

Company name Volvo Construction Equipment	Document type Teknisk rapport		
Document name Bilaga 1 - Electric Worksite II, Volvo Construction Equipment	Version 1.3	Date 2023-11-06	Page 1 (24)
Issuer (Dept., name, email, location) Future Solutions - Niklas Lindblom, Bobbie Frank	Reg. No. -	Classification Open	

Bilaga 1 - Electric Worksite II, Volvo Construction Equipment

Innehåll

I denna bilaga sammanfattas Volvo Construction Equipments bidrag till och övergripande lärdomar från det av Energimyndigheten finansierade samarbetsprojektet Electric Worksite II. Projektet ämnar demonstrera individuella maskiner och nödvändiga supportsystem ur ett systemperspektiv inom olika applikationer i urban miljö.

Leverabler Volvo Construction Equipment

Volvo CE har huvudansvar för AP1, *Framtagning och prototyputveckling av elektriska arbetsmaskiner för användning på demonstrationsplatser*, i projektet. Dessa testas och utvärderas i AP2, *Systemdemonstration av delvis elektrifierade bygg- och anläggningsplatser*, där Volvo CE arbetar tillsammans med Göteborgs Stad och NCC med att göra en helsystemanalys av arbetsplatsen, vilken innefattar inte bara maskin och laddutrustning utan även energidistribution och -infrastruktur, samt arbetsschedulering och mänskliga beteenden, detta täcks in av AP4, *Systemanalys*. Intervjuer med arbetsplatsledare, arbetsledare, maskinister och yrkesarbetare på arbetsplatsen utfördes initialt, under arbete och introduktion samt efter slutfört test, vilket knyter an till AP3, *Miljö/arbetsmiljöstudier*. Systemtester utfördes med olika maskintyper i olika storlekar i väldigt olika arbetsmoment, detta för att täcka in så stor del av de arbeten som utförs med arbetsmaskiner i en stadsmiljö. Denna bilaga rapporterar resultaten av nämnda arbete, men även Volvo CEs bidrag och lärdomar i stort.

Summering systemtestuppställningar

- Test av bandgrävare (2,7ton) och hjullastare (5ton)
 - Demonstrera att elektriska, batteridrivna kompakta maskiner, med supportsystem kan ersätta dagens fossilmaskiner i både mindre konstruktionsarbeten och vägunderhållsarbeten.
- Konvertering nätansluten bandgrävare (30-40ton)
 - Demonstrera att nätanslutna bandade grävmaskiner, med ändringar av byggprocessen och med rätt supportsystem kan ersätta fossilmaskiner på större byggplatser och projekt.

Company name Volvo Construction Equipment	Document type Teknisk rapport		
Document name Bilaga 1 - Electric Worksite II, Volvo Construction Equipment	Version 1.3	Date 2023-11-06	Page 2 (24)
Issuer (Dept., name, email, location) Future Solutions - Niklas Lindblom, Bobbie Frank	Reg. No. -	Classification Open	

- Prototyp-hjulgrävare (6-7ton)
 - Demonstrera att medelstora hjulade grävmaskiner kan ersätta fossilmaskiner på mindre byggplatser och projekt.
- Prototyp-hjulgrävare (15-16ton)
 - Demonstrera att större batterielektriska hjulgrävmaskiner kan ersätta fossilmaskiner i både mindre och större byggplatser och projekt.
- Test av fjärrstyrd lastbärare (6-7ton)
 - Demonstrera nytt potentiellt maskinsystemkoncept med användning av en fjärrstyrd batteridrivna lastbärare ur flera aspekter; energieffektivitet, produktivitet och mental arbetsbelastning.
- Energilager
 - Demonstrera vikten av energilager i transformationen mot emissionsfria arbetsplatser.

Via ovan demonstrationer ämnar Volvo CE bygga kunskap kring svagheter kopplat till nödvändiga kringliggande system som till exempel laddinfrastruktur, elnät-tillgänglighet, elnät-kommunikation, smarta elnät, mellanenergilagring och arbetsplatsplanering, inklusive el- och energi-planering

Test av bandgrävare (2,7ton) och hjullastare (5ton)

De batterielektriska kompaktmaskinerna L25 och ECR25, se Figur 1 och Figur 2, demonstrerades och testades på sex olika siter tillsammans med Göteborgs Stad i projektet. Både snabbbladdare och långsamladdare testades tillsammans med maskinerna. Maskinerna genomförde mindre anläggningsarbeten så som lekparker och landskapsarkitektur i parker men även renovering av ett torg och en rondell.



Figur 1 - L25 Electric, Drottningtorget



Figur 2 - ECR25 Electric, Färjenäsparken

Dessa maskiner är de maskiner med högst teknisk mognadsnivå (TRL-nivå) som testats inom projektet, trots detta var projektet först i att introducera maskinerna i Sverige. Bortsett från att

Company name Volvo Construction Equipment	Document type Teknisk rapport		
Document name Bilaga 1 - Electric Worksite II, Volvo Construction Equipment	Version 1.3	Date 2023-11-06	Page 3 (24)
Issuer (Dept., name, email, location) Future Solutions - Niklas Lindblom, Bobbie Frank	Reg. No. -	Classification Open	

testa maskinerna själva lades mycket fokus på systemanalys, vilket i praktiken kunde översättas till att testa de olika laddlösningarna som finns tillgängliga för maskinerna. Där långsam- respektive snabbaddning användes beroende på tillgång till elnät på de olika siterna och energibehovet inom de olika applikationerna.

Resultat och lärdomar

I alla testfall och applikationer klarade maskinerna av att genomföra det krävda arbetet med ett laddningschema som inte påverkade utförandet av arbetet. Testerna i projektet gav värdefull information till berörda produktplattformar inom Volvo CE i form av ett kvalitetsproblem kopplat till 12v elsystemet på kompakthjullastaren. Detta löstes under testperioden med hjälp av separat laddning av 12v batteri men senare med hjälp av en mjukvaruuppdatering initierad med input från projektet.

Prestandamässigt presterade maskinerna bra och inputen från maskinoperatörerna från Göteborgs stad var mestadels positiv med övergripande slutsats att de batterielektriska maskinerna kan ersätta de dieseldrivna motsvarigheterna i de flesta fall så länge tillgång till elnätet är tillgänglig. Detta möjliggörs med att, i kombination med det ofta låga medeleffektuttaget, ha en arbetsrutin där maskin som inte används, tex vid rast, står på laddning. En förbättring av erbjudandet vore att möjliggöra laddning av maskinerna vid publika laddare. Detta diskuterades med ABB, som är partner i projektet, emellertid eftersom laddspänningsskillnaden är för stor, 48V för kompaktmaskinerna och över 300V för personbilar kommer antagligen inte de publika laddarna att anpassas till kompaktmaskinerna. En del av testet bestod i att testa maskinerna i ambulerande verksamhet utan tillgång till elnät för laddning med hjälp av ett mobilt energilagring, resultatet av denna demonstration återfinns i kapitlet "Test av mobilt energilagring".

Utöver nämnda kvalitetsproblem med 12v-systemet var den enda negativa återkopplingen kring maskinerna ljudnivån för grävmaskinen ECR25. När dieselmotorn inte längre är en del av maskinen framträder högfrekventa ljud från hydrauliksystemet. Reaktionen kopplade till detta kan delvis förklaras av att maskinoperatörerna inte är vana vid att höra detta ljud men det är också en lärdom som tas med in till maskinutvecklingssidan inom Volvo CE vad det gäller betydelsen av att ta hänsyn till maskinistens upplevda ljudbild, och inte enbart decibelnivå, i designen av maskinerna. Denna återkoppling var specifik för ECR25 och inte L25, där återkopplingen snarare är att maskinen är tyst och fördelaktig för arbetsmiljön jämfört med motsvarande dieselmaskin.

En positiv effekt av testerna var att Göteborg Stad, Park- och Miljökontoret efter testerna kände sig så bekväma med att de batterielektriska kompaktmaskinerna utförde arbetet lika bra som de dieseldrivna att de inkluderades i upphandling redan under projektets gång.

Company name Volvo Construction Equipment	Document type Teknisk rapport		
Document name Bilaga 1 - Electric Worksite II, Volvo Construction Equipment	Version 1.3	Date 2023-11-06	Page 4 (24)
Issuer (Dept., name, email, location) Future Solutions - Niklas Lindblom, Bobbie Frank	Reg. No. -	Classification Open	

Test av mobilt energilagrar

För att komplettera testerna som genomfördes i de mer urbant centrerade siterna testades även kompaktmaskinerna i ambulerande verksamhet. Detta är en typisk applikation när tillgång till elnät inte är en garanti och därav också en av de applikationer där mest skepsis finns beträffande genomförbarhet att övergå från fossilfria maskinsystem till emissionsfria maskinsystem. Typiskt för detta arbete är att maskinen arbetar en kortare tid, från några timmar till några dagar på varje ställe, vilket gör framdragnings av elnät ekonomiskt ohållbart, med dagens rutiner kring inkoppling på elnätet. Maskinen transporteras med hjälp av mindre lastbil eller pickup mellan olika arbetsplatser tillsammans med en mindre tank diesel för möjlighet att tanka maskinen.

För att kunna genomföra denna typ av arbete och demonstrera att det kommer finnas emissionsfria lösningar även för detta genomfördes i projektet tester med en av Volvo CE utvecklade prototyp av en mobil snabbladdare som innehåller ett energilagrar. Det specifika testet i projektet var att underhålla järnvägsspår med hjälp av ECR25, se Figur 3.



Figur 3 - ECR25 Electric & energilagrar, Ambulerande verksamhet, järnvägsunderhåll



Figur 4 - ECR25 Electric & energilagrar, transport till site

Resultat och lärdomar

Med hjälp av möjligheten att ladda maskinen från energilagret kunde arbetet framgångsrikt genomföras med maskinen. Både maskinen och energilagret var möjliga att transportera tillsammans på en lastbil med lastväxelflak, se Figur 4. Denna lösning är också fördelaktig för på- och avlastning av både maskin och energilagrar på arbetsplatsen.

Company name Volvo Construction Equipment	Document type Teknisk rapport		
Document name Bilaga 1 - Electric Worksite II, Volvo Construction Equipment	Version 1.3	Date 2023-11-06	Page 5 (24)
Issuer (Dept., name, email, location) Future Solutions - Niklas Lindblom, Bobbie Frank	Reg. No. -	Classification Open	

Testet var en bra demonstration för att visa att emissionsfria lösningar finns men också vikten av att myndigheter och politiker möjliggör omställningen. Lagar och regelverk kopplat till transport av batterier kräver specifika tillstånd och transportbilar (ADR-tillstånd). I detta samarbetsprojekt är Göteborgs Stad partner vilket innebar att nödvändiga tillstånd smidigt kunde förskaffas. Denna typ av tester skapar förhoppningsvis incitament till att skapa en smidig, och för slutanvändaren, användarvänlig reglering kring energitransporter för att gynna övergången till emissionsfria arbetsmaskiner.

Projektet belyser också behovet kring utveckling av energilager i olika former för att stötta transfereringen mot emissionsfria maskiner något som återkopplats in i utvecklingsorganisationen inom Volvo CE.

Konvertering och test av nätansluten grävmaskin (30-40ton)

I projektet utfördes demonstration och test av nätansluten bandgrävmaskin i syfte att visa att maskintypen kan ersätta motsvarande dieseldriven maskin på större byggarbetsplatser under förutsättning att rätt supportsystem finns på plats och att hänsyn till maskinens förutsättningar tas med tidigt i planeringen av byggprocessen.

Maskinen som byggts är en konverterad EC300. Maskinen har designats med arbetsuppgiften i åtanke från start i samarbete mellan Volvo CE och Volvo CE ägda CE Engineering Solutions med kravspecifikation och input från projektpartner NCC som är testvärd för maskinen i projektet.

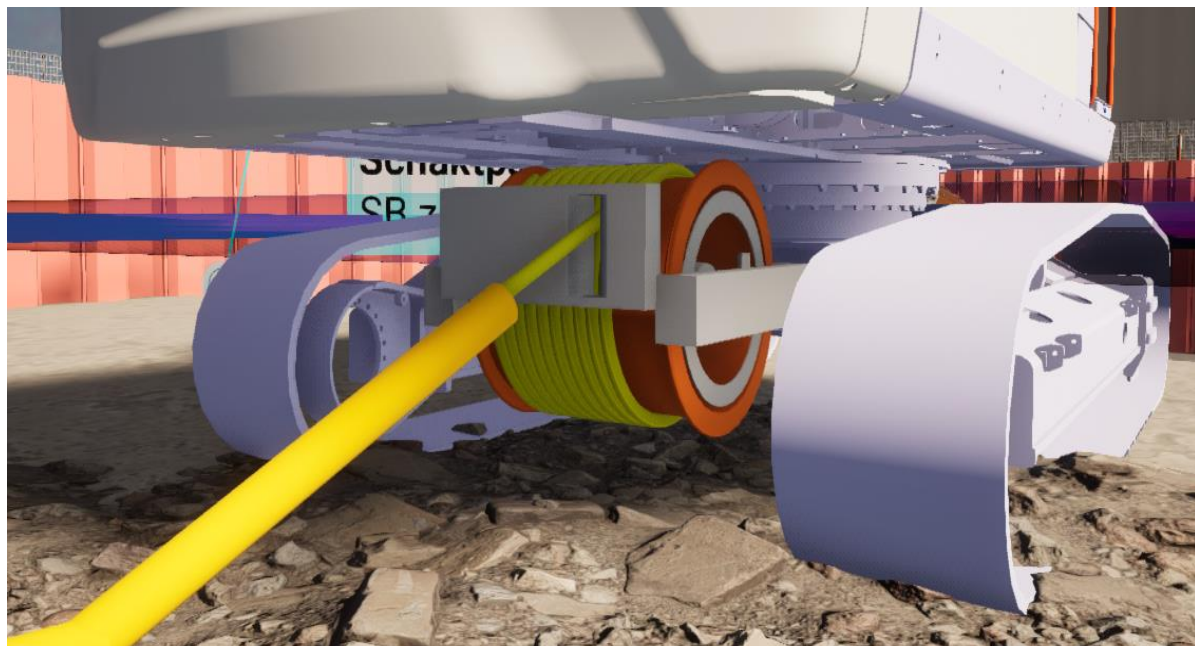
Redan från början var det tydligt att en stor utmaning för en nätansluten maskin på en byggarbetsplats är kabelhanteringen och de begränsningar kabeln innebär. För att framgångsrikt kunna utföra arbete med dessa randvillkor är nyckeln längre planeringshorisont och överlag mer nogsam planering, med kabelhanteringen i åtanke. Under projektet har mycket tid spenderats på planering vad det gäller räckvidd, markfrigång, temporär elinstallation på site och kabelhantering, både vid maskin och fram till maskin, vilket i slutändan resulterade i framgångsrika tester och resultat för maskinen och systemet. Mycket av detta arbete genomfördes mellan Volvo CE, CEES och NCC. Analyser i NCCs simuleringsmiljö för planering av byggarbetsplatser, visade sig vara väldigt användbart i planeringen, se Figur 5.

Company name Volvo Construction Equipment	Document type Teknisk rapport		
Document name Bilaga 1 - Electric Worksite II, Volvo Construction Equipment	Version 1.3	Date 2023-11-06	Page 6 (24)
Issuer (Dept., name, email, location) Future Solutions - Niklas Lindblom, Bobbie Frank	Reg. No. -	Classification Open	



Figur 5 - Simulering NCCs site "Habitat 7"

Utöver att agera hjälpmedel på systemnivå initierade planeringsfasen och simuleringarna även en designändring på maskinen för att skapa nödvändig markfrigång. I Figur 6 kan den första tilltänkta kabelrullelösningen bevitnas i simuleringsmiljön medan Figur 7 visar det slutgiltiga konceptet för kabelrullen. En avgörande detalj i konceptet som påvisar vikten av planering i tidigt stadie av både site och maskin.



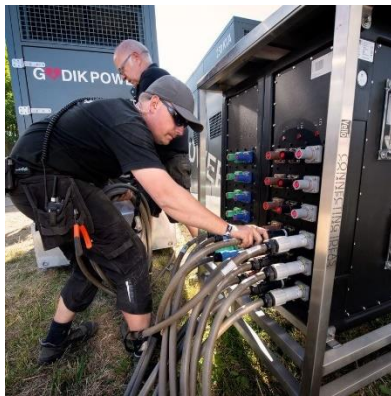
Figur 6 - Kabeltrumma, första konceptet i simuleringsmiljö

Company name Volvo Construction Equipment	Document type Teknisk rapport		
Document name Bilaga 1 - Electric Worksite II, Volvo Construction Equipment	Version 1.3	Date 2023-11-06	Page 7 (24)
Issuer (Dept., name, email, location) Future Solutions - Niklas Lindblom, Bobbie Frank	Reg. No. -	Classification Open	



Figur 7 - Första träningstillfället med maskinsystemet i Göteborgs hamn

Mycket dialog fördes även kring olika koncept för flexibel infrastruktur som möjliggör förflyttning av maskinen på arbetsplatsen i takt med att arbetet fortskrider. En lösning måste till för att möjliggöra att maskinoperatören kan förflytta sin inkopplingspunkt till nätet. Att täcka en stor site är omöjligt med hjälp av enbart de ~34m kabel som återfinns på maskinens kabelrullesystem. Den mest lämpliga lösning som också möjliggör utvidgning av den elektriska infrastrukturen utan krav på utbildade elektriker på arbetsplatsen hittades via inspiration från nöjesbranschen och konsertevenemang. Inom denna bransch är Power-lockkablar något av en standard, se Figur 8 och Figur 9 för jämförelse mellan konsertlösning och anläggningslösning.



Figur 8 - Powerlock inom evenemang och konserter



Figur 9 - Powerlock i distributionsskåp, från CRAMO, på arbetsplatsen

En nyckelspelare att involvera är företaget som ansvarar för den temporära infrastrukturen på arbetsplatsen. I detta fall kontaktades CRAMO av NCC, som försedde projektet med ett

Company name Volvo Construction Equipment	Document type Teknisk rapport		
Document name Bilaga 1 - Electric Worksite II, Volvo Construction Equipment	Version 1.3	Date 2023-11-06	Page 8 (24)
Issuer (Dept., name, email, location) Future Solutions - Niklas Lindblom, Bobbie Frank	Reg. No. -	Classification Open	

distributions-skåp med Power-Lockanslutningar som möjliggör förlängning av kablar till kopplings-skåpet som ansluter till maskinen, se Figur 10. Systemet möjliggör att förlängningskablar kopplas i och ur utan att elektriker behöver närvara på arbetsplatsen, detta kan tex göras av maskinisten eller en yrkesarbetare efter instruktion. Projektet visar på vikten av företag liknande CRAMO i omställningen till emissionsfria arbetsplatser. Även om maskintillverkare likt Volvo CE vidgar sin affär med laddare och energilager så finns stort behov av att på siten sy ihop infrastrukturen beroende på applikation och arbetsuppgift.



Figur 10 – Maskinsystemtest, inklusive energidistributionskedjan; temporärt elnät – distributionscentral – Power-Lock – kopplings-skåp – maskin.

Maskinsystemet testades på tre olika siter i projektet

- Träningsscenario i Göteborgs hamn på NCCs arbetsplats.
- Systemtest, urschaktning för husgrund på NCCs arbetsplats, "Habitat 7".
- Systemtest, dikesgrävning för vattenavledningsrörläggning till lagerlokal på NCCs arbetsplats, "Albatross".

Company name Volvo Construction Equipment	Document type Teknisk rapport		
Document name Bilaga 1 - Electric Worksite II, Volvo Construction Equipment	Version 1.3	Date 2023-11-06	Page 9 (24)
Issuer (Dept., name, email, location) Future Solutions - Niklas Lindblom, Bobbie Frank	Reg. No. -	Classification Open	

Träningsscenario i Göteborgs hamn på tillsammans med NCC

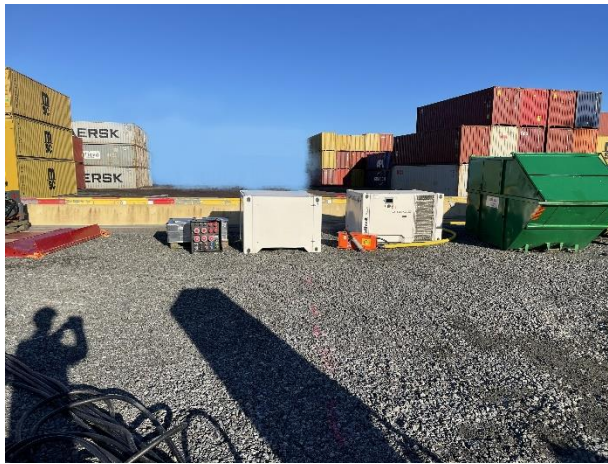
Intentionen med det första träningsscenariot i hamnen var huvudsakligen att testa hela systemet tillsammans med den maskinist som senare i projektet var ämnad att testa maskinen på den riktiga arbetsplatsen, "Habitat 7". Betydelsen av att inkludera maskinisten i denna övning specifikt var mycket lärorikt, varpå involveringen av maskinisten i planeringen anses avgörande. Träningstillfället möjliggjorde för maskinisten att vänja sig vid systemen och lägga upp olika strategier för hantering av kabel och kabelrulle. Tester genomfördes både i schaktning och grävning i hög, som förberedelse inför den riktiga arbetsuppgiften. Kabelrullen kan ställas i två olika lägen, antingen automatisk in- och utmatning eller manuell in- och utmatning. För att kunna placera kabeln som man vill ha den, tex runt något hinder på arbetsplatsen, är ibland den manuella matningen nödvändig. Under detta träningsscenario genomfördes även de första testerna att förflytta maskinens inkopplingspunkt till nätet med hjälp av maskinen själv vilket senare blir ett krav på de riktiga siterna, se Figur 11. I de initiala testerna blev det uppenbart att systemet måste vara flexibelt nog så att maskinisten, eller maskinisten och en yrkesarbetare kan flytta kabeln utan större ansträngning, detta ses tydligt i utvecklingen av kabelhanteringssystemet till maskin vid jämförande mellan Figur 11 och Figur 10 där den senare prototypversionen som användes kunde förflyttas mycket enklare.



Figur 11 – Förflyttning av elektrisk infrastruktur, Göteborgs hamn

Company name Volvo Construction Equipment	Document type Teknisk rapport		
Document name Bilaga 1 - Electric Worksite II, Volvo Construction Equipment	Version 1.3	Date 2023-11-06	Page 10 (24)
Issuer (Dept., name, email, location) Future Solutions - Niklas Lindblom, Bobbie Frank	Reg. No. -	Classification Open	

NCCs befintliga samarbete med Vattenfall gjorde det möjligt för projektet att även testa Northvolts energilagringssystem, se Figur 12. Systemet var ett prototypsystem och saknade viss tilltänkt kapacitet vad gäller effektutjämning, så kallad "peak shaving". Initiala testerna visar dock på framtida möjligheter att kombinera energilager med nätanslutna maskiner för att dels kunna stötta svaga nät men även skapa viss flexibilitet för nätanslutna maskiner i form av att arbeta direkt från ett energilager utan tillgång till nätet som kan vara av fördel för mindre arbeten eller förflyttning av maskinen på stora arbetsplatser.



Figur 12 - Northvolt energilager, Göteborgs hamn

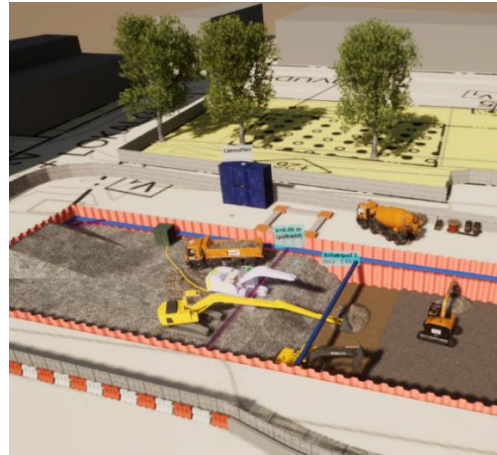
Systemtest, urschaktning för husgrund, "Habitat 7", tillsammans med NCC

Första arbetsplatsen för systemtest valdes på grund av bristen på utrymme och det faktum att den är trafikerad med andra grävmaskiner, personal och lastbilar vilket skapar en utmaning för kabelhantering och elinfrastruktur, se Figur 13.

Company name Volvo Construction Equipment	Document type Teknisk rapport		
Document name Bilaga 1 - Electric Worksite II, Volvo Construction Equipment	Version 1.3	Date 2023-11-06	Page 11 (24)
Issuer (Dept., name, email, location) Future Solutions - Niklas Lindblom, Bobbie Frank	Reg. No. -	Classification Open	



Figur 13 - Nätansluten 30tons grävare på Habitat 7



Figur 14 - Nätansluten 30tons grävare i simuleringsmiljö

Resultat och lärdomar

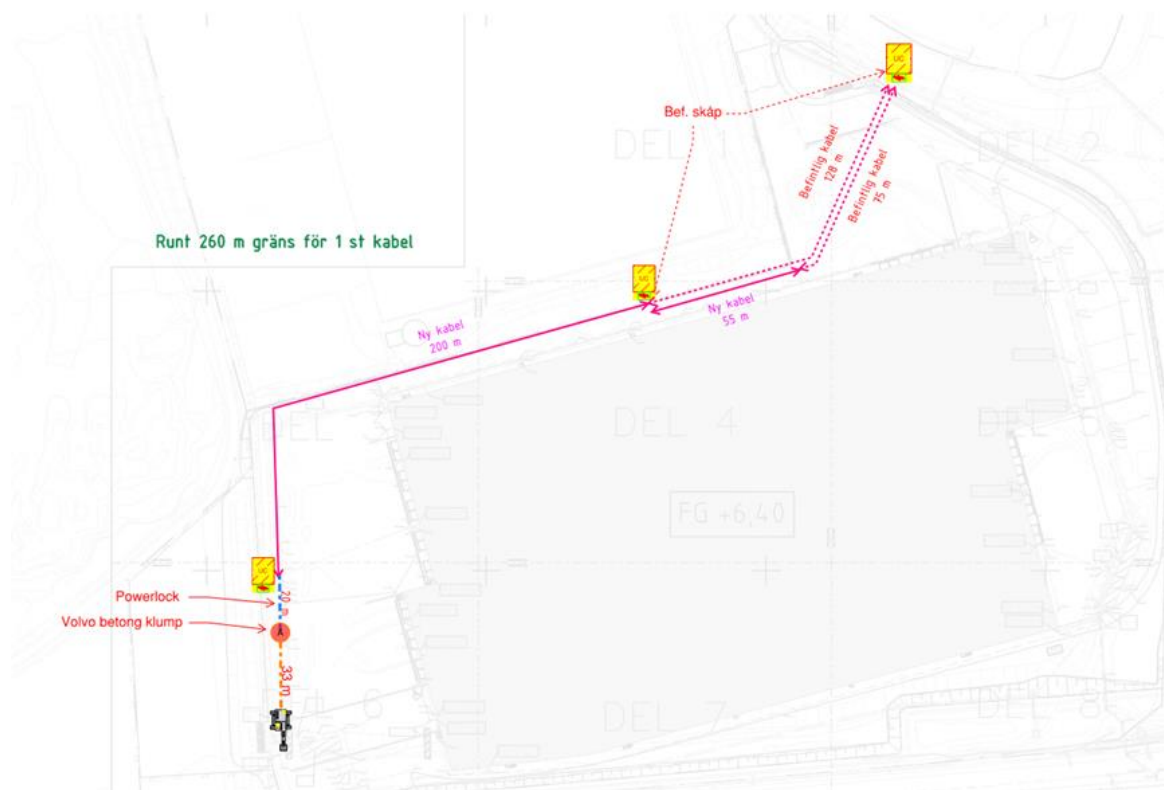
På grund av den nogsamma planeringen, se Figur 14, och det initiala träningsscenariot i hamnen tillsammans med maskinisten så blev det skarpa testet på Habitat 7 väldigt lyckat. Power-Lockkablarna och distributionsskåpet anses vara en nyckel som möjliggjorde att maskinisten själv kunde förflytta sin anslutningspunkt till elnätet. Arbetsledaren på plats var i nästintill frustrerad att testet fungerade så väl som det gjorde då han förväntade sig att fler problem skulle behöva lösas på plats för att få det att fungera. Det goda resultatet hänvisas till stor del till den nogsamma planeringen, som referens finns simuleringen av siten att beskåda i Figur 14, en simuleringsövning som genomfördes mer än ett år innan maskinen togs i bruk och demonstrerades. Maskinisten bedömer maskinens produktivitet jämbördig i jämförelse med en konventionell dieselmaskin i denna applikation. Den extra tid som spenderades på att hantera kabeln genomfördes mellan lastning av lastbilarna varpå det inte påverkade produktiviteten.

Systemtest, dikesgrävning för vattenavledningsrörläggning till lagerlokal, "Albatross", tillsammans med NCC

Då "Habitat 7" valdes som en hörnpunkt sett till det trånga utrymmet på arbetsplatsen valdes "Albatross" av motsatt anledning. Albatross, som för övrigt är en av de arbetsplatser testen med den större prototyp hjulgrävaren (15-16ton) genomfördes på, innefattar byggnation av en stor lagerlokal. När lagerlokalen väl var på plats skulle en större dikesgrävning för nedläggning av vattenavledningsrör genomföras på siten. I denna arbetsuppgift är utmaningarna annorlunda jämfört med Habitat 7 på grund av att maskinen behöver täcka ett ganska långt och smalt

Company name Volvo Construction Equipment	Document type Teknisk rapport		
Document name Bilaga 1 - Electric Worksite II, Volvo Construction Equipment	Version 1.3	Date 2023-11-06	Page 12 (24)
Issuer (Dept., name, email, location) Future Solutions - Niklas Lindblom, Bobbie Frank	Reg. No. -	Classification Open	

område på ganska kort tid vilket ställer större krav på flexibilitet och möjligheten att förflytta den elektriska infrastrukturen på ett smidigt vis. Återigen är planering i tidiga faser nyckeln till framgång, i Figur 15 återfinns en planritning från planeringen av den elektriska infrastrukturen på arbetsplatsen, komplett med Power-Lockförlängningskablar för att täcka det aktuella arbetsområdet.



Figur 15 - Planerad elektrisk infrastruktur, "Albatross"

Resultat och lärdomar

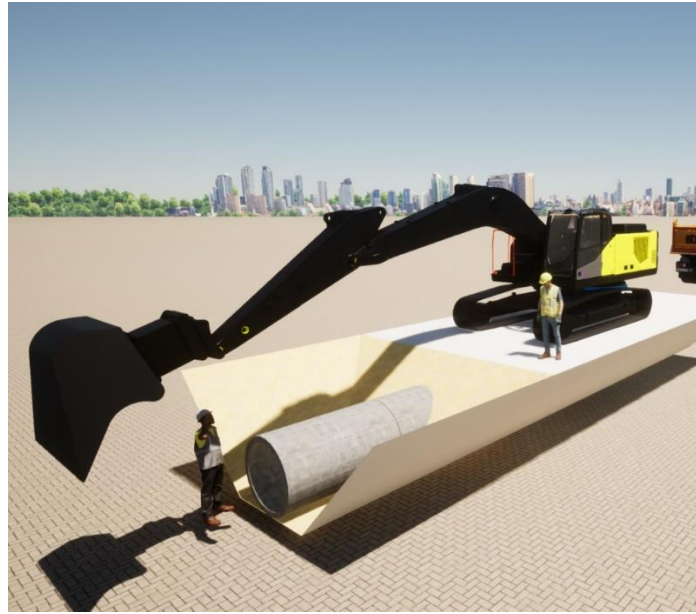
I detta fall opererades maskinen av en annan maskinist än på Habitat 7, vilket visade sig, med lärdomar från tidigare test, att en kort maskinsystemintroduktion avhjälpade eventuella kunskapsgap varpå maskinen klarade av sin primärapplikation väl. Produktiviteten, utlastat material per timme, överskred snart förväntan, varpå fler lastbilar fick kallas in för att hantera de bortschaktade massorna. Det tilltänkta jobbet var färdigställt på halva den förväntade tiden, vilket motsvarar strax under den tidsåtgång som hade planerats för den konventionella dieseldrivna maskinen som egentligen skulle utfört arbetet. Resultat av arbetet som

Company name Volvo Construction Equipment	Document type Teknisk rapport		
Document name Bilaga 1 - Electric Worksite II, Volvo Construction Equipment	Version 1.3	Date 2023-11-06	Page 13 (24)
Issuer (Dept., name, email, location) Future Solutions - Niklas Lindblom, Bobbie Frank	Reg. No. -	Classification Open	

genomfördes kan beskådas i Figur 16 medan planeringsarbetet i simuleringsmiljön kan beskådas i Figur 17.



Figur 16 - Dikesgrävning, Albatross



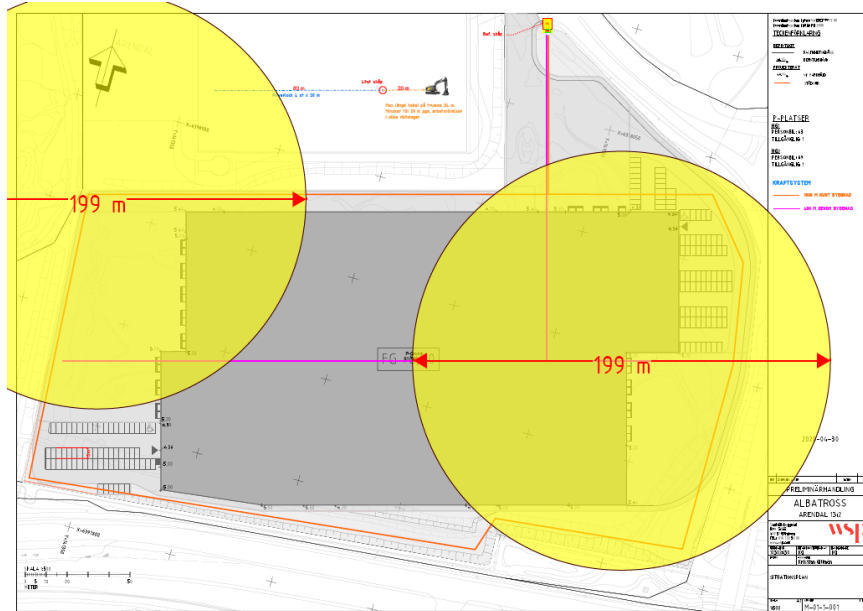
Figur 17 - Dikesgrävning, simulering

Kostnaden för den elektriska infrastrukturen på site för att genomföra detta arbete var ungefär ~100kkr vilket skall ses i kontext av att den dagliga besparingen i bränslekostnad för maskinen var ~2kkr. Då maskinen i fråga framställdes via en samarbetspartner till Volvo CE i låg volym är maskinpriset ganska högt i jämförelse med en konventionell dieselmaskin men trots detta går ekonomin ihop, med tanke på de reducerade kostnaderna för bränsle.

Maskinen NCC idag använder för denna typ av arbete har även sekundära applikationer i form av att hjälpa till med diverse arbete på arbetsplatsen. Med det maskinsystem som utvecklades för detta test fanns inte möjlighet att täcka dessa applikationer. Däremot är bedömningen att ett energilager i stil med det som beskrivs i Figur 12 skulle kunna komplettera maskinen för att även täcka in dessa uppgifter.

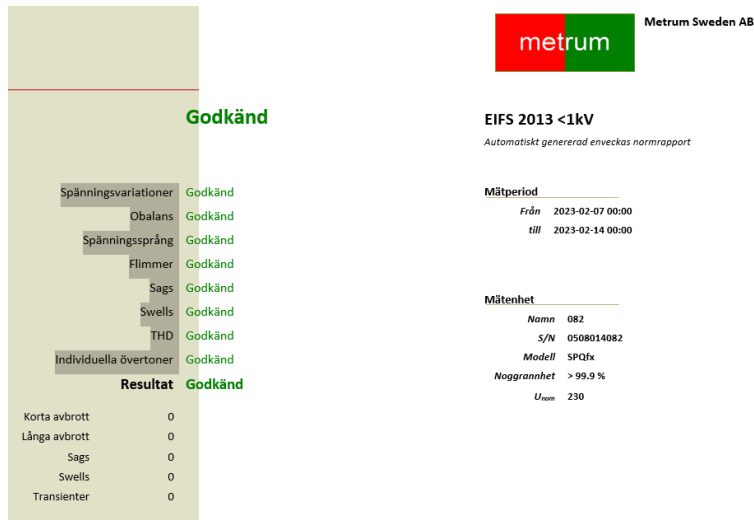
På konceptnivå utreddes hur den elektriska infrastrukturen på "Albatross" borde planeras för att kunna genomföra alla uppgifter på arbetsplatsen emissionsfritt med nätanslutna maskiner. Denna analys visar att det är möjligt, men kräver fler inkopplingspunkter till nätet och att ett mindre energilager är fördelaktigt för att täcka in arbetsuppgifter så som lastning, lossning och transport mellan inkopplingspunkter. I Figur 18 visas en bild från analysen där en nätansluten maskins räckvidd används för att bedöma vart inkopplingspunkter till nätet bör placeras för att kunna täcka berörda ytor med maskinen.

Company name Volvo Construction Equipment	Document type Teknisk rapport		
Document name Bilaga 1 - Electric Worksite II, Volvo Construction Equipment	Version 1.3	Date 2023-11-06	Page 14 (24)
Issuer (Dept., name, email, location) Future Solutions - Niklas Lindblom, Bobbie Frank	Reg. No. -	Classification Open	



Figur 18 - Elektrisk infrastruktur, full site Albatross, räckviddsanalys

Göteborgs Energi, som är partner i projektet, utförde en elnätsanalys under testet. Utöver att analysera var och hur maskinen kunde kopplas mot nätet beroende på närmaste transformator så bidrog Göteborgs Energi med datainsamling kring energiåtgång och nätstabilitet, spänningsvariationer, frekvensobalans och övertoner i nätet. I rapporten framkommer att maskinsystemet godkänns i alla aspekter i dess påverkan på nätet, vilket framgår i Figur 19.



Figur 19 - Elnätsanalys, rapport, Göteborgs Energi

Company name Volvo Construction Equipment	Document type Teknisk rapport		
Document name Bilaga 1 - Electric Worksite II, Volvo Construction Equipment	Version 1.3	Date 2023-11-06	Page 15 (24)
Issuer (Dept., name, email, location) Future Solutions - Niklas Lindblom, Bobbie Frank	Reg. No. -	Classification Open	

Prototyp-hjulgrävare (6-7ton)

En mindre hjulgrävare (6-7ton) har inom ramen för projektet utvecklats och testats på två av Göteborgs Stads mindre anläggningsarbeten. Detta är den maskin som har i särklass lägst teknisk mognadsnivå (TRL-nivå) som testats inom projektet, varpå detta test är att betrakta mer som ett maskintest än ett faktiskt systemtest. Med tester på en tidig prototyp skapar möjligheten att samla tidig input och bygga kunskap tillsammans med slutkund för Volvo CE. På grund av prototypens låga mognadsnivå har maskinen under alla testdagar ackompanjerats av Volvo CE personal som ansvarar för maskinen och säkerhet kring testerna.

Markberedning för cykel- och gångbana och en ny lekplats tillsammans med Göteborgs stad

Första testet för maskinen planerades pågå under en vecka. Som förväntat med en så pass tidig prototyp identifierades ett antal förbättringsområden.

- Kalibrering av hjulen inte möjlig att genomföra utan utvecklingsverktyg för mjukvaran
 - Maskinen har 4-hjulsstyrning och 4-hjulsdrift. Under första testet upplevdes en vis förskjutning av hjulparens vinkel under loppet av en arbetsdag. Detta kan avhjälpas så länge detta kalibreras i tid genom att byta läge på maskinen till 2-hjulsstyrning och linjera upp hjulen igen. Under första testet begränsade mjukvaran denna kalibrering om hjulen hamnat för olinjerat i förhållande till varandra, vilket hände i slutet av testperioden.
- Bristfälligt HMI
 - Testet utfördes under väldigt heta dagar under sommaren. Vid slutet av första testveckan tolkades det via maskinens HMI som att kylsystemet inte aktiverades.

Ovan punkter gjorde att första testperioden avbröts något tidigare än planerat och maskin skickades tillbaka till Volvo CE för nödvändiga uppdateringar. Inför nästa test uppdaterades mjukvaran för att enklare kunna kalibrera hjulen och kylsystemet kontrollerades. Det sistnämnda visade sig fungera som tänkt men uppnådde aldrig tillräckligt hög temperatur i fält för att aktiveras trots att det kunde tolkas så via maskinens HMI.

Trots ovan problem pågick testet i 4 dagar då maskinen arbetade, åtminstone delar av dagarna, vilket gav värdefull input till konceptet. Då maskinisten hade full förståelse för att testet genomförts på en tidig prototyp överskuggade inte problemen dennes återkoppling kring potentialen för konceptet.

Company name Volvo Construction Equipment	Document type Teknisk rapport		
Document name Bilaga 1 - Electric Worksite II, Volvo Construction Equipment	Version 1.3	Date 2023-11-06	Page 16 (24)
Issuer (Dept., name, email, location) Future Solutions - Niklas Lindblom, Bobbie Frank	Reg. No. -	Classification Open	

Resultat och lärdomar

Maskinisten hade två maskiner han normalt använde på siten, en bandad grävmaskin ~6-8ton och en kompakthjullastare ~5-6ton. För detta specifika arbete är bedömningen att en ~6-7tons hjulgrävaren kan ersätta båda två vilket pekar mot en ökad frekvens av hjulgrävare inom mindre stadsnära byggarbetsplatser.



Figur 20 - 6tons batterielektrisk prototyp-hjulgrävare, Terapistigen, Göteborgs Stad

Angående den specifika prototyp-hjulgrävaren som testades i projektet var maskinistens bedömning att den aktiva höjdregeringen som finns i maskinen har stor potential att bidra till en stabilare maskin med bättre produktivitet och arbetsmiljö som följd. Detta trots att den implementerade regleringen i denna prototyp var väldigt omogen. Maskinisten gav även positiv återkoppling kring att maskinen skapar en tystare och trevligare arbetsmiljö, både för maskinisten och yrkesarbetarna runt omkring maskinen, se Figur 20. Denna arbetsuppgift var inte särskilt tung, vilket medför relativt låga varvtal och effektuttag. På nästa arbetsplats maskinen testades var situationen annorlunda och så även återkopplingen kring maskinens ljudbild.

Förberedelse för gångbro över bäck tillsammans med Göteborgs stad

Det andra testet för maskinen inkluderade markförberedning för gång- och cykelväg över en befintlig bäck, vilket innebär nedläggning av vattenledningsrör. Göteborgs stad hade redan planerat att använda detta projekt för att försöka genomföra en fullt emissionsfri anläggning,

Company name Volvo Construction Equipment	Document type Teknisk rapport		
Document name Bilaga 1 - Electric Worksite II, Volvo Construction Equipment	Version 1.3	Date 2023-11-06	Page 17 (24)
Issuer (Dept., name, email, location) Future Solutions - Niklas Lindblom, Bobbie Frank	Reg. No. -	Classification Open	

varpå Volvo CE blev tillfrågade om hjulgrävarprototypen kunde testas en gång till inom projekttiden trots att projektmålen för testet av maskinen redan uppnåtts. Detta sågs som ett perfekt tillfälle att få fler timmar på maskinen och verifiera de uppdateringar som genomförts sen förra testet.

Arbetsplatsen besöktes och planerades under sommaren, det fanns redan vid detta tillfälle viss osäkerhet om en hjulgrävare skulle klara av att arbeta i slänten ner mot diket. Ett beslut togs tillsammans med Göteborgsstad att fortskrida med planerna och testet med en tilltänkt metod där plåtår byggs för att kunna genomföra arbetet med en hjulgrävare i stället för en bandgrävmaskin.

Det omfattade skyfallet, ovädret "Hans" bar med sig, förvårade dessvärre förhållandena på arbetsplatsen avsevärt inför testet, se Figur 21.



Figur 21 – Siteförhållanden, förberedelse av befintlig bäck för dräneringsrör

Utöver detta skedde det förseningar i samband med arbetet att leda undan vattnet i bäcken för att kunna förbereda marken för vattenledningsröret. Detta skapade en situation där Göteborgs stad slogs mot klockan för att hinna genomföra arbetet innan tillståndet att avleda vattnet i bäcken gick ut, vilket i sin tur ledde till att de planerade plåtåren för att kunna genomföra arbetet med en hjulgrävare var tvungna att prioriterades bort. Med dessa förhållanden på arbetsplatsen togs beslut att ta in även en dieseldriven bandgrävmaskin för arbeten som inte kunde genomföras med prototyp-hjulgrävaren på grund av tidsbrist. Hjulgrävaren användes dock i den omfattning som passade för den maskintypen, tex med att förbereda väg, se Figur 22.

Company name Volvo Construction Equipment	Document type Teknisk rapport		
Document name Bilaga 1 - Electric Worksite II, Volvo Construction Equipment	Version 1.3	Date 2023-11-06	Page 18 (24)
Issuer (Dept., name, email, location) Future Solutions - Niklas Lindblom, Bobbie Frank	Reg. No. -	Classification Open	



Figur 22 – Prototyhjulgrävaren bygger cykel- och gångväg.

Resultat och lärdomar

Trots ovan beskrivna förhållanden på arbetsplatsen påverkades inte bedömningen och intrycken av maskinen hos maskinisten. Maskinen användes så frekvent som möjligt och samlade flertalet timmar som står till grund för återkopplingen från maskinisten. Utöver ett mekaniskt bekymmer som löstes på arbetsplatsen fungerade maskinen enligt plan. Precis som i tidigare test såg maskinisten potential i maskinens aktiva höjreglering. Maskinisten var medveten om att denna är implementerad med en omogen reglering men uttrycker att när han kör långsamt över ojämnheter fungerar den väldigt väl och skapar en väldigt stabil maskin. Med snabbare respons och mer justering anser maskinisten att detta kan bli väldigt bra.

Utöver detta anser maskinisten att det är som att köra vilken hjulgrävare som helst att köra prototyhjulgrävaren. Vid tyngre arbete då maskinen arbetar på högre varvtal föredrar maskinisten ljudbilden av en dieselmaskin jämfört med det högfrekventa ljud som skapas av hydrauliken på maskinen. Denna återkoppling liknar den för kompaktgrävaren ECR25, dock är maskinen i detta fall en väldigt tidig prototyp där inget fokus lagts på ljudbilden, men det bevisar återigen att frågan är viktig att beakta för elektriskt drivna arbetsmaskiner.

Prototyp hjulgrävare (15-16ton)

Inom ramen av projektet testades även en större prototyp av hjulgrävare på ~15-16ton. Maskinen testades på två väldigt olika arbetsplatser inom staden;

Company name Volvo Construction Equipment	Document type Teknisk rapport		
Document name Bilaga 1 - Electric Worksite II, Volvo Construction Equipment	Version 1.3	Date 2023-11-06	Page 19 (24)
Issuer (Dept., name, email, location) Future Solutions - Niklas Lindblom, Bobbie Frank	Reg. No. -	Classification Open	

- Dels på NCCs arbetsplats "Albatross", som är en stor arbetsplats med längre avstånd och tyngre arbete med förberedande markarbete, där både tyngre grundläggande jobb och lättare finjustering ingick, samt röjning runt pålar.
- Dels på Göteborg stads arbetsplats bredvid Liseberg, vilket är en väldigt långsmal, trång arbetsplats, med förberedelser för rörläggning och rörläggning, vilket innefattade lättare dikning samt mycket materialhantering, i form av rör och återfyllnadsmaterial.

Resultat och Lärdomar ABB-laddare

I samband med dessa test användes laddningsutrustning från projektpartner ABB. Vid tillfället för projektet hade ABB bara en 350kW laddare att bistå projektet med. Maskinen i fråga är bara kapabel att ta emot 150kW laddningseffekt men projektet såg detta som en bra möjlighet att utreda hur laddare av denna storlek är att hantera på arbetsplatserna. För referens synliggörs i Figur 23 och Figur 24 att laddarens storlek är lite mer än den dubbla jämfört med en 150kW laddare.



Figur 23 - ABB 350kW laddare



Figur 24 - 150kW laddare

Storleken på laddaren skapade vissa utmaningar på den trängre siten bredvid Liseberg, vilken även ställde krav på transportfordonet mellan siterna. Den största feedbacken som kunde

Company name Volvo Construction Equipment	Document type Teknisk rapport		
Document name Bilaga 1 - Electric Worksite II, Volvo Construction Equipment	Version 1.3	Date 2023-11-06	Page 20 (24)
Issuer (Dept., name, email, location) Future Solutions - Niklas Lindblom, Bobbie Frank	Reg. No. -	Classification Open	

återges till ABB är att laddare ämnade för byggarbetsplatser behöver vara mer flexibla och tillåta enklare hantering. Den specifika laddaren som testades i projektet krävde speciella gafflar för att kunna transporteras och flyttas på ett bra sätt. Lyftöglor och mer generella gaffelhål som möjliggör lyft av laddaren från olika håll, med befintlig utrustning på arbetsplatsen är att föredra. Testen gav Volvo CE likväl som ABB nyttiga lärdomar kring vilka krav som ställs på laddningsutrustning på bygg- och anläggningsarbetsplatser. Utöver detta, när laddaren väl var på plats, upplevde maskinisterna det som trevligare att ladda en elektrisk maskin, istället för att tanka diesel.

Resultat och Lärdomar - Förberedande markarbete och röjning runt pålar, "Albatross" tillsammans med NCC

Maskinen lyckades framgångsrikt utföra det tilltänkta arbetet med ett laddningsschema som innefattade laddning på raster, frukost och lunch, samt efter skiftet. Maskinistens återkoppling kring maskinen var väldigt positiv och överträffade hans initiala förväntningar när det kommer till prestanda. Med vad han beskriver som en upplevd snabbare respons i maskinens reglage, jämfört med en dieselmaskin.

Specifikt påpekar maskinisten förbättrad komfort och arbetsmiljö till följd av minskat ljud. I kontrast till ECR25 och den mindre prototypjulgrävaren får maskinen här lovord i denna aspekt. Bortsett från maskinistens arbetsmiljö i hytten förbättras uppger även maskinisten att maskinen tillåter enklare kommunikation med yrkesarbetaren utanför maskinen.

Vad det gäller laddning så är kommentarerna kring detta också positiva. Då laddningsschemat framgångsrikt klarade av att hålla upp batteriernas laddningsnivå för att klara en arbetsdag ansågs inte laddningen vara ett bekymmer. Även i tyngre arbeten, att lasta grovt material i dumper, vilket normalt sett görs av en bandgrävare, klarade sig maskin hela dagen utan att behöva ladda på arbetstid. Snarare lyftes positiva aspekter så som att laddning av elektriska arbetsmaskiner innebär att maskinisten inte längre behöver kladda med diesel. Maskinen och laddaren på plats på Albatross återfinns i Figur 25.

Company name Volvo Construction Equipment	Document type Teknisk rapport		
Document name Bilaga 1 - Electric Worksite II, Volvo Construction Equipment	Version 1.3	Date 2023-11-06	Page 21 (24)
Issuer (Dept., name, email, location) Future Solutions - Niklas Lindblom, Bobbie Frank	Reg. No. -	Classification Open	



Figur 25 - Större batterielektrisk prototyp hjulgrävare och laddningsutrustning, Albatross

Resultat och Lärdomar - Förberedelser för rörläggning och rörläggning, bredvid Liseberg tillsammans med Göteborgs stad

I andra testet med Göteborgs stad så arbetade maskinen med rörläggning för avlopp, dagvatten, färskvatten och fjärrvärme, se Figur 26. I detta fall återfinnes även mycket el- och internetkablage, vilket gör att arbetet måste fortskridas varsamt och reglerbarhet och precision på maskin blir kritiskt, till skillnad från "Albatross" där utlastade/utlagda ton material per timme är måttet. Även i detta fall klarade maskinen av att genomföra arbetet utan produktionsbortfall med ett laddningsschema som innebar laddning på raster, frukost och lunch, samt efter skift. Värt att nämna är att maskinen i detta arbete hade så mycket som 80% laddningsnivå kvar i batteriet vid arbetsdagens slut, vilket skall jämföras med att maskinen under hård drift vissa dagar på "Albatross" enbart hade 20% laddningsnivå kvar vid slutet av arbetsdagen. Detta påvisar svårigheten att ange en batterielektrisk maskins drifttid då detta är helt avhängt på arbetsuppgiften. Detta visar återigen på vikten av nogsam planering vid införande av elektriska arbetsmaskiner. Exempelvis, om det är möjligt, kan byggprocessen ändras till att istället för att utföra alla tunga jobb först och sedan sekventiellt ta alla lättare arbeten istället distribuera ut så att tunga och lätta arbeten utförs parallellt. Detta för att möjliggöra en mer angenäm transferering mot nollemission utan ångest på grund av laddnivå för maskinisten, men även potentiellt minska kostnaderna för indragen effekt till arbetsplatsen.

Company name Volvo Construction Equipment	Document type Teknisk rapport		
Document name Bilaga 1 - Electric Worksite II, Volvo Construction Equipment	Version 1.3	Date 2023-11-06	Page 22 (24)
Issuer (Dept., name, email, location) Future Solutions - Niklas Lindblom, Bobbie Frank	Reg. No. -	Classification Open	



Figur 26 - Batterielektrisk större prototyp-hjulgrävare, bredvid Liseberg tillsammans med Göteborgs stad

Återkopplingen från maskinisterna var lika positiv som vid testet på ”Albatross”. Under detta test brukades maskinen av två maskinister som vanligtvis kör motsvarande storlek av dieselhjulgrävare, från både Volvo CE och andra märken. Maskinen beskrivs som stark med god respons, lättkörd, smidig och förvånansvärt kraftfull.

Storleken på maskin är den storlek som Göteborgs stad använder dagligen på byggarbetsplatser i staden. Arbetsplatsledaren beskriver övergången till elektriska arbetsmaskiner som enbart positiv i staden. Han poängterar också den förbättrade arbetsmiljön - inte bara för maskinisten utan för alla yrkesarbetare runt maskinen. Han uttrycker också att han inte ser några som helst hinder för att föra in elektriska maskiner på stadens bygg- och anläggningsarbetsplatser och att denna övergång kommer att ske.

Company name Volvo Construction Equipment	Document type Teknisk rapport		
Document name Bilaga 1 - Electric Worksite II, Volvo Construction Equipment	Version 1.3	Date 2023-11-06	Page 23 (24)
Issuer (Dept., name, email, location) Future Solutions - Niklas Lindblom, Bobbie Frank	Reg. No. -	Classification Open	

Test av fjärrstyrd lastbärare (6-7ton)

Utöver att testa den större prototyp-hjulgrävaren och laddningsutrustningen så testades i projektet även en ny maskinsystemsetup med en fjärrstyrd lastbärare. Denna lastbärare är utvecklad på samma plattform som den 6-7tons prototyp-hjulgrävare som också testades i projektet.

Hjulgrävmaskiner har ofta, på flertalet marknader, en släpvagn med sig. Detta både för att kunna ta med redskap, så som skopor, gafflar, asfaltsskärare osv, men även för att kunna lasta och transportera massor. Under övergången till elektrifierade maskiner är det av högsta vikt att på systemnivå undersöka hur energieffektiviteten kan förbättras. Med ett traditionellt maskinsystem, bestående av hjulgrävare och släp, så förflyttas massan av hela ekipaget vid alla tillfällen. Genom att använda en fjärrstyrd och/eller automatiserad lastbärare finns möjlighet att dela ekipaget, och på så vis enbart förflytta massan av lastbäraren tillsammans med materialet, se Figur 27. Dock innebär detta att en maskinist manövrerar två, eller fler maskiner, varpå den mentala arbetsbelastningen må utredas.



Figur 27 - Batterielektrisk större prototyp-hjulgrävare och fjärrstyrd lastbärare

Resultat och Lärdomar

Under testet kunde den på förhand uppenbara höjningen av energieffektivitet fastslås. Utöver detta understryker operatören och arbetsplatsledaren ökad produktivitetspotential på grund av möjligheten att stå kvar på samma ställe och inte behöva omplacera grävmaskin och hitta en stabil plats på ett ojämnt underlag, inte behöva back med släp, samt att kunna sprida ut material direkt med lastbäraren i stället för hjulgrävaren. Oron inför testet bestod i om

Company name Volvo Construction Equipment	Document type Teknisk rapport		
Document name Bilaga 1 - Electric Worksite II, Volvo Construction Equipment	Version 1.3	Date 2023-11-06	Page 24 (24)
Issuer (Dept., name, email, location) Future Solutions - Niklas Lindblom, Bobbie Frank	Reg. No. -	Classification Open	

maskinisten skulle uppleva en ökad mental arbetsbelastning när denne övergår till att hantera två maskiner i stället för bara en. Återkopplingen från maskinisten var dock att han inte såg några som helst problem med det nya maskinsystemet. I den konfiguration som testades i projektet så hade maskinisten enbart möjlighet att styra en av maskinerna i taget, hjulgrävaren med original styrspakar och den fjärrstyrda lastbäraren med hjälp av en handhållen kontroll. Även en begränsning i hastighet för lastbäraren var implementerad under testet. Maskinistens första fråga var, i motsats till farhågan om ökad mental arbetsbelastning, om det inte gick att öka hastigheten och dessutom tillåta styrning av båda maskinerna samtidigt.

Volvo CE tar med sig den positiva feedbacken från projektet som visar på att framtida förarlösa maskiner kan ha en plats på framtiden bygg- och anläggningsarbetsplatser utan att för den delen vara fullt autonoma eller automatiserade. I mångt och mycket hindrar idag lagar och regelverk automation på bred front och försök att fullt automatisera arbetsplatser innebär stora förändringar med risk för svårigheter vid införande. Att industrialisera förarlösa arbetsmaskiner där maskinoperatören fortsatt förblir i kontroll i form av fjärrstyrning och eller automatisering med uppsikt kan redan idag bidra med både produktivets- och energieffektivitetshöjningar.

Slutsats

Utifrån de tester som gjorts inom ramarna av "Electric Worksite II" har inga betydande hinder uppdagats som skulle, från ett tekniskt, praktiskt och operativt perspektiv, förhindra införandet av elektrifierade nollemissions arbetsmaskiner. Den huvudsakliga lärdomen att ta med sig är att med en mer nogsam planering, med längre planeringshorisont och noggrannare exekvering så är det lösbart att implementera elektrifierade arbetsmaskiner i urban miljö. I denna tidiga planering bör hänsyn tagas till den slutgiltiga framdragningen av el till den infrastruktur eller byggnad som ska uppföras, detta kan komma väl till gagn även under byggnationen för arbetsmaskinerna. Utbildning och information till berörda, så som maskinister, arbetsledare och arbetsplatsledare ses som en viktig pusselbit för att få acceptans för transfereringen mot elektrifierade nollemissions arbetsmaskiner. Initiala analyser pekar mot att en uppskalning till att elektrifiera alla arbetsmaskiner på de arbetsplatser där test har utförts inte heller skulle vara något större problem, även om det kräver en noggsammare analys av randvillkoren på varje given arbetsplats, så som effektutgång i nätet, så finns det effektutjämningslösningar tillgängligt, i form av energilagarsystem liknande de som testats i projektet.