minimumskrav og kravspesifikasjoner. Et tildelingskriterium på utslippsreduksjon kan brukes i stedet for et krav i teknisk spesifikasjon, eller som tillegg til et krav, der man gir poeng for meroppfyllelse av kravet og slik premierer de beste tilbudte løsningene. Med bruk av tildelingskriterier er det nødvendig å ha på plass et vurderingsskjema som forklarer hvordan ulike løsninger kan prioriteres/vektes og hvordan disse vurderingspoengene fordeles (se avsnittet "Kontraktsoppfølging" nedenfor). Det er viktig at tildelingskriterier er kombinert med dokumentasjonskrav, for at oppdragsgiver skal kunne etterprøve om opplysningene i tilbudet er riktige.

Kontraktsvilkår

Hvis markedet er umodent på miljøområdet, kan det være fornuftig å stille kontraktsvilkår til leverandøren om å øke miljøprestasjonene i løpet av kontraktsperioden. I Oslo kommunes standard klima- og miljøkrav om drivstoff er det presisert at "dersom leverandøren arbeider på flere prosjekter parallelt, må leverandøren kunne dokumentere å ha anskaffet den mengden fossilfritt drivstoff som trengs for å utføre oppdraget for Oslo kommune i løpet av kontraktsperioden". Se mer på nettsidene om kontraktsvilkår i anskaffelser (lenke fins i note 5).

Eksempel: Biri omsorgssenter, Gjøvik

Fra konkurransegrunnlag "Innleie av elektrisk gravemaskin Biri omsorgssenter":

⁸ <https://www.anskaffelser.no/anskaffelsesprosessen/anskaffelsesprosessen-steg-steg/avklare-behov-og-forberede-konkurransen/kvalifikasjonskrav>

"Det gjøres oppmerksom på at Gjøvik kommune kan velge å tiltransportere innleieavtalen til totalentreprenøren for bygging av Biri omsorgssenter. Totalentreprenør for utbygging er pr dato ikke valgt. Kommunen har fått tilsagn om offentlige stønadsmidler for å bidra til redusert bruk av fossilt drivstoff i bygge- og anleggsprosjekter. Det tas forbehold om å avlyse konkurransen dersom disse midlene ikke tildeles, og dersom totalentreprenørens driftsopplegg ved bruk av elektrisk gravemaskin fordyres vesentlig. Det tas videre forbehold om kommunestyrets godkjenning av avtalen. Gjøvik kommune, Eiendom ønsker tilbud på leie av elektrisk gravemaskin uten fører, men med strømtilførsel via kabel, til utbygging av Biri omsorgssenter. Størrelse gravemaskin ca. 35 tonn. Det bes om tilbud på leie i perioden april 2019 – oktober 2019. Det forutsettes at Gjøvik kommune holder trafo av tilstrekkelig størrelse lokalisert på tomte. Kapasitetsbehov for strømtilførsel må oppgis i tilbudet. Tildelingskriterier: Totalpris 50 % – Leveringssikkerhet/maskinløsning 50 %"

Eksempel: Oslo Storbylegevakt

Grunnlaget for konkurransen om utbygging av Oslo Storbylegevakt var Omsorgsbyggs miljøstrategi 2016–2020 og en BREEAM Pre-analyse. Konkurrenter beskrev i tilbudet hvordan de kunne bidra til å oppfylle strategien. I strategien står det blant annet at Omsorgsbygg skal stille krav om utslippsreduksjon på byggeplass med miljøvennlig byggvarme og byggtørk, fossilfrie anleggsmaskiner og fossilfri transport til og fra byggeplass, minimum BREEAM-NOR Very Good, pluss hus og å dokumentere klimagassutslippsberegninger med minst 20 % reduksjon. Oslo storbylegevakt har valgt en samarbeidsmodell for prosjektet i stedet for en ren priskonkurranse. Kontraheringen av entreprenør er gjennomført med vekt på tilbudt team (25 %), oppgaveforståelse (45 %), pris (20 %) og miljø (10 %). Samspillkontrakten har blant annet som mål å redusere risikoen i prosjektet.

Eksempel: Oppgradering av Olav Vs gate i Oslo

Oppgraderingen av Olav Vs gate i regi av By- og miljøetaten i Oslo, har gått bort fra planlagt entreprisform og gjennomført en konsesjonsavtale. Det skyldes at det ikke fins tilstrekkelige utslippsfrie alternativer for alle typer maskiner og at leveringstiden kan være opptil et år. Dette ga også mulighet for flere entreprenører å komme med tilbud. For valget av entreprenøren var det forventet at leverandøren skal benytte alle utslippsfrie maskiner som er skaffet gjennom konsesjonsavtale, og ikke bytte disse mot annen tilsvarende maskin uten avtale med byggherren. Alt utstyr som ikke faller inn under definisjonen kjøretøy eller anleggsmaskiner, som oppvarming, "brennere" og håndholdt utstyr, skal være drevet av elektrisitet eller annen nullutslippsteknologi.

Tildelingskriteriene ble fordelt mellom pris 60 % og kvalitet 40 %. Av dette gis 40 % for oppdragsforståelse og framdrift, 30 % for miljøbelastning og klimavennlige løsninger, og 30 % for kompetanse. Erfaringene fra Oslo har vist at det er viktig å ha en bred markedsdialog i tidligfasen. Man må tidlig kartlegge behovet for strøm uansett hvem som er leverandør og skal ha ansvaret for elektrisitetsforsyningen, og tenke utslippsfritt allerede før valg av entreprenør. Dermed kan man få en god forståelse av gjensidige behov mellom leverandør og bestiller, og vurdere løsninger sammen. Videre har det vært viktig å ha god politisk forankring og uttalte ambisjoner for satsingen i Oslo, blant annet gjennom kommunens klimastrategi med klimabudsjett og ambisiøse klimamål.

3. Kontraktoppfølging

Det er viktig for oppfølging av kontrakten at leverandøren klarer å levere på de miljøaspektene som er lovet. Derfor skal kravene som er satt opp være mulige å følge opp, enkle å gjennomføre, og oversiktlige.

For å vurdere måloppnåelse skal det benyttes en vurderingsmal som skal gjøre det enklere for alle byggherrer å evaluere måloppnåelse opp mot tildelingskriteriene. Samtidig vil vurderingsmalen være et verktøy for å følge opp utførelsen og oppfyllelsen av kontrakten. Vurderingsmalen vil forklare fordelingsmetode av poeng mellom ulike størrelser/vekt av maskiner, type drivstoff og/eller tidsbruk. Et forslag til poengskala for maskiner og kjøretøy vil være basert på vekt og drivstoffteknologi, hvor det tildeles høyeste poeng for utslippsfrie maskiner (for eksempel 10 poeng kontra 4 for bruk av biogass, eller avansert biodrivstoff og bare 1 poeng ved bruk av konvensjonelle biodrivstoff). Poengberegningen skal være basert på maskinvekt, med prioritering av stor maskin (større enn 20 tonn) med for eksempel 50 % vektning, deretter av medium maskin (8–20 tonn) med 30 % vektning, og til slutt 20 % vektning for maskiner som er mindre enn 8 tonn. Som Klimakurrapporten viser, står som regel bruk av gravemaskiner, hjullastere og dumpere på anleggsplasser for mer enn 80 % av CO₂-utslippene fra maskinparken. Det er også de maskinene som veier tyngst. Derfor er det nyttig å ta spesielt hensyn til de tyngste anleggsmaskinene (over 20 tonn) i vurderingsmalen og i videre oppfølging av kontrakten.

Etterlevelsen krever at leverandøren skal jobbe aktivt for i størst mulig grad å benytte utslippsfrie løsninger på byggeplassen fra byggestart og fram til ferdigstillelse. I sine standard klima- og miljøkrav for bygge- og anleggsplasser krever Oslo kommune at alle maskiner og alt utstyr som benyttes på byggeplassen, skal være utslippsfrie innen 2025.

For å ivareta oppdragsgiverens interesser hvis leverandøren ikke oppfyller ett eller flere av miljøkravene eller ikke leverer i henhold til tilbud (avtalt ytelse), er det viktig å ha klare retningslinjer. Oppdragsgiver kan kreve en forholdsmessig dagmulkt for den tiden misligholdet pågår eller eventuell tidsoverskridelse. Dagmulktsetningen for brudd på miljøbestemmelsene utgjør inntil [XX] % av kontraktssummen, men ikke mindre enn kr 1 000 eks. mva. per dag. Ved gjentatte eller grove brudd på miljøbestemmelsene kan oppdragsgiver heve kontrakten med umiddelbar virkning.

Ved avtalebrudd kan det være nyttig å ha etablert avtaler om egnede sanksjoner (retting, prisavslag, bøter/erstatning og heving). Incentivordninger for premiering ved redusert dieselbruk, eller ved overgang til biodiesel eller andre typer drivstoff kan være en annen måte å motivere på. Det er uansett viktig å følge opp drivstoffbruket nøye for de ulike typene anleggsmaskiner, gjerne på månedlig basis, blant annet for å følge opp eventuelle bonusordninger for premiering av mindre bruk av diesel.

Statens vegvesen og andre aktører har benyttet en bonusordning i flere prosjekter. Det gis bonus for bruk av materialer som er dokumentert med miljødeklarasjoner (EPD), og er knyttet til utslippsreduksjon/CO₂. En bonus for utslippsfritt anleggsutstyr er under vurdering. De som klarer å vise til nye tiltak eller får bedre resultater av eksisterende tiltak enn forventet, kan få utbetalt bonus. Frekvens for rapportering på for eksempel timebruk av maskiner og andel brukt biodiesel må vurderes. Maskinregisteret til Maskinentreprenørenes forbund (MEF) er en mulig datakilde for oppfølging av benyttet maskinpark.

Som en del av oppfølging av kontrakten, spesielt når det gjelder HMS-området, kan det være nyttig å iverksette tiltak for sjåfører og andre på byggeplass ved å tilby opplæring og kurs for sikrere bruk

av el-skap og for å innføre daglige rutiner. Opplæringen skal også omfatte vurdering av sikkerhetsrisiko ved bruk av elektriske maskiner og strøm på byggeplass.

Forretningsmodeller

En leveringstid på mellom åtte og tolv måneder er ganske vanlig for alle typer anleggsmaskiner. Dette gjelder også for eksisterende modeller med forbrenningsmotor. Ombygging til en utslippsfri anleggsmaskin vil ta om lag like lang tid, når det skal bestilles komponenter som ikke er på lager. Dersom det ikke er donormaskiner (tradisjonelle maskiner for ombygging) tilgjengelig, vil leveringstiden være mer enn 12 måneder. Siden det er svært få utslippsfrie gravemaskiner som er i drift, er erfaringene med disse begrenset. Byggeplasser som benytter utslippsfrie gravemaskiner, fungerer derfor som piloter for erfaringslæring. Imidlertid er det høy usikkerhet hos entreprenørene. Hva kan gjøres for å redusere denne usikkerheten?

I Klimakur-rapporten er miljøtiltaket om å nå 70 % nye elektriske, ikke veigående maskiner innen 2030 estimert til å ha en investeringskostnad på rundt 1 500kr/tonn CO₂ spart. Klimakur har estimert at investeringer i kostnads kategorier over 1 500kr/tonn CO₂ som nyttig for å nå målet om 70 % av nye elektriske, ikke veigående maskiner.

Utslippsfrie gravemaskiner lages på måte som nødvendigvis gjør dem mer kostbare enn maskiner med forbrenningsmotor – og særlig nå i oppstarten. Det er sannsynlig at støtte fra ENOVA til ombygging av gravemaskiner til utslippsfrie maskiner vil bli av stor betydning. Det vil være viktig for å dempe usikkerheten i markedet at eventuell støtte fra Enova kan gjøres strømlinjeformet og forutsigbar for det videre arbeidet med utslippsfrie gravemaskiner.

Siden det er mange ukjente faktorer for alle deler av verdisystemet er det sannsynlig at utleieselskaper vil spille en viktig rolle som en del av et verdisystem. På grunn av usikkerhetene i markedet vil de største utleieselskapene være forsiktige med å ta inn bestillinger dersom de ikke ser en åpenbar mulighet for lønnsomhet i utleiemarkedet av gravemaskiner. Mulige tiltak for å redusere risikoen for utleieselskapene bør utredes.

Det ligger en klar begrensning i at utvalget av maskiner er begrenset, og det er vanskelig å få de største maskinene i utslippsfri variant. For NASTA vil det være større risiko forbundet med å produsere maskiner som ikke har en kunde. Derfor bør det også utredes om det er mulige tiltak som kan bidra til å redusere risikoen ved å lage utslippsfrie maskiner, for eksempel ved endringer i lovrelaterte krav til byggeplasser, som kan bidra til større etterspørsel i markedet.

Konklusjoner og anbefalinger

Dette kapitlet består av tre deler. Den første delen gir anbefalinger til anskaffelser med konkrete forslag som kan inkluderes i byggherrens kravspesifikasjon, den andre delen presenterer felles kjøreregler for utslippsfrie byggeplasser, og den tredje delen gir forslag til videre arbeid.

Forslag til anskaffelsesprosessen for offentlige oppdragsgivere/bestillere

Her er noen sentrale punkter å være oppmerksom på i anskaffelsesprosessen:

- Interne rutiner
 - Ta med innkjøpsfunksjonen i din offentlige virksomhet tidlig i prosessen.
 - For at prosjektleder for bygg- og anleggsfasen skal kunne gjennomføre prosjektet som en utslippsfri bygge- eller anleggsplass, må dette dokumenteres i en tidlig fase med tydelig mål og ambisjon som er godt forankret hos ledelsen. Det må tidlig settes av tilgjengelige ressurser (menneskelig kompetanse og finansiell kapasitet).
 - Den offentlige bestilleren og byggherren må ha tilstrekkelig med tid og kompetanse i innkjøpsfunksjon og prosjektledelse.
- Før oppstart av prosjekt
 - Ta tidlig kontakt med nettleverandør for å kartlegge tilgjengelig effekt i eksisterende nett
 - Organiser en dialogkonferanse for å sjekke markedets modenhet og utfordre leverandører til å komme med innovative løsninger som tar hensyn til lokale forhold og tilgjengelige teknologier.
 - Definer mer ambisiøse tildelingskriterier for å utfordre tilbyderne til å foreslå de beste utslippsfrie løsningene utover minimumskravene som de fleste leverandørene kan oppnå.
 - Incentiv- og andre bonusordninger kan bidra til å styrke ønsket om å delta i anbuds- og tilbudsrunder i markedet.
- Oppfølging av prosjektet
 - Følg opp leveransen og utførelsen av kontrakten med månedlige rapporter.
 - Vis resultater om klimagassutslipp og fakta om miljøgevinster og kostnadsbesparelser underveis i prosjektet (tidsmessig, mindre fravær, høy aksept av prosjektet i det lokalsamfunnet).
 - Basert på den samlede informasjon, kommuniser om erfaringer og innfør rutiner for erfaringslæring i kommende bygge- og anleggsanskaffelser.

Felles kjøreregler

- Hver byggeplass er unik – det bør utvikles tilpassede løsninger for hver byggeplass.
- Ta tidlig kontakt med nett- og kraftleverandør for å planlegge elektrifisering av byggeplassen
- Velg ladbare kjøretøy og anleggsmaskiner dersom det er tilgjengelig.
- Planlegg byggeplassaktiviteter og effektbehov i kritiske aktiviteter som for eksempel grunnarbeid.
- Sørg for tilstrekkelig med lademuligheter, slik at kjøretøy og/eller anleggsmaskiner i størst mulig grad kan drives av elektrisitet. Forbruket av drivstoff i reell kjøring kan avvike mye fra det forbruket produsenten har oppgitt, dersom det ikke lades tilstrekkelig
- Avklar om maskinene bruker 230, 400 eller 1 000 volt, AC eller DC i nattlading eller hurtiglading.
- Det bør være en elektrisk sikkerhetsansvarlig/-leder (på samme vis som brannvernleder) på byggeplassen ved igangkjøring og bruk av store anleggsmaskiner. Det ble for eksempel lagt

opp 20 m avstand til elektrisk gravemaskin i forbindelse med sprenging på Oslo Storbylegevakt.

- Kabelløsninger til byggeplassen bør tilpasses på stedet.
- Store anleggsmaskiner bør ha egen galvanisk skilletrafo i lokalnettet for å unngå elektrisk støy.
- Planlegg lading i lunsjpausen. Er det nok kapasitet for felles lunsj?
- Byggeplassen må være lukket og under kontroll, alle førere må forstå oppsett av byggeplassen.
- Førere av elektriske anleggsmaskiner skal ha og bør derfor tilbys HMS-opplæring i dette.
- Riktig stikkontakt må brukes og maskiner det ikke er planlagt for, kan ikke brukes på byggeplassen. God merking av stikkontakt er viktig.

Forslag til framtidig arbeid

Hittil har utslippsfrie bygg- og anleggsplasser vært gjennomført som pilotprosjekter. Ved overgangen fra pilotprosjekt til vanlig prosjekt må man ta noe risiko for å teste ut nye løsninger og godta noen ekstra investeringer.

- Det bør gjennomføres markedsanalyser for å identifisere hvor denne typen prosjekter kan utvikle seg framover og hvordan det er mulig å spre kunnskapen til hele Norge og internasjonalt. Dette for å øke interessen for utslippsfrie bygg- og anleggsplasser også blant mindre entreprenører i byer og andre områder, for eksempel pukkverk, slik at etterspørselen etter utslippsfrie anleggsmaskiner øker.
- Forskingen viser at også den menneskelige dimensjonen er viktig, særlig der det kreves store endringer som ved overgang til utslippsfrie byggeplasser. Arbeid rettet mot riktig atferd, motivasjon for å bidra til en god omstilling, forståelse, forankring og endringsledelse er viktige temaer å arbeide videre med.
- Det må fokuseres på ledelsesforankring der det tilrettelegges for bonus/stimulering til endring, nye gjennomføringsmodeller for innovasjon i prosjekter, tidlig planlegging og bedre samhandling på tvers.
- Det er avdekket kunnskapsmangler innenfor området ledelse og organisering av en elektrisk byggeplass. Bonus/stimulering til endring, gjennomføringsmodeller for å bidra til innovative prosjekter, tidlig planlegging og samhandling, er initiativer og temaområder det bør forskes, utprøves og iverksettes tiltak innenfor i tiden framover. Dette viser et behov for kompetanseheving innenfor feltet.
- Tilrettelegging av infrastruktur, inkludert lading av transport til og fra byggeplass, konteinerløsning med batteribank for hurtiglading eller pauselading, er viktige forutsetninger og temaer som må drøftes i planlegging og ivaretas i byggherrens kravsetting til aktørene.
- Logistikk og organisering av byggeplassen, tilgjengelighet av strøm og fysisk plass for lading på byggeplassen er kombinasjonsløsninger som må skreddersys for den enkelte byggeplass, tilpasset ulike forhold. Her er det rom for utvikling og innovasjon.
- Kapasitetshensyn knyttet til at flere maskiner kan være i drift samtidig har stor betydning. Digitalisering og styring av data, og optimalisering av energistyring og driftstider når flere maskiner kjøres samtidig, er kritiske med hensyn til nettkapasitet og elektrisitetsleveranse til bygge-/anleggsplassen.

Satsingsområder:

- Internasjonalisering: Muligheten til å eksportere konseptet til andre nordiske (SE, FI)/- europeiske land, samt å utforske mulige internasjonale samarbeidsmodeller, er klare framtidige utviklingsområder.
- Utforsking av egnede og nye verdikjeder basert på behovene for endringer i næringen
- Videreutvikling av produksjonsmetoder for å forbedre produktet og redusere kostnader
- Utvikling av samarbeid med underleverandører for å forbedre produktet og redusere kostnader

Konkluderende oppsummering

I denne rapporten har vi presentert tekniske, organisatoriske, miljømessige og økonomiske læringsutbytter fra elektrifisering av anleggsmaskiner, samt at vi har samlet direkte erfaringer fra ulike aktører om uttesting av de elektriske pilotgravemaskinene på diverse byggeplasser i Norge. Kunnskapen er overførbar til andre fossilfrie- og utslippsfrie byggeprosjekter. Det er avdekket flere områder der det bør gjøres videre forsknings- og utviklingsarbeid, og det er identifisert flere mulige satsingsområder.

Referanser

1. Fasting G, Lie AØ, Dugstad E. Fossil- og utslippsfrie byggeplasser rapport. Energi Norge, Norsk Fjernvarme i samarbeid med Bellona, og Enova SF. Oslo: DNV GL AS Energy; 2017. Report No.: 2017-0637 Contract No.: 1144USSL-4.
2. Fasting GM, Lie AØ, Davidsson S, Dugstad EM. Utslippsfrie byggeplasser. Høvik, Norway: DNV GL; 2017.
3. Directive 2010/31/EU of the European Parliament and of the Council of 19 May 2010 on the energy performance of buildings, (2010).
4. Oslo kommune. Det grønne skiftet. Klima- og energistrategi for Oslo. Oslo: Oslo kommune. Klima- og energiprogrammet; 2015.
5. Oslo kommune. Klima- og energistrategi for Oslo. Behandlet av Oslo bystyre 22.06.2016 (sak 195/16). Oslo: Klimaetaten; 2016.
6. NHO. Energibruk på byggeplassen (i byggefasen). Oslo: NHO; 2009.
7. SSB. Utslipp av klimagasser. Tabell 5. Utslipp til luft av klimagasser, etter næring. 1 000 tonn CO₂-ekvivalenter. online: SSB; 2016 [Available from: <https://www.ssb.no/natur-og-miljo/statistikker/klimagassn/aar-enderlige>].
8. Selvig E, Wiik MK, Sørensen ÅL. Campus Evenstad – Statsbyggpilot. Jakten på nullutslippsbygget ZEB-COM. Oslo: Civitas and Statsbygg; 2017.
9. Wiik MK, Sørensen ÅL, Selvig E, Cervenka Z, Fufa SM, Andresen I. ZEB Pilot Campus Evenstad. Administration and educational building. As-built report. The Research Centre on Zero Emission Buildings. ZEB Project report no 36.; 2017
10. Fufa SM, Wiik MK, Andresen I, editors. Estimated and actual construction inventory data in embodied GHG emission calculations for a Norwegian zero emission building (ZEB) construction site. International Conference on Sustainability in Energy and Buildings (SEB-18), 24-26 June 2018, Gold Coast, Australia; 2018
11. SSB. Arbeidskraftundersøkelsen. Tabell 27. Sysselsatte 15-74 år, etter yrke og næring. Årsgjennomsnitt. 1000 online2017 [Available from: <https://www.ssb.no/arbeid-og-lonn/statistikker/aku/kvartal>].
12. SSB. Bygge- og anleggsvirksomhet, strukturstatistikk online2017 [Available from: <https://www.ssb.no/bygg-bolig-og-eiendom/statistikker/stbygganl/aar-forelopige>].
13. Fufa SM, Wiik MRK, Mellegård SE, Andresen I. Lessons learnt from the design and construction strategies of two Norwegian low emission construction sites IOP Conference Series: Earth and Environmental Science (EES) 2019;352.
14. Fufa SM. GHG emission calculation from construction phase of Lia barnehage. SINTEF notes no. 29. ISBN:978-82-536-1586-8 2018
15. Fufa SM, Mellegård S, Wiik MK, Flyen C, Hasle G, Bach L, et al. Utslippsfrie byggeplasser - State of the art. Veileder for innovative anskaffelsesprosesser. SINTEF Fag rapport nr. 49. ISBN:978-82-536-1589-9. 2018
16. Wiik MK, Jon Are Suul SM, Kamal Azrague KS, Ødegård A, Haukaas N-O, Ibsen JI, et al. 30 tons utslippsfri gravemaskin. SINTEF Fag rapport nr. 52. ISBN:978-82-536-1603-2. 2018
17. ISO 15686-5: 2017. Building and construction assets - service life planning. part 5: life-cycle costing. Switzerland: International Standard Organisation; 2017. p. 44.
18. Teknisk Ukeblad. Nå faller prisen på litiumionbatterier raskere enn noen gang online2017 [Available from: <https://www.tu.no/artikler/na-faller-prisen-pa-litiumionbatterier-raskere-enn-noen-gang/367874>].
19. CircleK. Drivstoffpriser online: CircleK; 2020 [Available from: https://www.circlek.no/no_NO/pg1334073608508/private/milesDrivstoff/Priser.html]
20. SSB. Elektrisitetspriser online: SSB; 2020 [Available from: <https://www.ssb.no/energi-og-industri/statistikker/elkraftpris/kvartal>].
21. Anleggsmaskinen. Elektrisk femtonner fikk innovasjonspris. 2016 [Available from: <http://anleggsmaskinen.no/2016/04/elektrisk-femtonner-fikk-innovasjonspris/>].
22. ISO 14040. Environmental management -- Life Cycle Assessment -- Principles and framework. Geneva, Switzerland: International Organization for Standardization; 2006.

23. PRE Consultants. Simapro. LCA software for fact-based sustainability online: Simapro; 2019 [Available from: <https://simapro.com/>].
24. Ecoinvent. Ecoinvent database v3.1. Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Dübendorf, Switzerland. 2014.
25. Goedkoop M, Heijungs R, Huijbregts M, Schryver AD, Struijs J, Rv. Z. ReCiPe 2008: A life cycle impact assessment method which comprises harmonised category indicators at the midpoint and the endpoint level. Report I: Characterisation. 2013.
26. PRé Consultants. IPCC 2013 method GWP 100a Netherlands: PRé; 2013.
27. Kellenberger D, Althaus H-J, Kunniger T, Lehman M, Jungbluth N, Thalmann P. Life Cycle Inventories of Building Products. Data v2.0 2007
28. Graabak I, Feilberg N. CO2 emissions in different scenarios of electricity generation in Europe2011. 73 p.
29. PRé Consultants. Ecoinvent v3.1 database. 2014.

Vedlegg A: LCA resultatene per livssyklusmodul

Tabell A.1

Miljøpåvirkningsresultatene for 17,5 t diesel gravemaskin per livssyklusmodul

| Miljøpåvirkning | Enhet | A1 | A2 | A3 | A4 | A5 | B6 | C3-C4 |
|------------------------------|------------------------|---------|---------|----|---------|----|---------|----------|
| Global oppvarming | kg CO ₂ e | 3,8 | 0,2 | 0 | 0,01 | 0 | 82,7 | 0,01 |
| Nedbryting av ozonlaget | kg CFC-11e | 2,6E-07 | 2,7E-08 | 0 | 2,7E-09 | 0 | 6,4E-06 | 2,8E-09 |
| Forsuring på land | kg SO ₂ e | 0,02 | 0,003 | 0 | 3,6E-05 | 0 | 0,7 | 6,6E-05 |
| Forsuring i ferskvann | kg Pe | 0,002 | 2,4E-05 | 0 | 1,1E-06 | 0 | 0,001 | 1,5E-06 |
| Forsuring i havvann | kg Ne | 0,001 | 4,7E-05 | 0 | 1,3E-06 | 0 | 0,05 | 3,3E-06 |
| Menneskelig toksisitet | kg 1,4-DBe | 2,4 | 0,02 | 0 | 0,005 | 0 | 1,9 | 0,02 |
| Dannelse av fotokjemisk smog | kg NMVOC | 0,02 | 0,001 | 0 | 4,1E-05 | 0 | 1,2 | 9,2E-05 |
| Partikler | kg PM ₁₀ e | 0,01 | 9,6E-04 | 0 | 2,5E-05 | 0 | 0,4 | 3,2E-05 |
| Økotoksisitet på land | kg 1,4-DBe | 0,0003 | 1,2E-05 | 0 | 8,5E-06 | 0 | 0,002 | 2,6E-06 |
| Økotoksisitet i ferskvann | kg 1,4-DBe | 0,1 | 6,4E-04 | 0 | 4,7E-05 | 0 | 0,1 | 0,01 |
| Økotoksisitet i havvann | kg 1,4-DBe | 0,1 | 0,001 | 0 | 9,9E-05 | 0 | 0,1 | 0,01 |
| Ioniserende stråling | kBq U ₂₃₅ e | 0,1 | 0,01 | 0 | 0,001 | 0 | 2,6 | 0,001 |
| Forbruk av jordbruksområder | m ² a | 0,2 | 0,002 | 0 | 2,1E-04 | 0 | 0,1 | 0,001 |
| Forbruk av urbane områder | m ² a | 0,04 | 0,002 | 0 | 0,001 | 0 | 0,1 | 0,001 |
| Forbruk av naturområder | m ² | 0,001 | 6,0E-05 | 0 | 5,9E-06 | 0 | 0,001 | -4,7E-05 |
| Forbruk av vann | m ³ | 0,03 | 5,4E-04 | 0 | 4,5E-05 | 0 | 0,1 | 2,2E-04 |
| Forbruk av metall | kg Fee | 2,5 | 0,005 | 0 | 4,2E-04 | 0 | 1,3 | 4,7E-04 |
| Forbruk av fossile ressurser | kg oil e | 1,0 | 0,1 | 0 | 0,01 | 0 | 12,2 | 5,7E-03 |

Tabell A.2

Miljøpåvirkningsresultatene for 17,5 t elektrisk ZEB gravemaskin per livssyklusmodul

| Miljøpåvirkning | Enhet | A1 | A2 | A3 | A4 | A5 | B6 | C3-C4 |
|------------------------------|-----------------------|---------|---------|---------|---------|---------|------|----------|
| Global oppvarming | kg CO _{2e} | 3,0 | 0,1 | 0,3 | 0,0 | 0,3 | 10,1 | 0,1 |
| Nedbryting av ozonlaget | kg CFC-11e | 2,1E-07 | 2,2E-08 | 4,6E-08 | 2,2E-09 | 1,7E-07 | 0 | 5,4E-09 |
| Forsuring på land | kg SO _{2e} | 0,01 | 0,003 | 0,004 | 2,9E-05 | 0,01 | 0 | 5,2E-04 |
| Forsuring i ferskvann | kg Pe | 0,002 | 1,9E-05 | 8,4E-04 | 9,2E-07 | 0,003 | 0 | 2,2E-05 |
| Forsuring i havvann | kg Ne | 5,0E-04 | 3,7E-05 | 5,7E-04 | 1,0E-06 | 0,002 | 0 | 1,5E-05 |
| Menneskelig toksisitet | kg 1,4-DBe | 1,9 | 0,02 | 1,6 | 0,004 | 6,9 | 0 | 0,04 |
| Dannelse av fotokjemisk smog | kg NMVOC | 0,01 | 0,001 | 0,002 | 3,3E-05 | 0,003 | 0 | 2,3E-04 |
| Partikler | kg PM _{10e} | 0,01 | 7,7E-04 | 0,001 | 2,0E-05 | 0,004 | 0 | 1,5E-04 |
| Økotoksisitet på land | kg 1,4-DBe | 2,5E-04 | 9,2E-06 | 1,1E-04 | 6,8E-06 | 4,0E-04 | 0 | 6,4E-06 |
| Økotoksisitet i ferskvann | kg 1,4-DBe | 0,1 | 5,1E-04 | 0,03 | 3,8E-05 | 0,1 | 0 | 0,1 |
| Økotoksisitet i havvann | kg 1,4-DBe | 0,1 | 0,001 | 0,03 | 7,9E-05 | 0,1 | 0 | 0,05 |
| Ioniserende stråling | kBq U _{235e} | 0,1 | 0,01 | 0,04 | 8,8E-04 | 0,1 | 0 | 0,01 |
| Forbruk av jordbruksområder | m ² a | 0,1 | 0,002 | 0,02 | 1,7E-04 | 0,04 | 0 | 0,002 |
| Forbruk av urbane områder | m ² a | 0,03 | 0,001 | 0,01 | 0,001 | 0,01 | 0 | 0,002 |
| Forbruk av naturområder | m ² | 6,4E-04 | 4,8E-05 | 3,9E-05 | 4,7E-06 | 4,8E-05 | 0 | -3,8E-05 |
| Forbruk av vann | m ³ | 0,02 | 4,3E-04 | 0,01 | 3,6E-05 | 0,01 | 0 | 0,002 |
| Forbruk av metall | kg Fee | 2,0 | 0,004 | 0,6 | 3,3E-04 | 1,9 | 0 | 0,01 |
| Forbruk av fossile ressurser | kg oil e | 0,8 | 0,04 | 0,1 | 0,004 | 0,1 | 0 | 0,01 |

Tabell A.3

Miljøpåvirkningsresultatene for 17,5t elektrisk NO gravemaskin per livssyklusmodul

| Miljøpåvirkning | Enhet | A1 | A2 | A3 | A4 | A5 | B6 | C3-C4 |
|------------------------------|-------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|----------|
| Global oppvarming | kg CO ₂ e | 3,0 | 0,1 | 0,3 | 0,01 | 0,3 | 0,9 | 0,1 |
| Nedbryting av ozonlaget | kg CFC- ₁₁ e | 2,1E-07 | 2,2E-08 | 4,6E-08 | 2,2E-09 | 1,7E-07 | 9,7E-08 | 5,4E-09 |
| Forsuring på land | kg SO ₂ e | 0,01 | 0,003 | 0,004 | 2,9E-05 | 0,01 | 0,003 | 5,2E-04 |
| Forsuring i ferskvann | kg Pe | 0,002 | 1,9E-05 | 8,4E-04 | 9,2E-07 | 0,003 | 2,9E-04 | 2,2E-05 |
| Forsuring i havvann | kg Ne | 5,0E-04 | 3,7E-05 | 5,7E-04 | 1,0E-06 | 0,002 | 1,3E-04 | 1,5E-05 |
| Menneskelig toksisitet | kg 1,4-DBe | 1,9 | 0,02 | 1,6 | 0,004 | 6,9 | 0,4 | 0,04 |
| Dannelse av fotokjemisk smog | kg NMVOC | 0,01 | 0,001 | 0,002 | 3,3E-05 | 0,003 | 0,002 | 2,3E-04 |
| Partikler | kg PM ₁₀ e | 0,01 | 7,7E-04 | 0,001 | 2,0E-05 | 0,004 | 0,002 | 1,5E-04 |
| Økotoksisitet på land | kg 1,4-DBe | 2,5E-04 | 9,2E-06 | 1,1E-04 | 6,8E-06 | 4,0E-04 | 5,8E-05 | 6,4E-06 |
| Økotoksisitet i ferskvann | kg 1,4-DBe | 0,1 | 5,1E-04 | 0,03 | 3,8E-05 | 0,1 | 0,1 | 0,1 |
| Økotoksisitet i havvann | kg 1,4-DBe | 0,1 | 0,001 | 0,03 | 7,9E-05 | 0,1 | 0,1 | 0,05 |
| Ioniserende stråling | kBq U ₂₃₅ e | 0,1 | 0,01 | 0,04 | 8,8E-04 | 0,1 | 0,3 | 0,01 |
| Forbruk av jordbruksområder | m ² a | 0,1 | 0,002 | 0,02 | 1,7E-04 | 0,04 | 0,3 | 0,002 |
| Forbruk av urbane områder | m ² a | 0,03 | 0,001 | 0,01 | 0,001 | 0,01 | 0,01 | 0,002 |
| Forbruk av naturområder | m ² | 6,4E-04 | 4,8E-05 | 3,9E-05 | 4,7E-06 | 4,8E-05 | 4,5E-04 | -3,8E-05 |
| Forbruk av vann | m ³ | 0,02 | 4,3E-04 | 0,01 | 3,6E-05 | 6,9E-03 | 0,8 | 0,002 |
| Forbruk av metall | kg Fee | 2,0 | 0,004 | 0,6 | 3,3E-04 | 1,9 | 0,1 | 0,01 |
| Forbruk av fossile ressurser | kg oil e | 0,8 | 0,04 | 0,1 | 4,2E-03 | 0,1 | 0,2 | 0,01 |

Vedlegg B: Utdrag fra anbudsutlysning for Olav Vs gate

Olav Vs gate: Timepris maskiner

Byggherrens innleie av entreprenørens egne og innleide maskiner, betales i henhold til entreprenørens liste over maskintimepriser og konsesjonsavtalens priser. Alle maskiner som kan tenkes å bli brukt under arbeidene og som ikke må anses å inngå i mannskapsprisen, skal prissettes på listen nedenfor. Maskiner som benyttes, men som ikke er prissatt på listen nedenfor, avregnes etter den pris som er oppgitt på den maskin som ligner mest, eventuelt med en middelvei mellom priser for lignende maskiner på listen.

Det betales bare for de timer maskinen har vært i direkte aktivitet på anlegget (eksklusiv ventetid, maskinstell, reparasjon mv.) med avrundning til 0,5 time.

For ventetid som skyldes byggherrens forhold betales 50 % av de oppgitte timepriser for maskiner eksklusiv fører. I tillegg betales førerlønn med timepris oppgitt i tabell, dersom fører ikke kan disponeres til annet arbeid. Entreprenør har en tapsbegrensningsplikt.

Alle nedenforstående priser skal fylles ut og kommer til anvendelse dersom regningsarbeid avtales mellom partene. Antall timer er kun med tanke på evaluering og skal ikke tolkes som et estimert antall timer. Minstekravet til maskinene i kontrakten gjelder også for maskinene i regningsarbeidene.

| Mannskap/Maskiner/Setningsmåling | Timer | Timepris kr/t | Sum Kr |
|-----------------------------------|-------|---------------|--------|
| Mannskapstimer | | | |
| Mannskap fagarbeider | 200 | | 0 |
| Mannskap ufaglært | 200 | | 0 |
| Mannskap lærlinger | 100 | | 0 |
| Maskinfører/sjåfør | 100 | | 0 |
| Stikningsing. med komplett utstyr | 100 | | 0 |
| | | | 0 |
| Maskintimer inkl. fører: | | | 0 |
| Gravemaskin < 10 tonn | 200 | | 0 |
| Gravemaskin > 10 tonn | 200 | | 0 |
| Liten hjullaster / traktor | 100 | | 0 |
| Lastebil > 12 tonn totalvekt | 100 | | 0 |
| Lastebil > 12 tonn med tilhenger | 100 | | 0 |
| Lastebil > 12 tonn med kran | 100 | | 0 |
| Liten lastebil <12 tonn | 100 | | 0 |
| Minigraver < 4 tonn | 100 | | 0 |
| Vibrovals < 5 tonn | 100 | | 0 |
| Vibrovals > 5 tonn | 100 | | 0 |
| Vibroplate | 100 | | 0 |
| Overføres til tilbudsskjema. | | SUM | 0 |

Tilbudsskjema

Leverandøren tilbyr å utføre arbeidene som de framkommer i denne beskrivelse for en sum som angitt nedenfor:

| Hovedprosjekt | | |
|--|----|--|
| Mengdebeskrivelsen Olav Vs gate og Klingenberggata øst (utfylt vedlegg 1) | kr | |
| Eventuelt pristillegg for ivaretagelse av krav i kvalitetsplan* | | |
| Sum for regningsarbeid (pkt. 1.2) | kr | |
| Total evalueringssum eks. mva | kr | |
| 25% merverdiavgift | kr | |
| Total kontraktsum inkl. mva | kr | |

Merverdiavgift reduseres etter gjeldende bestemmelser

Nullutslippsgravemaskin

LÆRINGSUTBYTTE FRA ELEKTRIFISERING AV ANLEGGSMASKINER

Prosjektet “Zero Emission Digger” (ZED) har som hovedmål å realisere prototyper for to utslippsfrie 17,5 tonns beltegravemaskiner tilpasset bruk på byggeplasser

Denne rapporten presenterer det tekniske, organisatoriske, miljømessige og økonomiske læringsutbyttet fra elektrifisering av anleggsmaskiner, og samler direkte erfaringer fra ulike aktørers utprøving av de elektriske pilot-gravemaskinene på diverse byggeplasser i Norge.

Siden prosjektet startet i 2018 har det vært mulig å innhente informasjon fra flere maskiner og flere brukersituasjoner enn opprinnelig planlagt. Prosjektet ZED har bidratt med informasjon til mange offentlige og private prosjekter, rapporter og kunnskapsgrunnlag, inklusive Klimakur 2030.