

Elektrifierade Bygg- och Anläggningsplatser II (Electric Worksite)



Författare: Lars Bern
Datum: 2024-01-10
Projekt inom FFI Energi och Miljö

FFI Fordonsstrategisk
Forskning och
Innovation

VINNOVA

Energimyndigheten

TRAFIKVERKET

FKG

VOLVO

SCANIA

VOLVO

Innehållsförteckning

1 Sammanfattning	3
2 English Summary	4
3 Bakgrund	5
4 Syfte, forskningsfrågor och metod	5
5 Mål	5
6 Resultat och måluppfyllelse	6
6.1 Prototyputveckling och systemdemonstration	6
6.2 Miljö- och arbetsmiljöeffekter	9
6.3 Systemanalys	10
6.4 Förberedelse helelektrifierad bygg- och anläggningsplats	12
6.5 Replikering.....	16
6.6 Kommunikation och disseminering	16
7 Spridning och publicering	19
7.1 Kunskaps- och resultatspridning.....	19
7.2 Publikationer	19
8 Deltagande parter och kontaktpersoner	20

Kort om FFI

FFI är ett samarbete mellan staten och fordonsindustrin om att gemensamt finansiera forsknings- och innovationsaktiviteter med fokus på områdena Klimat & Miljö samt Trafiksäkerhet. Satsningen innebär verksamhet för ca 1 miljard kr per år varav de offentliga medlen utgör drygt 400 Mkr.

Läs mer på www.vinnova.se/ffi.

1 Sammanfattning

Sverige som land, dess myndigheter och flertalet industrisektorer har enats om färdplaner som syftar till att minska utsläppen av växthusgaser med 50% till 2030 och nå noll 2045. Naturvårdsverket har i rapport från 2018 visat på att fossildrivna arbetsmaskiner står för 6% av de totala växthusgasutsläppen i Sverige. Utöver koldioxid ger fossildrivna arbetsmaskiner även upphov till betydande utsläpp av kolmonoxid och sot samt medverkar till buller i den urbana stadsbilden. Naturvårdsverket betonar möjligheterna med att elektrifiera lätta och tunga arbetsmaskiner. Electric Worksite som projekt har ett fokus att minska miljöpåverkan med elektrifiering och där spelar el också en roll för att sänka bullernivåerna och bidrar därmed till att uppnå miljö kvalitetsmålet "den goda byggda miljön" som fokuserar på städer.

Syftet med Electric Worksite har varit att öka kunskapen kring hur elektrifierade arbetsmaskiner, specifikt hjullastare, hjulgrävare och bandgrävare av olika storlekar kan integreras i mindre och större anläggningsprojekt samt skötselverksamheter av underhållskaraktär. Ansatsen har varit ett brett systemperspektiv i olika typer av entreprenadmiljöer med testning av arbetsmaskiner och tillhörande energiförsörjning som nätsanlutning, laddinfrastruktur och energilagrar, för att visa på funktionalitet, produktivitet, miljövinster samt tydliggöra behovet av förändringar i omgivande system inom teknik, handhavande och förvaltning. Projektet har haft en god måluppfyllelse och kunnat visa på resultat som genomgående pekar på att elektrifierade maskiner är likvärdiga med fossildrivna maskiner i sin användning. Såväl operatörer, arbetsledare som övrig berörd personal återger positiva upplevelser av hantera maskinerna, arbetsmiljön runt maskinerna och även ändrade förutsättningar som att säkerställa laddning och elförsörjning. Det ska tydliggöras att flertalet av de testade maskinerna var i olika prototyp-faser och att det oftast var enskilda maskiner som testades per byggarbetsplats.

Electric Worksite har också studerat aspekterna runt elektrifiering som luftkvalitet & buller och arbetsmiljö samt vilken påverkan elektrifiering kommer att ha på elsystemet, byggprocesser och hållbarhetsbedömningar. Det är tydligt att kravställningen från beställare behöver uppdateras med de ny tekniska möjligheterna och inte minst vara noggrann med att följa upp kraven med mätningar. Elektrifiering kommer att ställa krav på elnät och laddinfrastruktur vid en snabb uppskalning, men det finns möjligheter att möta upp behoven med energilagrar och flexibla lösningar. Elektrifiering öppnar också upp för effektivisering av byggprocesser och det är tydligt att god planering och framförhållning i alla led är framgångsfaktorer oaktat om processer ska elektrifieras eller ej. För att stödja alla hållbarhetsdimensioner har en metod för hållbarhetsanalys tagits fram. Den tar i sitt avstamp i erfarenheter från projektet och kan förfinas ännu mer. Omfattningen av hållbarhetsanalysen styrs i hög grad av vilka frågor användaren prioriterar och begränsas av vilken data som användaren kan få tillgång till.

Electric Worksites bidrag har varit värdefullt för alla projektparter, inte minst maskinutvecklare, beställare och entreprenörer som har kunnat utveckla, testa och verifiera lösningar i verkliga förhållanden. Det finns stora möjligheter att bidra till städers och länders ambitioner att minska klimatpåverkan med hjälp av elektrifierade arbetsmaskiner.

2 English Summary

Sweden as a country, its authorities and the majority of industrial sectors have agreed on roadmaps that aim to reduce greenhouse gas emissions by 50% by 2030 and reach zero in 2045. The Swedish Environmental Protection Agency has shown in a report from 2018 that fossil-powered work machines account for 6% of total greenhouse gas emissions in Sweden. In addition to carbon dioxide, fossil-powered work machines also give rise to significant emissions of carbon monoxide and soot and contribute to noise in the urban cityscape. The Swedish Environmental Protection Agency emphasizes the possibilities of electrifying light and heavy work machines. Electric Worksite as a project has a focus on reducing environmental impact with electrification and electricity also plays a role in lowering noise levels and thus contributes to achieving the environmental quality goal "the good built environment" which focuses on cities.

The purpose of Electric Worksite has been to increase knowledge about how electrified work machines, specifically wheel loaders, wheel excavators and crawler excavators of various sizes can be integrated into smaller and larger construction projects as well as maintenance operations. The approach has been a broad systems perspective in various types of work environments with testing of machines and associated energy supply such as grid connection, charging infrastructure and energy storage, to demonstrate functionality, productivity, environmental gains and clarify the need for changes in surrounding systems within technology, handling and management. The project has had good fulfillment of its goals and has been able to show results that consistently point to electrified machines being equivalent to fossil-powered machines in their use. Both operators, supervisors and other affected personnel report positive experiences of handling the machines, the working environment around the machines and also changed conditions such as ensuring charging and electricity supply. It should be made clear that the majority of the tested machines were in various prototype phases and that it was usually individual machines that were tested per construction site.

Electric Worksite has also studied the aspects around electrification such as air quality & noise and work environment as well as the impact electrification will have on the electricity system, construction processes and sustainability assessments. It is clear that the requirements from the client need to be updated with the new technical possibilities and not least to be careful in following up the requirements with measurements. Electrification will place demands on electricity grids and charging infrastructure in case of a rapid scale-up, but there are opportunities to meet the needs with energy storage and flexible solutions. Electrification also opens up the streamlining of construction processes and it is clear that good planning and forethought at all stages are success factors regardless of whether processes are to be electrified or not. To support all sustainability dimensions, a method for sustainability analysis has been developed. It is based on experiences from the project and can be refined even more. The scope of the sustainability analysis is largely controlled by which issues the user prioritizes and is limited by which data the user can access.

Electric Worksite's contribution has been valuable for all project parties, not least machine developers, customers to construction projects and contractors who have been able to develop, test and verify solutions in real conditions. There are great opportunities to contribute to the ambitions of cities and countries to reduce climate impact with the help of electrified work machines.

3 Bakgrund

För att nå lokala, regionala och nationella miljömål samt FNs globala klimatmål 2030 krävs en kraftig minskning av koldioxidutsläpp och andra växthusgaser. Detta omfattar alla sektorer i samhället. Bygg- och anläggningssektorn i Sverige har enats om en gemensam färdplan med mål att minska utsläppen av växthusgaser med 50% till 2030 och nå nettonollutsläpp år 2045. I Naturvårdsverkets rapport 2018 om "Arbetsmaskinernas klimat- och luftutsläpp" redogörs att arbetsmaskinerna under 2016 stod för 6% av växthusgasutsläppen i Sverige, ca 20% av transportsektorns utsläpp, och att utsläppsminskningen behöver gå ännu snabbare än vad den hittills har gjort. Medan Sveriges totala utsläpp av växthusgaser minskat med 25% sedan 1990 har utsläppen från arbetsmaskiner ökat med 13%. Rapporten betonar att arbetsmaskinerna utöver koldioxidutsläpp ger upphov till andra luftföroreningar med negativ påverkan på miljö och hälsa som exempelvis kolmonoxid (33 % av de totala svenska utsläppen) och sot (27 % av de totala utsläppen) och berör miljö kvalitetsmålen "Begränsad klimatpåverkan" och "Frisk luft".

En betydande och resurskrävande del i byggprocessen utgörs av markarbeten, schaktning, grundläggning mm som utförs med band- och hjulgrävare och hjullastare. Elektrifieringen av lätta och tunga arbetsmaskiner lyfts fram av Naturvårdsverket som ett viktigt initiativ för att minska miljöpåverkan men att elektrifieringen även kan bidra till reducerade bullernivåer, och därmed bidra till att nå miljö kvalitetsmålet "God bebyggd miljö", något som är av särskilt intresse för kommuner. Inom bygg- och anläggningssektorn finns ett behov att övergå till elektrifierade arbetsmaskiner på byggarbetsplatser för att uppnå ovan nämnda miljömål samt leda till en förbättrad arbetsmiljö. De förändringar av arbetsprocesser som krävs måste analyseras. Tillverkare har i sin tur behov att testa sina elektrifierade maskiner i demonstrationsmiljöer för att få en ökad förståelse för behov, förutsättningar och hur maskinerna skall kunna fungera i olika tillämpningar. I augusti 2020 beslutade regeringen om en ny klimatpremie i form av ett statligt stöd som ska främja introduktionen av eldrivna arbetsmaskiner och miljölastbilar på marknaden. I budgeten för 2022 beslutade regeringen att ändra reglerna för klimatpremie för arbetsmaskiner och öppnade för att fler maskiner omfattas. Från och med 18 januari 2022 sänktes effektgränsen till 15 kilowatt och sedan dess har ansökningarna ökat kraftigt. Inledningsvis krävde förordningen att maskinen skulle vara inregistrerad i Transportstyrelsens fordonsregister för att kunna erhålla stöd. Dock justerades förordningen om statligt stöd till vissa miljöfordon så att även arbetsmaskiner som inte registrerats i vägtrafikregistret omfattas av stödet. Ändringarna trädde i kraft den 11 oktober 2022. Energimyndigheten har av regeringen fått i uppdrag att klimatpremien. Den sökande kan få maximalt 20 procent av miljöfordonets inköpspris och stödet beräknas finnas fram till och med 2024.

4 Syfte, forskningsfrågor och metod

Projektet syftar till att öka kunskapen kring hur elektrifierade arbetsmaskiner, specifikt hjullastare, hjulgrävare och bandgrävare av olika storlekar kan integreras i mindre och större anläggningsprojekt samt skötselverksamheter av underhållskaraktär. För att göra detta kommer projektet ha ett tydligt fokus på systemperspektivet där arbetsmaskiner, energilager och laddinfrastruktur testas i olika miljöer för att tydliggöra behov av förändringar i tekniska och organisatoriska kringssystem.

5 Mål

Projektet har haft som mål att:

1. Utveckla och tillhandahålla elektrifierade arbetsmaskiner av olika typ och storlek, samt energilager och laddutrustning och med olika mognadsgrad (TRL 4-8) för test och systemdemonstration (AP1).

2. Visa och kommunicera, genom ett antal systemdemonstrationer för validering och demonstration av nya koncept (SRL 4-7), hur elektrifierade arbetsmaskiner kan integreras i olika tillämpningsfall, dvs specificerade typer av arbeten i definierade miljöer (AP2).
- 3.a Identifiera vilka arbetsmoment som orsakar mest buller resp. skadliga emissioner samt hur stor andel som kan reduceras eller elimineras med hjälp av elektrifierade arbetsmaskiner. (AP3).
- 3.b Kartlägga acceptans bland platsaktörer och ta fram förslag och åtgärder för att uppnå en högre acceptans för integrering av elektriska maskiner och kringssystem (AP3).
- 4.a Identifiera möjligheter och utmaningar med omställningen till elektrifiering gällande energiförsörjning för respektive tillämpningsfall (AP4).
- 4.b Identifiera möjligheter och utmaningar med omställningen till elektrifiering gällande effektiv organisering av byggprocessen för respektive tillämpningsfall (AP4).
- 4.c Utveckla en analysmetod för att kunna jämföra en elektrifierad anläggningsarbetsplats med en icke-elektrifierad ur hållbarhetsaspekter
5. Identifiera och förbereda minst en kommande demonstrationsplats för en helt elektrifierad bygg- och anläggningsentreprenad tillsammans med intresserade aktörer och behovsägare (AP5).
6. Identifiera affärsmässiga möjligheter och utmaningar/hinder för en replikering och vidare uppskalning av respektive systemdemonstration (AP6).

Projektet har i det närmaste uppfyllt den uppsatta målsättningen med viss avvikelse för enstaka tester av t.ex. batterilager som uteblivit. Arbetet med att identifiera en kommande demonstrationsplats för en helt elektrifierad entreprenad är under arbete då projektet avslutas. Det är helt centralt att få med en beställare som har rätt ambitionsnivå och där utpekat projekt ligger rätt timingmässigt.

6 Resultat och måluppfyllelse

Projektet har visat hur elektrifierade arbetsmaskiner, specifikt hjullastare, hjulgrävare och bandgrävare av olika storlekar kan utvecklas, testas och integreras i mindre och större anläggningsprojekt samt skötselverksamheter av underhållskaraktär. Projektet har haft ett tydligt fokus på systemperspektivet där arbetsmaskiner, energilager och laddinfrastruktur testas i olika miljöer för att tydliggöra behov av förändringar i tekniska och organisatoriska kringssystem samt regulatoriska aspekter som t.ex. transport av energilager (ADR-tillstånd). Vidare har projektet byggt upp kunskap, modeller samt utvecklat en metodik avsedd att användas i en framtida systemdemonstration av en helt elektrifierad byggarbetsplats. Ett par av maskinerna som testats i projektet är tidiga prototyper varför varken modellbeteckningar eller bilder publiceras i denna rapport.

I det kommande kapitlet beskrivs de ingående delarna övergripande och en fördjupning presenteras per arbetspaket i separata bilagor.

6.1 Prototyputveckling och systemdemonstration

I arbetspaketen AP1 och AP2 har olika varianter arbetsmaskiner anpassats eller utvecklats av Volvo Construction Equipment för att sen testas och användas under verkliga omständigheter i olika typer av bygg- och anläggningsplatser av Göteborgs Stad och NCC.

Mindre entreprenader, gatuunderhåll och skötselverksamhet

Göteborgs Stad, Stadsmiljöförvaltningen har i en rad olika projekt testat en eller flera maskiner tillsammans med laddinfrastruktur och mobilt energilager (powerpack). På de flesta testsiterna har mindre elektriska (kompakt-)maskiner, bandgrävare (2,7 ton) och hjullastare (5 ton), laddats från entreprenadernas tillgängliga serviser med tillämpliga laddkablar men också snabbaddare har testats. Exempel på entreprenader har varit anläggning av parker, lekplatser, cykelställ, rondeller; *Färjenäsparken*, *Fyrktorget*, *Drottningtorget* (se bild 1), *Tuverondellen*.



Bild 1 – Hjullastare L25 på Drottningtorget

För ändamålet skötselverksamhet så har en kompakt bandgrävare använts för rensning längs med en järnväg och där löstes elförsörjningen med hjälp av ett powerpack då ingen lämplig elanslutning fanns tillgänglig. Genomgående har elmaskinerna uppfyllt samma funktion och tillgänglighet som likvärdiga fossildrivna maskiner. Elförsörjningen har generellt sett inte utgjort något hinder men kräver i vissa fall extra planering och ibland tillgång till energilagring. Se vidare i bilaga 1 för djupare beskrivningar.

Markarbeten med större hjulgrävare

En prototypmaskin, batterielektrisk hjulgrävare i 15-tonsklassen har utvecklats av Volvo Construction Equipment och testats av såväl Göteborgs Stad som NCC i olika tillämpningar. Göteborgs Stad genomförde en entreprenad av infrastruktur (bl.a. el och VA) längs *Nelickevägen/Peabvägen* i anslutning till utvecklingar och etableringar av verksamheterna vid Liseberg och World of Volvo. Maskinen utförde likvärdigt arbete som en dieseldriven motsvarighet med god tillgänglighet och produktivitet. Den fick gott betyg av operatörer, arbetsledare m.fl. Elförsörjningen till maskinen kom med en (semi-)mobil laddstation från ABB. Inga anmärkningar noterades på anslutning mot elnät och lokaliseringen i ena änden av byggsiten fungerade väl. Begränsning i laddeffekt ligger i nuläget i maskinen som kan ta emot 140 kW. Maskinens tillgänglighet löstes med planering och supportladdning under dagens naturliga pauser. Noterat att man till och med skulle ha klarat sig utan snabbbladdare med nattladdning.

NCC testade samma maskin som ovan i ett anläggningsarbete för industrifastigheten *Albatross i Arendal*. Även här var produktivitet och tillgänglighet i paritet med en dieseldriven maskin och den visade god funktionalitet med ett relativt utdraget och tungt arbete. Laddning försågs även här med en elnätansluten (semi-)mobil snabbbladdare från ABB. Laddning löstes vid behov, ofta i anslutning till naturliga pauser. Operatören föredrog att ladda istället för att tanka diesel. God kapacitet på servisen – 600A – och en överdimensionerad laddstation på 350 kW jämfört med att maskinen kan ta emot 140 kW. Värt att notera ur ett systemperspektiv är att om samtliga maskiner på site var elektriska och de skulle behöva ladda samtidigt så indikerar det att tre laddare skulle behövas då jobbet utfördes i två arbetslag med två respektive tre maskiner i vardera arbetslag.

På *Albatross*, tillsammans med hjulgrävaren, testades även fjärrstyrt lastbärare. Operatören styrde en lastbärare från sin hytt i hjulgrävaren och testet visade mycket gott resultat med

potential för produktivitetshöjningar. Operatören bedömde till och med att han skulle vilja hantera två parallella lastbärare på fjärr för att matcha sin egen produktivitet med hjulgrävaren. Se vidare i bilaga 1 för djupare beskrivningar.

Mindre bygg- och anläggningsprojekt med medelstor hjulgrävare

I slutet av projektet testades en tidigt utvecklad prototyp av batterielektrisk hjulgrävare i 6-7 tonsklassen. Göteborgs Stad använde hjulgrävaren i två anläggningsprojekt av parker/lekplatser på *Terapislingan* och *Glöstorpsvägen*. Även här har maskinen fått positivt mottagande av operatörer och var över förväntan med tanke maskinens tidiga utvecklingsstadium. Den har visat sin mångsidighet i anläggningsprojekt som innefattar flera olika arbetsmoment och användningsområden. Energiförsörjningen löstes med befintlig byggel och laddlösning från Volvo. Se vidare i bilaga 1 för djupare beskrivningar.

Entreprenader med större, nätansluten bandgrävare

Vid sidan av batterielektriska maskiner så har Volvo Construction Equipment utvecklat en större bandgrävare i 30-tonsklassen anpassad för kontinuerlig strömförsörjning från elnätet via kabel. Efter lite förberedelser och planering så testades maskinen av NCC på två siter; *Habitat 7* på Masthuggskajen (se bild 2) och i Arendal på *Albatross*.



Bild 2 – 30-tonns kabelansluten bandgrävare på Habitat 7

Habitat 7 är ett kontorsfastighetsprojekt i en trång urban miljö där maskinen fick jobba med grundläggningsarbete i en spontad grop. Förutom lite transporter av maskin och förflyttningar av kabel så var produktiviteten i det närmaste 100 procent. Lösningen för kabelanslutningen hämtades från eventbranschen och projektet hade väldigt god hjälp av NCCs underentreprenör för el, Cramo. Energimätningar i samband med testerna av den kabelanslutna bandgrävaren visade på några fåtal spikar (höga effekttoppar), men inget utanför ramar och fullt naturligt förbrukningsnivåer som följer med maskinens arbetsintensitet.

Albatross är en logistikanläggning i anslutning till Arendal där den kabelanslutna maskinen fick jobba med mer utdragen VA-schakt. Liknande produktivetsresultat som på Habitat 7, mycket beroende på mängden kabelhantering. Positivt mottagande från operatör och arbetsledare. Liten anekdot att den kabeldrivna maskinen vid ett tillfälle fick rycka in och täcka upp för en trasig dieselmaskin. Se vidare i bilaga 1 för djupare beskrivningar.

6.2 Miljö- och arbetsmiljöeffekter

Electric Worksite har vid sidan av klimateffekter även tittat på och analyserat effekter i och utanför operatörshytten – arbetsmiljö, buller och luftföroreningar – samt allmän acceptans hos arbetspersonal som jobbar med och nära arbetsmaskiner. Samtliga aspekter redovisas i sin helhet som bilagor i respektive ämnesområde.

Luftkvalitet och buller

Elektrifiering av byggarbetsplatser relaterar främst till klimatutsläpp, men närmiljön påverkas också genom minskat utsläpp av avgaser och motorbuller. Detta arbete redovisar ett sätt att ta hänsyn till både buller och luftföroreningar i valet av vilka arbetsmaskiner som ska elektrifieras i första hand. Arbetet baseras på intervjuer och litteratur kring utsläpp från olika typer av arbetsmaskiner, kring hur beslut om vilka arbetsmaskiner som används vid olika typer av entreprenader fattas samt till gällande lagstiftning kring buller och luftföroreningar och den exponering som människor riskeras att utsättas för i olika situationer.

Projektet presenterar också ett första utkast på en modell för att kunna jämföra olika arbetsmaskiner, men går inte in på hur buller och avgaser ska värderas mellan varandra, och inte heller på emissionsfaktorer för de förbränningsmotorer som de elektriska arbetsmaskinerna beräknas ersätta. Istället är fokus att identifiera beslutsvägarna och jämkna ihop de olika expertområdena buller och luft i valet av vilken arbetsmaskin som ska prioriteras vid elektrifiering.

Slutsatser:

- Vår enkla modell, som väger betydelsen av buller och avgasutsläpp mellan olika arbetsmaskiner, används i första hand. Om modellen är för tidskrävande bör de maskiner som arbetar närmast sårbara exponerade bytas ut i första hand.
- Kravställning vid upphandling avseende elektrifiering av arbetsmaskiner utgående från buller och avgasexponering förenklas kraftigt för att undvika suboptimering i tidsåtgång. Följ upp ställda krav!
- Uppmärksamma att klimatutsläpp inte alltid sammanfaller med luft och bullerutsläpp, då tex biobränslen löser klimatproblemet men inte buller- och luftproblemet.
- Tydliggör vem som har möjlighet att krävställa elektrifiering av byggarbetsplats i olika konstellationer

Bilaga 2 - Hur påverkar hälsoeffekter planeringen av elektrifierade byggarbetsplatser?

Operatörens arbetsmiljö

Syftet med analys av operatörens arbetsmiljö har varit att undersöka om bytet till elektriska arbetsmaskiner möjliggör och/eller utmanar maskinoperatörernas och yrkesarbetares arbetsförhållande, dvs. deras arbetsmiljö.

Vi tillämpar begreppet "operatörer" varför inte alla som kör maskiner ser sig själv som maskinister. På samma sätt tillämpas "yrkesarbetare" som begrepp för de anställda som arbetar nära samman med operatörerna/maskinisterna runt användningen av arbetsmaskiner. Elektriska arbetsmaskiner, maskinister, yrkesarbetare och annan personal som interagerade med de elektriska arbetsmaskinerna observerades på plats och maskinister och yrkesarbetare intervjuades. Platsledningen på siter har blivit intervjuade för att för att projektet bättre skall förstå randvillkoren för arbetet med elmaskinerna.

Slutsatser:

- Den fysiska arbetsmiljön för maskinoperatörerna beror på att merparten elmaskiner, som är testade i projektet, är ombyggda dieselmaskiner. Detta innebär att design av hytten, inklusive utrustning, komfort, design och luftkonditionering till stora delar är desamma på elmaskinerna som på en motsvarande dieselmaskin. Det gäller även åtkomstförhållanden som trappsteg, handgrepp etc.
- Buller är motsatt förväntningen inte en entydig förbättring. Även om el-maskinerna generellt genererar mindre buller, så förändras ljudbilden. Ljudnivån går ner, men

ljusbilden förändras på ett sätt som kan störa operatören för att hydraulikljud framträder när dieselmotorn inte finns längre. I bilaga 1 finns flera referenser till denna viktiga aspekt med såväl bra som dåliga exempel som baseras på hur genomtänkt detta är för respektive maskin.

- När det gäller mer långsiktiga konsekvenser av maskinförarbetet med elektriska maskiner så har detta projekt haft en del begränsningar. De flesta av våra undersökningar är genomförda under en rätt kort tidsperiod med observationer inom en eller två arbetsvecka/-or per maskin/arbetsplats

Bilaga 3 - Operatörers arbetsmiljö

Acceptans

Syftet med analysen är att kartlägga förväntningar, erfarenheter samt att lyfta fram förbättringsförslag. Det gäller tolkningar och värderingar bland operatörer, anläggningsarbetare och arbetsledare/platschefer. På detta sätt undersöks om testerna bidrar till kvalificerad acceptans, och även högre acceptans än tidigare.

Slutsatser

Testerna har bidragit betydligt till utveckling av erfarenheter bland små till medelstora entreprenörer och deras operatörer i Göteborgstrakten. Men också hos Göteborg Stad och NCC. Dessa kunskaper värderar projektet att de bidrar avgörande till en kvalificerad acceptans, alltså en aktörstillgång till elektriska arbetsmaskiner som förstår att maskinerna fortfarande är under utveckling, men att de i nuläget är klara att användas. Denna användning kräver dock också utveckling av operatörskompetenser, men också kompetenser bland den planerande personalen (platschefer, entreprenadingenjörer och arbetsledare). Det är också erfarenheter som kan bidra till acceleration av hållbar omställning inom bygg och anläggning när maskinproducenterna kommer att leverera maskiner i större volymer än i nuläget.

Bilaga 4 - Acceptans

6.3 Systemanalys

En övergång till elektriska arbetsmaskiner är mer än att bara ersätta fossildrivna motsvarigheter en till en. Det är uppenbart att de behöver energiförsörjas med på ett annorlunda sätt och att det sätter randvillkor för byggprocessernas planering och genomförande men även möjligheter för annorlunda organisering och optimering. Electric Worksite har från observationer av enstaka elektriska arbetsmaskiner analyserat områdena energiförsörjning, byggprocesser och hållbarhetsdimensioner.

Energiförsörjning

Genomgående i projektet så har försörjningen av effekt och energi från elnätet inte varit ett hinder undantaget de testfall då anslutning till elnät var för långt bort för underhålls- och skötselverksamhet. Oftast har även strömstyrkan på anslutningar varit i överkant. Testerna har varit mer fokuserade på layout, resursplanering, val av laddlösning, om energilager tillför värde samt när och var ska maskinerna laddas.

För de mindre maskinerna och det ofta mer fragmenterade arbete som de utför så kommer man långt med laddning över natten eller när de står oanvända. Behov av snabbbladdare är mindre och därmed räcker även traditionell byggelsanslutning för att försörja maskinerna om inte antalet blir högre (se ex bild 3). Mellanstora elmaskiner (10-20 ton) som utför intensiva arbetsmoment kommer att behöva supportladdning under arbetsdagen och då snabbladdning. För en större arbetsplats med en tyngre maskinpark innebär det ett ökat antal snabbbladdare och en planering av tid och yta för när respektive maskin ska laddas.

Test av nätansluten bandgrävare visar tydligt att det har sina fördelar i tunga entreprenader i antingen tigha, urbana miljöer med god strömförsörjning och repetitiva, intensiva arbetsmoment

på öppnare ytor där maskinen kan förflytta sig obehindrat längs en rutt. Nätanslutna maskiner har ett lägre resursbehov då det kan räcka med ett mindre hjälp-batteri som t.ex. möjliggör förflyttningar med frikopplad kabel och ett jämnare strömuttag då den inte kräver någon snabbbladning med laddare och högt effektbehov över kort tid. Det har också gett en antydning om högre produktivitet än till och med jämförbara dieselmaskiner.



Bild 3 - Ladduppsättning vid entreprenad på Drottningtorget

En avvikelse i projektet är att vi inte fick testat huruvida ett batterimellanlager kunde avhjälpa följderna av en kabelanslutna maskin såsom att dämpa toppar i effektuttag från elnätet, transienter, reaktiv effekt, etc. Som beskrivet noterades inga större belastningar mot elnätet i de två testfall som utfördes med den kabelanslutna 30-tonsmaskinen. Se vidare i bilaga 1 för djupare beskrivningar. Bedömningen är att marknaden för batterilager fortfarande är under utveckling och idag tillgodoses primärt de grundläggande behoven som att ta med sig kraft ut i fält där elanslutning är svårt eller för att bygga upp elreserver under nattetid som sen kan ladda upp maskiner under arbetstid. Finns tillgängligt elnät med tillräcklig kapacitet så är det oftast att föredra.

Byggprocess

Arbetspaket 4 innehåller en systemanalys av byggprojektet, primärt avgränsad till den fysiska plats där arbetet är beläget. Där finns exempel på överlapp med transport till och från platsen av material och massor, och dessa ingår när de är en del av aktiviteten på plats.

Undersökningen i AP4 inkluderade besök och datainsamling på 10 anläggningsarbetsplatser i urban miljö, i Göteborg från augusti 2021 till september 2023. Arbetsaktiviteten och energiförbrukningen för elektriska arbetsmaskiner observerades och kontextualiserades inom hela platsen (systemavgränsningen). I allt rörde det sig om 6 olika el-arbetsmaskiner.

Bilaga 5 - Byggprocess

Hållbarhetsanalys

Omställningen till elektrifiering är en viktig del i klimatarbetet för bygg- och anläggningsbranschen. Framöver kommer fler och fler byggprojekt använda elektriska fordon och maskiner. Införande av ny teknik skapar nya förutsättningar och utmaningar för projekten. Vid övergång till användning av elektriska maskiner och fordon kan andra, nya

hållbarhetsaspekter aktualiseras, där kunskapen ännu är begränsad. Det kommer därför vara viktigt att vid övergång mot elektrifiering arbeta brett med hållbarhetsaspekter. Syftet med denna studie har varit att ta fram en metod för hållbarhetsanalys för att öka kunskaperna om hållbarhetsaspekterna vid arbete med fossilbränsle drivena respektive elektriska arbetsmaskiner. Målet med arbetet har varit att utveckla en metod för hållbarhetsanalys som kan tillämpas av beställare eller entreprenörer vid planering av byggprojekt för att på ett systematiskt sätt identifiera och hantera hållbarhetsaspekter kopplat till fossilbränsle drivena och elektriska maskiner.

Arbetet med att ta fram en metod för hållbarhetsanalys har bestått av litteraturstudier, workshoppar och multikriterieanalys. Information har även hämtats från tester med elektriska maskiner inom Electric Worksite II. Metoden har sedan använts i en scenarioranalys där olika maskinalternativ, både elektriska och bränsle drivena maskiner, jämfördes för att hitta den bästa lösningen för ett byggprojekt och för att identifiera områden där det behövs åtgärder för att förbättra hållbarhetsprestandan. Studien har visat att den framtagna metoden kan ge stöd till beslut och bättre förståelse av hållbarhetsperspektivet vid val av maskiner och energiförsörjning på en byggplats.

För att förbättra och underlätta användningen av metoden behöver användaren vara noga med beskrivning och dokumentation av studiens scope och de metodval och avgränsningar som görs. Tillgång till data är en begränsande faktor för vilka aspekter som kan inkluderas i analysen, men med tiden kommer det finnas fler referensprojekt kring elektrifiering och då kommer mer data finnas tillgänglig. Det finns exempelvis behov av att öka kunskapen om kostnader vid elektrifiering. Vi föreslår att metoden testas ytterligare i ett verkligt, helelektrifierat projekt för att kunna utvärdera användarvänlighet, behov av förbättringar och uppdatering utifrån nya erfarenheter och lärdomar av elektrifiering.

Slutsatser

- Den framtagna modellen kan ge stöd till beslut och bättre förståelse av hållbarhetsperspektivet vid val av maskiner och energiförsörjning på en byggplats
- Omfattningen av hållbarhetsanalysen styrs i hög grad av vilka frågor användaren prioriterar och begränsas av vilken data som användaren kan få tillgång till
- Det är viktigt att användaren dokumenterar hur arbetet med val av kriterier och poängsättning har gått till, då dessa val får stor betydelse för resultaten
- Metoden ställer stora krav på användaren att kritiskt granska utfallet, och bejaka hur val av scenarier, viktning och poängbedömning påverkar resultaten
- Arbetssättet vid framtagande av metoden EW II (litteraturstudier, workshoppar och intervjuer med projektets aktörer) har resulterat i en omfattande kunskapssammanställning gällande hållbarhetsaspekter som kan vara relevanta
- Det finns behov av att öka kunskapen om kostnader vid elektrifiering i projekt och att sådan data kan även stärka den utvecklade metoden

Bilaga 6 - Electric Worksite II Metodutveckling för Hållbarhetsanalys

6.4 Förberedelse helelektrifierad bygg- och anläggningsplats

Som ett tänkt nästa steg har projektet tittat på potentiella bygg- och anläggningsplatser som skulle kunna vara demonstrationsplats. Djupare diskussion och analys har gjorts på projekt i Göteborgsregionen; Gibraltarvallen, Forsåker och Selma Stad. Projektpartnererna har dessutom fört fram byggprojekt som kan ligga rätt tiden och framför allt i ambitionsnivå. Electric Worksite har haft två workshops tillsammans med projektparter i ELECTRA för att identifiera synergier med olika typer av byggtransporter och deras behov kopplat till elektrifiering av lastbilsflottan.

Gibraltarvallen

I Chalmers Johannebergs sydöstra campusområde ligger parkeringsytan Gibraltarvallen längs Gibraltargatan (översikt i bild 4). En ny detaljplan är antagen och byggherrarna är främst Akademiska Hus samt HSB och Riksbyggen. I arbetet med byggherrarna så finns ambitionen att jobba mer med utsläppsfria maskiner och transporter men ekonomin, och nu även konjunkturen, jobbar emot de merkostnader och osäkerheter som elektrifierade lösningar för med sig. Det konstateras även att projektet har mindre behov av samordnad bygglogistik och det finns en komplexitet att koordinera tre aktörer som inte alltid ligger i fas.



Bild 4 - Gibraltarvallen

Forsåker

Forsåker är ett stadsutvecklingsprojekt i Mölndals Stad där det tidigare stod ett pappersbruk (se bild 5).

Planen är en blandstad med bostäder, kontor och viss verksamhet. Konsortiet har höga ambitioner och det finns en grund att i de tidiga skedena dela på insatser. Det som gör Forsåker intressant är att det finns en potentiell koppling mellan de tidiga anläggningsarbetena och masshantering med hjälp av Swerocks täkt i Lindome. Det öppnar upp för en kombinerad elektrifiering av arbetsmaskiner och de schaktbilar som ska transportera till och från byggsite liksom delad infrastruktur för laddning; elnät, snabbladdare, energilager.



Bild 5 – Forsåker, Mölndals Stad. Svart inramning aktuell detaljplan. Röd inramning kommande detaljplan.

Det har också gjorts uppskattningar på både transportfordon och maskiner för caset Forsåker (bild 6 och bild 7):

		Byggarbetsplats		200 lgh (1,2, 3motsvarar)		16000 kvm BTA											
		Antal	Storlek (kg)	Drifttid per dag (h)	Dagar per månad	Effekt (kW)	Batterikapacitet (kWh)	Körsträcka på fulladdat batteri (km)	Körsträcka på fulladdat batteri (km)	Körsträcka/levresa (mil)	Totalt antal mil/dag	kWh/mån	kWh/m ² /mån	Var/hur laddar den?	Kommentar		
mark	9 mån																
	Schaktbil alt. Schaktrailers	1	28000	8	10,000	400	400	260	15,4	10	40	6154	0,38	Depot laddning (fördelaktigt vid byggarbetsplatsen vid varje cykling, 2ggr/dag)	300kWh Antagit en medelhastighet på 50 km/h under en arbetsdag		
grund	5 mån																
	Lastbil, betongbil	3	32000	8	2	400	400	200	20		40	4800	0,30	Depot laddning (fördelaktigt vid byggarbetsplatsen under själva betong tömningen, alt. 2 vid betong producenten)	5 månader Antagit en medelhastighet på 50 km/h under en arbetsdag		
	Pumpbil	1	26000	6	2	400	400	240 (om laddning kan ske på byggarbetsplats vid pump drift)	16,67		30	1000	0,06	Laddas/drivs fördelaktigt på byggarbetsplatsen	5 månader Med största sannolikhet inte möjligt att elektrifiera i närtid pga. Extremt hög effekt uttag av Power Take-Off (PTO)		
stomme	8 mån																
	Lastbilar	5	34 meters, 6	1,57	20	600	600	260	23,08	10	10	23077	1,44	Laddas vid distributören (depot laddning)	Stomme 8 månader. Betongelement, balkar		
	Lastbilar, leveranser	2	Lastbil utan	3	20	400	400	300	13,33	10	20	10677	0,67	Laddas vid distributören (depot och snabb laddning)	2 leveranser per dag i snitt		
	Lastbil leverans fönster, gips,	1	Lastbil med	1,5	4	600	600	300	20,00	10	10	800	0,05	Laddas vid distributören (depot laddning)	1 leverans per vecka		
	Lastväxlare, tippflak.	1	Lastbil utan	1,5	12	400	400	280	14,29	10	10	1714	0,11	Laddas vid distributören (depot och snabb laddning)	3 transporter i veckan. Snitt 70km/h??		
stomkomplettering	15 mån																
	Flytpackning, pumpbil	1	Lastbil utan	9	11	400	400	220 (om laddning kan ske på byggarbetsplats vid pump drift)	18,18	10	18	3600	0,23	Laddas vid distributören (depot och snabb laddning), samt PTO laddning på byggarbetsplatsen	300 kW betongpump. Totalt 11 tillfällen, står på tomgång hela dagen vid dessa tillfällen. Fossildriven. Antagit en medelhastighet på 20 km/h under en arbetsdag, medräknat tomgång		

Bild 6 - Forsåker, uppskattning av elektrifierade transporter

		Antal	Storlek (kg)	Drifftid per dag (h)	Dagar per månad	Storlek på batteri (kWh)	Max effekt (kW)	Arbets-effekt (kW)	Stillastående (%)	Drifftid batteri (h)	Uppskattad medel effekt (kW)
Markarbete 9 mån	Grävmaskin		38000								
	Grävmaskin	2	25400	8	20	450	140,00	105,00	30%	6,1	73,5
	Grävmaskin		1902								
	Hjullastare	1	10000	8	15	90	55,00	41,25	30%	3,1	28,9
	Pålmaskin*		71900								
	Dumper	1	605	8	10	20	12,00	9,00	30%	3,2	6,3

Bild 7 - Forsåker, uppskattning av arbetsmaskiner markarbete

Selma Stad

Selma Stad på Hisingen är ett förtätnings- och upprustningsprojekt av en stadsdel som präglats av miljonprogrammen (se bild 8). En dominerande byggherre i sammanhanget är Göteborgs Stads allmännyttiga bolag Framtiden Byggutveckling. Electric Worksite har inte haft någon testsite med bostäder och därför är det intressant att ha det som nästa steg i utvecklingen. Tillsammans med Göteborgs Stads ambition att bygga så fossilfritt som möjligt så kan utsläppsfria arbetsmaskiner och transporter bidra starkt. Möjlighet till kombination med etablering/upprustning av grönytor i området från Stadsmiljöförvaltningen adderar en extra dimension till möjligheter med olika maskintyper och delade lösningar i området.



Bild 8 - Selma Stad, Hisingen, Göteborg

6.5 Replikering

Projektet har präglats av en kontinuerlig diskussion om vad som får efterfrågan och marknaden för elektriska entreprenader att öka. Det är nyttigt för de olika parterna att ta del av andras infallsvinklar och insiktsfulla erfarenheter och kunskaper av vad som styr och/eller driver marknadsutvecklingen.

Electric Worksite arrangerade, tillsammans med projektet ELECTRA, en workshop på temat "Upphandling elektriska transporter och entreprenader" där erfarenheter presenterades för cirka 30 deltagande personer:

- Fabian Wrede, ABT-Bolagen (ELECTRA, Norra Djurgårdsstaden)
- Emil Björklund, Göteborgs Stad Stadsmiljöförvaltningen (Electric Worksite)
- Tobias Larsson, NCC (Oslo)
- Fredric Norefjäll, RISE (Infrastrukturprojekt Trafikverket)

Några samlade rekommendationer från övningarna:

- Säkerställ förutsättningarna för utsläppsfritt projekt, nätkapacitet, ytor, laddpunkter
- Anbudstider kan behöva förlängas eller samverkansavtal
- Följ upp efterlevnaden! Ställ tydliga krav och följ upp
- Ställ relevanta krav på klimatpåverkan
 - 100% Fossilfritt + Bonus utifrån hur stor del av projektet som blev utsläppsfritt
 - Krav på få transporter, maskintimmar, bränslemängder etc
 - Premiera maskiner som kan användas till flera olika arbetsmoment
- Var konsekvent i kravställningen i kommande anbud
- Nya affärsmodeller

Värt att nämna är att Stadsmiljöförvaltningen, Göteborgs Stad går på helelektriska entreprenader och ser att, för kompakmaskiner, är kostnaderna i det närmaste lika mellan el- och dieselalternativ. Dessutom, gick de i slutet av projektiden ut med en upphandling där specifikt elektrifierade lösningar efterfrågades.

<https://www.electricitygoteborg.se/sv/nyheter/upphandling-eldrivna-arbetsmaskiner-oppn-i-goteborg>

6.6 Kommunikation och disseminering

Electric Worksite har kontinuerligt under projektet kommunicerat sina aktiviteter via digitala och sociala medier, arrangera egna events och hantera besök, medverka vid andras events samt genomfört en slutkonferens.

Projektet tog ett första avstamp i en av de första siterna – Färjenäsparken – där två kompaktmaskiner, en bandgrävare och en hjullastare sen testades (se bild 9). Eventet var välbesökt och tiden efter var det flera besök på plats, alltifrån politiker till internationella studiebesök.



Bild 9 – Lansering i Färjenäsparken sep 2021

Första dagarna i december 2021 var Göteborg värdar för EU-nätverket POLIS och då passade projektet på att visa upp några kompaktmaskiner och prata med besökare från hela Europa. Entreprenaden på Drottningtorget nyttjades också i kommunikation av projektet och som ett gott exempel på hur elektriska arbetsmaskiner har en radikalt mindre påverkan på sin omgivning mitt i den urbana stressen utanför Göteborgs Centralstation (se bild 10).



Bild 10 - Hjullastare på Drottningtorget

I samband med entreprenaden på Nelickevägen intill Liseberg passade man på att filma prototypmaskinen och intervjua såväl operatörer som platsansvariga. Materialet har en intention att användas av Volvo mot kunder, intressenter och inom projektet för att belysa användarnas upplevelser. Samlingen hölls internt med hänsyn till att den testade maskinen var en prototyp.

Electric Worksite blev hösten 2022 inbjudna och medverkade i seminarium arrangerat av Swedish Community for Sustainable Finance vid Handelshögskolan i Göteborg. Det finns återgivet i ett poddavsnitt där olika aktörer medverkar från entreprenadbranschen, batteriindustrin och finanssektorn.

<https://www.electricitygoteborg.se/sv/nyheter/podd-mojligheter-och-utmaningar-med-eldrivna-arbetsfordon>

I jun 2023 fick Göteborg äntligen fira sitt 400-årsjubileum ett par år försenat och som en del av jubileumsprogrammet satte staden fokus på hållbara resor och transporter där Electric Worksite var ett naturligt inslag både i ett seminarieprogram 5 juni och under hela jubileumshelgen då ett par elektriska maskiner var utställda för allmänheten att titta på och provköra. Uppskattningsvis 2000 personer tog chansen att titta, ställa frågor och pröva maskinerna. Speciellt uppskattat bland barnfamiljer.

<https://goteborg2023.com/hur-ska-goteborg-fa-till-hallbara-resor-och-transporter/>

Electric Worksite arrangerade tillsammans med systerprojektet ELECTRA en slutkonferens i september 2023. Arenan var The Yard på Lindholmen så vi kunde rulla in och visa upp både hjullastaren L25 och bandgrävaren ECR25. Cirka 120 deltagare med bred uppslutning från såväl det offentliga, akademi/institut som det privata från storindustri till enskilda maskinentreprenörer. Erfarenheter delades och insikter återgavs samt en bra, framåtriktad diskussion avrundade dagen. Materialet återfinns på projektsidan.

<https://www.electricitygoteborg.se/sv/byggarbetsplatser/electric-worksite>

Projektets bidrag till FFIs program mål

Projektet bidrar till följande övergripande FFI-mål:

- att öka forsknings- och innovationskapaciteten i Sverige, att främja branschöverskridande samverkan samt samverkan mellan industri och universitet, högskolor och institut.

I dagsläget finns det relativt få elektrifierade arbetsmaskiner på marknaden och begränsad förståelse för hur de kan tillämpas i olika miljöer samt vilken påverkan elektrifieringen har ur ett system- och byggprocessperspektiv. Parterna i projektet består av aktörer inom näringslivet, akademin och offentliga sektorn och med branschöverskridande kompetens inom fordonsutveckling och samhällsbyggnad. Innovationshöjden i projektet ligger primärt på att öka kunskapen för att få fram lösningar på systemnivå där parterna är aktivt med och bidrar med kompetens och expertis. Detta sätter Sverige i framkant både inom utveckling av elektrifierade arbetsmaskiner men också inom bygg- och anläggningsbranschen. I tillägg kommer det att krävas ny kompetens och nya arbetstillfällen för att möjliggöra en omställning till helt elektrifierade byggarbetsplatser.

Projektets bidrag till FFI Energi och Miljös mål och programområden

Projektet bidrar till att introducera energieffektiva och miljövänliga lösningar i bygg- och anläggningsbranschen. Elektriska arbetsmaskiner har en stor potential att kraftigt minska utsläpp av växthusgaser jämfört med dieselalternativ. Dessutom kommer övergången till elektrifierade arbetsmaskiner bidra till en minskning av andra emissioner, som kväveoxider, partiklar och buller. Detta är särskilt relevant i känsliga områden i stadsmiljön där gränsvärdena för emissioner är höga. Electric Worksite II kommer att bidra till flera programområden såsom, 4.1.1 batterisystem, 4.1.4 laddbara fordon och 4.4.2 systemstyrning för fordonets energisystem, 4.4.3 direkt miljö- och hälsopåverkan (buller, däckemissioner mm) och 4.4.4 Hållbarhet Livscykelanalys.

7 Spridning och publicering

7.1 Kunskaps- och resultat spridning

Hur har/planeras projektresultatet att användas och spridas?	Markera med X	Kommentar
Öka kunskapen inom området	x	Alla medverkande parter tar med sig lärdomar och spridning av erfarenheter från andra projektpartners
Föras vidare till andra avancerade tekniska utvecklingsprojekt	x	Parallellt med Electric Worksite har flertalet av parterna medverkat i ELECTRA (finansierat av Vinnova) där man analyserat elektrifiering och effektivisering av elektrifierade byggtransporter. Vi ser flera synergier och överlapp som vi vill ta tillvara i ett kommande kombinerat projekt med elektrifierade arbetsmaskiner och elektrifierade byggtransporter.
Föras vidare till produktutvecklingsprojekt	x	Se ovan.
Introduceras på marknaden	x	Under projektets gång har maskiner lanserats och lärdomar från testade prototypmaskiner kommer att tas med i framtida lanseringar.
Användas i utredningar/regelverk/ tillståndsärenden/ politiska beslut	x	Projektet har återfört mycket kunskap till kommunala aktörer som vi identifierar som nyckelaktörer som planerande myndighet, väghållare, stor upphandlare samt huvudman för att utveckla och effektivisera ytor.

7.2 Publikationer

Publicerade artiklar:

Bahnariu, B., Kifokeris, D., Aqel, S., and Koch, C. (2022). Little big transitions: electric construction machines in small sites. In: Tutesigensi, A., and Neilson, C.J. (eds.). Proc. 38th Annual ARCOM Conference (542-551). Glasgow: ARCOM.

Koch, C., and Kifokeris, D. (2021). Heavy-duty construction equipment – dinosaurs of black energy? In: Scott, L., and Neilson, C.J. (eds.). Proc. 37th Annual ARCOM Conference (694-703). Online: ARCOM.

Publiceras under 2023:

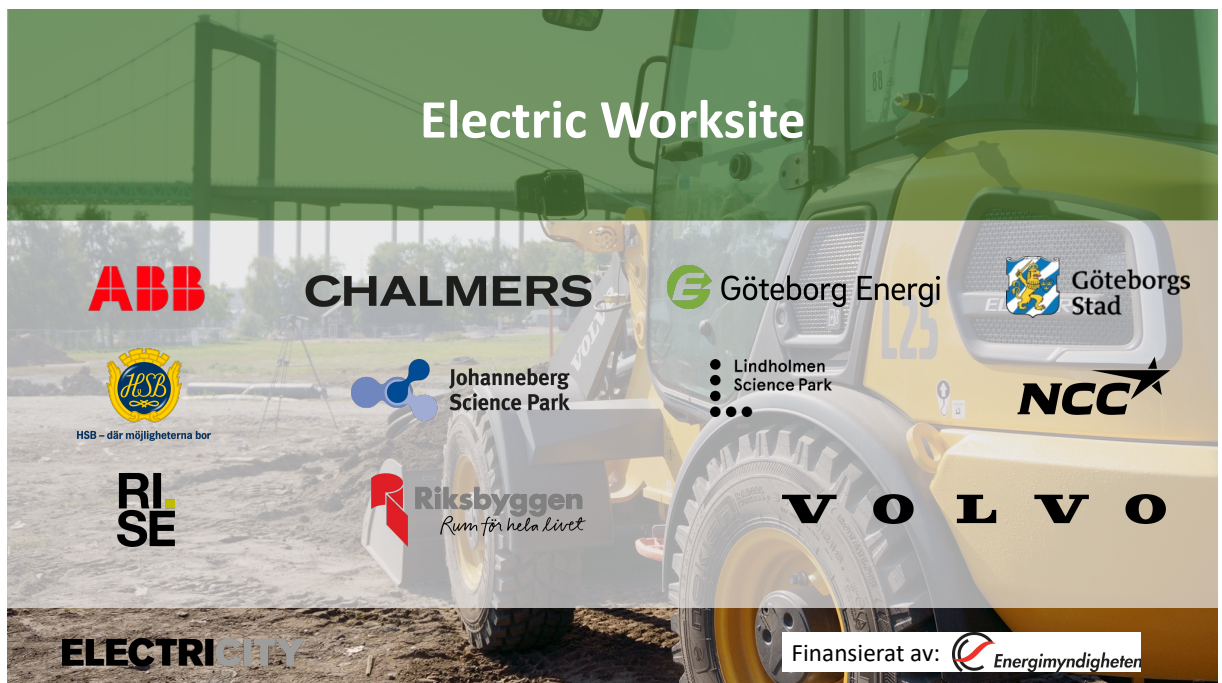
Koch, C., and Kifokeris, D. (2023). Sustainable transition of civil engineering - just new machines or a need for a change of regime? In: Proc. Global Cleaner Production Conference, Shanghai, China, 09-11 November 2023. Shanghai: Elsevier.

Planerade publikationer:

Journal article for the special issue "Accelerating Built Environment Sustainability: Proactive Research, Policies and Procurement" in the journal Built Environment Project and Asset Management.

8 Deltagande parter och kontaktperson

ABB
Chalmers tekniska högskola
Göteborg Energi
Göteborgs Stad
Göteborgs Stads Leasing
HSB
Högskolan i Halmstad
Johanneberg Science Park
Lindholmen Science Park
NCC
RISE Research institutes of Sweden
Riksbyggen
Volvo Construction Equipment



Lindholmen Science Park, Lars Bern, lars.bern@lindholmen.se, 0702-958974

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 arbetsschemulering 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, elnättillgänglighet, elnätkommunikation, smarta elnät, mellanenergilagring och arbetsplatsplanering, inklusive el- och energiplanering

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.

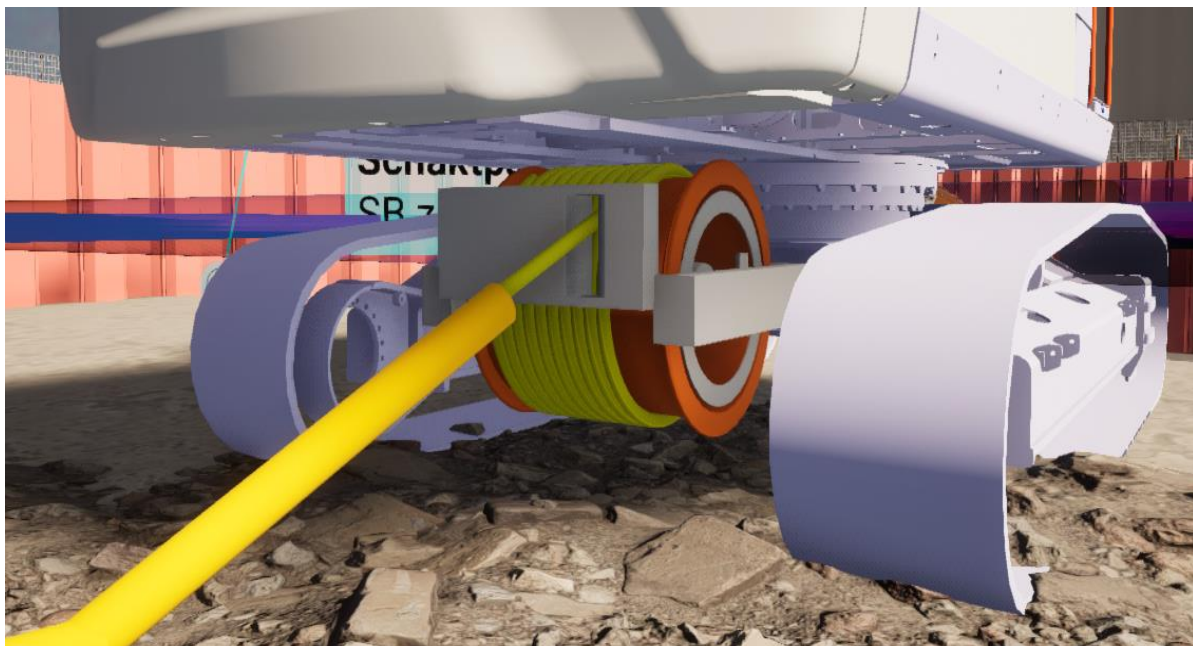
Redan från början var det tydligt att en stor utmaning för en nätansluten maskin på en byggarbetsplats är kabelhanteringen och de begränsningar kabeln innebär. För att framgångsrikt kunna utföra arbete med dessa randvillkor är nyckeln längre planeringshorisont och överlag mer nogsam planering, med kabelhanteringen 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.



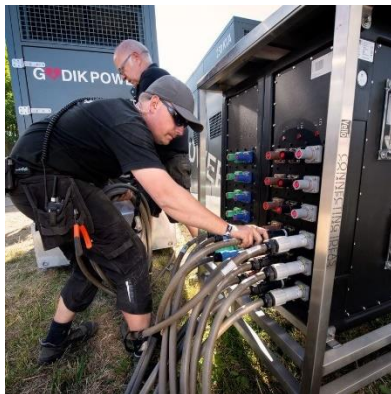
Figur 6 - Kabeltrumma, första konceptet i simuleringsmiljö

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	

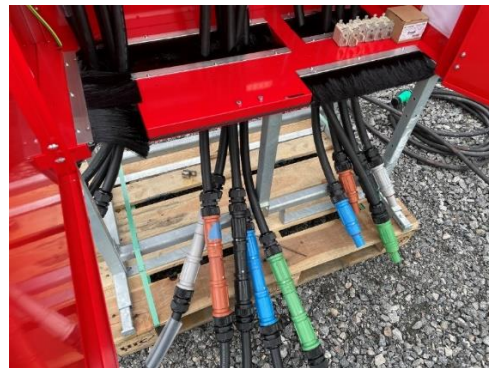


Figur 7 - Första träningstillfället med maskinsystemet i Göteborgs hamn

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

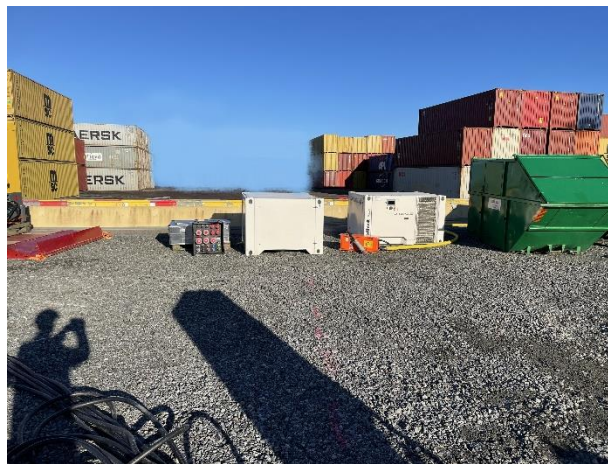
Intentionen med det första träningsscenariot i hamnen var huvudsakligen att testa hela systemet tillsammans med den maskinist som senare i projektet var ämnad att testa maskinen på den riktiga arbetsplatsen, "Habitat 7". Betydelsen av att inkludera maskinisten i denna övning specifikt var mycket lärorikt, 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

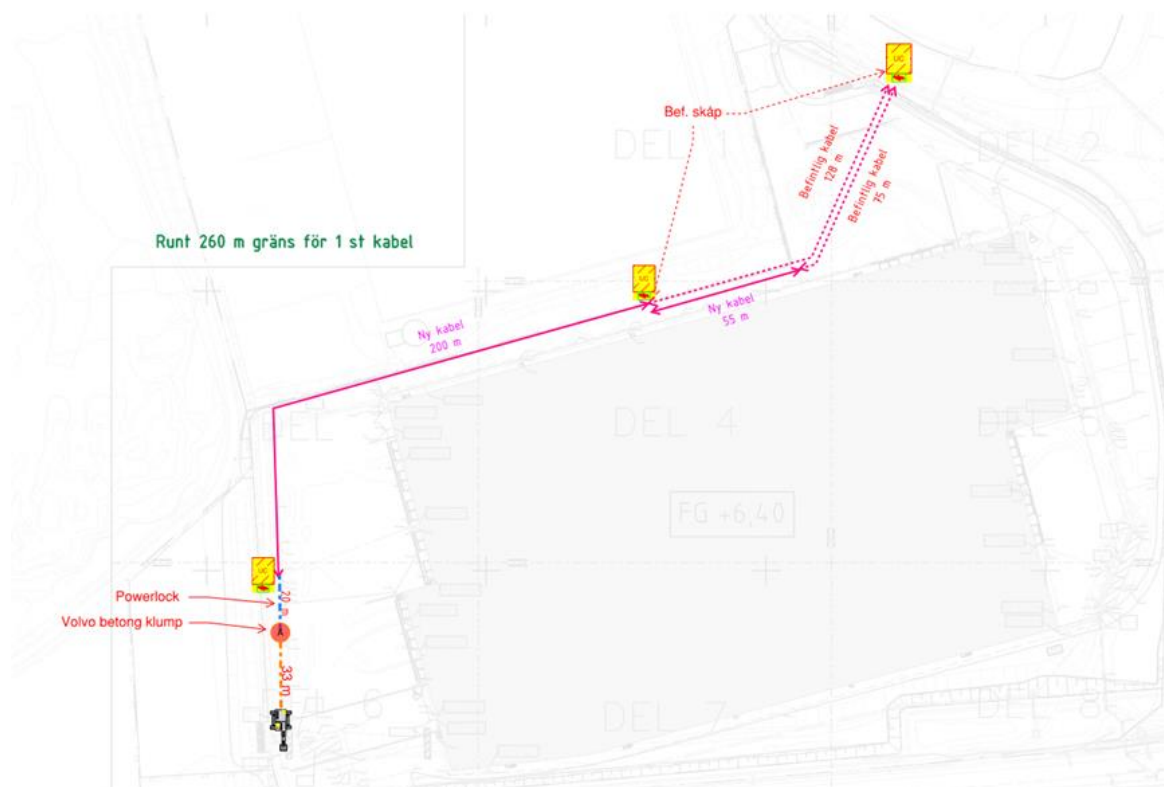
På grund av den nogsamma planeringen, se Figur 14, och det initiala träningsscenariot i hamnen tillsammans med maskinisten så blev det skarpa testet på Habitat 7 väldigt lyckat. Power-Lockkablarna och distributionsskåpet anses vara en nyckel som möjliggjorde att maskinisten själv kunde förflytta sin 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

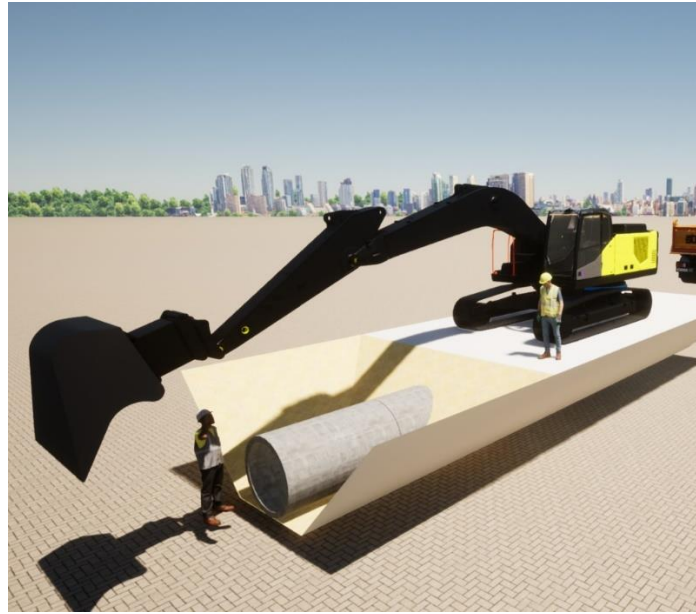
I detta fall opererades maskinen av en annan maskinist än på Habitat 7, vilket visade sig, med lärdomar från tidigare test, att en kort maskinsystemintroduktion avhjälpade eventuella kunskapsgap varpå maskinen klarade av sin primärapplikation väl. Produktiviteten, utlastat material per timme, överskred 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



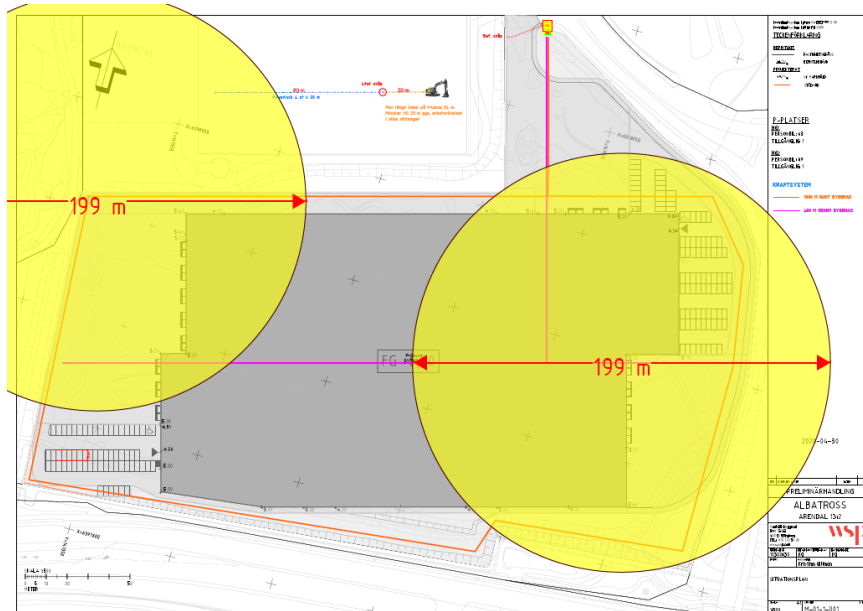
Figur 17 - Dikesgrävning, simulering

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.

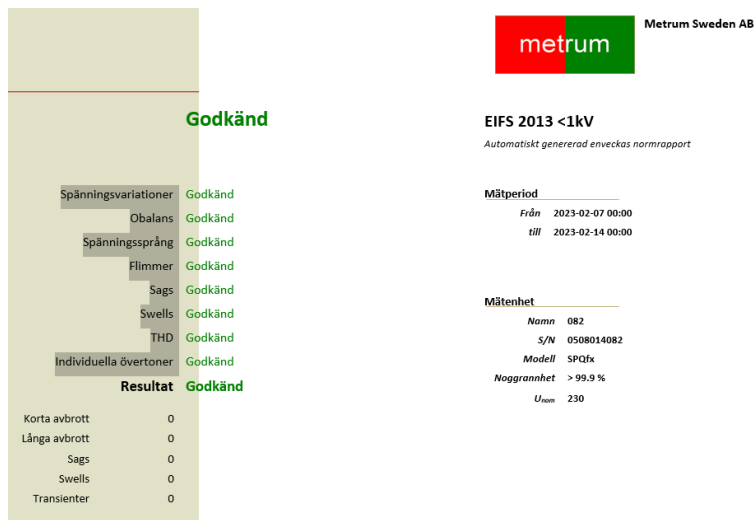
På konceptnivå utreddes hur den elektriska infrastrukturen på "Albatross" borde planeras för att kunna genomföra alla uppgifter på arbetsplatsen emissionsfritt med nätanslutna maskiner. Denna analys visar att det är möjligt, men kräver fler inkopplingspunkter till nätet och att ett mindre energilager 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)

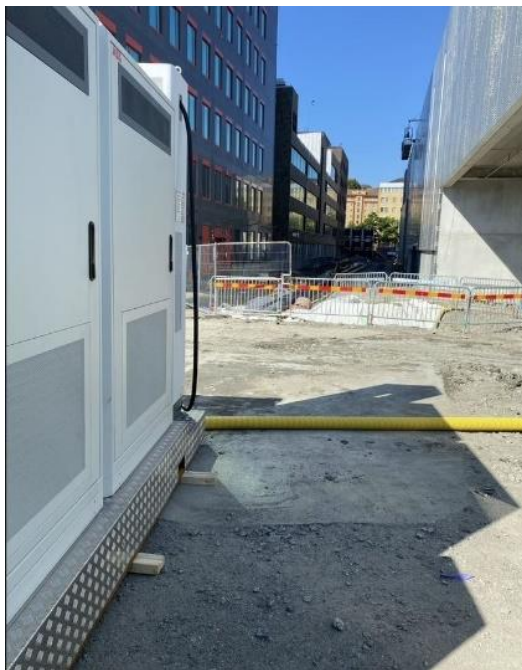
Inom ramen av projektet testades även en större prototyp av hjulgrävare på ~15-16ton. Maskinen testades på två väldigt olika arbetsplatser inom staden;

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 prototypjulkgrävare 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 mätetalet. 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 - Batterieelektrisk 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 effekttillgång i nätet, så finns det effektutjämningslösningar tillgängligt, i form av energilagarsystem liknande de som testats i projektet.



Hur påverkar hälsoeffekter planeringen av elektrifierade byggarbetsplatser?

Sara Janhäll, Anders Genell och Hanna Askemar

RISE Rapport 2023: 108

Hur påverkar hälsoeffekter planeringen av elektrifierade byggarbetsplatser?

Sara Janhäll, Anders Genell och Hanna Askemar

Abstract

How does health and environment affect electrification of working sites?

Electrification of construction sites mainly relates to climate emissions, but the local environment is also affected through reduced emissions of exhaust gases and engine noise. This work presents a way to take into account both noise and air pollution in the choice of which work machines should be electrified in the first place. The work is based on interviews and literature about emissions from different types of work machines, about how decisions about which work machines are used in different types of contracts are made, as well as current legislation about noise and air pollution and the exposure that people are at risk of being exposed to in different situations.

The project also presents a first draft of a model to be able to compare different working equipment, but does not go into how noise and exhaust gases should be valued between each other, nor on emission factors for the combustion engines that the electric work machines are expected to replace. Instead, the focus is on identifying the decision-making paths and aligning the various expert areas of noise and air in the choice of which work machine should be prioritized for electrification.

Key words: electrification, construction site, air quality, noise, planning

Nyckelord: elektrifiering, byggarbetsplats, luftkvalitet, buller, planering

RISE Research Institutes of Sweden AB

RISE Rapport 2023:108

ISBN: 978-91-89821-88-0

Omslagsbild: Sara Janhäll

Borås 2023

Innehåll

Abstract	1
Innehåll	2
Förord	3
Sammanfattning	4
1 Bakgrund	5
2 Metod	6
2.1 Vem kan ställa krav på elektrifiering av arbetsmaskiner?	7
2.2 Modeller för att planera prioriteringen av elektrifiering av arbetsmaskiner	7
2.2.1 Spridningsberäkningar.....	7
2.2.2 Prioriteringsmodellen	7
3 Resultat	8
3.1 Vilka processer kan identifieras att ge störst förbättring vid elektrifiering?.....	8
3.1.1 Variabler som påverkar emissionerna	9
3.1.2 Spridningsberäkningar.....	10
3.1.3 Andra emissioner av buller och damm som inte påverkas av elektrifieringen.....	11
3.2 Resultat -Hur kan prioriteringen genomföras praktiskt?	11
3.2.1 Prioriteringsmodellen	12
3.3 Resultat -Vem har rätt att ställa krav på prioritering?	14
3.3.1 Kommuners ansvar för halter av luftföroreningar och nivåer av buller ...	15
3.3.2 Kravställning mha planmonopolet.....	19
3.3.3 Kravställning vid upphandling, styrdokument	19
3.3.4 Kravställning vid upphandling, process	21
4 Diskussion	21
5 Slutsats	23
6 Referenser	24
Lagar och standarder:.....	25
Bilaga 1 – Beslutsstödsmodell	1

Förord

Denna rapport redovisar delar av arbetet i AP3 i projektet Electric Worksite II. Huvudprojektet presenteras i flera rapporter där Elektrifierade Bygg- och anläggningsplatser II är den centrala rapporten. Electric Worksite II vill visa hur elektrifierade arbetsmaskiner av olika slag kan integreras i både större och mindre anläggningsprojekt samt för löpande underhållsarbete så som snöröjning. Hantering av luftkvalitet och buller hamnar ofta mellan stolarna när elektrifiering diskuteras, vilket är särskilt vanligt när det gäller utsläpp från tillfälliga verksamheter såsom byggarbetsplatser. Därför ämnar det här arbetspaketet att belysa hur luft och buller kan hanteras på ett enkelt och effektivt sätt.

Författarna vill uttrycka sin tacksamhet till alla de respondenter som har intervjuats och deltagit i diskussioner och frågeställningar, samt till Energimyndigheten som har finansierat studien.

Sammanfattning

Elektrifiering av byggarbetsplatser relaterar främst till klimatutsläpp, men närmiljön påverkas också genom minskat utsläpp av avgaser och motorbuller. Detta arbete redovisar ett sätt att ta hänsyn till både buller och luftföroreningar i valet av vilka arbetsmaskiner som ska elektrifieras i första hand. Arbetet baseras på intervjuer och litteratur kring utsläpp från olika typer av arbetsmaskiner, kring hur beslut om vilka arbetsmaskiner som används vid olika typer av entreprenader fattas samt till gällande lagstiftning kring buller och luftföroreningar och den exponering som människor riskeras att utsättas för i olika situationer.

Projektet presenterar också ett första utkast på en modell för att kunna jämföra olika arbetsmaskiner, men går inte in på hur buller och avgaser ska värderas mellan varandra, och inte heller på emissionsfaktorer för de förbränningsmotorer som de elektriska arbetsmaskinerna beräknas ersätta. Istället är fokus att identifiera beslutsvägarna och jämka ihop de olika expertområdena buller och luft i valet av vilken arbetsmaskin som ska prioriteras vid elektrifiering.

1 Bakgrund

I dagsläget beräknas arbets- och anläggningsmaskiner bidra till en femtedel av transportsektorns utsläpp (WSP, 2020). Utan åtgärd kan andelen uppgå till hälften fram till år 2050. Målsättningen för bygg- och anläggningssektorn i Sverige är att minska utsläppet av växthusgaser till nettonollutsläpp år 2045 (WSP, 2020). Elmaskiner och maskiner som drivs med biobränslen är en nyckel för minskade klimatutsläpp men, med avseende på luftkvalitet och buller har de flesta maskiner som drivs med biodrivmedel i princip samma egenskaper som fossila fordon.

Klimatpåverkan är nämligen en icke-lokal effekt, det spelar ingen roll var utsläppen sker utan det är en total minskning som är eftersträvansvärd. Emissioner av buller och luftföroreningar är däremot lokala och sprider sig inom ett område i närheten av, i det här fallet, arbetsmaskinen. För att bedöma var en elektrifierad arbetsmaskin gör mest nytta avseende luft- och bullerstörningar behöver man därför ta hänsyn till geografi och närliggande verksamheter, det vill säga för risken att till exempel närboende eller andra personer exponeras för föroreningarna. Detta avspeglas redan i Naturvårdsverkets rekommendationer om buller från byggarbetsplatser som utgör en 'best practise' för att uppfylla kraven i Miljöbalken. Rekommendationerna anger att till exempel skolor och sjukhus är extra känsliga för buller vissa tider på dygnet. Motsvarande krav finns inte tydligt angivna för luftföroreningar, men resonemanget om risk för exponering kan tillämpas även där.

I Göteborgs stads miljö- och klimatprogram finns generellt uppsatta mål för att minska exponeringen av luftföroreningar för människor där de spenderar mycket tid, vid bostäder och följt av barns extra utsatthet även vid förskolor (Göteborgs Stad, 2023). Vägtrafik anges som det enskilt största bidraget till luftföroreningar på dessa platser. En bygg och anläggningsplats är, om än tillfällig, ett tillskott till de redan existerande föroreningarna på en specifik geografisk plats som riskerar att höja föroreningskoncentrationer på redan utsatta platser än mer. Målsättningen i Göteborg är att minska utsläpp av växthusgaser ur ett livscykelperspektiv från ny- och ombyggda byggnader och anläggningar i Gbg stads regi samt vid ny-exploatering på mark med markanvisningar ska minska med 50 % koldioxidekvivalenter/m² till 2025, och 90 % koldioxidekvivalenter/m² till 2030.

De miljökrav som ställs på bygg- och anläggningsplatser når inte alltid sin fulla potential på grund av bristen av systematisk uppföljning (WSP, 2020). I diskussion med branschpersoner blir det också påtagligt att just uppföljning av uppsatta krav ger anbudslämnaren tydligare incitament att följa dessa, bland de många andra krav som ställs på bygg- och anläggningsplatser.

Utsläpp från arbetsmaskiner regleras i svensk lag (1998:1707) och avgaskraven för traktorer och arbetsmaskiner har senare införts gemensamt i EU. Reglerna finns förordning (EU) nr 2016/1628, tidigare direktiv 97/68/EG (för arbetsmaskiner), samt i förordning (EU) nr 167/2013 för traktorer. Stegnivåerna återfinns i förordningen 1998:1709. Förordningen baseras på EU:s regelverk och anger emissionskrav för maskiner utifrån vilken motoreffekt maskinen har (Trafikverket, 2018).

År 2021 rapporterade Sveriges meteorologiska och hydrologiska institut att det fanns ett 100-tal elektrifierade kompakta grävmaskiner och hjullastare inom bygg- och

anläggningsbranschen (Mawdsley & Helbig, 2021). Även andra branscher jobbar med elektrifiering av arbetsfordon och flera projekt har bedrivits på ämnet. Projektet Electric Worksite II ingår i en samling av initiativ kopplade till elektrifierade arbetsmaskiner, besläktade projekt är till exempel Electric Infrastructure, Electric Farm och Electric Site. Målsättningen är gemensam: att öka användandet av elektrifierade arbetsmaskiner inom dessa områden. Frågor kopplade till luft och buller har inte behandlats specifikt i dessa projekt, även om generella förbättringar kopplade till både buller och luftkvalitet har noterats.

Generellt förbättras ljudbilden kring en arbetsplats då arbetsmaskiner elektrifieras i och med att bullriga dieselmotorer ersätts med tysta elmotorer. Samtidigt kvarstår de ljud och främst damning som själva arbetet ger upphov till (t.ex. stenkrossning, pålning, spontning mm). Det finns också exempel på projekt där den elektrifierade arbetsmaskinen hade ett mer besvärande ljud än den fossildrivna, dock inte starkare. Detta kan möjligen härledas till hur den elektrifierade arbetsmaskinen är utformad – genom att låta elmotorer direkt ersätta dieselmotorer finns andra komponenter t.ex. hydraulpumpar kvar som kan vara relativt högljudda. Med avsaknad av buller från dieselmotorn framstår det vinande ljudet från en hydraulpump ännu tydligare, vilket kan upplevas mer störande. Dessutom finns en förväntning om hur en arbetsmaskin låter, och hur ljudet relaterar till maskinens drift och kapacitet. En elektrifierad arbetsmaskin riskerar att framstå som kraftlös eller till och med delvis ur funktion om den förväntade akustiska återkopplingen saknas. Detta försvinner normalt när en majoritet av maskinförare har fått erfarenhet av elektrifierade arbetsmaskiner. Dessa frågeställningar hanteras i en parallell rapport från samma projekt.

Målet med denna studie är enligt projektansökan att "Försöka identifiera vilka arbetsmaskiner och/eller processer där det är störst nytta ur ett luftkvalitet- och bullerperspektiv att använda elektrifierade arbetsmaskiner.". Arbetet inkluderar en beskrivning av vår metod för att översätta data från byggprocessanalysen till effekter på luftkvalitet och buller, samt en diskussion om hur emissioner från olika arbetsmoment ska hanteras i spridningsberäkningar och i den presenterade modellen.

Fokus har varit att koppla planeringsprocesserna, där prioriteringen av vilka arbetsmaskiner som ska elektrifieras först kan göras, med hur exponeringen för luftföroreningar och buller påverkas av valet av arbetsmaskin att elektrifiera.

2 Metod

Metodiken har bestått i informationsinhämtning genom olika typer av litteratur, tillgängliga föreskrifter, diskussioner med branschfolk och genom intervjuer med olika nyckelaktörer, såsom:

- Volvo CE som utvecklare av arbetsmaskiner med stor teknisk expertis
- NCC som entreprenör med erfarenhet från byggplatser av olika storlek och komplexitet
- Park- och Naturförvaltningen i egenskap av verksamhetsutövare
- Länsstyrelsen i egenskap av tillsynsmyndighet

Detaljerad beskrivning om använd metod för att belysa olika delar av arbetet visas nedan.

I denna studie görs antagandet att i en framtid där samtliga arbetsmaskiner på en byggsplats är elektrifierade är emissionerna av luftföroreningar och buller från motorerna i arbetsmaskinerna i stort sett obefintliga. Fokus är därför på övergången från dieseldrivna till elektrifierade byggarbetsplatser. Under övergången kommer byggarbetsplatser att ha både elektrifierade och icke-elektrifierade arbetsmaskiner, eller krav på andel elektrifiering i en verksamhet med flera mindre arbetsplatser där vissa kan elektrifieras. Målet är att identifiera sådana arbetsmaskiner där det ger störst nytta ur ett luftkvalitets- och bullerperspektiv att använda elektrifierade arbetsmaskiner på en byggsplats. I detta arbete har också ingått att identifiera de processer där beslutet fattas och buller och luftkvalitet relaterat till elektrifiering av entreprenadmaskiner kan påverkas.

2.1 Vem kan ställa krav på elektrifiering av arbetsmaskiner?

För att förstå vem som kan påverka vilka arbetsmaskiner som ska elektrifieras först krävs förståelse för vem som kan ställa krav på att elektrifiera arbetsmaskiner. I detta arbete fokuserar vi helt på relationen mellan detta beslut och buller/luftsituationen kring byggsplatsen. Tre tydliga fall då krav på elektrifierad byggsplats förekommer har utkristalliserats;

1. Beställaren av entreprenaden prioriterar buller och luftkvalitet kring arbetsplatsen
2. Kommunen utnyttjar sitt planmonopol för att påverka
3. Kommunen eller annan tillsynsmyndighet hanterar klagomål och upprätthåller Miljöbalkens krav

Viktigt att markera är också att beställaren i punkt 1 också kan vara kommunen i rollen som uppköpare av entreprenadarbeten. Dessa tre fall behöver angripas på helt olika sätt och har kommit olika långt i sina möjligheter att påverka valet. Därför har processerna utvärderats individuellt. Samtidigt är de i princip helt beroende av hur allmänheten relaterar till dessa frågor och vilka krav som ställs från allmänheten på beställaren eller kommunen. Här finns också en viktig påverkansmöjlighet från politiken, men påverkan behöver ändå ske genom någon av de tre vägarna ovan.

2.2 Modeller för att planera prioriteringen av elektrifiering av arbetsmaskiner

2.2.1 Spridningsberäkningar

Avseende spridningsberäkningar används erfarenhet av spridningsberäkningar avseende buller och luftföroreningar i kombination med de emissionsdata som förväntas användas för att beskriva hur delvis elektrifierade byggsplatser ska hanteras vid spridningsberäkning.

2.2.2 Prioriteringsmodellen

Den som fattar beslut om användande av elektrifierade arbetsmaskiner måste kunna tydliggöra vilka kriterier som ska gälla för att prioritera bland de elektrifierade

arbetsmaskiner man vill använda. Detta kräver modeller. Redan i planeringskedet av en byggprocess behöver beställaren veta vilken arbetsmaskin som ska prioriteras vid elektrifiering i varje enskilt projekt. För att skapa en effektiv arbetsprocess har ett antal olika planeringsverktyg och planeringsprocesser som används idag analyserats utgående från vilket grunddata som finns tillgängligt att använda för buller/luftanalysen och var buller och luftkvalitet kan läggas in i processen utan att öka arbetstiden nämnvärt.

Utgående från dessa verktyg har en enkel modell utvecklats för att underlätta valet av arbetsmaskin som ska elektrifieras i första hand utgående från buller/luftperspektiv. Detta ska möjliggöra för beställaren att redan i upphandlingen avgöra vilken arbetsmaskin som ska prioriteras för elektrifiering. Modellen har testats på ett urval av de piloter som är knutna till projektet.

3 Resultat

Klimatutsläppen är i princip alltid drivande vid elektrifiering av byggarbetsplatser (WSP, 2020). Effekten av elektrifiering av byggarbetsplatser begränsas, avseende både luftkvalitet och buller, av att även själva arbetet alstrar både luftföroreningar, främst damm, och buller. Samtidigt minskar maskinens egen ljudnivå och utsläpp av avgaser försvinner helt vid elektrifiering. Ibland kan bibränslen användas för att minska klimatutsläppen, men detta är inte nödvändigtvis en lösning för minskat buller och bättre luftkvalitet i och med att förbränningsmotorn fortfarande används och både avgaser och buller släpps därmed fortfarande ut. Det visar på vikten av att ta hänsyn till alla former av utsläpp och inte bara optimera för klimatpåverkan, vilket alltså kan få en suboptimal effekt på de lokala utsläppen.

I Gemensamma miljökrav för entreprenader (Trafikverket, 2018) finns krav på att ”minst 20% av den samlade energianvändningen, avseende fordon och arbetsmaskiner, ska bestå av el från förnybara energikällor och/eller hållbara höginblandade och hållbara rena biodrivmedel”. Här finns alltså inte några egentliga krav relaterade till lokalmiljön.

I en transitionsfas, då endast en del av arbetsmaskinerna är elektrifierade finns en stor fördel att skapa avstånd mellan arbetsmaskiner med förbränningsmotorer och de som riskerar att bli exponerade, då avstånd ger möjligheter för både avgaserna och ljudet att spridas och halterna/nivåerna vid de exponerade att minska. Detta har vi tagit fasta på i de modellförslag och processförslag som läggs fram.

3.1 Vilka processer kan identifieras att ge störst förbättring vid elektrifiering?

Tillverkare av fossila arbetsmaskiner har stora mängder data kring hur olika rörelser med maskinerna, tillsammans med olika förare och olika markbeskaffenhet, relaterar till emissioner av alla olika ämnen i avgaserna. Det finns också mätningar för att beskriva hur mycket kraft som behövs i olika arbetsuppgifter. Mycket av dessa mätningar används för att utveckla arbetsmaskinerna kontinuerligt. Samtidigt finns det oändliga kombinationer av arbetsuppgifter, förare och markbeskaffenhet vilket

begränsar hur dessa utsläppsdata kan användas vid planeringen, och de aktörer som projektet har talat med har inte använt dessa data för planering. Istället har andra variabler varit mer värdefulla i valet av arbetsmaskiner. Vi har därför skapat en mycket enkel modell som kan användas direkt i de enklare planeringsverktyg som finns på marknaden idag.

För att kunna formulera krav relaterade till minskad exponering för buller och luftföroreningar behöver planeringen av byggnationen kartläggas. Spridningsberäkningar sker i princip endast vid större entreprenader och det är en utmaning att få tag i lämplig beskrivning av de aktiviteter som sker på arbetsplatsen. Samtidigt måste planeringen av entreprenadarbetena hela tiden omvärderas/uppdateras när olika händelser eller okänd information blir tillgänglig. Användande av modellen kan öka medvetandet om att det finns fördelar att prioritera buller och luftkvalitet vid elektrifiering av byggarbetsplatser. Modellen beskrivs i nästa kapitel i denna rapport.

3.1.1 Variabler som påverkar emissionerna

Användningen av elektrifierade arbetsmaskiner kan begränsas av kapacitet, av möjlig kontinuerlig drifttid, möjlighet till laddning, laddtid mm. Vi antar dock här att varje konventionell dieseldriven arbetsmaskin kan ersättas med en motsvarande elektrifierad arbetsmaskin.

För att kunna inkludera dessa effekter i prioriteringsmodellen krävs data om varje specifik arbetsplats, tex

- Typ av arbete, tex
 - Gräva
 - Flytta (avstånd och mängd material eller antal fordonsrörelser)
 - Hälla
 - Höjder
- Markbeskaffenhet:
 - Hur svårt är materialet att bearbeta?
 - Hur stora stenar (vars hantering orsakar buller och som kräver stor maskin)
 - Behöver sprängning genomföras?
- Kablar och rör? Är sannolikheten stor eller liten att alla kablar och rör är kända innan arbetet påbörjas?
- Påverkas maskinvalet av den elektriska arbetsmaskinens andra egenskaper?
- Kör de längre för att hinna ladda?
- Arbetar maskinförarna annorlunda med elektriska arbetsmaskiner?

De emissioner som är aktuella från varje specifik arbetsmaskin vid de studerade typerna av arbete och ett fåtal testförare kan sammanställas ur data från tex VOLVO Construction. Varje sådant exempel kallar vi en körcykel. En utmaning är att emissionerna varierar kraftigt mellan dessa olika körcykler, och att kategorisera olika typer av arbete för att ta fram emissionsfaktorer som fungerar för varje specifik arbetsuppgift är tekniskt möjligt, men ryms inte inom ett mindre delprojekt som detta. Det är också ett bakåtsträvande arbete då fokus i Electric Worksite II är att elektrifiera arbetsmaskiner och inte att detaljerat studera hur olika typer av fossila arbetsmaskiner arbetar och släpper ut olika mängder av ljud och luftföroreningar i olika situationer,

med olika maskiner, med olika körstil etc. Fokus har därför varit mer allmängiltiga skillnader mellan olika schabloniserade arbetsmoment.

För att prioritera vilka processer som i första hand bör elektrifieras krävs det mycket information innan arbetet startas, och fokus i arbetet gick mot att förstå vilket data som finns tillgängligt och hur entreprenaderna planeras, så att buller och luftkvalitet kan påverka valet i stor utsträckning. Mer om kopplingen till planeringsprocesserna i nästa delkapitel.

3.1.2 Spridningsberäkningar

För de flesta mindre byggnationer sker inga detaljerade spridningsberäkningar vare sig för buller eller för luftföroreningar, ibland inte ens för driftsfasen, ännu mer sällan för anläggningsfasen. En byggarbetsplats anses ofta vara en ytkälla med konstanta utsläpp över hela ytan under större delen av byggtiden, i de fall då den trots allt beräknas. Detta är dock inte användbart i denna studie där varje maskin behöver modelleras som en enskild punktkälla, som därtill har ett sannolikt arbetsmönster och förflyttning inom arbetsplatsen över tid, som därtill ofta ändras under byggtiden. De enskilda planerade aktiviteterna inom en byggarbetsplats är inte tillräckligt väl beskrivna i de förekommande planeringsdokumenten och kan således inte relateras till en specifik emissionsfaktor för just den aktiviteten. I princip genomförs, enligt vår studie, inte detaljerade beskrivningar av vad arbetsmaskinerna ska göra och därför ger eventuella emissionsfaktorer relaterade till olika arbetsuppgifter ingen nytta. Istället används istället den mängd bränsle som beräknas användas, vilket i viss mån kan relatera även till utsläpp av buller och avgaser.

Vid byte av en eller flera arbetsmaskiner till elektrifierade maskiner försvinner de lokala utsläppen av avgaser (luftföroreningar, såsom kväveoxider (NO_x) och partiklar) helt för de maskinerna och istället påverkas jämförelsen främst av emissionerna från de dieseldrivna arbetsmaskiner som *hade kunnat användas istället*. Avgasemissionerna från traditionella arbetsmaskiner är idag inte sammanställda i en användbar emissionsmodell där emissionerna från olika arbetsmoment beskrivs på ett lagom detaljerat sätt. Det är heller inte en lämplig uppgift för ett arbete kring elektrifiering att skapa detaljerade emissionsmodeller för fossila arbetsmaskiner. Vid spridningsberäkningar för avgasutsläpp från elektriska arbetsmaskiner blir utfallet av naturliga skäl noll.

I större byggprojekt görs en utredning av buller med gängse metod för industribuller (ISO 9613-2) och för luftkvalitet med olika spridningsmodeller (t.ex. SIMAIR¹). Att jämföra ett antal beräkningar av en eller flera elektrifierade arbetsmaskiner som utför olika arbetsuppgifter med beräkningar av traditionella arbetsmaskiner som utför samma arbetsuppgifter skulle vara ett möjligt sätt att utvärdera effekten. Detta är dels relativt omfattande, både att skapa det flertal kartunderlag och identifiera emissionsdata från traditionella arbetsmaskiner för de specifika arbetsuppgifter med mera som krävs, och dels skulle den beräkning som utförs innan projektet vara helt annorlunda än den situation som sedan genomfördes, i och med att planeringen av byggarbetsplatser, enligt erfarenheter från denna studie, inte är detaljerad nog. Om

¹ <https://www.smhi.se/tema/simair>

aktivitetsdata vore tillgängligt skulle denna typ av beräkning kunna beställas direkt ifrån konsulter som är experter på bullerberäkning och spridningsberäkningar för luftföroreningar.

För luftföroreningar resulterar ett byte av fossildrivna arbetsmaskiner till elektriska i utsläppsfrihet från motorerna, medan det för buller är något mer komplext i och med att även den elektrifierade arbetsmaskinen låter då den utför arbetsuppgifter som bullrar, samt att en del ljudkällor så som hydraulpumpar och kylfläktar fortfarande strålar ut ljud från maskinen. I denna studie har vi gjort antagandet att ljud från elektriska arbetsmaskiner dock är så mycket tystare än dieseldrivna maskiner att det utanför byggplatsen upplevs som att elektriska arbetsmaskiner i princip inte bidrar till omgivningsbullret. En annan skillnad mellan dieseldrivna och eldrivna arbetsmaskiner är att dieseldrivna maskiner har betydande ljudutstrålning vid tomgångskörning, men att de typgodkänds för den ännu starkare ljudnivå som uppstår när maskinen arbetar för fullt. För att kunna göra en grov bedömning av bullerbidraget från dieseldrivna maskiner har därför gjorts en skattning av skillnad i utstrålat buller mellan dieseldriven maskin för några enkla typdriftsfall.

Att formulera detaljerade krav avseende buller och luftkvalitet kring delvis elektrifierade byggarbetsplatser utgående från spridningsberäkningar ser projektgruppen inte som lämpligt då sådana beräkningar redan görs för större byggplatser idag, men först efter inledande planerings- och kalkylsteg.

3.1.3 Andra emissioner än från arbetsmaskin

För bulleremissioner är det också viktigt om arbetsmomentet i sig innebär mycket buller, så som vid hantering av sprängsten eller annat tungt och hårt material som ger upphov till buller vid hantering, eller vid pålning och spontning där arbetet med att driva pålar respektive stålspont ner i marken orsakar mer buller än maskinen i sig. För utsläpp till luft är en viktig faktor hur damm eller partiklar släpps ut vid massahantering, körning på obundna marker och annan användning av arbetsmaskiner (Haeger-Eugenson m.fl, 2018). Denna del av emissionerna från byggarbetsplatser har vi inte tagit hänsyn till här, då de har ansetts oberoende av byte till elektriska arbetsmaskiner, trots att viss förändring av körmonster etc är sannolik vid byte till elektrifierade arbetsmaskiner, särskilt om laddning behövs under arbetsdagen, om de olika maskinerna är olika starka eller om andra aspekter hos elektriska arbetsmaskiner upplevs annorlunda av maskinföraren.

3.2 Hur prioriterar vi i praktiken?

Vid prioritering av vilken arbetsmaskin som i första hand ska elektrifieras vid ett arbete behöver en del grundläggande kunskap redan finnas på plats. Vilka maskiner behövs i olika arbetsmoment, vilka maskiner finns tillgängliga vid varje tidpunkt, vilka moment är tidskritiska etc? I studien har ingått att undersöka hur denna typ av planering genomförs vid olika arbetsplatser och vilka parametrar som ingår i optimeringen idag.

En viktig lärdom i detta arbete är att det planeras på olika nivåer och att det sker ett flertal ändringar sent i planeringsprocessen. Detta resulterar i att det är svårt att införa komplicerade krav på hur prioriteringen bör påverkas av buller och luftkvalitet. Vi har därför tagit fram en enkel prioriteringsmodell som kan användas i direkt samverkan

med den planeringsprocess som används idag, samt kan förenklas till enkla tumregler för de fall där tidspressen gör att snabba anpassningar krävs i sent skede.

3.2.1 Prioriteringsmodellen

Modellen som har tagits fram inom projektet har som mål att uppskatta skillnaden i exponering för ljud och avgaser i ett vanligt projekt hos de deltagare som ingår i projektet. Här har de planeringsprocesser och planeringsverktyg som använts i dag analyserats för att identifiera vilket data som redan idag tas fram inom projektplaneringen som kan användas även för effekter inom buller och luftkvalitet. Endast mycket begränsat ytterligare krav på data har tillåtits för att underlätta för användaren att kunna använda modellen även i mindre projekt där planeringsinsatsen är mer begränsad.

Olika arbetsmoment som skall ingå i entreprenaden behöver identifieras för att olika exponeringsrisker ska kunna uppskattas. Till varje arbetsmoment väljs en eller flera maskiner (grävare, hjullastare etc.) som utifrån arbetets omfattning och beskaffenhet anses vara lämplig. Valet baseras främst på erfarenhet från tidigare projekt och det finns inga tydliga riktlinjer om hur valet bör ske. På liknande sätt beräknas därefter det antal timmar maskinen kommer att behövas och den mängd bränsle som behövs för att köra maskinen under den beräknade tiden.

För att påverka exponeringen för buller och luftföroreningar finns

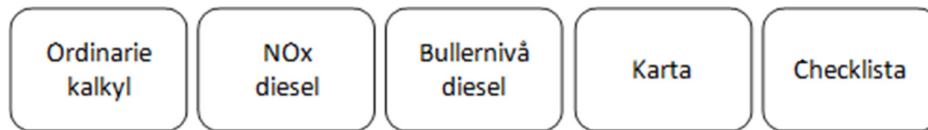
- Buller – regler för dygnsupplösning och för typ av närliggande byggnader (skola, sjukhus, bostad, kontor)
- Luft – miljö kvalitetsnormer (halter) får inte överskridas någonstans där människor kan uppehålla sig, uppdelning för exponering finns inte beskriven i lagtext

Genom att estimerar de olika faktorer som kan bidra till olika former av exponering i närheten av byggplatsen och genom kartunderlag för bedömning av avstånd till känsliga miljöer så kan en ranking slutligen göras av vilka arbetsmoment som bäst gynnas av att genomföras med elektrifierade arbetsmaskiner. Den enkla modell som tagits fram ger exempel på hur man i de kalkylblad som används för att ange typ av maskin och bränslemängd för olika arbetsmoment skulle kunna inkludera faktorer som bulleremission, emissioner av luftföroreningar samt avstånd till bostäder eller till känsliga miljöer som skolor eller sjukhus. För luftföroreningar finns också en relation till hur tätbefolkat ett större område är i och med att halterna av luftföroreningar ökar marginellt även på ett större avstånd.

En viktig faktor är då också hur stor del av den tid maskinerna är placerade på byggplatsen som de kör under last och hur mycket de kör under tomgång eller till och med är avstängda. Denna nyttjandefaktor varierar ofta mellan olika arbetsmoment, och kan vara svår att uppskatta, men sannolikt är de som finns nära eller helst i verksamheten de som kan bedöma detta bäst. T.ex. innebär arbete i en gatumiljö med många äldre rör och ledningar redan nedlagda i området att maskinen ofta får stå still på tomgång medan personal frilägger rör och ledningar som inte bör skadas. Andelen rör som inte är kända innan arbetets start är en annan osäkerhetsfaktor som påverkar tomgångskörningen.

En annan viktig faktor är hur många andra källor till buller och luftföroreningar som förekommer kring byggarbetsplatsen. T.ex. innebär vissa arbetsmoment så som pålning och spontning så mycket buller att maskinens bulleremission från kraftkällan blir oväsentlig. Sprängning och schaktning orsakar både buller och luftföroreningar genom damning, medan t.ex. närliggande trafik kan orsaka både försämrad ljudmiljö och luftmiljö. Avseende luftmiljö är byggarbetsplatser i områden där risk för överskridande av miljö kvalitetsnormerna extra känsliga, i och med att lagstiftningen kräver att miljö kvalitetsnormerna inte överskrids oavsett antalet källor.

Modellen är tänkt att användas av de som vanligtvis antingen kalkylerar eller de som planerar utifrån genomförd kalkyl. Det innebär att storlek på maskiner redan är bestämd utifrån vilken kapacitet som krävs, och arbetstiden för respektive maskin i projektet (från vilken mängden bränsle beräknas för dieselmaskiner) också är bestämd eller åtminstone uppskattad utifrån de förutsättningar som är kända.



Figur 1. Beräkningssteg för prioriteringsmodellen.

För de maskiner som bedömts fylla de tekniska behoven i kalkylen noteras bulleremissionsvärde L_w , som brukar ingå i typdeklarationsdokumentation och som också brukar anges med dekaler på maskinen, medan maximala emissioner av NO_x och partiklar bör gå att finna i maskinens euroklassningsdokumentation. Om dessa siffror inte finns att tillgå kan en första approximation relateras direkt till bränsleförbrukningen, även om variationen mellan utsläpp av luftföroreningar som NO_x och partiklar kan skilja en del från bränsleförbrukningen (som relaterar direkt till CO_2 -utsläppen).

Eftersom modellen tar hänsyn till exponering behövs ett underlag för byggarbetsplatsens läge i förhållande till närliggande bostäder eller andra känsliga miljöer. Därför skulle ett nästa steg i ett flödesschema för användning av modellen vara att ta fram ett kartunderlag där de platser där olika maskiner förväntas arbeta finns markerade och där minsta avstånd till närliggande känsliga miljöer kan anges. Det är ju sannolikt att arbetsmaskinerna inte står stilla på en punkt under projektets gång så för att använda sig av försiktighetsprincipen bör det minsta avståndet mellan områden där arbetsmaskiner kan tänkas vara i bruk och de närliggande känsliga miljöerna användas.

Som sista steg i ett flödesschema är en checklista där ett antal egenskaper för det planerade arbetet som påverkar beräkningen i modellen noteras. Det handlar om ifall arbetet skall göras på en sluten gård eller i öppen omgivning, vilket både kan påverka bullernivå och halter av luftföroreningar, om arbetet innebär att maskinen går på full effekt under hela arbetsperioden, eller om det är perioder med aktivitet och perioder med tomgångskörning som t.ex. vid grävarbete i gatumiljö där det kan finnas många rör och ledningar som måste undvikas (en faktor som anger andelen körning under full last ingår i många fall i den ordinarie kalkylen och kan i så fall anges här), om arbete skall ske dagtid, kvällstid, nattetid eller en kombination, vilket bl.a. innebär olika riktvärden för buller samt om det finns förskola, skola, sjukvårdsinrättning, bostäder eller kontorsbyggnader i närheten. Även storleken på den urbana miljö där arbetet utförs behöver hanteras.

Modellen för översiktlig beräkning av miljöpåverkan kan sedan användas för att hitta de områden i kartunderlaget som innebär den största nyttan av att använda elektrifierade arbetsmaskiner.

Modellen använder det underlag som fylls i på följande sätt:

- Avståndet till känsliga miljöer bestämmer bullernivå utifrån maskinernas bulleremission. Eftersom det är den relativa bullernivån som är intressant tas inte hänsyn till korrekt markimpedans utan en schablon används baserad på Nordisk beräkningsmodell reviderad 1996.
- Eventuell nyttjandefaktor som beskriver den del av tiden som maskinen går med full kapacitet används för att beräkna medelnivå av användande, dvs bulleremission samt avgasemission.
- En faktor för hur stor del av arbetet som innebär bulleremission från t.ex. massahantering används för att minska skillnader mellan elektrifierade och dieseldrivna arbetsmaskiner där källan är oberoende av arbetsmaskinens buller.
- Avseende luftföroreningar påverkar andra källor såsom damm inte halterna av avgaser, medan partikelutsläppen (PM₁₀) påverkas mer av damm än av avgaspartiklar.
- Om arbetet sker i en miljö där miljö kvalitetsnormerna för luft är i närheten av att överskridas är det av särskild vikt att begränsa avgasutsläppen och elektrifiera arbetsplatsen för att undvika överskridanden.
- Typ av känslig miljö bestämmer vilken bullerkänslighet som används i enlighet med Naturvårdsverkets riktlinjer. Är det t.ex. en skola i närheten så "straffas" bullernivå med +5dB så att alla bullernivåer normeras för de olika typerna av känslig miljö.
- Sker arbete kvälls- eller nattetid görs motsvarande normering för riktvärden nattetid.
- Avseende luftkvalitet gäller begränsningarna oberoende av antalet exponerade, och fördelen med att begränsa antalet exponerade finns i verkligheten, men inte i lagsystemet. Däremot finns stora skillnader mellan de tillåtna halterna i arbetsmiljö och för allmänheten, vilket ingår i modellen.

Modellen beskrivs i detalj i en bilaga till rapporten, tillsammans med ett några exempel.

3.3 Vem har rätt att ställa krav?

WSP (2020) föreslår olika former av upphandlingskrav som grund för elektrifiering, såsom full elektrifiering av arbetsmaskiner, krav på processbeskrivning från anbudsgivaren eller att tex en bestämd minsta andel av energibehovet för arbetsmaskinerna i hela entreprenaden ska vara elektrifierad. Ett antal viktiga delar av skrivningen anges, tex att storleken på arbetsmaskiner kan behöva definieras iom att de allra minsta maskinerna (tex skruvdragare och sågar) idag i princip alltid är elektrifierade, medan mycket stora entreprenadmaskiner såsom grävare inte är det. De hinder som anges för att införa en stor andel elektrifierade arbetsmaskiner redan idag är främst bristande tillgång till elektrifierade arbetsmaskiner och osäkerheter i framtida beläggning och funktion hos de nya arbetsmaskinerna.

Utvecklingen mot en ökad elektrifiering av arbetsmaskiner kan drivas av en beställare på två sätt; både genom upphandling och genom att tillse att lagstiftningen kring MKN för luft och Miljöbalken för buller uppfylls. De verktyg som används i de olika situationerna skiljer sig en hel del och diskuteras därför individuellt. Upphandling är

mest direkt och avslutar kapitlet, som istället startar med kommunens ansvar för luftkvalitet och buller (via sina miljöinspektörer etc), samt hur kommunen eventuellt skulle kunna använda planmonopolet.

3.3.1 Kommuners ansvar för halter av luftföroreningar och nivåer av buller

Kommunerna har ansvar inför EU att klara miljö kvalitetsnormer för luftkvalitet samt bullernivåer (Naturvårdsverket, 2019). De styrdokument som kommunen har till sitt förfogande för att begränsa bullernivåer och skapa en god luftkvalitet inom kommungränsen är flera, medan möjligheterna för kommunerna att påverka tex valet av elektrifiering av byggarbetsmaskiner är mindre, om kommunen inte samtidigt är beställare.

3.3.1.1 Miljö kvalitetsnormer och lagstiftning

Kommunerna har enligt Miljöbalken ansvar både för att Miljö kvalitetsnormerna (MKN) avseende luftkvalitet och riktvärdena för buller ska klaras utomhusmiljöer i kommunen. MKN reglerar kvaliteten på mark, vatten, luft och miljön i övrigt ([Boverket, 2023](#)). I dagsläget finns MKN för buller, luft och vatten och kan både vara utformade som gränsvärdenormer och målsättningsnormer.

Vid ärenden i linje med Plan- och bygglagen (PBL) ska MKN följas, däribland vid framtagande av översikts- och detaljplan samt vid ansökan om bygglov. Det är däremot inte tydligt beskrivet hur normerna ska följas vid planläggning i praktiken enligt Boverket. Med hänvisning till prop. 2006/07:122 sid. 63 och prop. 2009/10:184 sid. 37 pekar man på att lagstiftaren flera gånger har identifierat behovet att utveckla lagstiftningen gällande förhållandet mellan fysisk planering och MKN.

Avseende luftkvalitet gäller främst miljö kvalitetsnormerna (MKN) för olika luftföroreningar i utomhusluft (och även gränsvärden för arbetsmiljö där så är tillämpligt). Gränsvärdena läggs i MKN på nivåer som kan anses acceptabla med hänsyn till miljö- och hälsoaspekter (Naturvårdsverket, 2019). MKN i relation till avgaser, vilket är det som påverkas vid elektrifiering av byggarbetsplatser, är främst kväveoxider (NO_x), partiklar (PM₁₀, PM_{2,5} samt avseende utsläpp även partikelantal PN) och i viss mån flyktiga organiska ämnen (VOC). NO_x härstammar i detta sammanhang framförallt från förbränning i icke eldrivna fordon medan partiklar i olika storlekar emitteras vid förbränning (främst små partiklar), slitage av vägunderlag, bromsar och däck samt damning från arbetsprocesser, trafik och väderlek. Hälsoeffekterna vid exponering för NO_x och partiklar är sjukdomar kopplade till hjärta, kärl och lungor. Vid starkt trafikerade gator överstiger flera av Sveriges tätorter MKN för NO_x, men utsläppstrenden är, om än långsamt, avtagande. De totala utsläppen av partiklar har de senaste tio åren varit nästan konstanta. En del utsläppstrender för partiklar i gatumiljö är avtagande men spridningen är komplex med bland annat långväga lufttransport av fina partiklar från Europa. Tabell 1 beskriver vilka gräns- och målvärden som ställs i MKN på dessa luftföroreningar.

Tabell 1: Miljökvalitetsnormer för utomhusluft för luftföroreningar kopplade till trafik och elektrifiering (Naturvårdsverket, 2019).

Luftförorening	Medelvärde	Gränsvärde (GV) / Målvärde (MV)
NO₂	Timme	90 µg/m ³ GV Får överskridas 175 ggr/år, förutsatt att 200 µg/m ³ inte överskrids mer än 18 ggr /år
	Dygn	60 µg/m ³ GV Får överskridas 7 ggr/år
	År	40 µg/m ³ GV
NO_x regional bakgrund	År	30 µg/m ³ GV
PM10	Dygn	50 µg/m ³ GV Får överskridas 35 ggr/år
	År	40 µg/m ³ GV
PM2,5	År	25 µg/m ³ MV 25 µg/m ³ GV

En viktig svårighet för kravställning av byggarbetsplatser är att de av naturen normalt är tillfälliga verksamheter och att formuleringen av MKN kräver att mätningar sker under ett helt kalenderår för att kunna fastställa att antalet överskridande av gränsvärdena inte är större än det antal som tillåts enligt MKN. Detta har tidigare gjort att byggarbetsplatser inte har miljöprövats på samma sätt som kontinuerlig verksamhet. När byggarbetena sker under lång tid eller då flera byggarbeten sker inom en begränsad yta, finns idag inga tydliga sätt att begränsa utsläppen till luft av hälsoskäl. De miljöbedömningar som krävs hanterar normalt endast en verksamhet, vilket gör att om flera fastigheter samtidigt genomför byggnation som resulterar i överskridande av MKN är det i dagsläget svårt att bedöma vem som är orsak till överskridandet och kraven blir svåra att upprätthålla.

Naturvårdsverket är tillsynsmyndighet för verksamhetsutövare som bedriver byggprojekt i bebyggd miljö. De har ett allmänt råd (*Naturvårdsverkets allmänna råd (2004:15) om buller från byggplatser (till 2 kap. och 26 kap. 19 § miljöbalken)*) och sammanfattningsvis beskrivs ansvarsfrågan som att "om buller kan orsaka olägenhet för människors hälsa ska den som bedriver den bullrande verksamheten vidta de skyddsåtgärder som behövs." Olägenhet är ett diffust begrepp, men det allmänna rådet har specificerat det i olika riktvärden för buller (Tabell 2).

Även riktvärdena i sig avspeglar vikten av att ta hänsyn till avståndet mellan byggarbetsplatsen och exponeringskänslig miljö. Det allmänna rådet specificerar separata riktvärden för olika typer av känsliga miljöer så som bostadsområden och undervisningslokaler, och tar även hänsyn till vilken tid på dygnet de olika miljöerna är som mest känsliga för bullerexponering. En viktig aspekt är byggarbetets omfattning. Det står angivet i det allmänna rådet att om tidsperioden för byggarbetet kan anses begränsad så kan högre nivåer under arbetet tillåtas. Det är dock en utmaning att avgöra vad begränsad tidsperiod innebär i praktiken. För buller från vägtrafik, spårtrafik och flygtrafik vid bostad så beräknas den ekvivalenta nivån för ett

Tabell 2. Riktvärden för buller från byggplatser enligt Naturvårdsverkets allmänna råd 2004:15.

Område	Må-Fr		Lö-Sö		Alla dagar	
	Dag	Kväll	Dag	Kväll	Natt	
	07-19	19-22	07-19	19-22	22-07	
	LAeq	LAeq	LAeq	LAeq	LAeq	LAFmax
Bostäder						
utomhus	60 dBA	50 dBA	50 dBA	45 dBA	45 dBA	70 dBA
inomhus	45 dBA	35 dBA	35 dBA	30 dBA	30 dBA	45 dBA
Sjukhus						
utomhus	60 dBA	50 dBA	50 dBA	45 dBA	45 dBA	
inomhus	45 dBA	35 dBA	35 dBA	30 dBA	30 dBA	45 dBA
Skola						
utomhus	60 dBA					
inomhus	40 dBA					
Kontor						
utomhus	70 dBA					

årsmedeldygn för att ta hänsyn till variationer i trafikintensitet över olika delar av året. För perioder kortare än ett år finns ingen vägledning hur det är tänkt att gå tillväga, och vid tex kortare byggarbeten krävs i princip klagomål för att buller ska hanteras.

Här fokuserar vi på anläggningsfas och inte driftsfas, och undantaget för ”begränsad tidsperiod” är en utmaning vid användande av befintlig lagstiftning. Det är också många områden som idag har föroreningshalter som ligger långt under MKN för luftföroreningar och då kommer ett ytterligare tillskott av avgaser inte att påverka eventuella överskridande av MKN. Just nu kommer de halter som innefattas av MKN att minska, vilket kommer att öka andelen områden där MKN överskrids och vid större byggarbetsplatser, med en viss utsträckning i tid, kan eventuellt lagstiftningen kring MKN att användas för elektrifiering av byggarbetsplatser. Det är dock inte en enkel väg att hantera frågeställningen.

Även Länsstyrelsen kan bli inkopplad vid tex stora byggarbeten, och då kan de kräva en miljökonsekvensbeskrivning där de också kan kräva att anläggningsfasen ingår. I alla miljökonsekvensbeskrivningar finns det möjlighet att diskutera elektrifierad byggarbetsplats med entreprenörerna och initiera att beställaren lägger in den typen av krav i sin beställning. Detta gäller även i kommunernas planeringsprocesser där miljöförvaltningar kan delta i processen för att poängtera vikten av elektrifiering, men sällan ställa regelrätta krav.

3.3.1.2 Frivilliga miljöpolicy

Både kommuner och andra aktörer (oftast beställare, men också direkta aktörer såsom entreprenörföretagen kan utveckla detta kraftigt) kan ställa krav på buller och luftföroreningar i relation till elektrifiering av byggarbetsplatser. Dessa krav behöver dock följas upp av den som sätter kravet, eller som har en miljöpolicy.

Samtidigt blir dessa krav lätt komplexa och därför svåra att kommunicera utåt. De flesta miljöpolicyer relaterar till uppföljningsbara mål och tydlighet och utveckling av tydliga och lätt kommunicerade krav på hur arbetsplatser ska elektrifieras relaterat till bullernivåer och luftföroreningar är en utmaning. Exempel på olika miljöpolicyer som kan användas här är de lägre halter än MKN som används i miljömål etc och således överskrids i större områden. Utmaningar kring mätningar och uppföljning av dessa halter är ofta av samma typ som för MKN. Andra exempel är LFM30² och Gemensamma krav för entreprenader (Trafikverket, 2018).

Allmänna styrdokument i form av krav på alla byggentreprenader som utförs i kommunen har diskuterats under lång tid men kopplas normalt till stora kostnader och en risk att byggnation inom kommunen kan begränsas. Kommunen har dock stora möjligheter att via information till allmänheten underlätta för medborgare att följa upp hur luftkvalitet och bullernivåer klaras. Här finns en stor fördel för buller, då medborgarna själva kan uppleva hur de störs av buller, medan luftkvaliteten inte är lika tydlig. För luftkvalitet krävs mätningar av halter, vilket är både svårt och kostsamt. För att kunna påverka luftkvalitet och ljudsituation denna väg behöver området prioriteras av politiken och olika företags miljökommunikation. Att kommunen själv har skarpa krav avseende elektriska arbetsmaskiner kan vara ett sätt att påverka detta, trots att kommunen inte har de egentliga påtryckningsmetoderna via lagstiftningen.

Exempel på denna typ av kommunala policyer är miljömål med lydelse liknande ”halten kvävedioxid vid bostäder skolor och förskolor i Mölndal inte överskrida 60 µg/m³ luft fler än 175 timmar per år eller 20 µg/m³ luft som årsmedelvärde” (Mölndals stad, 2014). Göteborgs miljöplan säger att ”Alla förskolegårdar och bostäder ska ha en kvävedioxidhalt (NO₂) understigande 20 mikrogram per kubikmeter”, eller 15 µg/m³ för partiklar, mätt som PM₁₀ (Göteborg stad, 2022). Här kommer kommunen själv att behöva bekosta mätningar för att påvisa om ngn näraliggande byggarbetsplats har orsakat att miljömålen inte klaras.

Avseende kommunala policyer som säger att arbetsmaskiner ska vara elektriska inom kommunens gränser har vi inte hittat, men dessa kan i princip relateras till de policyer som finns för kommunens egen upphandling, se nedan.

² <https://lfm30.se>

3.3.2 Kravställning med hjälp av planmonopolet

Kommunen innehar ansvaret för översiktsplaner och detaljplaner. Dessa planer är grunden till var byggnation kan ske i detaljplanelagt område, och här har kommunen vissa möjligheter att ställa krav på entreprenören. Samtidigt prövas främst driftsskedet av en detaljplan, där både buller och luftföroreningar kan hanteras relativt detaljerat, tex genom att spridningsberäkningar genomförs. Vid mycket stora projekt kan också byggskedet hanteras, men i och med att detaljplanen ofta beslutas innan bygglov och andra tillstånd har sökts, och att byggprocessen inte har inletts är dessa krav svårare att formulera.

Kommunen uppför detaljplaner för specifika områden inom vilka man ser ett behov av att reglera användningen av mark- och vattenområden. Upprättandet av nya detaljplaner är reglerat och ska följa ett antal beslutspunkter, denna kallas detaljplaneprocessen. Inom ramen för detaljplaneprocessen finns möjlighet även för medborgare att lämna synpunkter på den tänkta bebyggelsen. Bestämmelser i en detaljplan reglerar framförallt *vad* som ska byggas, inte *hur*.

Utöver att bestämmelser i en detaljplan ska uppfyllas måste också bygglovsprocessen följas för att kunna påbörja större byggnationer. För ett beviljat bygglov krävs att den tänkta byggnationen uppfyller gällande lagkrav. Under bygglovsprocessen hörs både grannar och berörda remissinstanser inom kommunen. Återigen är detta en process som framför allt ställer krav på byggnationen, inte på byggprocessen. Däremot får kommunen genom dessa processer vetskap kring de byggnationer som pågår inom kommunen.

Det ställs väldigt mycket olika krav på byggarbetsplatser (arbetsmiljö, säkerhet, miljökrav, krav kopplat till miljöklassningar etc) och en del av dessa blir högre prioriterade än andra. Krav som inte uppföljs med sanktioner eller vite riskerar att gå under radarn, men att lyfta dessa krav tidigt i en planeringsprocess kan underlätta för beställare att ställa de krav som är önskvärda ur miljösynpunkt.

Göteborgs stad har i ett led i att minska byggsektorns klimatpåverkan tagit fram programmet ”Miljöanpassat byggande” som gäller vid ansökan om markanvisning för markanvisningsavtal som tecknas med byggherren (Göteborgs stad, 2017). Riktlinjerna i dokumentet gäller framförallt nyproduktion av bostäder men kan också fungera som ett vägledande dokument för byggnation av bostadshus. Enligt krav M8 ska ”Kraven i Göteborgs Stads skrift Gemensamma miljökrav för entreprenader avseende drivmedel, fordon, arbetsmaskiner och kemiska produkter kopplade till dessa gäller för projektet.”. För att kommunen ska ha mandat att införa dessa krav krävs det att kommunen är markägare och kan ge en markanvisning, annars krävs frivilliga överenskommelser.

Utgående från denna studie kan dessa fall hanteras på samma sätt som vid upphandling om det är möjligt.

3.3.3 Kravställning vid upphandling, styrdokument

Normalt är klimataspekterna drivande när det gäller att elektrifiera byggarbetsplatser medan fokus i denna studie är hur buller och luftkvalitet kan påverka valet av vilken arbetsmaskin som ska elektrifieras t.ex. vid krav på delvis elektrifiering. En stor del av de krav som har hanterats i denna studie är, trots detta, klimatkrav.

Trafikverket har tillsammans med Göteborgs stad, Stockholms stad och Malmö tagit fram ett gemensamt dokument för att beskriva sina krav vid entreprenader "Gemensamma miljökrav för entreprenader" (Trafikverket, 2018). Här finns också de miljökrav som Trafikverket har tagit fram själva och andra dokument som beskriver upphandling av entreprenader i relation till miljö. I dokumentet återfinns bland annat krav om vilka drivmedel som ska användas, vad som gäller för tunga och lätta fordon samt arbetsmaskiner. Därtill ställs specifika krav i "känsliga områden" som skulle kunna relatera till buller och luftkvalitet.

Med känsligt område avses område som kräver särskilda försiktighetsåtgärder på grund av risk för förorening av känsliga naturmiljöer, som vattenförekomster av betydelse för vattenförsörjning eller känsliga våtmarker. Områdena inom de geografiska kommungränserna för Göteborgs, Malmö, och Stockholms stad är alltid definierade som känsliga områden enligt de gemensamma miljökraven. Känsliga miljöer finns givetvis även utanför storstädernas kommungränser.

Saxat ur "Vägledning till gemensamma miljökrav för entreprenader".

Syftet med kraven på lätta och tunga fordon samt arbetsmaskiner är inte enbart att minska klimatpåverkan utan även minska utsläppen av kväveoxider och partiklar. Buller under produktion lyfts inte. En viktig aspekt som har diskuterats i tidigare projekt avseende hur miljökrav används var att de sällan eller aldrig ansågs följas upp, vilket då snedvrider konkurrensen till fördel för de som bryter mot miljökraven. Att följa upp miljökrav är grundläggande för att de ska vara verksamma.

Kravställning från Trafikverket i dokumentet TDOK 2015:0480 säger att arbetsmaskiner idag inte har några krav på drivlinan, men för projekt som ska levereras 2030 ska ca 50% av arbetsmaskinerna vara nollutsläppsmaskiner och ca 1/3 av de spårgående arbetsfordonen ska vara nollutsläppsmaskiner 2030, medan andelen förnybart drivmedel ska vara 20% 2022, 40% 2023, 50% 2024–25, 70% 2026–27, 90% 2028–29 och 100% 2030. Detta gör i princip att hälften av arbetsmaskinerna kan vara förbränningsmotorer med förnybart bränsle, dvs följa klimatkraven, men inte luft/buller-kraven. Det är också intressant att det handlar om andelen maskiner i antal samt att för bränsleanvändningen ingår transport av schakt och fyllnadsmassor. Leverantören ska kunna ange mängden köpt el samt mängden köpt bränsle för uppföljning.

I de fall där entreprenör och beställare tillhör olika organisationer, vilket är det vanliga, förväntar sig entreprenören att beställaren skall specificera alla krav som går utöver rådande lagstiftning eller nationella riktvärden. Att omsätta en allmän policy om t.ex. "så låg exponering som möjligt" i verksamheten kan därför bli svårt då policyn inte på ett enkelt sätt går att förmedla i varje enskild upphandling. Varje åtgärd som entreprenören vidtar för att minska påverkan på omgivningen riskerar att innebära en extra kostnad, och riskerar också därmed att innebära en konkurrensnackdel. Även denna typ av krav behöver kvantifieras för att kunna vara verksamma vid upphandlingar.

3.3.4 Kravställning vid upphandling, process

Avseende kravställande vid upphandling har kommunen, precis som alla andra upphandlande aktörer, stor påverkansmöjlighet, men behöver också bära de merkostnader som kan uppstå vid hårdare krav än vad marknaden i övrigt ställer.

Vid upphandling agerar en kommun principiellt på samma sätt som alla andra upphandlare, förutom att kommuner också behöver hantera lagen om offentlig upphandling (LOU). LOU kan påverka upphandlingen främst genom att bedömningen av olika anbud är strikt styrd av hur anbudet från början har formulerats. Detta gör att tydligheten i hur miljöaspekter såsom exponeringsrisker för buller och luftföroreningar är nödvändig för att dessa aspekter ska kunna påverka vem som vinner anbudet. Då kravet på helt elektrifierade arbetsmaskiner med svårighet kan uppnås utan avsevärda kostnader idag kommer både utföraren och beställaren att vilja påverka valet av vilka arbetsmaskiner som ska elektrifieras. Hur dessa upphandlingskrav ska skrivas är en viktig vidareutveckling av de tankar som framförs här. Förslag på utvärderingsmodeller vid delvis elektrifiering är *Relativ viktningsmodell* och *Mervärdesmodellen*. En eventuell bonus för att elektrifiera alla anläggningsmaskiner skulle kunna ligga maximalt på 1% av anbudsvärdet enligt en uppskattning i WSP (2020). En risk med klimatkraven är att om de blir för komplexa kan det bli alltför kostsamt att även lägga in specifika krav på buller och luftföroreningar. En diskussion kring detta återfinns i detta projekts beskrivning av hur multikriterieanalys kan användas för planering av elektrifiering av byggarbetsplatser (Garção m.fl., 2023).

4 Diskussion

Efter intervjuer med aktörer som har olika roller i planering, beställning och utförande av byggprojekt visar det sig med relativt stor tydlighet att kravsättning förväntas komma från beställaren. Entreprenören har viss lagstiftning att följa vad gäller emissioner av luftföroreningar och buller men då all ansträngning för att minska miljöpåverkan innebär en ökad kostnad så betyder det också risk för konkurrensnackdel att ha större ambitioner på området än absolut nödvändigt. Sker både beställning och entreprenad inom kommunen så skulle det sannolikt vara möjligt att formulera en miljöpolicy som ställer krav på utföraren utöver miljöbalkens krav, men det kräver att miljöpolicyen går att omsätta i realiserbara mål och nyckeltal. Är entreprenören extern måste motsvarande krav formuleras i upphandlingen för att få effekt. Även om det skulle vara möjligt, riskerar det att driva upp kostnaden för projekten då det gäller krav som är mer än bara precis på rätt sida lagstiftningen. Det innebär svårigheter om kommunen t.ex. vill utforma en policy som säger att de arbetsredskap som ger mest kombinerad klimat och miljönytta alltid skall prioriteras. Att formulera en sådan policy i ett upphandlingsdokument blir mycket utmanande. Att sätta generella krav som att alla arbetsmaskiner skall köra på viss inblandning biobränsle eller att en viss andel arbetsmaskiner skall vara elektrifierade vid varje byggplats med minst tre arbetsmaskiner eller liknande är relativt enkelt att göra eftersom det går att generalisera till alla byggplatser, men krav som omfattar minimerad exponering för buller och luftföroreningar hos invånarna i kommunen blir mycket svårare då de inte hänvisar entreprenören till ett värde som skall klaras utan kräver att entreprenören gör en prediktion av situationen i olika scenarier.

En möjlighet är då att kommunen gör prediktionen för de olika scenarierna och kravställer sedan varje delprojekt eller byggarbetsplats som berör entreprenören så att elektrifierade arbetsmaskiner används på de platser där de gör störst nytta. Men även då uppstår vissa svårigheter eftersom det kan vara oklart hur man följer upp att maskinerna faktiskt används precis som kommunen krävt; Hur skall entreprenören kunna visa att denne har uppfyllt kraven?

Det kan också finnas en överspillningseffekt där de kommuner som inte kravställer sina arbetsmaskiner kan komma att erbjudas maskiner med högre utsläpp än nödvändigt i om att dessa maskiner inte kan användas i de kommuner som kravställer. Detta är inget vi har sett inom projektet, men en fundering som har diskuterats.

En övervägande del av aktörerna inom denna marknad har lyft vikten av att de krav som ställs följs upp. De krav som inte följs upp kan annars bli en konkurrensfördel för de som inte uppfyller kravet, men lovar att de ska. Detta implikerar också att kraven behöver formuleras på ett sätt som underlättar uppföljning. Exempelvis har andelen arbetsmaskiner som är elektrifierade angetts som ett krav, men samtidigt behöver storleken på maskiner som ska inkluderas i beräkningen vara tydligt för att inte mindre handverktyg ska jämsställas med stora entreprenadmaskiner.

Kravställandet måste också vara enkelt att genomföra, prediktera och följa upp. Tex har kommunen ansvar för att miljö kvalitetsnormerna för luftkvalitet inte överskrids där människor befinner sig. Att mäta luftföroreningshalter på alla platser där risken för överskridande finns är dock kostsamt, och normerna är formulerade så att de i de flesta fall behöver mäta under ett helt år för att säkerställa att överskridande har skett. Därför är detta krav svårt att applicera på en tillfällig byggarbetsplats.

Om kraven blir alltför komplexa och alltför många blir uppföljningen normalt kostsam, samtidigt som entreprenörens osäkerhet om kraven kan komma att klaras blir större. Det kan ge både mindre lönsamhet i branschen, högre anbudspriser och lägre benägenhet att ge anbud med komplexa miljökrav.

Krav på minskade klimatutsläpp driver bl.a. elektrifiering, men eftersom klimatutsläppen är globala kan utsläpp på en plats kompenseras av eldrift på en annan plats eller med biobränslen som minskar klimatutsläppen. Om krav ställs på god lokal miljö går sådan kompensation inte att använda. Dessa krav kan idag svårligen ställas av kommunen, som har ansvar för den lokala miljön, och det förekommer idéer och tankar om hur dessa möjligheter kan utökas, tex via lokala miljözoner.

Vid spridningsberäkningar är den största utmaningen att beskriva utsläppen från motorer av luftföroreningar och ljud i de traditionella arbetsmaskinerna som kommer att ersättas, inte hur de elektrifierade maskinerna fungerar. Avseende planering och kravställande finns sällan information innan byggstart var maskinerna ska arbeta, men om denna info finns kan den utnyttjas för att undvika närhet mellan exponerad och källa.

Den modell vi föreslår hanterar prioriteringen mellan olika arbetsmaskiner som kan elektrifieras, utgående från buller och luftmiljö. Modellen kan användas helt relaterat till dagens lagstiftning, men kan också användas med tydligare relation till allmänhetens exponering för buller och luftföroreningar. Modellen är väldigt enkel i sin

nuvarande form och med ett mer detaljerat underlag kan den utökas till större noggrannhet men med risk för ökad komplexitet.

5 Slutsats

Projektet föreslår:

- Vår enkla modell, som väger betydelsen av buller och avgasutsläpp mellan olika arbetsmaskiner, används i första hand. Om modellen är för tidskrävande bör de maskiner som arbetar närmast sårbara exponerade bytas ut i första hand.
- Kravställning vid upphandling avseende elektrifiering av arbetsmaskiner utgående från buller och avgasexponering förenklas kraftigt för att undvika suboptimering i tidsåtgång. Följ upp ställda krav!
- Uppmärksamma att klimatutsläpp inte alltid sammanfaller med luft och bullerutsläpp, då tex biobränslen löser klimatproblemet men inte buller- och luftproblemet.
- Tydliggör vem som har möjlighet att krävställa elektrifiering av byggarbetsplats i olika konstellationer

6 Referenser

- Boverket (2023). <https://www.boverket.se/sv/PBL-kunskapsbanken/planering/detaljplan/lamplighetsbedomning/mkn/>, besökt 2023-09-05
- Brydolf, M. & C. Johansson (2010) Avståndets betydelse för luftföroreningshalter vid vägar och tunnel-mynningar JÄMFÖRELSE MELLAN UPPMÄTTA OCH BERÄKNADE HALTER AV KVÄVEOXIDER (NO_x), LVF 2010:22, Stockholms och Uppsala läns luftvårdsförbund
- Garção, Magnusson, Franzén (2023). Electric Worksite II - Metodutveckling för Hållbarhetsanalys, Jämförelse mellan konventionell och elektrifierad arbetsplats ur hållbarhetsperspektiv, NCC Teknik
- Göteborgs stad (2017). [Checklista+Miljöanpassat+byggande+2.0-2017.pdf \(goteborg.se\)](#), besökt 2023-05-22
- Göteborgs stad (2019). Göteborgs stads miljö- och klimatprogram 2021-2030, <https://goteborg.se/wps/portal/start/kommun-och-politik/sa-arbetar-goteborgs-stad-med/hallbarhet-och-agenda-2030/program-och-planer-for-miljo-och-klimat/miljo--och-klimatprogram-for-goteborgs-stad-2021-2030>, besökt 2023-06-01
- Göteborgs stad (2023). *Göteborgs Stads miljö- och klimatprogram 2021-2030*. N010G00732 Version: 4. (H 2021 nr 43, P 2021-03-25 § 18, Dnr 0409/19; H 2021 nr 269, P 2022-01-27 § 10, Dnr 0110/21. H 2023 nr 3, P 2023-01-26 § 20, Dnr 0044/22)
- Haeger-Eugensson, Bjurbäck, Nygren, Janhäll, Hultberg, Gustavsson, Achberger, García, Lindstein (2018). *Damning och buller vid byggarbetsplatser*, COWI, VTI LFM30, <https://lfm30.se>, besökt 2023-09-28
- Mawdsley, Ingrid., Helbig, Tobias. 2021. *Kartläggning av eldrivna arbetsmaskiner*. SMED Svenska MiljöEmissionsData. SMED Rapport Nr 3 2021. Sveriges Meteorologiska och Hydrologiska Institut. Norrköping. ISSN: 1653-8102
- Mölnads stad (2014). *Mölnads miljömål 2022*, Mölnadal <https://www.molndal.se/download/18.53808c8a15893b227318b40/1553599947845/miljomal.pdf>, besökt 2022-10-22
- Naturvårdsverket (2019). *Luftguiden*, <https://www.naturvardsverket.se/publikationer/0100/luftguiden-version-4/>
- Naturvårdsverkets allmänna råd (2004:15) om buller från byggplatser
- Trafikverket (2022). TDOK 2015:0480 Klimatkrav i planläggning byggskede underhåll och på tekniskt godkänt järnvägsmateriel, Trafikverket
- Trafikverket. (2018). *Gemensamma krav för entreprenader*. [Miljökrav i entreprenader - Bransch \(trafikverket.se\)](#)

Trafikverket (2018). *Vägledning för gemensamma krav för entreprenader*.
https://bransch.trafikverket.se/contentassets/f8269da30deo47a38b10a76f80fcb43c/vagledning_2018_rev-2021-03-02.pdf

Volvo (2018). *Testing begins at world's first 'emission-free' quarry* [pressmeddelande], 29 augusti. <https://www.volvoce.com/global/en/news-and-events/news-and-stories/2018/testing-begins-at-worlds-first-emission-free-quarry/>

WSP (2020) *Utsläppsfria bygg och anläggningsplatser – Rekommendationer till upphandlingskrav*, WSP uppdragsnummer 10294390, författare: Linn Snarset, Cecilia Almér

Lagar och standarder:

Sveriges rikets lag: 1998:1707 samt 1998:1709

Proposition 2006/07:122 samt 2009/10:184

EU-förordning 2016/1628, tidigare direktiv 97/68/EG

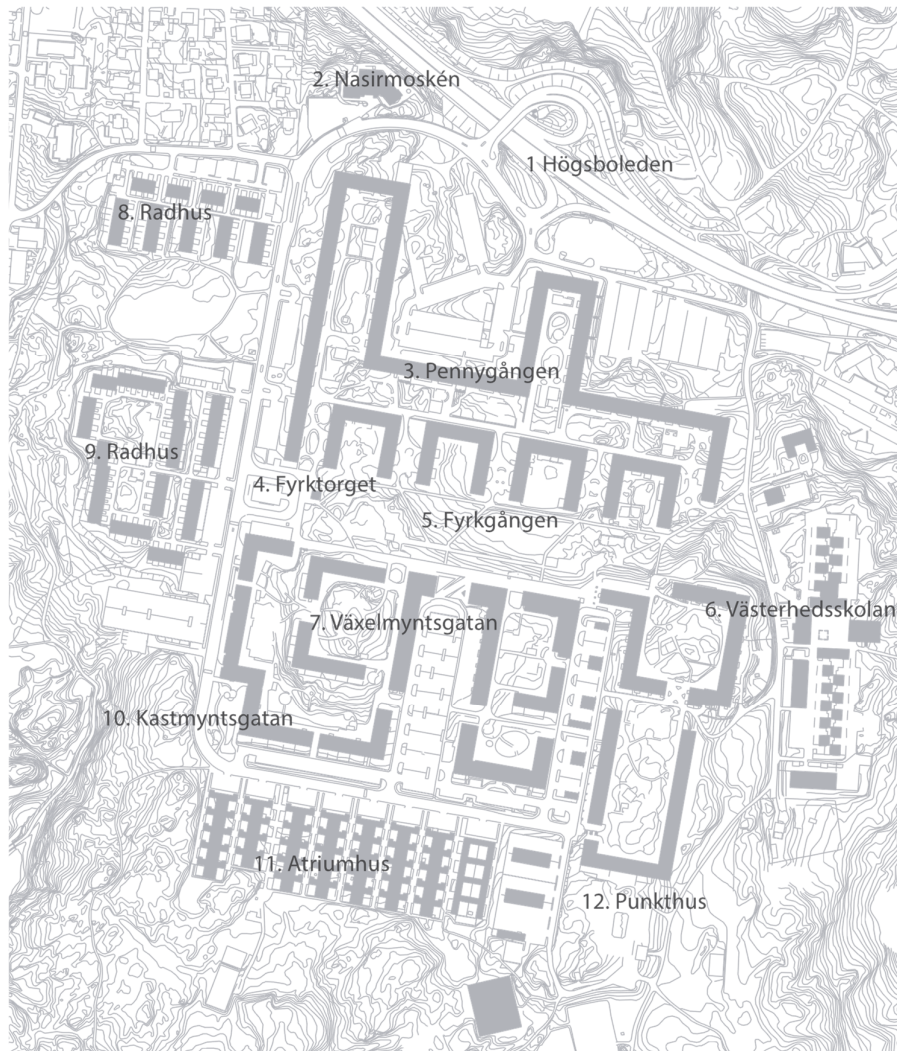
EU-förordning 2013/167

ISO 9613-2

Bilaga 1 – Beslutsstödsmodell

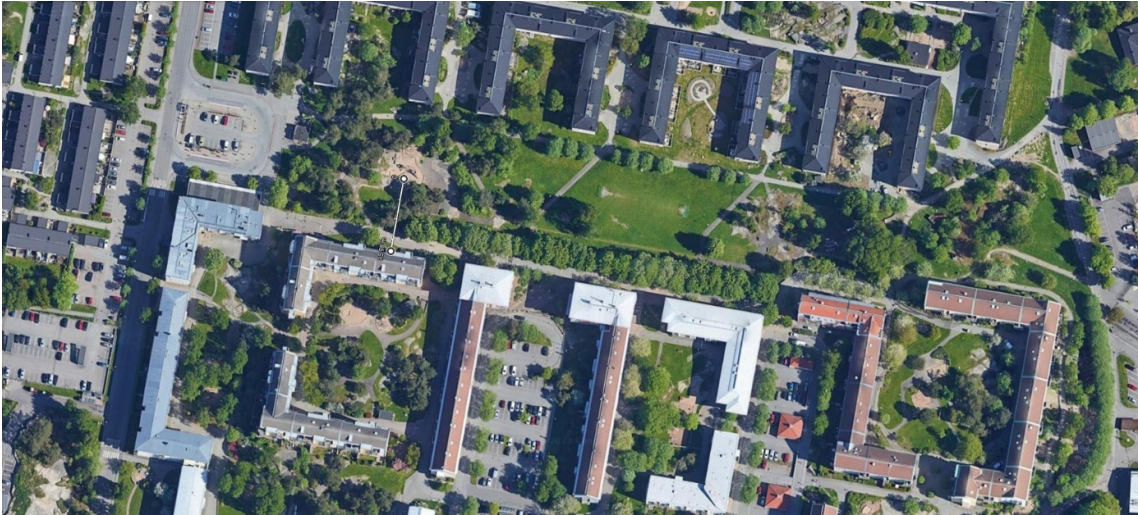
Enkelt beräkningsstöd för miljöeffekter av elektrifiering av arbetsmaskiner

I denna bilaga presenteras den modell som kan användas som beräkningsstöd när man skall bestämma den lämpligaste arbetsmaskinen att elektrifiera med hänsyn till lokala miljöeffekter. Modellen presenteras genom en exempelkalkyl för ett påhittat byggprojekt som baseras på olika underlag. Underlaget för maskinanvändning kommer från en kalkyl utförd av Park och Naturförvaltningen i Göteborg medan geografiskt underlag har bestämts utifrån ett nyligen genomfört byggprojekt vid Fyrktorget i Göteborg. Vi har också skapat alternativa geografiska förutsättningar inom det befintliga underlaget för att jämföra olika möjliga utfall som kan förekomma i liknande situationer.



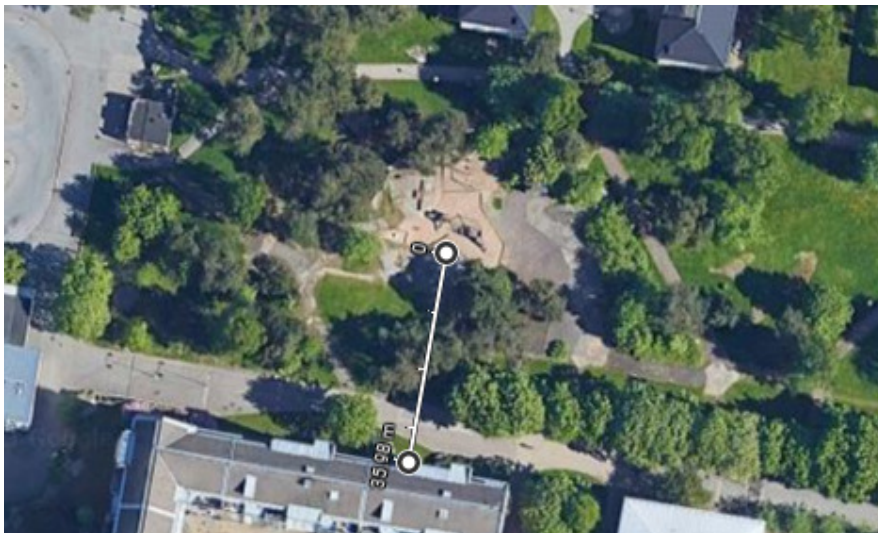
Figur 1. Karta över Högsbo höjd. Fyrktorget och lekplatsen i västra änden av Fyrkgången genomgick en omfattande ombyggnation i början av 2020-talet

I det tänkta byggprojektet skall två grävmaskiner arbeta i området Högsbohöjd i Göteborg (Figur 1) för att bygga en lekplats och bygga om ett torg. Detta projekt har verkligen genomförts i början av 2020-talet, men kalkylerna för maskinval, drivmedel och arbetstid från arbetet med lekplatsen och torgmiljön i Högsbo fanns inte tillgängliga för analys, så ett annat kalkylunderlag har använts som exempel. Eftersom det i denna genomgång av maskinvalsmodellen inte handlar om att göra ett val till ett faktiskt byggprojekt så är de absoluta bullernivåerna och luftföroreningshalterna inte nödvändiga.



Figur 2. Satellitbild över del av Högsbo höjd.

Figur 2 visar en satellitbild över det aktuella området med två platser markerade. Den ena platsen, markerad med en grön punkt, är platsen för det verkliga lekplatsbygget. Den andra platsen, markerad med en röd punkt, är en kringbyggd innergård med en förskola i ena hörnet. I det verkliga fallet genomfördes inget byggarbete på innergården, men för att ge exempel på olika utfall som kan erhållas ur modellen så har den platsen också inkluderats.



Figur 3. Satellitbild över lekplatsen vid Fyrkgången. Avståndet från mitten av lekplatsen till närmaste fasad är ca 36 m [källa maps.google.se].

Som underlag för typ av arbete, typ av maskin och tidsåtgång så används en kalkyl från Park och Naturförvaltningen i Göteborg. I detta fall har en enskild arbetsuppgift valts ut som exempel och för att göra en komplett undersökning behöver miljöpåverkan för alla relevanta arbetsuppgifter beräknas. Det aktuella exemplet omfattar grävande av jordschakt för väg, vilket i fallet med lekplatsen vid Fyrkgången får representera en del av de markarbeten som krävs för att etablera lekredskap, fallskydd och annat som ingår i en lekplats. Som kan ses i Tabell 3 beräknas arbetet ta 84 timmar att slutföra.

Tabell 3. Kalkylunderlag för schaktning med 16tons bandgrävare i sammanlagt 84 timmar.

Avsnitt	Resnr	Benämning	Kapacitet	Antal	Enhet
CBB.112	Jordschakt Kategori B för väg, plan o d			1340	m3
	1TID001	Yrkesarbetare	16	168	tim
	2GRÄ004	Grävmaskin band	16	84	tim
	2LAS026	Lastbil 4-axlad		336	tim
		Tipp		2680	ton

En avgörande faktor för hur omgivningen påverkas av buller och luftföroreningar är avståndet mellan arbetsmaskinen och den miljö som drabbas av exponering. Lagstiftningen kring buller och luftföroreningar skiljer sig mer än effekterna på omgivningen, och därför sker beräkningarna gemensamt för föroreningarna i första hand. I Figur 3 har avståndet från lekplatsen till närmaste fasad uppmäts till ca 36 meter. På innergården är avståndet från en punkt mitt på gården till närmsta fasad ungefär 30 meter. Motsvarande avståndsmätningar kan göras för det kartunderlag som oftast ingår i projekteringsarbetet i inledningen till de flesta byggprojekt. Mätningen används för att beräkna hur stor avståndsdämpningen är för buller, och på motsvarande sätt hur halten av luftföroreningar avtar, i ett normalfall. Dock är avseende luftföroreningar främst vindhastigheten och vindriktningen av betydelse för halterna, då föroreningarna endast transporteras i vindriktningen. I modellen används ett enkelt linjärt avtagande för luftföroreningar där den lokala halten halveras för varje dubbling av avståndet, med 25 meter som referensavstånd, och helt oberoende av vindriktningen då denna sällan är känd vid planeringen och föroreningsplymen ökar i bredd under spridningen.

Under den tid som maskinen är igång släpps kväveoxider och avgaspartiklar ut i förhållande till hur hårt maskinen arbetar. Halterna minskar med avståndet men ökar samtidigt bakgrundshalterna även på relativt stora avstånd och därför delas exponeringen upp i en lokal del och en regional, eller halvlokal, del. Antalet exponerade personer i de olika områdena behöver anges i modellen och för att förenkla jämförelsen med buller kommer samma område som bullerområdet användas för den lokala delen, medan den halvlokala delen relaterar mer till en skala över 500m.

För bulleremission kan ljudeffekten hos en arbetsmaskin utläsas ur maskinens dokumentation. För en 16-tons maskin är en typisk ljudeffektnivå $L_w=100$ dBA. Ljudeffektnivån mäts enligt en metod föreskriven i ISO 6395 som innebär att flera mikrofoner placeras omkring maskinen och maskinen körs under hög belastning för att efterlikna de situationer då maskinen utför grävarbete i verklig användning. Ljudtrycksnivån, vilket är det mått som används i riktvärden för bullerexponering, beräknas från ljudeffektnivån med hjälp av enkel sfärisk utbredning. I denna modell för skattning av miljöeffekter tas hänsyn till att ljudet strålas ut i en halvsfär när arbetsmaskinen står på en hård markyta, men inga andra utbredningseffekter så som markimpedans eller väder är inkluderade.

För både luftföroreningar och buller gäller att emissionen beror av hur arbetsmaskinen används. För luftföroreningar tar man hänsyn till det för vanliga vägfordon genom att ta fram standardiserade körcykler som kan användas för att beskriva variationer i trafikarbetet och därmed beräkna utsläpp från trafiken, då särskilt acceleration påverkar emissionerna kraftigt. För buller hanteras det för vägtrafik främst genom olika emissionsnivåer för olika hastigheter men en del metoder hanterar också bidrag från acceleration och retardation. I brist på motsvarande körcykler för olika aktiviteter som en arbetsmaskin utför på en byggplats så hanterar denna modell två olika fall: full last och tomgång. För tomgångskörning påverkas både emissionen av luftföroreningar och bulleremissionen, och i det aktuella exemplet antas att tomgångsbulleremissionen är 15 dBA lägre än för full last och att utsläppen av "avgaser" är hälften för tomgångskörning jämfört med full last. Avseende avgaser skiljer sig olika motorer åt, samtidigt som olika föroreningar påverkas på olika sätt, vilket gör att faktorerna behöver analyseras för varje enskilt fall.

En tidsfaktor används för att ange hur stor del av tiden som utgör körning med full last och övrig tid antas vara tomgångskörning. En motsvarande faktor ingår ibland i kalkylerna för bränsleåtgång och då kan den tas direkt därifrån, annars får en faktor skattas utifrån kunskap om typ av arbete som skall utföras. En tumregel från maskinoperatörer som intervjuats inom projektet är t.ex. att när grävning skall ske i gatumiljö där det förekommer många kablar och rörledningar så blir det en del tomgångskörning då schaktet måste inspekteras manuellt med spade för att undvika skador på befintliga rör och ledningar. En rimlig faktor skulle vara att full last gäller för 70% av tiden maskinen är i bruk och att resten utgör tomgång och att denna faktor kan göras platsspecifik.

Olika miljöer i omgivningen är olika känsliga, och för buller finns olika riktvärden för kontor, bostäder, sjukhus och skolor/förskolor, medan luftkvaliteten ska vara fullgod i alla miljöer där människor vistas varaktigt. En del av skillnaderna mellan dessa områden gäller bullernivåer inomhus, andra gäller vilken veckodag eller tid på dagen störningen sker. Dessa skillnader hanteras i modellen så att referensnivå är riktvärdet för bostäder, dagtid, måndag – fredag. För tider med lägre riktvärden "straffas" bulleremissionen med motsvarande ökning så att resulterande emission är normaliserad till referensnivån (Tabell 4). Kontorslokaler har ett högre riktvärde än referensnivån så för dem minskar i stället emissionen för att erhålla motsvarande normalisering. Några miljöer saknar riktvärden för vissa dagar och tider vilket beror på att det vanligen inte pågår verksamhet dygnet runt alla dagar i veckan så bulleremissioner vid sådana tider innebär inte att någon exponeras. För sådana fall sätter vi bulleremissionen till 0 dB för arbetsmaskinerna då emissionen är

ovidkommande. På samma sätt blir det ingen exponering för buller ifall byggplatsen är placerad på ett stort avstånd från alla typer av bebyggelse, som när en ny landsväg byggs mellan tätorter. I modellen representeras detta av att när ljudtrycksnivån på ett tillräckligt stort avstånd faller under 30 dBA så sätts den till 0, vilket motsvarar ett antagande att bakgrundsljudnivån från närliggande trafik eller andra ljudkällor är 30dB så att minska exponeringsnivån ytterligare skulle vara verkningslöst. Det skulle vara möjligt att välja ett högre värde i miljöer med högre bakgrundsnivå men det skulle kräva kunskap om den aktuella bakgrundsnivån. En nivå lägre än 30 dBA uppträder väldigt sällan då t.ex. vindsus i träd orsakar motsvarande nivåer.

Tabell 4. Korrektionsfaktorer för olika känsliga miljöer, olika veckodagar och olika tider på dygnet.

	Mån-Fre			Lör-Sön		
	Dag	Kväll	Natt	Dag	Kväll	Natt
Bostäder/Sjukhus	0	10	15	10	15	15
Skolor/Förskolor	0	-100	-100	-100	-100	-100
Kontor	-10	-100	-100	-100	-100	-100

För luftföroreningar gäller miljö kvalitetsnormer där det inte finns specificerat olika halter för olika miljöer så som sjukhus eller skolor. Samtidigt vet vi att antalet människor som befinner sig i olika miljöer vid olika tider på dygnet varierar. Vi har i denna modell för skattning av miljöeffekter därför valt att ta hänsyn till den forskning som indikerar att barn är mer känsliga än vuxna för luftföroreningar genom att "straffa" emissionen av luftföroreningar så att den är dubbelt så hög för beräkning av påverkan på skolmiljöer som för övriga miljöer, samt att arbete under dagtid straffas nära dagtidsverksamheter, medan nattarbete straffas i boendemiljöer.

Både för buller och framför allt för luftföroreningar är inverkan av väder mycket stor på exponeringen för miljöeffekterna. I denna modell inkluderas inte någon metod för att hantera vädereffekter då dessa varierar kraftigt mellan olika tidpunkter och lika geografiska lägen medan de inte är relaterade till egenskaperna hos arbetsmaskinen. En vädereffekt som indirekt inkluderas i modellen är dock vindhastighet genom att skilja mellan öppna områden och kringbyggda innergårdar. Det kan vara lite oklart hur man skall definiera dessa olika fall i varje enskilt fall, men en tumregel kan vara att varje yta som omges på minst tre sidor med vägg eller mur av en höjd på minst 4m kan anses kringbyggd. I sådana områden kan man anse att det oftast är lå och att luftföroreningarna alltså inte späds ut i någon större omfattning. Detta representeras i modellen genom att dubbla halten på samma sätt som görs för områden anslutande till skola eller förskola. För buller kan man anta att ljudet reflekteras i de omgivande väggarna så att den totala ljudnivån ökar. Ökningen i ljudnivå beror av ytans egenskaper för reflektion och absorption av ljud samt storlek på ytorna och volym på det inneslutna utrymmet. I modellen har en schablonökning på 3 dBA använts för att representera alla dessa olika fall.

För buller gäller att om arbetsuppgiften för maskinen är bullrande i sig så blir effekten av maskinens eget buller mindre betydande. I denna första version av en modell för skattning av miljöeffekten inkluderas främst grävmaskiner och hjullastare. Som en väldigt förenklad metod för hantering av hur bullrande arbetsuppgiften är har en faktor baserad på en skattning av hur bullrande arbetsuppgiften är som maskinen utför. Ett

antagande är att när maskinen hanterar finare fraktioner av material så som jord, grus och mindre makadam så genereras begränsat buller från grävning/schaktning och lastning, medan för gatsten, sprängsten och liknande så orsakar de stora fraktionerna betydande buller. På samma sätt innebär spointing och pålning höga bullernivåer som är oberoende av maskinens drivning. Vi har inte några mätningar som kan användas som underlag för hur en korrektionsfaktor bör utformas, så att antagande har gjorts att för hantering av de största materialfraktionerna eller andra bullrande aktiviteter är bullret från aktiviteten motsvarande ljudeffekten hos maskinen. Detta representeras genom att minska maskinens bulleremission med stort tal så att det beräknade bullerbidraget blir noll vilket betyder att maskinens egenbuller är oväsentligt, och i ett sådant fall skulle alltså ett byte från dieseldriven till elektrifierad arbetsmaskin inte innebära någon förbättring. Det är viktigt att påpeka att den resulterande nivån alltså inte kan användas för att beräkna verklig exponering, utan kan endast användas för att bedöma hur mycket en arbetsmaskins egenbuller bidrar till bulleremissionen i en specifik situation.

Luftföroreningar påverkas på samma sätt främst genom damning, men om målet med elektrifiering är att minska halterna av kväveoxider och avgaspartiklar kommer dessa inte att kunna räknas samman med dammet, som främst utgörs av partiklar i en annan storleksfraktion. Däremot ser vi för luftföroreningar en problematik som relaterar mer till lagstiftning än till exponering, där ytterligare emissioner av avgaser i områden som redan är belastade med höga halter av tex kväveoxider riskeras att miljö kvalitetsnormerna för kväveoxider överskrids och då är det mycket kostsamt att använda förbränningsmotorer i dessa områden. Att ytterligare öka buller i en bullrig miljö är inte alls lika hårt straffat i lagstiftningen och modellen har därför lagt en extra faktor på utsläpp av avgaser i områden där miljö kvalitetsnormerna för kväveoxider och/eller partiklar riskeras.

Sammantaget kan miljöpåverkan från en arbetsmaskin för det fiktiva projektet i Högsbo skattas med

- ljudeffektnivå för arbetsmaskinen
- NOx-emissionsfaktor, eller annan avgasemission, för arbetsmaskinen³
- andelen av tiden som maskinen skall köras under full last
- avstånd till bostad/sjukhus, skola och kontor
- veckodagar då arbetet skall utföras
- tid på dygnet då arbetet skall utföras
- totala antalet timmar maskinen används för arbetet
- aktivitetens egenbuller
- förekomst av kringbyggd innergård

³ Emissionen kan ses som en kombination av maskinens egenskaper och bränslemängden men i detta fall skattar vi en snitthalt som är ett resultat av maskinens användning. I denna modell har vi låtit "Avgas" vara en proxy för alla luftföroreningar då man kan anta att de som är avgörande för valet av arbetsmaskiner samvarierar.

Tabell 5. Ingångsvärden för exemplet lekplats vid Fyrkgången i Högsbohöjd.

Egenskap	Värde	Enhet
Lw	100	dBA
Avgas [EF]	2.3	g/h
Driftfaktor [Kd]	1	
Timmar [T]	84	h
Avs. bostad	36	m
Avs. skola [d]	360	m
Avs. kontor	2000	m
Antal inv inom 0,5-10km [I]	700	pers
Innergård [Gr]	0	
Aktivitetens buller [L _x]	0	dBA
Andel arbetstid dagtid	1	

Bullernivå vid de olika miljöerna beräknas med hjälp av hur ljudnivån avtar med avståndet d enligt

$$L_p = L_w - \left| 10 \log \left(\frac{2}{4\pi d^2} \right) \right|$$

där L_w beräknas enligt

$$L_w = 10 \log \left(10^{\frac{Kd \cdot L_{w_{full\ last}}}{10}} + 10^{\frac{(1-Kd) \cdot L_{w_{full\ last}}}{10}} \right) - L_x + Gr \cdot 3$$

där L_x kan anta samma värde som L_{w_{full last}} (100dBA i detta fall) för bullriga aktiviteter som hantering av sprängsten eller oDBA för ickebullrande aktiviteter och där Gr kan anta värdet 1 om maskinen står på kringbyggd innergård eller 0 om maskinen står utanför innergård, vilket sedan multipliceras med 3 dBA för att representera den ökade ljudnivån på kringbyggd innergård.

För att ta hänsyn till veckodag och tid på dygnet används värdena i Tabell 4 enligt

$$\Delta L = 10 \log \left(\frac{1}{T} \left(10^{\frac{T_{dag, vardag}}{10}} + 10^{\frac{T_{kväll, vardag}}{10}} + 10^{\frac{T_{natt, vardag}}{10}} + 10^{\frac{T_{dag, helg}}{10}} + 10^{\frac{T_{kväll, helg}}{10}} + 10^{\frac{T_{natt, helg}}{10}} \right) \right)$$

för respektive bostad/sjukhus, skola och kontor. Slutligen vägs värdena för bostad, skola och kontor samman till ett gemensamt värde som jämförs med ett minsta bakgrundsvärde om 30 dBA enligt

$$Lp_{tot} = \begin{cases} 0, & Lp_{tot} < 0 \\ 10\log\left(10^{\frac{Lp_{bostad}}{10}} + 10^{\frac{Lp_{skola}}{10}} + 10^{\frac{Lp_{kontor}}{10}}\right) - 30, & Lp_{tot} \geq 0 \end{cases}$$

vilket innebär att den ekvivalenta totala ljudtrycksnivån sätts till noll när den faller under bakgrundsnivån.

För luftföroreningar beräknas den lokala halten med en gaussisk spridningsmodell enligt

$$Avgas = \begin{cases} 0, & Avgas < 0 \\ T \cdot EF \cdot (1 + Gr) \cdot e^{-\frac{d}{36}}, & Avgas \geq 0 \end{cases}$$

Där T är tiden maskinen arbetar, EF är avgasemissionen, Gr är förekomst av kringbyggd innergård och d är avståndet till skola/förskola. Avståndskorrekturen innebär att halten anses falla under bakgrundhalten för avstånd större än 50m och sätts därmed till 0 på samma sätt som bullernivåer som faller under bakgrundsnivån. Även för bostäder och arbetsplatser kan effekten av luftföroreningar hanteras på samma sätt om så önskas. För luftkvalitet finns inte denna typ av regelsystem, medan hälsoeffekter anses finnas, vilket gör det möjligt att använda samma indata som för bullersidan. Utöver den lokala emissionen i närheten av den känsliga skolmiljön så bidrar emissionerna till den totala bakgrundhalten vilket drabbar kringboende i ett område med en radie på upp till 10km. Bidraget till ökad bakgrundshalt beräknas som, där faktorn 0,01 är godtyckligt vald:

$$Bakgrund = 0.01 \cdot EF \cdot I$$

Slutligen summeras något regelvidrigt bidraget till luftföroreningar och bidraget till bullernivåer. De har ju helt olika enheter och borde behandlas separat, men som en sammanvägd miljöpåverkan är det rimligt att addera de två storheterna då de inte används för att beräkna faktisk exponering.

I det ovanstående exemplet där en grävmaskin placeras mitt i området för bygget av lekplatsen på ett avstånd till närmaste bostad på 36m och ett avstånd till närmast skola på 360m resulterar beräkningarna i en miljöpåverkansfaktor på 46,3. Flyttar man till den innergård där förskolan är placerad blir miljöpåverkansfaktorn i stället 123,5, vilket visar att om två maskiner skall arbeta med liknande uppgifter på dessa två platser så bör den som placeras på innergården elektrifieras för att göra störst nytta. Om arbetet på innergården innebär att schakta och hantera sprängsten, vilket innebär mycket egenbuller, blir miljöpåverkansfaktorn 88, vilket är detsamma som luftemissionsfaktorn då bulleremissionsfaktorn blir 0 i detta fall. Det är fortfarande värt att byta ut maskinen på innergården mot en elektrifierad maskin på grund av luftföroreningarna som drabbar förskolan. Utan förskola blir luftföroreningsfaktorn på innergården och därmed också miljöpåverkansfaktorn 44, och därmed skulle maskinen som arbetar vid positionen för lekplatsen vara lämpligast att byta ut. Finns varken bostäder, skola eller kontor i närheten blir miljöpåverkansfaktorn 0, och verksamheten inte pågår i en stadsmiljö där avgasutsläppen påverkar även på större avstånd, kan

elektrifieringen anses onödig ut lokal miljöhänsyn, och klimatpåverkan är den faktor som gynnas av elektrifiering.

Detta första utkast till modell för sammanvägning av hur lokalmiljön kring en byggarbetsplats kan tas m hand är inte en färdig modell, utan en principmodell. Målet har inte varit att jämföra mellan påverkan från antingen buller eller avgasutsläpp utan mer för att ge ett förslag till hur en sådan modell kan byggas upp. Viktigt för oss har varit att tydliggöra utmaningarna kring olikheter i lagstiftning och miljökrav för de olika variablerna, och att dessa skillnader kan överkommas. För att resultatet ska kunna nyttjas i verklig användning bör alla resultat hanteras med försiktighet och främst grundtankarna tas tillvara.

Through our international collaboration programmes with academia, industry, and the public sector, we ensure the competitiveness of the Swedish business community on an international level and contribute to a sustainable society. Our 2,800 employees support and promote all manner of innovative processes, and our roughly 100 testbeds and demonstration facilities are instrumental in developing the future-proofing of products, technologies, and services. RISE Research Institutes of Sweden is fully owned by the Swedish state.

I internationell samverkan med akademi, näringsliv och offentlig sektor bidrar vi till ett konkurrenskraftigt näringsliv och ett hållbart samhälle. RISE 2 800 medarbetare driver och stöder alla typer av innovationsprocesser. Vi erbjuder ett 100-tal test- och demonstrationsmiljöer för framtidssäkra produkter, tekniker och tjänster. RISE Research Institutes of Sweden ägs av svenska staten.



RISE Research Institutes of Sweden AB
Box 857, 501 15 BORÅS
Telefon: 010-516 50 00
E-post: info@ri.se, Internet: www.ri.se

Byggnaden som system
RISE Rapport 2023:108
ISBN: 978-91-89821-88-0



Operatörers Arbetsmiljö Sammanfattning Arbetspaket 3 Electric Worksite

Christian Koch och Dimosthenis Kifokeris

INSTITUTIONEN FÖR ARKITEKTUR OCH
SAMHÄLLSBYGGNADSTEKNIK
Avdelningen för Byggnadsdesign

CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Göteborg, Sverige 2022
www.chalmers.se

Akademien för företagande,
innovation och hållbarhet

HÖGSKOLAN I HALMSTAD
Halmstad, Sverige 2022
www.hh.se



CHALMERS



HÖGSKOLAN
I HALMSTAD

Sammanfattning AP 3 operatörers arbetsmiljö

Syfte och fokus

Syftet med analys av operatörers arbetsmiljö är att undersöka om bytet till elektriska arbetsmaskiner möjliggör och/eller utmanar maskinoperatörers och yrkesarbetares (anläggare) arbetsförhållande, dvs. deras arbetsmiljö.

Vi tillämpar begreppet "operatörer" varför inte alla som kör maskiner ser sig själv som maskinister. På samma sätt tillämpas "yrkesarbetare" som begrepp för de anställda som arbetar nära samman med operatörerna/maskinisterna runt användningen av arbetsmaskiner. Elektriska arbetsmaskiner, maskinister, yrkesarbetare och annan personal som interagerade med de elektriska arbetsmaskinerna observerades på plats och maskinister och yrkesarbetare intervjuades. Sen har också platsledningen blivit intervjuad för att förstå ramvillkoren för arbetet med elmaskinerna.

Metod

Undersökningen drar på ett helhetsorienterat arbetsmiljöbegrepp, som här undersökts vid hjälp av kvalitativ datainsamling och -analys. Totalt har 229 timmars och 49 minuters observation gjorts på i allt 10 platser. Dessa registrerades i kalkylark. 27 intervjuer genomfördes med operatörer, yrkesarbetare, arbetsledare och platschefer. Merparten av intervjuerna spelades in och transkriberades. I tre undantag gjordes noteringar under intervjun som sen sammanställdas i anteckningar.

En tidigare svensk undersökning Prevent (2004) "Förbättrad arbetsmiljö för anläggningsmaskinförare" har tillämpats som referenspunkt för jämförelse av arbetsmiljö vid elektriska arbetsmaskiner och före detta dieselmaskiner. Prevents undersökning är dock drygt 20 år gammal vilket innebär att medan mycket mekanisk design av arbetsmaskiner är jämförbar, så är till exempel digital utrustning inte det. Det hade varit positivt att kunna ha jämförbar digital utrustning för Electric Worksite projektet. Vilket emellertid inte var fallet.

Baserat på de transkriberade intervjuerna och delar av observationsnoteringarna gjordes tematiserade utdrag som sammanställdes dels enligt enskilda maskiner (och platser) och dels tvärs platser/maskiner.

Det tillämpade koncept för arbetsmiljö

Konceptualiseringen av arbetsmiljö är " Alla faktorer som påverkar medarbetarnas hälsa" (Arbetsmiljöverket 2023). Arbetsmiljöanalysen som är gjord här består av tre dimensioner

1. Fysisk arbetsmiljö
2. Organisatorisk och social arbetsmiljö
3. Risk för arbetsolycksfall och Incidenter/Tillbud

Härtill kommer dimensionen "osäkra arbetsförhållanden" som relaterar till den kontraktuella relationen mellan maskinentreprenörerna och byggentreprenörerna. Samt det förebyggande arbetsmiljöinsats som föreslås som en del av ramen för arbetet. Dessa två aspekter, osäkra arbetsförhållanden och arbetsmiljöinsatsen, är inte behandlade i denna sammanfattning.

Fysisk arbetsmiljö

När det gäller den fysiska arbetsmiljön är det avgörande att merparten av de fordon som är testade är i princip byggda på samma grundmaskin som en dieselmaskin. Detta innebär att design av hytten, inkl. utrustning, komfort, utseende och luftkonditionering (Aircondition, AC) är det samma på elmaskinerna som på en motsvarande dieselmaskin. Det gäller även tillgänglighet, trappsteg, handgrepp etc.

Fysisk aktivitet/ inaktivitet

På de platser där arbetet var fragmenterat, jobbade operatörerna ofta både med maskinen utifrån en position i hytten och på marken (ex. en maskinist som bidrog till arbetet med att sprida ut grus). Denna kombination av stillasittande arbete och aktivitet är utifrån ett arbetsmiljö- och hälsoperspektiv bra.

Vid de intensiva arbetena däremot kunde operatören sitta längre tid i hytten relativt passiv. Om detta är ett mönster i arbetet över längre tid är det ohälsosamt. Några operatörer upplevde det fysiskt passiva arbete i hytten som mer tröttsamt (intervju). Detta är en generell iakttagelse och undersökningen har inte haft fokus på, eller kunnat dra några slutsatser om tillämpningen av el kunnat göra någon skillnad för inaktivitet.

Buller

Tre testmaskiner hade lågt bullernivå. Vid dessa maskiner upplevde yrkesarbetarna att de kunde kommunicera omedelbart vid maskinerna. För tre andra testmaskiner (ECR 25, kabelmaskin och 7-tons prototypjulgäravare) framträder hydrauliksystemets högfrekventa ljud som maskinisterna reagerade på, särskilt vid arbetet i hytten. Vid körning med ECR 25 åtgärdade operatören detta genom att ha på sig hörselskydd.

Sen är upplevelsen av buller avhängig av det bredare ljudlandskap platsen befinner sig i. Parkerna är alla rätt tysta och här betyder både frånvaro av dieselmaskinens höga bullernivå, men också det buller som elmaskinen avger mycket. Medan vid logistikbygget i Göteborgs Hamn, kontorsbygget Habitat 7, rör och vägbygget intill Liseberg samt Fyrktorget alla är arbetsplatser karakteriserade av ganska mycket bakgrundsbuller från motorvägs- och järnvägstrafik.

Vibrationer

Vid arbete med dieselmaskiner är det vanligt att operatören utsätts för vibrationer som får hela kroppen att skaka och vibrera. Några operatörer upplever vibrationer i samband med att skopan dras i marken (intervju). Andra upplever att vibrationerna är klart mindre på El-maskinen (intervju).

Hytt och fotsteg

Oavsett om det är en el- eller dieselmaskin så varierar den fysiska utformningen av hytt och access med modell och storlek. Önskemål och vissa besvär med att röra sig i och ur hytter via fotsteg framgick i observationer och intervjuer. Detta kan till del härledas till individuella skillnader och vissa personliga preferenser. Med enstaka undantag utgick samtliga testade maskiner från samma mekaniska plattform som motsvarande dieselmaskin med identisk hyttutformning, fotsteg och ledstänger.

Det fattades fotsteg på 15-tons prototypjulgrävaren på den version som testades vilket kommer att åtgärdas vid eventuell lansering. Om det fattas fotsteg så kan operatören frestas att hoppa ner från maskinen. Om man hoppar en halvmeter varje dag i många år tar knäna stryk. Det är dessutom en kontrast till passivt sittande arbete i hytten vilket ökar belastningen.

Organisatoriskt social arbetsmiljö

Den organisatoriska sociala arbetsmiljön beror på två förhållande: platsledning och planering samt variationen i arbetsuppgifter på byggsite. Dessa två förhållande hänger dessutom till viss del ihop. I kort finner vi i undersökningen två typ arbetsaktivitetsmönster, det intensiva och det fragmenterade.

Det intensiva aktivitetsmönstret innehåller kontinuerliga repetitiva processer som utförs med jämna mellanrum och med en hög intensitet i utförda uppgifter. De platser där arbetets struktur och planering skapar detta mönster, leder det till arbete med få avbrott. De maskiner och förare som arbetar i detta mönster avbröt vanligtvis bara sitt arbete under de föreskrivna rasterna. Variation kunna till exempel inträffa när massor skulle lastas på lastbil eller annat fordon. Arbetsmiljörisken i samband med intensivt arbete rör sig om stillasittande arbete (i hytten) med återkommande små moment av rörelse av fingrar, händer och arm. Sådant arbete leder på längre sikt till risk för olika yrkessjukdomar som tennisarm, kretsloppssjukdomar m.m. (en operatör hade upplevt det i sitt yrkesliv). Det är inte tillräckligt förebyggande i utformning av stolar och utrustning, utan man måste planera in variation i sådant arbete.

Det fragmenterade aktivitetsmönstret, uppstår på de platser där arbetets struktur och planering skapar detta mönster, leder till arbete med många avbrott, små pauser och ständig byte till nya uppgifter. Detta ger icke-kontinuerliga processer som utförs med oregelbundna intervall och indikerar en varierande intensitet i de utförda uppgifterna. Det kan till exempel vara väntan på material, eller andra processer som är på gång. Maskinerna och operatörerna som följer detta mönster kan eventuellt stoppa sitt arbete intermittent och i icke föreskrivna pauser, mestadels på grund av den utförda uppgiftens karaktär och/eller krav på problemlösning. Sådant arbete innebär inbyggd variation som förebygger risker belastning av rygg, armar och ben.

I projektet är de fragmenterade platserna fyra parkprojekt och ett husprojekt (utgrävning), medan de intensiva är ett grundläggningsarbete vid ett husbygge och ett ledningsarbete. Övriga platser är mer blandade exempel.

I många fall var arbetet på de undersökta platserna karakteriserad av ett tätt och informellt samarbete. Kommunikationen mellan kollegor underlättas av låg ljud på tysta platser, som skapas när elmaskinerna används på platser med lågt bakgrundsbuller. Ledningen, både plats och projektledning var stöttande, vilket ger plats till operatörernas bedömning och beslutsfattande. Härtill kan läggas den relativa autonomi som de många egenföretagare på platserna har. Dessa är dock också pressad av ekonomin i samband med nya krav på maskiner (bl.a. elmaskiner).

Övriga organisatoriska aspekter omfattar företagsstrukturen på platserna, utländsk arbetskraft, flera ledningsorganisationer. Dessa är delvis behandlade Bilaga 4 – Byggprocess.

Risk för arbetsolycksfall

Risk för arbetsolycksfall är väldigt vanligt förekommande på bygg och anläggsplatser. Arbetsmaskiner för anläggsarbete är tunga fordon som ofta manövreras på halkig, blöt och lutande grund. Det finns därför en rad risker förknippad med befintliga (diesel)maskiner. Som tidigare noterat är de testade elmaskinerna byggda på samma grundmaskin som en dieselvariant. Detta innebär i ett riskperspektiv att elmaskinerna har samma risker som övriga maskiner. Men här till måste läggas de risker som är kommer av att använda el som energikälla. Det rör sig om starkström, en annan form för brandrisk, det rör sig om mer tysta maskiner, som innebär mindre "naturlig" varning när de flyttar.

Elmaskiner kan momentvis kännas svagare än dieselmaskiner enligt operatörerna (Fyrktorget, Lillhagparken). De kan få svårigheter med att dra upp sig från lutningar, schakter eller terräng. Inom de undersökta testerna i detta projekt har det bara funnits tillfälle där fordonet lyft sig oväntat eller har glidit en aning, när fästet mot marken har sviktat (Lillhagen). Det har inte funnits incidenter, tillbud i direkt samband med elanvändningen.

Förbättringsförslag

Fotsteg på en av prototyp-hjulgrävorna kan förbättras jämfört med den version som testades. Om det fattas fotsteg då frestas operatören att hoppa ner från maskinen. Sådana hopp är en känd orsak till olycksfall sen tidigare.


De maskiner som ger ljud ifrån sig, (hydraulik- och motorljud), känns det som att lite isolering, eller annan placering av maskinelementen kan minska ljuden i hytten.

Konklusion operatörers arbetsmiljö

Det fysiska arbetsmiljö för maskinoperatörerna beror på att merparten elmaskiner, som är testade i projektet, är byggda på samma grundmaskin som en dieselvariant. Detta innebär att design av hytten, inklusive utrustning, komfort, utseende och luftkonditionering till stora delar det samma på elmaskinerna som på en motsvarande dieselmaskin. Det gäller även åtkomstförhållande som trappsteg, handgrepp etc.

Buller är motsatt förväntningen inte en entydig förbättring. Även om el-maskinerna generellt genererar mindre buller, så finns också maskiner som avger högfrekventa ljud från hydrauliken/maskinen.

När det gäller mer långsiktiga konsekvenser av maskinförararbetet med elfordon har detta projekt flera klara begränsningar direkt. Först är våra undersökningar gjord inom en rätt kort tidsperiod med observationer inom bara en eller två arbetsvecka/-or per fordon.



Förväntningar, erfarenheter och förbättringsförslag Sammanfattning

Arbetspaket 3 Electric Worksite

Christian Koch och Dimosthenis Kifokeris

INSTITUTIONEN FÖR ARKITEKTUR OCH
SAMHÄLLSBYGGNADSTEKNIK
Avdelningen för Byggnadsdesign

CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Göteborg, Sverige 2022
www.chalmers.se

Akademien för företagande,
innovation och hållbarhet

HÖGSKOLAN I HALMSTAD
Halmstad, Sverige 2022
www.hh.se



CHALMERS



Sammanfattning AP3: Förväntningar, erfarenheter och förbättringsförslag

Syfte

Syftet med analysen är att kartlägga förväntningar, erfarenheter samt att lyfta fram förbättringsförslag. Det gäller tolkningar och värderingar bland arbetspersonal och arbetsledare/platschefer. På detta sätt undersökes om testerna bidrar till kvalificerad acceptans, och även högre acceptans än tidigare.

Metod och ansatts

Ansatsen tar inspiration ifrån koncept för studie av teknologi-acceptans och teknologivärdering. Fokus är på om elektriska maskiner uppnår samma eller högre kvalificerad acceptansnivå före och efter demonstrationerna i AP2 (se Bilaga 1 - eWorksite II slutrapport Volvo CE) och erfarenheterna jämförs med motsvarande värderingar av traditionella maskiner. Undersökningsparametrar är tolkningar av för- och nackdelar med elektriska maskiner i jämförelse med konventionella maskiner. Bland annat besvaras vilket mervärde och nytta som elektriska maskiner kan skapa, vilka barriärer upplevs hindra användningen av dessa maskiner etc.

Inom acceptansstudier finns dock en tendens att ta teknologin som något givet, medan några teknologivärderingsansatser inkluderar möjligheten av fortsatt utveckling av teknologin. I detta projekt har vi efterfrågat förbättringsförslag till arbetsmaskinernas fortsatte utveckling, och inte tagit den befintliga teknologin för given.

Frågan om förväntningar, erfarenheter och förbättringsförslag ingick i de 27 intervjuer som omtalas mer under Bilaga 3 - Operatörers arbetsmiljö och Bilaga 5 - Byggprocess. Men ofta också i dialoger med operatörer, yrkesarbetare och arbetsledare direkt på plats.

Förväntningar

Den allmänna bilden bland deltagarna i testerna var att de hade väldigt begränsade erfarenheter av el-arbetsmaskiner (testperioden började som bekant hösten 2021). Tre element var återkommande: moderata förväntningar av el-arbetsmaskinernas prestanda, osäkerhet om laddningsmomentet och en mer generell skepsis när det gällde el-arbetsmaskinernas lämplighet på anläggningsplatser i nuläget.

Förväntningarna av el-arbetsmaskinens prestanda blev ofta uttryck som att "den är väl lika bra som en dieselmaskin", och om respondenterna sen utmanades om varför de inte förväntade sig mer av en ny maskin refererade merparten till en skepsis gentemot elmaskiner mer generellt (personbilar till exempel). En respondent pekade på att enligt honom hade dieselmaskinerna nått en toppunkt och producenterna adderade bara små funktioner till i varje ny generation maskin.

När det gäller laddningsmomentet uttryckte många osäkerhet om hur det skulle gå. Frågor som "Hur lång tid kan maskinen köra?", "Hur exakt sker laddningen?", "Hur lång tid tar laddningen?" var vanliga i uppstartsskedet.

Den generella skepsis gentemot el arbetsmaskiner var typisk hämtad ifrån blandade erfarenheter med el-fordon i andra sammanhang och illustrerar hur förberedda underentreprenörer var och är när det gäller elektriska arbetsmaskiner. Den initiala investering framhålls ofta att el-arbetsmaskiner är väldigt dyra, medan långsiktiga driftserfarenheter (från Norge) som indikerar en stark

totalekonomi ("total cost of ownership") inte nått fram till små och medelstora anläggningsentreprenörer.

Slutligen kan det noteras att vissa ämnen inte kom upp under intervjun: Frågan om borttagna emissioner (till ex NOx), eller frågan om ändrad tomgång.

Erfarenheter

Erfarenheterna med el-arbetsmaskinernas prestanda var bra och detta är en avgörande parameter för operatörer och andre aktörer: Man upplevde man i stort sett alla moment kunde göra samma arbete som med en dieselmaskin. Det gällde till exempel maskinens kraft ("den lyfter allting"). Dess lämplighet för centrala uppgifter (om en hjullastare: "den är funktionellt anpassad åt transport av massor"). Byte av skopa, gafflar och andra verktyg fungerar smidigt.

På testplatserna har det både funnits delmoment med god plats och delmoment där det var mer trångt. Här kände operatörerna att de kunde göra arbetet med den nödvändiga kombination av grov styrka och manövrerande finesse.

Det var en återkommande synpunkt för flera av maskinerna att deras ljud var oväntat, i maskinerna framträdde ett högfrekvent ljud från hydrauliksystemet ("att sitta i hytten och höra ljudet hela tiden, nu låter det mycket på en dieselmaskin också, men jag upplever att det störde sig mer i elmaskinen, kanske för man förväntar sig att den ska vara tyst för att det är el").

Upplärning/träning

Alla operatörer fick en operatörsträning för varje maskin vid varje test. En del uttryckte ändå att de kände en begränsad kunskap om maskinens alla funktioner. Undantaget för introduktion/tester med kompaktmaskinerna som var i serieproduktion då testet genomfördes då den första operatören utbildades för att sedan utbilda övriga operatörer. Instruktionen var typisk några timmar och sedan få testa och köra maskinerna. Operatörerna lyfte därför fram att man lär sig många aspekter av arbetet med en ny maskin, av att helt enkelt att köra med den. Något som de har erfarenhet sen tidigare med andra (diesel) maskiner.

Laddningsmomentet

Både på platserna med mycket yta och de med mindre yta kändes placeringen av laddstationen lämplig. Om avstånden var lite större var laddningsstationen placerad vid personalhytten, så körning till denna kunde göras samtidigt som raster. I förekommande fall (en L25 hjullastare) vars 12V-system dränerades vid laddning av 48V-systemet. Det påverkade 12V-systemet över natten och över lunchpauser och identifierades som ett kvalitetsproblem vilket löstes med en mjukvaruuppdatering efter input från projektet.

Samlat om erfarenheterna gentemot förväntningar

Testarna har bidragen betydligt till utveckling av erfarenheter bland små och medelstora entreprenörer och deras operatörer i Göteborgstrakten. Men också hos Göteborg Stad och NCC. Dess kunskaper värderar vi bidrar avgörande till en kvalificerad acceptans, alltså en aktörstillgång till elektriska arbetsmaskiner som förstår att maskinerna fortfarande är under utveckling, men att de i nuläget är klara att användas. Denna användning kräver dock också utveckling av operatörskompetenser, men också kompetenser ibland den planerande personalen (platschefer, entreprenadingsingenjörer och arbetsledare). Det är också erfarenheter som kan bidra till acceleration

av hållbar omställning inom bygg och anläggning när maskinproducenterna är klara att leverera maskiner i en större volym än i nuläget.

Förbättringsförslag

Här nedan finns några av de framförda förbättringsförslagen:

Dubbla batterier

I nuläget är maskinernas batterier skyddade bakom en teknisk barriär och det antas att det är serviceföretaget som ska hantera batterierna om något är fel, vilket t.ex. hände med 12V-systemet som beskrivet ovan. Ett alternativt koncept skulle kunna vara att jobba med utbytbara batterier placerat i "plug and play" konsoler i maskinerna. Om en sådan teknologi kombineras med utbildning av maskinförare och yrkesarbetare skulle en laddningspraxis, där man laddade batterier parallellt med att maskinen körde, vara möjligt. När/om batterier behöver laddning mitt i en arbetsprocess, kan ett byte vara markant snabbare och bättre anpassad till arbetsflödet. Detta skulle vara särskilt effektivt vid intensivt arbete. Det är i nuläget en barriär att extra batterier upplevs som väldigt dyra, och åtminstone utgör en extra investering vid köp av arbetsmaskin. Den generelle trenden är dock också att batterierna blir billigare.

Utbildning, härunder el-säkerhet

Operatörerna pekade efter tester sen på eget lärande i praktiken som väsentlig, men man kan också utveckla dessa förmågor via grund- och efterutbildning som bland annat kan hanteras av de institutioner som erbjuder yrkesutbildningar. En regional och eller national insats har dessutom den positiva sidoeffekten att många fler, särskilt små anläggsentreprenör har möjlighet att anlita maskinister med el-arbetsmaskinkompetenser.

Som en del av utbildning kan säkerhets och arbetsmiljöfrågor vid el arbetsmaskiner ingå. Flera respondenter, både arbetsledare och operatörer, lyfte fram detta behov i projektet. Till exempel gick man i utbildningen igenom hur man ska agera om det blir brand i batterierna, eller man kör över kablet på de kablade arbetsmaskiner.

Generella förbättringar

En rad förbättringsförslag som framkom rör sig inte direkt om tillämpningen av el i arbetsmaskiner, utan reflekterar mer att mycket över att prototyperna av el-arbetsmaskiners design är ganska nära dieselmaskinernas. Elmaskinerna var i de flesta fall just prototypmaskiner där all funktionalitet inte är fullt utvecklat i industriell skala eller relevant för tester. Frågan framkom också varför el-arbetsmaskinerna inte tog steget längre än dieselmaskinerna när det gäller dessa ifrån operatörernas synvinkel kända svagheter. Det rör sig till exempel om:

-Aircondition i hytten

-Fotsteg för att ta sig in i hytten

-Digital stöd vid schaktning m.m. Att detta saknades kan tolkas som en del av testkonditionen, vart det typisk inte var möjligt att jobba med digitalt stöd.



Byggprocessanalys

Arbetspaket 4 Electric Worksite

Christian Koch och Dimosthenis Kifokeris

INSTITUTIONEN FÖR ARKITEKTUR OCH
SAMHÄLLSBYGGNADSTEKNIK
Avdelningen för Byggnadsdesign

CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Göteborg, Sverige 2022
www.chalmers.se

Akademien för företagande,
Innovation och hållbarhet

HÖGSKOLAN I HALMSTAD
Halmstad, Sverige 2022
www.hh.se

Contents

Sammanfattning resultat AP4: Byggprocess- och energiförsörjningsanalys	4
Introduktion, syfte och fokus.....	9
Metod	10
Byggprocessanalys	13
Analys.....	22
Planering och ledning	23
Konklusion	28
Rekommendationer	29
References	31

Sammanfattning resultat AP4: Byggprocess- och energiförsörjningsanalys.

Arbetspaket 4 innehåller en systemanalys av byggprojektet, primärt avgränsad till den fysiska plats där arbetet är beläget. Denne avgränsning är nödvändig inom Electric Worksite projektets resursram. Där finns exempel på överlapp med transport till och från platsen av material och massor, och dessa ingår när de är en del av aktiviteten på plats.

Undersökningen i AP4 inkluderade besök och datainsamling på 10 anläggningsarbetsplatser i urban miljö, i Göteborg från augusti 2021 till september 2023. Arbetsaktiviteten och energiförbrukningen för elektriska arbetsmaskiner observerades och kontextualiserades inom hela platsen (systemavgränsningen). I allt rörde det sig om 6 olika el-arbetsmaskiner. Efter datainsamlingen bearbetades och analyserades relevant data. Insamlingsmetoderna inkluderade:

- Aktivitetsobservationerna samlade in data om de testade maskinernas utförda aktiviteter och deras varaktighet i tid, som sen noterades i kalkylark. Forskarna var på plats på anläggsplatserna under testperioderna (som sträckte sig från några arbetsdagar till hela arbetsveckor). I allt 229 timmar och 49 minuter fördelad på 34 arbetsdagar. Observationerna omfattar tomgång (maskin kör, men står stilla och är inaktiv), avstängd (motor avstängd) och laddning (avstängd men ansluten till en laddningspunkt, tillämpas på batteridrivna maskiner). Dessa moment var också kopplade till motsvarande energiförbrukningsavläsningar. Observationerna omfattade även andra aktiviteter på plats (t. ex. förändringar av platslayouten, uppgifter utförda av andra maskiner än elfordonet, etc.). Dessa anteckningar togs för att bättre kontextualisera elfordonens aktiviteter och interaktioner inom en fullständig platsuppställning.
- Intervjuer med platspersonal genomfördes med maskinförare, platschefer etc (se Bilaga 3 - Operatörers arbetsmiljö). De kvalitativa data från dessa intervjuer analyserades sedan och användes bland annat för att bekräfta aktivitetsdata. För mer information om intervjuerna, se metodbeskrivningen i Bilaga 3 - Operatörers arbetsmiljö.
- Audiovisuellt material (t.ex. foton, videor, ljudinspelningar): Sådant material gjordes för att berika och bekräfta aktivitetsdata och kvalitativa data från observationer och intervjuerna.

En direkt jämförelse mellan de testade elfordonen och dieseldrivna fordon av likvärdig storlek och effekt är bara gjord i ett tillfälle (ett av parkarbeten). Det visade sig för komplicerad att hitta jämförbara konstellationer av arbete och maskiner (jämförbara system).

Den insamlade data analyserades med en aktivitetsklassifikation byggande huvudsakligen på standarden Almen Material- och Arbetsbeskrivning för Anläggsarbeten (AMA Anläggning 23, Svensk Byggtjänst, 2023). AMA Anläggning 23 har 13 huvudverksamhetskategorier och 187 underkategorier. Analys av observationsdata ledde till att man tillämpade tre huvudkategorier (som speglar parkarbete, husbyggarbete och ledningsarbete) och nio underkategorier –till detta lades processaktiviteter som tomgång, avstängd och laddning till. Denna kategorisering av aktiviteter ledde sedan till uppdelningen av de 10 besökta byggarbetsplatserna till parkarbetsplatser, husbyggarbetsplatser och ledningsarbetsplatser. Tabell 1 till exempel visar aktivitetskategoriseringen för parkarbetsplatser.

Tabell 1. Aktivitetsklassifikation – parkarbetsplatser

AMA 2023 kategorier	Arbete	Huvudfunktioner	Bifunktioner	Reparation och underhåll	Plats	
CB	Schaktning	CB schaktning	Tomgång	Service	Fyrkktorget	
			Avstängd		Färjenäs	
BF	Röjning	BF Röjning	Laddning		Drottningtorget	
			BFD borttagning av stubbar		Flytt på råvaror	SkandiaPorten
			BFE borttagning av markvegetation		Flytt på maskiner	Lillhagsparken
		Flytt på massor	Tankning		Glöstorpsvägen	
DC	Ytor	DC marköverbyggnad				
DCB		DCB obundna marköverbyggnad				
FB	Murverk	FB murverk av natursten i anläggning				
	Montage	Montering av lekutrustning				

Kombinerad energiförbrukning och aktivitetsanalys

Aktivitets- och energiförbrukningsanalysen är nära sammankopplade, eftersom de observerade fordonens laddning och energiförbrukning påverkas av de utförda uppgifternas typ, intensitet och mönster. Genom att bearbeta de insamlade uppgifterna med metoden som beskrevs i föregående avsnitt, fastställdes två aktivitetsmönster som speglar olika fall av de observerade byggarbetsplatserna:

- Det intensiva aktivitetsmönstret som återspeglar kontinuerliga processer som utförs med jämna mellanrum och indikerar en hög intensitet i utförda uppgifter. De platser där arbetets struktur och planering skapar detta mönster leder det till arbete med få avbrott. De maskiner och förare som arbetar i detta mönster avbröt vanligtvis bara sitt arbete under de föreskrivna rasterna. Variation kunde till exempel inträffa när massor skulle lastas på lastbil eller annat fordon.
- Det fragmenterade aktivitetsmönstret, som återspeglar icke-kontinuerliga processer som utförs med oregelbundna intervall och indikerar en varierande intensitet i de utförda uppgifterna. Maskinerna och operatörerna som följer detta mönster kan eventuellt stoppa sitt arbete intermittent och i icke föreskrivna pauser, mestadels på grund av den utförda uppgiftens karaktär och/eller krav på problemlösning.

Dessa aktivitetsmönster kan påverka platsens layout och processplanering såväl som den energiförsörjning som krävs för driften av de elektriska byggfordonen. Av avgörande betydelse kan båda mönstren innehålla icke-aktiv arbetstid (tomgång, avstängd och/eller laddning), vars identifiering kan underlätta framtida beslut om tillämpning av en kontinuerligt kabelbunden maskin eller en maskin som har ett batteri (som skulle kräva laddning) bör föredras. I de undersökta testerna lämnades maskinerna att ladda dels från slutet av en arbetsdag till början av nästa, dels inom raster under dagen.

Parkarbetsplatser

Där fanns fyra parkarbetsplatser i projektet, alla med Göteborg stad som beställare. Här genomgå Färjenäs som exempel. Färjenäs blev observerad i perioden: 30/08/2021 – 03/09/2021. Observerad elmaskin: Volvo L25 ”kompakt” liten-medelstor hjullastare (med batteri).

L25 användes här för markarbeten och byggandet av en lekplats. Där fanns flera maskiner på plats inkluderade en Volvo EWR150L medelstor dieselgrävmaskin, en Yanmar B110W medelstor dieselgrävmaskin och en Kobelco SK75SR-3E medelstor dieselbandgrävare. L25 arbetade i oregelbundna intervaller och dess huvudaktiviteter speglade mestadels aktiviteterna och flytt på massor, schaktning (CB), obunden marköverbyggnad (DCB), och sekundära funktioner: tomgång, avstängd, laddning och flytt på råvaror och maskiner. Som kan konstateras av aktivitetstiderna och procentsatserna i Tabell 2 var det observerade processmönstret för L25 i Färjenäsplatsen fragmenterat.

Tabell 2. Färjenäs aktivitets- och energiförbrukningsmodell för Volvo L25 (2021)

	Arbete	% dag	Tomgång	% dag	Avstängd	% dag	Laddning	% dag	Dag
30/08	05:03	56,32	00:18	3,35	02:56	32,71	00:41	7,62	08:58
31/08	06:29	73,81	00:48	9,11	00:07	1,33	01:23	15,75	08:47
01/09	03:27	38,84	00:08	1,50	05:18	59,66	00:00	0,00	08:53
02/09	02:40	30,25	00:04	0,76	06:05	69,00	00:00	0,00	08:49
03/09	03:05	67,52	00:32	11,68	00:05	1,82	00:52	18,98	04:34
Plats	20:44		01:50		14:31		02:56		40:01

Husbyggarbetsplatser

Två av testplatserna var husbygge. Exempelvis platsen ”Albatross” ledd av NCC besöktes två gånger med markant olika fokus. I 2022 var observation period: 29/06/2022 and 01/07/2022. Arbetet rörde sig om förberedning av grundläggningsspelare (andra testet på Albatross rörde sig om ett ledningsarbete). Den observerade elektriska arbetsmaskin var en Volvo 15-tons prototyp hjulgrävare.

De övriga maskinerna på plats inkluderade också en Volvo EC250E stor dieselbandgrävare, en dumper och en pålningsmaskin. Den observerade elmaskinen arbetade med jämna mellanrum med en kombination av huvudaktiviteter som mestadels var ”fin utgrävning” runt funderingspelarna, och sekundära funktioner som mest speglade tomgång, avstängd, laddning och flytt av material. Som kan konstateras av aktivitetstiderna och procentsatserna i Tabell 3 var det observerade processmönstret för 15-tons prototyp-hjulgrävare i Albatross 2022-platsen intensivt i den andra delen av testet. Första delen innefattade markförberedelser.

Tabell 3. Albatross 2022 aktivitets- och energiförbrukningsmodell för Volvo 15 t hjulgrävare (2022)

	Arbete	% dag	Tomgång	% dag	Avstängd	% dag	Laddning	% dag	Dag
29/06	05:00	71,43	00:04	0,95	00:00	0,00	01:56	27,62	07:00
01/07	06:10	69,94	00:42	7,94	00:08	1,51	01:49	20,60	08:49
Plats	11:10		00:46		00:08		03:45		15:49

Ledningsarbetsplatser

Två platser var ledningsarbete. På "Peabvägen" var observationsperioden: 04/07/2022 – 08/07/2022.
Observerad elmaskin: Volvo 15-tons prototyp hjulgrävare.

15-tons prototyp hjulgrävare användes här för schaktning, markarbeten och installationen av ett kylrör. Andra maskiner på plats på plats inkluderade också en Volvo EW160 diesel mellanstor grävmaskin och en Hyundai R140 diesel mellanstor grävmaskin. Elmaskinen arbetade med jämna mellanrum med en kombination av huvudaktiviteter som schaktning (CB), beredning av ledningsbädd och ledningsgrav (PBB), flytning av kylrör, kylrörsmontage och kringfyllnad, och sekundära funktioner som tomgång, avstängd, laddning, flytt av material och flytt på maskiner. Som framgår av aktivitetstiderna och procenttalen i Tabell 4 var processmönstret under de aktiva dagarna för 15-tons prototyp hjulgrävare under observationen på Peabvägen intensivt.

Tabell 4. Peabvägens aktivitets- och energiförbrukningsmodell för Volvo 15t prototyp-hjulgrävare (2022)

	Arbete	% dag	Tomgång	% dag	Avstängd	% dag	Laddning	% dag	Dag
04/07	02:11	90,34	00:08	5,52	00:00	0,00	00:06	4,14	02:25
07/07	04:46	68,21	00:00	0,00	01:44	26,67	00:00	0,00	06:30
08/07	05:11	84,28	00:01	0,27	00:05	1,36	00:52	14,09	06:09
Plats	12:08		00:09		01:49		00:58		15:04

Korsanalys av platser. Insikter och rekommendationer

Alla parkarbetsplatserna var karakteriserade av ett fragmenterat aktivitetsmönster. Detta kan visa på att vid sådana platser bör planering beakta processer och laddningsinställning för elmaskiner som utförs med oregelbundna intervaller. Omvänt omfattade husbyggplatser och ledningsarbetsplatser ett intensivt och ett splittrat fall vardera. Detta kan betyda att uppgiftens regelbundenhet på sådana platser, inom sådant system, inte är lika lätt att fastställa.

I tidig projektplanering är det dock för svårt att avgöra exakt vilka maskiner som kommer att användas och man får nöja sig med relativt generella storlekar och typer av maskiner. I ett senare skede, när arbetsplatsdispositionsplanen (APD) utvecklas, blir det mer precist att fastställa platsens utrustningsbehov – och fokus kan läggas på de olika arbetsenheterna, alltså maskinerna och deras operatörer. Detta kommer sedan att återspegla vissa arbetsenhetskonstellationer, som i sin tur kan komplettera eventuella konstaterade aktivitetsmönster och påverka ett mer precist val av elmaskiner och operatörer med nödvändig kompetens. En annan praxis att överväga är att arbeta med maskinkonstellationer som innebär redundans, alltså överskott i kapacitet och funktion. Detta gör dem mer robusta på grund av de kan skydda mot oförutsedda situationer, men de kan också bli kostsamma. I en tät stadsmiljö kan redundans i ett lite större område, bestående av flera projekt som kör parallellt vara en möjlighet – ännu mer om arbetsenheterna är elektriska och det finns en laddningsinfrastruktur i området, men kanske mer begränsat vid en enskild anläggningsplats.

Dessa insikter om aktivitetsmönster, planering av elektriska arbetsenheter och maskinkonstellations "övertalighet" kan i sin tur påverka laddningsalternativ på olika platser. Vid fragmenterat arbete kan elmaskiner potentiellt laddas under tomgång och stillestånd, och inte bara under de föreskrivna

vardagsrasterna. Däremot kan laddning under intensivt arbete troligen huvudsakligen ske under de föreskrivna rasterna eller över natten. Särskilt i de intensiva fallen bör de använda elmaskinerna antingen ha uppladdningsbara batterier med tillräcklig räckvidd under konstant arbete eller vara kontinuerligt anslutna till elnätet via kabel. Kabelanslutna maskiner kan vara särskilt lämpliga på platser med små avstånd, eftersom de kan fortsätta arbeta intensivt utan att behöva pausa och ladda. De rumsliga behoven hos sådana maskiner kan dock påverka platsplaneringen och organisationen på grund av potentiellt komplicerad kabelhantering (särskilt om fler kablade maskiner arbetar samtidigt runt samma utrymme) och det eventuella behovet av fler tillgängliga laddningspunkter.

När det gäller de testade maskinernas energiförbrukning visar resultaten av analysen som utfördes på dessa uppgifter att den förbrukade energin för både de batteridrivna maskinerna (under laddning) och de nätanslutna maskinerna (kontinuerlig strömförsörjning), inte utgjorde en utmaning för den lokala kapaciteten - elnätet - även på platser som finns i tätbefolkade och elintensiva stadsområden. Men under projektet kördes endast en elektrisk maskin åt gången på alla platser utom en där två elmaskiner användes – så det är oklart om en helt elektrifierad anläggsplats med många stora och/eller små elmaskiner som körde samtidigt skulle belasta nätet för mycket.

Utöver diskussionen om aktivitetsmönster, laddningsalternativ och energiförbrukning har observationsdata och intervjuer visat att motorteknikens kapacitet inte är ett hinder för att använda elektriska arbetsmaskiner – eftersom det har deklarerats att de kan prestera ” lika bra ” som diesel. Utmaningen ligger snarare i transformationen mot en cirkulär logik i projektdesign, platslayout och organisation samt planering av produktionsprocesser på plats. Relevanta aktörer (t.ex. beställare, entreprenörer, maskinoperatörer) måste ta hänsyn till många fler faktorer utöver bara maskinernas prestanda och effekt för målet om utsläppsfria byggarbetsplatser. Sådana överväganden bör komma så tidigt som möjligt i projektplaneringen och bör omsluta ett mer cirkulärt tänkande om det potentiella värdet av att investera i elektriska maskiner. Med tanke på att en sådan investering potentiellt kan ge en långsiktig avkastning snarare än generera en kortsiktig inkomst, kan en möjlig strategi vara att offentliga och privata kunder ger incitament för att investera i elmaskiner. Dessutom kan maskinuthyrningsföretag vara inblandade i en delad ekonomi mellan flera platser.

En framtida forskningsriktning för en eventuell uppföljning av detta projekt anses utredning av utökade antal involverade intressenter och maskiner och där enbart elmaskiner (både batteridrivna och kablade) är i drift samtidigt, vara av största vikt i för att ta itu med ovan nämnda problematiseringar och informera de intresserade aktörerna och professionella om detta.

Introduktion, syfte och fokus

Syftet med analys av byggprocessen är att undersöka på vilket bytet till elektriska arbetsmaskiner möjliggör och/ eller utmanar anläggningsplatsen och föregående planläggning sett som ett system.

Byggprocessundersökningen är en del av arbetspaket 4. Byggprocessundersökningen innehåller en systemanalys av byggprojektet, primärt avgränsad till den fysiska plats där arbetet är beläget. Denne avgränsning är viktig eftersom anläggsplatsen klimatavtryck är betydligt. Fokusen är dessutom nödvändig med tanke på Electric Worksite projektets ramvillkor. Där finns exempel på överlapp med transport till och från platsen av material och massor, och dessa ingår när de är en del av aktiviteten på plats.

Systemavgränsningen gjord här innehåller inte överordnad governance (offentlig styrning och reglering, men också strategisk företagsledning), ej heller programmering (beställares kravställning) eller projektering (ingenjör- och arkitektarbete). Planeringen och produktionen (utförelse) är vart de avgörande beslut tas om bemanning, produktionsmetod, maskiner och utstyr, material etc.

Byggprocessanalysen gjordes på data ifrån de tio platsen som testades inom ramen av AP2 (se avsnittet om denna). Det centrala uppdrag i byggprocess analysen är aktivitetsanalysen, som ska ses i sammanhang med energiförsörjningsanalysen (se denne).

Sen är aktivitetsanalysen här kopplad med en undersökning och analys av planering och ledning av systemet – dvs. anläggsprojektet. Här är syftet att bättre förstå hur en omställning till en full elektrifierad anläggsplats kan genomföras.

Om man blickar utåt är anläggsprojekt karakteriserad vid en ganska stor variation. Vi illustrerar detta med "Allmän Material- och Arbetsbeskrivning" (AMA 23) var undersökningen her bara täcker 18 huvud- och underkategorier medan AMA 23 täcker 13 huvudkategorier och 186 underkategorier. Vi föreslår att man tänker "Electric Worksite" som en undersökning av urbana anläggsprojekt för att understryka de särskilda karakteristika av de undersökte projekt som alla är belägna i Centrala Göteborg.

Rapporten avslutas med en rad rekommendationer som kan underlätta omställning åt fossilfria anläggsplatser.

Göteborg 12 november 2023

Christian Koch
Dimosthenis Kifokeris

Metod

Undersökningen i AP4 inkluderade besök och datainsamling på 10 anläggningsarbetsplatser i urban miljö, i Göteborg från augusti 2021 till september 2023. Arbetsaktiviteten och energiförbrukningen för elektriska arbetsmaskiner observerades och kontextualiserades inom hela platsen (systemavgränsningen). I allt rörde det sig om 6 olika el-arbetsmaskiner. Efter datainsamlingen bearbetades och analyserades relevant data. Insamlingsmetoderna inkluderade aktivitetsobservation, intervjuer och audiovisuellt material.

Aktivitetsobservationer

I allt observerades aktiviteterna på de tio platser 229 timmar och 49 minuter fördelad på 34 arbetsdagar. Observationerna samlade in data om de testade maskinernas utförda aktiviteter och deras varaktighet i tid, som sen noterades i kalkylark. Observatörer var ett lag av forskare som avstämda resultat med varan. Observatörerna var på plats på anläggsplatserna under testperioderna som hade olika längd. De sträckte sig från några arbetsdagar till hela arbetsveckor. Observationerna omfattande maskinernas aktiviteter ordnad enligt en AMA 23 inspirerad metod (se nedan) och som dessutom omfattade tomgång (maskin kör, men står stilla och är inaktiv), avstängd (motor avstängd) och laddning (avstängd men ansluten till en laddningspunkt, tillämpas på batteridrivna maskiner). Dessa moment var också kopplade till motsvarande energiförbrukningsavläsningar. Observationerna omfattade även andra aktiviteter på plats (t. ex. förändringar av platslayouten, uppgifter utförda av andra maskiner än elfordonet, etc.). Dessa anteckningar togs för att bättre kontextualisera elfordonens aktiviteter och interaktioner inom en fullständig platsuppställning.

Beroende på fallet var tidpunkten då arbetet påbörjades på förmiddagen och avslutades på eftermiddagen olika. Ändå är en allmän tumregel att på vanliga byggarbetsplatser i Göteborg börjar arbetsdagarna under hela veckan ca 06:30-07:00; sedan slutar de cirka 16:00-16:30 från måndag till torsdag och cirka 14:00 på fredag. Inom dessa tidsramar inkluderar de föreskrivna rasterna vanligtvis en halvtimmes frukostrast runt 08:30-09:00 och en timmes lunchrast runt 11:30-12:00.

Forskarna gjorde noteringar om aktiviteter som utfördes på plats med de testade maskinerna kopplades till de specifika tidpunkter då de ägde rum. Dessa anteckningar gjordes med utgångspunkt i aktiviteternas start och slut och/eller med jämna mellanrum (t.ex. var femte minut) och/eller när något specifikt eller utöver det vanliga ägde rum. I de flesta fall var de observerade maskinerna utrustade med batteri och i dessa fall kopplades ovan nämnda moment med avläsningar av maskinens batterinivå vid den tidpunkt då aktiviteten ägde rum. Denna batterinivå observerades direkt på fordonet antingen av forskarna själva eller av maskinoperatörerna som sedan informerade forskarna. Om den utförda arbetsuppgiften gjorde det för farligt att få dessa avläsningar i sitt exakta ögonblick, togs batterinivåobservationerna i nästa möjliga ögonblick. Vidare, för sådana maskiner, omfattade aktivitets- och batterinivåobservationerna även de moment då fordonet laddades. Slutligen åtföljdes observationerna av arbetsuppgifterna och batterinivåavläsningarna av olika anteckningar, dvs. beskrivning av andra händelser som inträffade på platsen vid vilket tillfälle i tid (t.ex. platsens layout, observationer av arbetet som utförts av andra maskiner som inte tillhör testuppställningen, arbetarnas aktiviteter, uppgifter som tagits upp av personal som leverantörer, platschefer, etc.). Anledningen till att ta dessa mer allmänna platsrelaterade anteckningar var att bättre kontextualisera aktiviteten hos de testade elfordonen i en komplett byggarbetsplats, genom att

notera sådan aktivitets interaktioner med själva platsutrymmet, dess serviceinfrastruktur och det arbete som utförs av andra maskiner och operatörer.

I två fall var maskinen nätansluten. Här insamlades motsvarande elenergiförbrukningsavläsningar på mätare i elskåp. Antingen av forskarna eller given till forskarna av huvudentreprenören som var ansvarig för respektive anläggsplats. Dessa avläsningar motsvarade regelbundna ögonblick sammanhållit med aktiviteter och tiden och kombinerades sedan av forskarna med de aktivitetsobservationer som beskrevs i föregående punkt.

I tabellen nedan visas ett utdrag ur ett av aktivitetsobservationstidtabellerna kombinerat med mätaravläsningar:

Tabell . Utdrag av tidrapport från byggarbetsplatsen Albatross 2023 för 30ton prototypbandgrävare (från 17/04/2023)

Tidpunkt	Aktivitetens varaktighet	Aktivitets beskrivning (på engelska)	Förbrukningsmätningar från mätare (KWh)
...
06:36	00:06	Finished loading truck (3) / started working around and in the ditch	472279,8
06:42	00:08	Idle	472288,1
06:50	00:04	Started working around and in the ditch	472291,3
06:54	00:02	Idle	472297,3
06:56	00:09	Started loading truck (4) with dug material (bigger trailer)	472298,8
07:05	00:03	Finished loading truck (4) / started working around and in the ditch	472312,1
07:08	00:09	Idle	472315,5
07:17	00:12	Started working around and in the ditch	472318,9
07:29	00:08	Idle	472335,7
07:37	00:02	Started loading truck (5) with dug material	472338,7
07:39	00:01	Finished loading truck (5)	472341,6
07:40	00:01	Started loading truck (6) with dug material	472342,2
07:41	00:10	Finished loading truck (6) / started working around and in the ditch	472345,4
07:51	00:02	Started loading truck (7) with dug material	472359,4
...

Intervjuer

Intervjuer genomfördes med platspersonal och planerare. Totalt genomfördes 25 Intervjuer med platspersonal genomfördes med maskinförare, platschefer, arbetsledare och yrkesarbetare (se Bilaga 3 under arbetspaket 3 operatörers arbetsmiljö). Och två intervjuer med planerare; en för NCC och en för Göteborgs stad. De kvalitativa data från dessa intervjuer analyserades sedan och användes i förväntning/erfarenhets analys (AP3), planläggning, ledning analys (AP4), arbetsmiljöanalys (AP3) samt för att underbygga aktivitetsdata (AP4). För mer information om intervjuerna, se metodbeskrivningen i AP3.

Audiovisuellt material

Audiovisuellt material insamlades på anläggsplatserna medan testerna körde. Material omfattar foton, videor och ljudinspelningar, alla registrerade med mobiltelefon. Material användes för att berika och bekräfta aktivitetsdata och kvalitativa data från observationer och intervjuerna.

Aktivitetsanalys

Den insamlade data analyserades med en aktivitetsklassifikation byggande huvudsakligen på standarden Almen Material- och Arbetsbeskrivning för Anläggsarbeten (AMA Anläggning 23, Svensk Byggtjänst, 2023). AMA Anläggning 23 har 13 huvudverksamhetskategorier och 186 underkategorier (se figuren). Härtill lades viktiga bifunktioner: tomgång, laddning, flytt på material (massor) och flytt på maskiner (typisk mindre maskiner) samt tankning (relevant vid dieselarbetsmaskiner)

kod	huvudkategori	underkategori
B	Förarbeten, rivning, röjning	21
C	Terrassering, Pålning	28
D	Marköverbyggnaden	39
E	Platsgjutna konstruktioner	8
F	Murverk	8
G	konstruktioner av monteringsfärdiga element	7
	konstruktioner av	
H	längformdvaror	3
J	skikt av byggpapp, asfalt	11
L	Puts målning	10
	kompletteringar av	
N	sakvaror	6
P	Apparater,ledningar	32
Y	Märkning, kontrol	9
Z	Tätningar, kompletteringar	4
Totalt	13	186
	huvudkategorier	underkategorier

Analys av observationsdata ledde till att man tillämpade tre huvudkategorier (som speglar parkarbete, husbygge och ledningsarbete) och nio underkategorier –till detta lades processaktiviteter som tomgång, avstängd och laddning till. Denna kategorisering av aktiviteter ledde sedan till uppdelningen av de 10 besökta byggarbetsplatserna till parkarbetsplatser, husbyggearbetsplatser och ledningsarbetsplatser.

Metodbegränsningar

Även om materialet är ganska omfattande, och representerar kanske en av de största undersökningar av elektrifiering av anläggningsplatser, finns också begränsningar i materialet. Även om 34 arbetsdagar är täckt så saknas i denna projektdokumentation för längre tids användning av el-arbetsmaskiner, till exempel ett helt anläggningsprojekt som typisk kan löpa över ett tiotal månader.

En direkt jämförelse mellan de testade elfordonen och dieseldrivna fordon av likvärdig storlek och effekt är bara gjord i ett tillfälle (ett av parkarbetena). Det visade sig för komplicerad att hitta jämförbara konstellationer av arbete och maskiner (jämförbara system).

Där har bara vid ett i par tillfällen gjorts försök på att tillämpa mer än en elektrisk arbetsmaskin på en anläggningsplats.

Byggprocessanalys

Framställningen nedan är uppdelat efter anläggningsplatsernas huvudsyfte: parkbygge, husbygge och ledningsarbete. Här är analyserad två platser som är parkarbete, två husbyggen och två ledningsarbeten, medan fyra platser inte är medtagna här utan ingår bara som underlag för den samlade analys

Parkarbetsplatser

Där fanns fyra parkarbetsplatser i projektet, alla med Göteborg stad som beställare. Nedan ses först resultat av den kvalitativa aktivitetsanalys. Aktiviteterna är uppdelat efter arbete, huvudfunktioner, bifunktioner och reparation och underhåll. Sistnämnda tog en del tid på tre av platserna, vilket ska ses i samband med projektets status av test av maskinerna. Man kan därför förvänta mera reparation och service än vad man kan förvänta av en vanlig driftssituation.

Tabell. Aktivitetsklassifikation – parkarbetsplatser

AMA 2023 kategorier	Arbete	Huvudfunktioner	Bifunktioner	Reparation och underhåll	Plats
CB	Schaktning	CB schaktning	Tomgång	Service	Fyrktorget
			Avstängd		Färjenäs
BF	Röjning	BF Röjning	Laddning		Lillhagsparken

BFD		BFD borttagning av stubbar	Flytt på råvaror		Glöstorpsvägen
BFE		BFE borttagning av markvegetation	Flytt på maskiner		
		Flytt på massor	Tankning		
DC	Ytor	DC marköverbyggnad			
DCB		DCB obundna marköverbyggnad			
FB	Murverk	FB murverk av natursten i anläggning			
	Montage	Montering av lekutrustning			

Färjenäs

Färjenäs är en relativt stort lekplats och parkområde på Hisingen vid Göta Älv. Projektet drevs av Göteborgs Stad. Färjenäs blev observerad i perioden slutet av augusti till början september 2021. Den observerade el-arbetsmaskin var en Volvo L25 "kompakt" liten hjullastare (med batteri).

L25 användes här för markarbeten och byggandet av en lekplats. Där fanns flera maskiner på plats inkluderade en Volvo EWR150L medelstor dieselgrävmaskin, en Yanmar B110W medelstor dieselgrävmaskin och en Kobelco SK75SR-3E medelstor dieselbandgrävare. L25 arbetade i oregelbundna intervaller och dess huvudaktiviteter speglade mestadels aktiviteterna och flytt på massor, schaktning (CB), obunden marköverbyggnad (DCB), och sekundära funktioner: tomgång, avstängd, laddning och flytt på råvaror och maskiner. Som kan konstateras av aktivitetstiderna och procentsatserna i Tabellen nedan var det observerade processmönstret för L25 i Färjenäsplatsen fragmenterat.

Tabell. Färjenäs aktivitets- och energiförbrukningsmodell för Volvo L25 (2021)

	Arbete	% dag	Tomgång	% dag	Avstängd	% dag	Laddning	% dag	Dag
30/08	05:03	56,32	00:18	3,35	02:56	32,71	00:41	7,62	08:58
31/08	06:29	73,81	00:48	9,11	00:07	1,33	01:23	15,75	08:47
01/09	03:27	38,84	00:08	1,50	05:18	59,66	00:00	0,00	08:53
02/09	02:40	30,25	00:04	0,76	06:05	69,00	00:00	0,00	08:49
03/09	03:05	67,52	00:32	11,68	00:05	1,82	00:52	18,98	04:34
Plats	20:44		01:50		14:31		02:56		40:01

Bild Volvo El hjullastare i arbete på Färjenäs. I bakgrunden Kobelco grävmaskinen



Fyrktoget

Fyrktoget är ett liten park och lekplats i bostadsområdet Högsbo. Projektet drivs av Göteborgs Stad. Den observerade elektriska maskinen var Volvo ECR25 liten grävmaskin (så kallad kompaktmaskin). Ett fordon som har ett uppladdningsbart batteri. Maskinen är kommersiellt tillgänglig. Observationsperioden var sen augusti – början av september 2021, totalt 5 arbetsdagar. Maskinen användes åt markarbeten under den första etappen av byggandet av en lekplats. Operatörer var dels en maskinist från Snabbschakt, dels en yrkesarbetare från Göteborgs stad. Maskin-”parken” på plats inkluderade även en Volvo EW60E diesel kompaktgrävare. ECR25 maskinen arbetade i oregelbundna intervaller med en kombination av huvudaktiviteterna CB, BF, BFD och BFE, och en kombination av sekundära funktioner: tomgång, avstängd, laddning och flytt på maskiner. Inom dessa intervall var en avsevärd avstängningstid inblandad – från mer än 19 % till, till och med 100 % av den totala observationstiden under respektive arbetsdag, med den tiden som översteg 43 % under de flesta arbetsdagar. Inaktivitetstid fanns, men mycket mindre och sträckte sig mestadels från 0 % till lite över 26 % av den totala observationstiden under respektive arbetsdag. Slutligen var laddningstiden när maskinen var avstängd under observationsarbetsdagarna relativt liten, eftersom den sträckte sig över en procentandel på 0 % till lite över 13 % av den totala observationstiden under respektive arbetsdag. I tabellen nedan visas de tidsperioder under vilka fordonet har arbetat (inklusive alla motsvarande huvudaktiviteter), på tomgång, avstängning och laddning, samt de procentsatser som dessa tidsperioder representerar med avseende på den totala observationstiden per arbetsdag, visas.

Bild: Kompaktgrävmaskin Volvo ECR 25



Tabell. Fyrkörtets aktivitets- och energiförbrukningsmodell för Volvo ECR25

	Park- arbete	% dags- summa	Tom- gång	% dags- summa	Av- stängd	% dags- summa	Lad- dning	% dags- summa	Dags- summa
30/08/ 2021	04:00	53,10	00:15	3,32	03:17	43,58	00:00	0,00	07:32
31/08/ 2021	03:21	55,56	00:42	9,72	03:09	43,75	00:00	0,00	07:52
01/09/ 2021	03:16	41,09	02:06	26,42	01:32	19,29	01:03	13,21	02:58
02/09/ 2021	00:22	9,57	00:42	18,26	02:36	67,83	00:10	4,35	03:50
03/09/ 2021	00:00	0,00	00:00	0,00	02:36	100,00	00:00	0,00	02:36
Plats- summa	10:59		03:45		13:10		01:13		29:07

Husbygge

Där fanns två husbyggnationsplatser i projektet, båda med NCC som huvudentreprenör. Det rörde sig om en logistikanläggning (Albatross) och ett kontorsbygge (Habitat 7). Nedan ses först resultat av den kvalitativa aktivitetsanalysen. Aktiviteterna är (igen) uppdelade efter arbete, huvudfunktioner, bifunktioner och reparation och underhåll.

Tabell. Aktivitetsklassifikation – husbygge

AMA 2023 kategorier	Arbete	Huvudfunktioner	Bifunktioner	Reparation och underhåll	Plats
CE	Husbygge	Fyllning	Tomgång	Service	Albatross 2022
CEB		Fyllning för byggnad	Avstängd		Habitat 7
		Flytt på massor	Laddning		
CC		Pålning	Flytt på råvaror/massor		
CCB		Slagning av pålning	Flytt på maskiner		
		Flytt på massor	Tankning		
CDF		Geoteknisk Stödkonstruktion (Tillfällig spont)			
		Grävning (till källare)			
		Grundkonstruktion platsgjuten betong*	"Service jord"		

* AMA Hus (2021) För aktivitetsklassifikation för husbyggarbetsplatser i tabellen ovan härleddes en extra aktivitetskategori (15.S/11: Grundkonstruktionplatsgjuten betong) från standarden AMA Hus 21 (Svensk Byggtjänst, 2021).

Albatross 2022

Platsen "Albatross" besöktes två gånger med markant olika fokus. I 2022 var observation period: 29/06/2022 and 01/07/2022. Arbetet rörde sig om förberedning av grundläggningspelare (andre besök rörde sig om ett ledningsarbete). Den observerade elektriska arbetsmaskin var en Volvo 15-tons prototyp hjulgrävare.

De övriga maskin på plats inkluderade också en Volvo EC250E stor dieselbandgrävare, en Volvo A256 dumper och en Liebherr pelarmaskin. Den observerade Volvo elmaskinen arbetade med jämna mellanrum med en kombination av huvudaktiviteter som mestadels var "fin utgrävning" runt grundläggningspelarna, och sekundära funktioner som mest speglade tomgång, avstängd, laddning och flytt på råvaror. Som kan konstateras av aktivitetstiderna och procentsatserna i tabellen nedan var det observerade processmönstret för en 15-tons prototyp-hjulgrävare i Albatross 2022-platsen intensivt.

Tabell. Albatross 2022 aktivitets- och energiförbrukningsmodell för Volvo 15 ton hjulgrävare (2022)

	Arbete	% dag	Tomgång	% dag	Avstängd	% dag	Laddning	% dag	Dag
29/06	05:00	71,43	00:04	0,95	00:00	0,00	01:56	27,62	07:00
01/07	06:10	69,94	00:42	7,94	00:08	1,51	01:49	20,60	08:49
Plats	11:10		00:46		00:08		03:45		15:49

Habitat 7

Habitat 7 är ett kontorsbygge, en flerbostadsvåning med en kompakt byggnadskropp placerad i centrala Göteborg. Projektet är utvecklad av NCC:s projektutvecklingsaktivitet och huvudentreprenör är NCC.

Den observerade elektriska arbetsmaskin var en Volvo 30-tons bandgrävare. Maskinen är bestyckad med ett kabelsystem som ansluts till elnätet. Maskinen har inte ett uppladdningsbart batteri och behöver vara kontinuerligt ansluten till nätet. Observationsperiod var 9 arbetsdagar i början av juni 2023.

På platsen användes maskinen i en servicefunktion för markarbeten under förberedelsearbetet innan grundläggning av byggnaden. Maskinisten kom ifrån Snabbschakt. Maskinens och maskinistens uppgift var att flytta en ramp och förbereda utgrävningen som gjordes av en annan bandgrävare med en långarm. Maskinkonstellationen på plats inkluderade ytterligare en grävmaskin (hjul) och en hjullastare Volvo L25 samt en Liebherr pålningsmaskin. Hjulgrävarmaskinen (diesel) tillämpades som servicemaskin på marken även för grundläggningen av gropen. Den kabelanslutna 30-tons bandgrävaren arbetade med en kombination av huvudaktiviteter; CE, CEB, CC, CCB och CDF.1, och en kombination av sekundära funktioner; tomgång, avstängd och flytt av material. Avgörande var att den första halvan av observationsperioden (06-07/02/2023) var markant annorlunda än den andra halvan (08-09/02/2023). Den 06/02/2023 och 07/02/2023 utförde 30-tons bandgrävare sina arbetsuppgifter under hela observationstiden, vilket resulterade i en relativt låg andel ledig tid (13% och nästan 9 % respektive) och en relativt medelstor procentandel av avstängningstiden (nästan 31 % respektive nästan 15 %). Den 08/02/2023 resulterade dock en kollision mellan två andra fordon på plats i att mycket av personalen på plats hjälpte till med att lösa problemet. Detta ledde till att 30-tons bandgrävaren stängdes av under nästan 86 % av observationstiden. Dessutom, den 09/02/2023, utförde 30-tons bandgrävaren andra uppgifter som en del av en demonstration som varade nästan halva arbetsdagen, snarare än för planerade uppgifter på platsen. Under den senare arbetsdagen, var 30-tons bandgrävaren på tomgång i nästan 30 % och avstängd i mer än 21 % av motsvarande observationstid.

Bild: långarmad bandgrävare Volvo (diesel) i arbete i gropen på Habitat 7



I tabellen nedan visas de tidsperioder under vilka maskinen har arbetat (inklusive alla motsvarande huvudaktiviteter), på tomgång och avstängning, samt de procentsatser dessa tidsperioder representerar med avseende på den totala observationstiden per arbetsdag.

Tabell. Habitat 7 aktivitets- och energiförbrukningsmodell för Volvo 30t bältgrävare

	Husbygg- arbete	% dags- summa	Tom- gång	% dags- summa	Av- stängd	% dags- summa	Dags- summa
06/02/ 2023	02:45	56,51	00:38	13,01	01:29	30,48	04:52

07/02/2023	06:06	76,25	00:43	8,96	01:11	14,79	08:00
08/02/2023	00:47	13,39	00:03	0,85	05:01	85,75	05:51
09/02/2023	03:24	49,16	02:03	29,64	01:28	21,20	06:55
Plats-summa	13:02		03:27		09:09		01:38

Ledningsarbetsplatser

Två platser var ledningsarbete. Den ena -Peabvägen intill Liseberg- rörde sig om en kylrörsledning. Den annan om en avloppsledning (Albatross 2023). Nedan ses den kvalitativa aktivitetsanalysen.

Tabell 4. Aktivitetsklassifikation - ledningsarbete

AMA 2023 kategorier	Arbete	Huvudfunktioner	Bifunktioner	Reparation och underhåll	Plats
CB	Kylrörsledning	CB schaktning	Tomgång	Service	Peabvägen
CBB		CBB jordschaktning	Avstängd		
PBB		Rörledning i ledningsgrav	Laddning		
-		Ledningsbädd*	Flytt på råvaror		
-		Splejsning kylrör*	Flytt på maskiner		
-		Kylrörsmontage*	Tankning		
-		Kringfyllning*			
CB	Avloppsledning	CB schaktning	Tomgång		Albatross 2023
CBB		CBB jordschaktning	Laddning		
PBB		PBB Rörledning i ledningsgrav	Avstängd		
PBB.4		Ledning av betongrör	Flytt på råvaror		
PBB.43		Trumma av rör av betong	Flytt på maskiner		
PDB.11		Nedstigningsbrunn av betong	Tankning		

* GE2022 (Göteborgs Energis norm för ledningsarbete (Göteborg Energi 2022)).

Peabvägen

Peabvägen är en biväg till Nellickevägen vid Liseberg i centrale Göteborg. Vägen är cirka 300 m lång och leder in till Peabs huvudkontor i Göteborg.

På "Peabvägen" var observationsperioden: 04/07/2022 – 08/07/2022. Den observerade el-arbetsmaskin var en Volvo medelstor hjulgrävmaskin (med batteri).

Den elektriska arbetsmaskinen användes här för schaktning, markarbeten och installationen av ett kylrör. Andra maskiner på plats på plats inkluderade en Volvo EW160 diesel mellanstor grävmaskin och en Hyundai

R140 diesel mellanstor grävmaskin. El-arbetsmaskinen arbetade med jämna mellanrum med en kombination av huvudaktiviteter som schaktning (CB), beredning av ledningsbädd och ledningsgrav (PBB), flytning av kylrör, kylrörsmontage och kringfyllnad, och sekundära funktioner som tomgång, avstängd, laddning, flytt på material och flytt på maskiner. Som framgår av aktivitetstiderna och procenttalen i tabellen nedan var processmönstret under de aktiva dagarna under observationen på Peabvägen intensivt.

Tabell. Peabvägens aktivitets- och energiförbrukningsmodell för Volvo Mellanstor grävmaskin

	Arbete	% dag	Tomgång	% dag	Avstängd	% dag	Laddning	% dag	Dag
04/07	02:11	90,34	00:08	5,52	00:00	0,00	00:06	4,14	02:25
07/07	04:46	68,21	00:00	0,00	01:44	26,67	00:00	0,00	06:30
08/07	05:11	84,28	00:01	0,27	00:05	1,36	00:52	14,09	06:09
Plats	12:08		00:09		01:49		00:58		15:04

Albatross 2023

Detta fall var det andra besöket vid bygget av en logistikanläggning på Hisingen omedelbart utanför Göteborgs containerhamn. Arbetet rörde sig om bygge av drygt 800 m vattenavloppsledning i en djup schakt cirka 2 m djup och av 4 m bredd. Röret i sig och de tillhörande brunnarna hade dimensioner runt 1 m. Alltså ganska tungt och djupt anläggsarbete. Huvudentreprenör var NCC.

Den observerade elarbetsmaskinen var en Volvo 30-tons bandgrävare med kabel. Fordon hade alltså inte ett uppladdningsbart batteri och behöver vara kontinuerligt ansluten till nätet via kabeln. Maskinisten kom ifrån Taxus i likhet med övrig personal. Observationsperioden var allt som allt 4 arbetsdagar.

På arbetsplatsen Albatross 2023 användes elarbetsmaskinen för markarbeten, primärt schaktning vid installationen av ett avloppsrör. Maskin utförde cirka 300 m schaktning. Andre maskiner installerade själva ledningen, Maskinmixen på plats inkluderade också två 25 ton Volvo E300 bältgrävare, en Volvo A256 dumper (service), Volvo L25 hjullastare (service)

Elarbetsmaskinen arbetade med oregelbundna intervaller med en kombination av huvudaktiviteter som mestadels kan karakteriseras som CB, CBB, PBB, PBB.4, PBB.43 och PDB .11, och en kombination av sekundära funktioner som mestadels var tomgång, avstängd och flytt på råvaror. Under den första observerade arbetsdagen (2023-04-11) användes inte maskinen alls. Under resten av observationsperioden varierade andelen avstängningstid kraftigt, eftersom den sträckte sig över 0 % till runt 62,5 % under motsvarande dagar. Inaktivetsprocenten var också mycket varierande och låg på 0 % den 12/04/2023, men var hög den 13/04/2023 och 17-19/04/2023, och sträckte sig från nästan 31 % till mer än 53 % i motsvarande arbetsdagar.

I tabellen nedan visas de tidsperioder under vilka fordonet har arbetat (inklusive alla motsvarande huvudaktiviteter), på tomgång och avstängning, samt de procentsatser som dessa tidsperioder representerar med avseende på den totala observationstiden per arbetsdag.

Tabell. Albatross 2023 aktivitets- och energiförbrukningsmodell för Volvo 30t bältgrävare (kabel) angiven i timmer och minuter

	Lednings- arbete	% dags- summa	Tom- gång	% dags- summa	Av- stängd	% dags- summa	Dags- summa
11/04/2023	00:00	0,00	00:00	0,00	00:00	0,00	00:00
12/04/2023	03:00	37,50	00:00	0,00	05:00	62,50	08:00
13/04/2023	00:43	47,78	00:44	48,89	00:03	3,33	01:30
17/04/2023	03:40	40,89	02:44	30,48	02:34	28,62	08:58
18/04/2023	02:07	36,60	02:50	48,99	00:50	14,41	05:47
19/04/2023	00:07	46,67	00:08	53,33	00:00	0,00	00:15
Platssumma	09:37		06:26		08:27		24:30

Analys

Aktivitetsanalysen hittar två karakteristiska mönster: det intensiva och det fragmenterade. Aktivitet och energiförbrukning är nära sammankopplade, eftersom de observerade fordonens laddning och energiförbrukning påverkas av de utförda uppgifternas typ, intensitet och mönster.

Det intensiva aktivitetsmönstret som återspeglar kontinuerliga processer som utförs med jämna mellanrum och indikerar en hög intensitet i utförda uppgifter. De platser där arbetets struktur och planering skapar detta mönster leder det till arbete med få avbrott, alltså låg nivå av tomgång och avstängd maskin. Det noterades på Albatross 2022, de maskiner och förare som arbetar i detta mönster avbröt vanligtvis bara sitt arbete under de föreskrivna rasterna. Variation kunde till exempel inträffa när massor skulle lastas på lastbil eller annat fordon. Detta mönster hittades även i mindre mån på Albatross 2023 (ledningsarbete). På Albatross 2023 var arbetstakten tydligt intensiv, men den stördes av relativt lång avstängning på en enskild observationsdag (12 november).

Det fragmenterade aktivitetsmönstret, som återspeglar icke-kontinuerliga processer som utförs med oregelbundna intervall och indikerar en varierande intensitet i de utförda uppgifterna. Maskinerna och operatörerna som följer detta mönster kan eventuellt stoppa sitt arbete intermittent och i icke föreskrivna pauser, mestadels på grund av den utförda uppgiftens karaktär och/eller krav på problemlösning. Detta mönster hittades på fem platser de fyra parkplatser och Peabvägen (ledningsarbete). Habitat 7 (husbygge) utgör en mellanform emellan intensivt och fragmenterad.

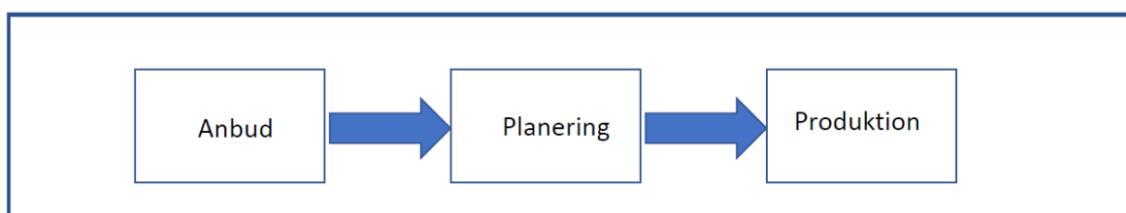
Dessa aktivitetsmönster kan påverka platsens layout och processplanering såväl som den energiförsörjning som krävs för driften av de elektriska byggfordonen. Av avgörande betydelse kan båda mönstren innehålla icke-aktiv arbetstid (tomgång, avstängd och/eller laddning), vars identifiering kan underlätta framtida beslut om tillämpning av en kontinuerligt kabelbunden maskin eller en maskin som har ett eget batteri (som skulle kräva laddning) bör föredras. I de undersökta testerna lämnades maskinerna att ladda dels från slutet av en

arbetsdag till början av nästa, dels inom raster under dagen (ett undantag är beskriven under avsnittet "Parkarbetsplatser").

Planering och ledning

Den tillämpade systemavgränsning i denna undersökning fokuserar på anläggningsprojekts produktion och drar in aspekter från planering och anbud. Planeringen och produktionen (utförande) är var de avgörande beslut tas om bemanning, produktionsmetod, maskiner och utrustning, material etc. Därför läggs vikten på produktionsdelen.

Figur: Anläggsprojektet som system



De operationella byggprocesserna vars flöden är förankrad i anläggningsplatsen och dess arbete är en horisontell dimension i ledningen (som i detta projekt även undersökas med aktivitetskartläggning), medan den vertikala dimensionen i ledningen knyter ihop det enskilda projekt med avdelningar, divisioner, staber och toppledningen i företagen (Beemsterboer & Koch 2017). En central karakteristik för anläggningsprojektet är dess relativa avkoppling ifrån företagets övriga organisation och den därav följande relativa autonomin för platschefen och platsledningen. Det är en relativ autonomi varför platsledningen kan ta beslut om många delar av anläggningsprojektet, men måste ändå ansvara gentemot kunden och ledningen. Inhyrning av underentreprenörer och köp av material är exempel på centrala beslut. Underentreprenörerna och huvudentreprenörerna är mån om sina relationer, men ändå är det priset som gäller som avgörande köpfaktor (Koch & Johnsson 2015).

Köp av underentreprenörer genomförs dessutom också inom ramavtal ock liknande som anläggningsföretagen har ingått centralt.

Aktiviteter i planeringsskedet

Utrymmet för planerings – och förberedelsesaktiviteter varierar med storleken på företag och projekt som i tur varierar markant (Koch et al Produktivitetläget 2020). Man kan rita upp vilka aktiviteter i princip borde genomföres innan anläggsproduktionen sätts igång (se boxen), men i många fall är dessa aktiviteter knappast nämnda under planeringen. I kortform kan planeringen sägas at ha ett initialt anbudsorienterat skede och ett annat produktionsorienterat skede.

Aktiviteter planeringsskedet

- Produktionsprogram
- Organisation
- Uppdraget
- Ekonomisk styrning av entreprenaden
- Planering och styrning av tider
- Resursplanering

- Maskinplan
- Inköps- och materialleveransplan
- Plan för upphandling av underentreprenader
- Arbetsplatsdispositionsplan (APD)
- Planering arbetsmiljö
- Säkerhet på byggarbetsplatsen
- Kvalitetsplan
- Miljöplan
- Riskhantering
- Intressenthantering och kommunikationsplan
- Teknisk planering och metodval
- Arbetsberedning och arbetsinstruktion
- Uppföljning av produktionsprogrammet

Anpassad efter Hansson et al (2017)

Personer aktiva i planeringsskedet

Inom det anbudsorienterade skedet deltar ofta projektkonomer, arbetschefer, entreprenadingenjörer mfl.

I detta projekt har vi intervjuat representanter för NCC och Göteborgs stad som är aktiva i anbuds och planeringsskedet (två intervjuer).

Planering och val av maskiner i tidigt produktionsskede/slutet av planering

De två huvudaktörer i projektet NCC och Göteborgs Stad, Stadsmiljö detaljplanerar deras projekt på olika sätt. NCC agerar som entreprenör och hyr in ett antal underentreprenörer. Det innebär att maskinister och maskiner tas in. NCC har typisk få eller inga egna fordon på platserna. Göteborg Stad agerar som en kombinerad byggherre och entreprenör. De hyr in underentreprenörer med arbetsledare, yrkesarbetare och maskinister, men tillämpar även egna yrkesarbetare och platschefer.

”Cirka 80% av arbetet görs av underentreprenörer” (intervju platschef)

Gemensamt är att det är årslånga processer från ett projekt initieras till det är klar för produktion. I ett sådant skede är frågor om maskinval och maskinmix inte så vanliga.

Planerarna förhåller sig till detaljerna i anbudsmaterial. Deras erfarenhet är att i nuläget ställer byggherrarna väldigt sällan specifika krav om maskiner, ibland eventuellt krav på fossilfria eller elektriska maskinerna (intervju). Där finns däremot generella krav i samhället som följs.

Planerarna är dessutom medvetna om att platscheferna har praktisk erfarenhet och nätverk med relevanta underentreprenörer/maskinentreprenörer.

Produktionsskedet

Inom det produktionsorienterade skedena är platschef(er) och arbetsledare aktiva med de ovannämnda. Här genomförs huvudparten av besluten om underentreprenörer, deras operatörer och maskiner samt yrkesarbetare (anläggare).

Vad vi har hittat här: 5 platschefer och 2 arbetsledare har intervjuats

Platschefen är praktiker med pragmatiska lösningar ofta byggd på lång tids erfarenheter. De känner till exempel väl dilemman runt köp till lägsta pris. Härunder det konkreta projekts "inbyggda" potential för Ändrings- och Tilläggsarbeten (ÄTA). Den kraftiga fokuset på priset i många anbud/upphandlingar öppnar upp för tillämpning av lösningar som inte tillgodoser långsiktigt ekonomi, och hänsyn som hållbarhet. Även kvalitet tillägs mindre vikt. Och här spelar beslutsutrymme roll. Dessutom är projektekonomin och redovisning ett område som plastledningen känner väl härunder vilket utrymme som finns i projektets ekonomi. De operationella byggprocesserna är förankrad i anläggningsplatsen. Platsens flöden och dess arbete är en horisontell dimension i ledningen, medan den vertikala dimensionen i ledningen knyter ihop det enskilda projektet med företagsledning. I byggföretagen finns inbyggt en relativ autonomi som ger byggprojektets ledning utrymme att ta beslut.

När projektet är produktionsklart påbörjar entreprenadingenjör, platschef, arbetsledare och eventuella involverade konsulter att gå igenom och utarbeta de mer detaljerade planerna för projektets produktion (intervju entreprenadingenjör och platschef)

Uppdragets karaktär, platsen/läge och tolkningen av dessa karakteristika, har avgörande betydelse för val av maskiner och maskinleverantör. Men också erfarenhet och tradition spelar roll.

Det är typisk att välja en mix av grävkapacitet och massflyttkapacitet. Men där pratas ofta om "servicemaskin" som beteckning för sistnämnda kapacitet/resurs varför dessa maskin är flexibla och kan hantera många olika uppgifter

- Grävkapaciteten är grävmaskiner med band eller hjul
- Flyttkapaciteten är typisk hjullastare (på hjul)

Den tillämpade maskinmixen på de undersökta platserna -exempel

Färjenäs: 3 grävmaskiner, Volvo EWR150L hjulgrävare, Yanmar Hjulgrävare och Kobelco, hjulgrävare (SK75 SR)

1 hjullastare (service, Volvo L25 (el) alternerande med L35 (diesel).

1 kompakt grävmaskin (Volvo E1) i en kortare period

Habitat 7: 3 grävmaskiner (1 service) en hjullastare Volvo L25, en Liebherr påmaskin

Arendalsvägen 1 (grundläggningsarbete) 1 15 ton Volvo prototyp hjulgrävare, 2 Volvo A 256 dumpers (service), 1 påmaskin (Liebherr)

Arendalsvägen 2 (schaktning för stor kloak) 2 25 ton Volvo E300 bandgrävare, Volvo dumper (service), Volvo hjullastare (service)

PEAB vägen 2 hjulgrävare Volvo 18 ton och Hyundai 15t

Terapislingan Kubota kompaktgrävmaskin (grävning och service) alternerande med 7-tons prototyp hjulgrävare, hjullaster Volvo L 25, lastbil med flak och kran

Glöstorpsparken 1 Volvo 7-tons prototyp hjulgrävare (1 i reserv). 1 Kramer 5055e hjullastare, lastbilar, transport av utstyr och material, en Volvo FE el lastbil

Om arbetet kräver mycket finess och ska göras på en liten yta då är små kompaktmaskiner ofta ett val man gör. Finns däremot behov för "frigöring" (schaktning och grävning, även djupgrävning) och flyttning av massor måste större maskiner tillämpas, men platsen, och även tillfartsvägar (transport till och från) kan vara det som sätter gränsen. Detta innebär att Volvos 15 tons hjulgrävare och jämförbara maskiner blir populära för att de kan operera i "énbanaplatser" -alltså ställen vart bara én väg bana kan avspärras för att göra arbetet (intervju maskinförare)

Platsledningen för anläggningsdelen på en plats har i ett fall valt att bryta traditionen vid att välja en hjulgrävare och en hjullastare istället för två hjullastare som servicemaskin (Intervju Arbetsledare)

Arbetsledaren värderar:

"Fördelen med att ha en hjulgrävare, det är att man kan ha honom till så mycket, mycket mer..... Var en sån här liten yta som vi börjar få nu i Göteborg, där vi gör relativt stora komplexa byggen och väldigt liten yta så är ju alltså de här... de kan ju vrida och vända precis hur de vill. Det är ju en fördel att ha en hjulgrävare som en servicemaskin".

Flera platschefer och arbetsledare fokuserar i första hand på maskinisten och bara sekundärt maskinen:

"alltså, för mig är det inte vad det står på maskinen som är det viktiga. För mig är det piloten som kör maskinen, sen kan det stå på den vad det vill. Bara han som kör maskinen är duktig och det är vad...." (Intervju arbetsledare).

Som nämnt görs en stor andel av arbetet av underleverantörer, som också har egna maskiner.

Tabel: Maskinentreprenörer och Underentreprenörer (se nedan), (Volvo levererar alla el-testmaskiner som är nämnd, med ett undantag Kramer hjullastaren på Glöstorpsparken, som var levererad av Ramirent åt Göteborg Stad)

Plats	Maskiner	Maskin/Underentreprenör
Fyrktoget	Volvo ECR25 (el)kompakt bandgrävare EW50E Hjulgrävare	Snabbschakt
Färjenäs	Volvo L25 (el) Volvo L30G (diesel) Volvo EWR150L (diesel) Yanmar Hjulgrävare Lastvagn Kobelco, hjulgrävare (SK75 SR)	Duvekärr Åkeri Duvekärr Åkeri Duvekärr Åkeri Duvekärr Åkeri Egenföretagere BRA Mark (mark och anläggning)
Drottningtoget	Volvo L25 (el) Takeuchi TB290-2 (diesel) Volvo PK14002-EH Palfinger (diesel)	Göteborgs Stad Park och Natur
Peabvägen	Volvo 15 ton hjulgrävare (el) Volvo EW 160 (18t) (diesel) Huyndai 140 (15t) (diesel)	OJ Schakt EJES Utveckling och Entreprenad AB, via Schakt i Väst AB
SkandiaPorten	Volvo 30 t bandgrävare(el kabel)	NCC Snabbschack
Habitat 7	Volvo 30 t bandgrävare(el kabel) Volvo 30 t Långgrävare Volvo EWR150 (diesel)	Snabbschack SG Maskin NCC 5 man Betongare Väst Entreprenad YA Alfredsson Entreprenad YA
Albatross 2022	Volvo 15 ton hjulgrävare (el) Volvo EC250E hjulgrävare Volvo A256 Dumper	Taxus Taxus
Albatross 2023	Volvo EC30 t bandgrävare (el kabel) Volvo EC300 Volvo A256 Dumper	NCC Taxus Taxus
Terapislingen	Volvo prototyp-hjulgrävare 6-7ton Kubota KX0574 (diesel) Volvo L25 (diesel)	Ivarsson Mark och Anläggning Ramirent Ricono Produktion (2 stenläggare) Göteborgs Stad (2 män)
Glöstorpsparken	Volvo prototyp-hjulgrävare 6-7ton Kramer 5055E (el) Övriga EI maskiner och fordon	Schakt i Väst AB (maskinist) Ramirent (maskin) Göteborgs Stad (3 män YA)

Konklusion

Fokus i detta projekt är byggprocesser i produktionsskedet som detaljerat undersökes i övriga avsnitt av denna rapport. När det gäller anbud och planering i nuläget visar intervjuer att byggherrarna väldigt sällan ställer specifika krav om maskiner, härunder eventuell fossilfria eller elektriska maskinerna (intervju). Detta resultat gäller perioden 2021-hösten 2023. Om byggherrarna skulle ställa krav i enskilda projekt är det sannolikt att entreprenörernas anbud skulle innehålla höjda priser, med tanke på många maskinentreprenörer begränsade finansiella förmåga. Där finns därför en risk för en ond cirkel om byggherrarna fortsätter att fokusera på kravställning i enskilda projekt utan att åtgärda finansieringsfrågan.

Maskinentreprenörerna har spelat en stor roll i projektet. Det är platscheferna som i huvuddrag har hyrt maskinister och maskiner från lokala små och medelstora företag. Detta samarbete är även centralt för klimatomställningen inom bygg och anläggning.

Slutligen kan det noteras att "nya" koordinationsformer som inte har funnits i forskningsprojektets anläggningsprojekt. Lean, VDC, IPD och partnering är alla karakteriserade vid primärt att underlätta det horisontella ledningsflödet. När dessa "kör" med mindre störningar och mer effektivt "lättar" det indirekta trycket på projekten när det gäller om att anlita kostnadseffektiva underleverantörer m.m. Inom Lean constructions koncept "7 hälsosamma flöden" finns även frågan om utrustning och maskiner, men inom de operationella produktionsbesluten.

Rekommendationer

Byggherrar

- Kunder kan underlätta investeringar i elfordon (exempel på offentliga platser i Oslo kommun) (Koch och Kifokeris, 2021)
- Kunder och maskinentreprenörer kan involvera maskinuthyrningsföretag i en delad ekonomiupplägg mellan flera platser (Bahnariu et al., 2022)

Planering och ledning

- I tidig projektplanering är det lite ovanligt och osäkert att avgöra exakt vilka maskiner som kommer att användas och man får nöja sig med relativt generella storlekar och typer av maskiner. I ett senare skede, när arbetsplatsdispositionsplanen (APD) utvecklas, blir det mer precist att fastställa platsens utrustningsbehov – och fokus kan läggas på de olika arbetsenheterna, alltså maskinerna och deras operatörer.
- Detta kommer sedan att återspegla vissa arbetsenhetskonstellationer, som i sin tur kan komplettera eventuella konstaterade aktivitetsmönster och påverka ett mer precist val av elfordon och operatörer med nödvändig kompetens.
- Det kan tänkas att arbeta med maskinkonstellationer som innebär redundans, alltså överskott i kapacitet och funktion. Detta gör dem mer robusta på grund av de kan skydda mot oförutsedda situationer, men de kan också bli kostsamma. I en tät stadsmiljö kan redundans i ett lite större område än ett projekt, bestående av flera projekt som kör parallellt vara en möjlighet, vilket innebär mindre redundans på den enskilda platsen och därmed reducera maskinkostnaden. Detta är ännu mer relevant om arbetsmaskinerna är elektriska och det finns en laddningsinfrastruktur i området, som kan delas, men kanske mer begränsat vid en enskild anläggningsplats.

Aktivitetsmönster och laddning

- Laddning vid fragmenterat arbete: Det kan göras under tomgång och avstängd, inte bara under de föreskrivna pauserna under arbetsdagen eller under natten
- Laddning vid intensivt arbete: Det kan endast göras under föreskrivna raster eller under natten
- Speciellt i de intensiva fallen måste antingen maskinen ha tillräckligt med batteri eller vara kontinuerligt ansluten till nätet via en kabel
- Kontinuerligt kablade maskiner är lämpliga för intensiva byggarbetsplatser – du behöver inte stoppa det intensiva arbetet och ladda
- Maskiner som kablade påverkar dock platsplanering, organisation och ledning mer allvarligt än maskiner som har batteri (t.ex. på grund av kabelhantering)

- Utbytbara batterier placerat i ”plug and play” konsoler i maskinerna kan underlätta intensivt arbete. Det är i nuläget en barriär att extra batterier upplevs som väldigt dyra, och åtminstone utgör en extra investering vid köp av arbetsmaskin. Den generella trenden är dock också att batterierna blir billigare.

Energiförbrukning (korsundersökning mellan platserna)

- Energiförbrukningen för de elektriska maskinerna, både under laddning av fordonen som har ett eget batteri, och kontinuerligt för den kablade maskin, utgjorde ingen utmaning för den ultimata kapaciteten hos de lokala elnäten – inte ens i fallet med Habitat 7, som var en plats i ett tätbefolkat område i Göteborg (Masthuggskajen)

Övriga

- Motortekniken är ingen barriär – elfordon presterar lika bra som dieselfordon
- ... det är en transformation mot en cirkulär logik som måste underlättas ännu mer; här, var cirkulär logik menar vi processen att tänka både framåt och bakåt under utformningen av projektet, utformningen av platslayouten och planeringen av produktionsprocesserna på plats
- ... detta innebär att projektets design, platslayout, produktionsplanering och utförande på plats samt relevanta yrkesroller (t.ex. beställare, entreprenörer, maskinoperatörer), måste beakta många fler faktorer mot målet att vara emissionsfritt byggarbetsplatser än bara maskinernas prestanda och effekt

Bild Kraemer Elhullastare i arbete i Glöstorparken



References

- Bahnariu, B., Kifokeris, D., Aqel, S., and Koch, C. (2022). Little big transitions: electric construction machines in small sites. In: Tutesigensi, A., and Neilson, C.J. (eds.). *Proc. 38th Annual ARCOM Conference* (542-551). Glasgow: ARCOM
- Göteborg Energi (2022). *Anvisning för markarbeten av fjärrvärme/fjärrkyla-ledning (GE2022)*. Göteborg: Göteborg Energi.
- Koch, C., and Kifokeris, D. (2021). Heavy-duty construction equipment – dinosaurs of black energy? In: Scott, L., and Neilson, C.J. (eds.). *Proc. 37th Annual ARCOM Conference* (694-703). Glasgow: ARCOM.
- Moura, E.O.D., and Bispo, M.D.S. (2019). Sociomateriality: Theories, methodology and practice. *Canadian Journal of Administrative Sciences*, 2019, 1-16.
- Sustainability Exchange (2012). *What is energy and how much do you use?* Sustainability Exchange. Online.
- Svensk Byggtjänst (2021). *Allmän material- och arbetsbeskrivning för husbyggnadsarbeten (AMA Hus) 2021*. Stockholm: Svensk Byggtjänst.
- Svensk Byggtjänst (2023). *Allmän material- och arbetsbeskrivning för anläggningsarbeten (AMA Anläggning) 2023*. Stockholm: Svensk Byggtjänst.

Electric Worksite II

Metodutveckling för Hållbarhetsanalys

Jämförelse mellan konventionell och elektrifierad arbetsplats ur hållbarhetsperspektiv

Rita Garção, Simon Magnusson, Ulrika Franzén, NCC Teknik

2023-06-28

Sammanfattning

Omställningen till elektrifiering är en viktig del i klimatarbetet för bygg- och anläggningsbranschen. Framöver kommer fler och fler byggprojekt använda elektriska fordon och maskiner. Införande av ny teknik skapar nya förutsättningar och utmaningar för projekten. Vid övergång till användning av elektriska maskiner och fordon kan andra, nya hållbarhetsaspekter aktualiseras, där kunskapen ännu är begränsad. Det kommer därför vara viktigt att vid övergång mot elektrifiering arbeta brett med hållbarhetsaspekter.

Syftet med denna studie har varit att ta fram en metod för hållbarhetsanalys för att öka kunskaperna om hållbarhetsaspekterna vid arbete med fossilbränsleddrivna respektive elektriska arbetsmaskiner. Målet med arbetet har varit att utveckla en metod för hållbarhetsanalys som kan tillämpas av beställare eller entreprenörer vid planering av byggprojekt för att på ett systematiskt sätt identifiera och hantera hållbarhetsaspekter kopplat till fossilbränsleddrivna och elektriska maskiner.

Arbetet med att ta fram en metod för hållbarhetsanalys har bestått av litteraturstudier, workshoppar och multikriterianalys. Information har även hämtats från tester med elektriska maskiner inom Electric Worksite II. Metoden har sedan använts i en scenarioanalys där olika maskinalternativ, både elektriska och bränsleddrivna maskiner, jämfördes för att hitta den bästa lösningen för ett byggprojekt och för att identifiera områden där det behövs åtgärder för att förbättra hållbarhetsprestandan. Studien har visat att den framtagna metoden kan ge stöd till beslut och bättre förståelse av hållbarhetsperspektivet vid val av maskiner och energiförsörjning på en byggplats.

För att förbättra och underlätta användningen av metoden behöver användaren vara noga med beskrivning och dokumentation av studiens scope och de metodval och avgränsningar som görs. Tillgång till data är en begränsande faktor för vilka aspekter som kan inkluderas i analysen, men med tiden kommer det finnas fler referensprojekt kring elektrifiering och då kommer mer data finnas tillgänglig. Det finns exempelvis behov av att öka kunskapen om kostnader vid elektrifiering. Vi föreslår att metoden testas ytterligare i ett verkligt, helelektrifierat projekt för att kunna utvärdera användarvänlighet, behov av förbättringar och uppdatering utifrån nya erfarenheter och lärdomar av elektrifiering.

Innehåll

Sammanfattning.....	ii
Innehåll.....	iii
Förutsättningar	v
1 Inledning.....	6
1.1 Bakgrund och problembeskrivning	6
1.2 Syfte och mål	6
2 Metod och genomförande	7
3 Hållbarhet i anläggningsbyggande	8
3.1 Allmänt om hållbarhet	8
3.2 Metod för hållbarhetsanalys	9
3.2.1 TILLÄMPBARA STANDARDER	9
3.2.2 MULTIKRITERIEANALYS	9
3.2.3 LIVSCYKELANALYS OCH LIVSCYKELKOSTNADER	10
3.2.4 KOSTNADS-NYTTOANALYS.....	10
3.2.5 ÖVRIGA METODER OCH VERKTYG SOM ANVÄNDS I BRANSCHEN.....	11
3.3 Hållbarhet i anläggningsbyggande med elektrifiering	11
4 Framtagning metod för hållbarhetsanalys av elektrifierade byggarbetsplatser	13
4.1 Alternativ för jämförelse	13
4.2 Konceptuell modell.....	13
4.3 Systemgränser, kriterier, skala, poängsättning och viktning	15
4.3.1 SYSTEMGRÄNSER	15
4.3.2 KRITERIEVAL	15
4.3.3 SKALA, POÄNGSÄTTNING OCH VÄGLEDNING	16
4.3.4 VIKTNING OCH VÄGLEDNING	17
4.4 Datainhämtning	17
5 Tillämpning av metod för hållbarhetsanalys	18
5.1 Förutsättningar.....	18
5.2 Exempel på utvärdering av kriteriet Buller och vibrationer.....	19
5.3 Sammanställd bedömning.....	20
6 Diskussion och förslag på fortsatt arbete	23
7 Referenser.....	25
Bilagor	29
Bilaga Litteraturstudie.....	30

Bilaga Konceptuell arbetsmodell med systemgränser och kriterier	36
Bilaga Kriterier och vägledning för poängsättning	37

Förutsättningar

I denna rapport presenteras resultat från arbetet med metodutveckling för hållbarhetsanalys som ingår i arbetspaket 4, AP 4 - Systemanalys inom forskningsprojektet Electric Worksite II (www.electricitygoteborg.se/electric-worksite). Analysmetoden ska kunna användas vid jämförelse mellan en elektrifierad arbetsplats och en icke elektrifierad (konventionell) ur ett hållbarhetsperspektiv.

För mer information om projektet Electric Worksite II – se huvudrapport för EWII. I korthet syftar projektet till att öka kunskapen kring hur elektrifierade arbetsmaskiner, specifikt hjullastare, hjulgrävare och bandgrävare av olika storlekar kan integreras i mindre och större anläggningsprojekt samt skötselverksamheter som gatuunderhåll, snöröjning etc. För att göra detta har projektet ett tydligt fokus på systemperspektivet där arbetsmaskiner, energilager och laddinfrastruktur testas i olika miljöer för att tydliggöra behov av förändringar i tekniska och organisatoriska kringssystem.

Deltagande parter är Volvo Construction Equipment, NCC, Göteborgs Stad, Chalmers Tekniska högskola, Lindholmen Science Park, Göteborg Energi, Johanneberg Science Park, Göteborgs Stads Leasing, RISE Research institutes of Sweden, ABB Electrifications Sweden, Riksbyggen, HSB Göteborg samt Högskolan i Halmstad. Projektet genomfördes under 2021-2023.

Författarna av rapporten är Rita Garção, Simon Magnusson och Ulrika Franzén, NCC Teknik, del av NCC Infrastructure. Finansiering av framtagning av metoden har erhållits av Energimyndigheten och NCC.

Rapporten skickades på remiss till relevanta projektdeltagare som deltagit i en workshop samt projektledning och styrgrupp. Utifrån synpunkter och förslag har rapporten uppdaterats.

1 Inledning

1.1 Bakgrund och problembeskrivning

Omställning till elektrifiering är en viktig del i klimatarbetet för bygg- och anläggningsbranschen. Framöver kommer fler och fler byggprojekt använda elektriska fordon och maskiner. Införande av sådan ny teknik skapar nya förutsättningar och utmaningar för projekten. Byggbranschen har kunskap och erfarenhet av att arbeta med hållbarhetsaspekter för arbetsplatser där maskiner och fordon har förbränningsmotorer. Relevanta aspekter att arbeta med är då till exempel att hantera buller, minska emissioner och ersätta drivmedel till förnybara alternativ. Vid övergång till elektriska maskiner och fordon kan andra, nya hållbarhetsaspekter aktualiseras, där kunskapen ännu är begränsad. Det kommer därför fortfarande vara viktigt att vid övergång mot elektrifiering arbeta brett med hållbarhetsaspekter. Det saknas samlad kunskap om vilka dessa aspekter är och hur hållbarhetsaspekterna påverkas när byggbranschen går mot byggarbetsplatser med elektrifierade arbetsmaskiner.

1.2 Syfte och mål

Syftet med att ta fram en metod för hållbarhetsanalys är att öka kunskaperna om hållbarhetsaspekterna vid arbete med fossilbränsle drivena respektive elektriska arbetsmaskiner på en arbetsplats. Resultatet är tänkt att kunna användas för ökad systematisering och struktur i planering och beslut inför projekt så att styrkor och svagheter i olika lösningar kan hanteras ur ett hållbarhetsperspektiv.

Målet med arbetet är att utveckla en metod för hållbarhetsanalys som kommer kunna tillämpas i projekt. Metoden ska även kunna användas av beställare eller entreprenörer vid planering av byggprojekt och tester av elektrifierade projekt, för att på ett systematiskt sätt identifiera och hantera hållbarhetsaspekter kopplat till fossilbränsle drivena och elektriska maskiner. Arbetet bidrar till en utökning av befintlig litteratur och underlag inom kunskapsområdet.

2 Metod och genomförande

Arbetet med att ta fram en metod för hållbarhetsanalys har genomförts i tre olika delar – litteraturstudier, workshoppar och metodutveckling. De olika delarna har inbegripit olika delmoment.

Litteraturstudierna omfattade:

- Eftersökning av metoder för hållbarhetsanalyser av byggplatser i vetenskapliga artiklar, standarder och av branschen utvecklade metoder
- Analys av metodernas tillämpbarhet för jämförelse av konventionell respektive elektrifierad byggplats
- Identifiering och sammanställning av hållbarhetsaspekter som beskrivs i litteraturen
- Sammanställning av hållbarhetsaspekter och -kriterier som blir relevanta inom projektets avgränsningsområde

Workshopparna avsåg:

- Interna och externa workshoppar för att identifiera betydande hållbarhetsaspekter utifrån medverkande aktörers perspektiv

Metodutvecklingen inbegrep:

- Utifrån litteraturstudierna och tidigare projekt och erfarenheter har ett förslag på metod för hållbarhetsanalys tagits fram
- Metoden har anpassats utifrån erfarenheter från testplatserna inom projektet och från andra projekt
- Justeringar utifrån input och diskussion vid workshoppar med projektdeltagare
- Analys av metodens styrkor och svagheter, förslag på fortsatt arbete

3 Hållbarhet i anläggningsbyggande

3.1 Allmänt om hållbarhet

Begreppet hållbarhet brukar beskrivas som att det innefattar tre dimensioner eller domäner – social, ekologisk och ekonomisk – vilka är ömsesidigt beroende och behöver vara i balans med varandra. Det ömsesidiga beroendet mellan dimensionerna gör att ingen av dem kan stå på egna ben (Grankvist, 2012). Exempel på detta är hushållning med naturresurser som sparar pengar, cykling till och från jobbet som är bra för miljön och människors hälsa, distansarbete som minskar hushållens utgifter, spar tid och miljö samt god arbetsmiljö som bidrar till bättre hälsa och välbefinnande hos de anställda. Utvecklingen är hållbar endast när alla tre dimensionerna är inkluderade.



Figur 1. De tre dimensionerna av hållbar utveckling

Hur de tre dimensionerna förhåller sig till varandra kan även beskrivas med andra modeller (Mulia, P. et al, 2016). Bullseye-modellen sätter den ekologiska dimensionen före den sociala och ekonomiska. I den modellen är den ekologiska hållbarheten en förutsättning för de andra. Utan den ekologiska hållbarheten finns varken den sociala eller ekonomiska. "Mickey Mouse"-modellen ser, till skillnad från de andra, ekonomin som den viktigaste delen av hållbarhetsbegreppet. De tre dimensionerna är i "Mickey Mouse"-modellen inte i balans, jämfört med modellen i

Figur 1 utan större vikt ligger på ekonomisk hållbarhet.

Sammanfattningsvis kan man konstatera, oberoende av modell, att fokus generellt har legat på ekonomi- och miljöfrågor mer än på sociala frågor.

För specifika hållbarhetskriterier gällande anläggningsbyggande med elektrifierade maskiner, se Avsnitt 3.3 Hållbarhet i anläggningsbyggande med elektrifiering och avsnitt 4.3.2 Kriterieval.

3.2 Metod för hållbarhetsanalys

I detta avsnitt redogörs för standarder samt de metoder för hållbarhetsanalys som, utifrån litteraturstudien, bedömts vara mest intressanta för detta projekt.

3.2.1 TILLÄMPBARA STANDARDER

Det har på senare år publicerats ett antal olika standarder för olika typer av hållbarhetsanalyser i anläggningsbyggande. Vissa standarder är gemensamma för byggnader och anläggningar medan andra är specifika för den ena eller den andra. Standarderna är framtagna på olika nivåer, från internationella standarder, till europeiska och nationella. I en artikel av Ek, et al., (2020) sammanställdes standarder som kopplar till anläggningsbyggande och livscykelperspektiv. I Bilaga Litteraturstudie finns en sammanställning av dessa, tillsammans med några nya standarderna som tillkommit sedan 2020. De nya standarderna är mer heltäckande för byggnaders och anläggningars livscykel och beaktar även användning av maskiner och fordon på byggplatser.

3.2.2 MULTIKRITERIEANALYS

Multikriterieanalys (MKA) används för att kunna jämföra olika alternativ av exempelvis produkter och aktiviteter mot varandra och kunna inkludera flera olika aspekter i jämförelsen, både kvalitativa och kvantitativa. MKA kan användas för en mängd frågeställningar och används inom forskning och mer tillämpat som stöd i beslutsunderlag. MKA bygger på att olika alternativ bedöms mot ett antal på förhand valda kriterier. En sammanfattning av de olika stegen som ingår i MKA presenteras nedan. För en mer ingående beskrivning av metoden, se exempelvis Belton & Stewart (2002).

Steg 1: Val av kriterier

I det första steget hittas lämpliga huvudkriterier och underkriterier som ska inkluderas i analysen. Kriterierna som väljs ska vara de mest relevanta för det som ska studeras och också vara oberoende av varandra för att minimera risken för dubbelräkning av effekter.

Steg 2: Exempel på bedömning av effekter

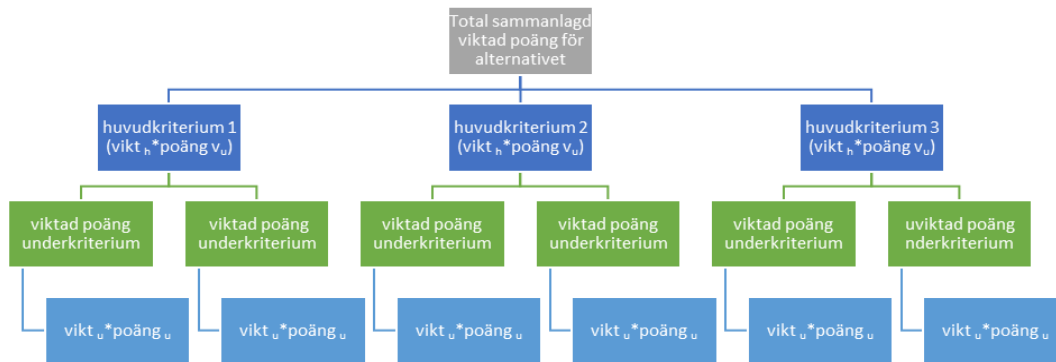
I nästa steg bedöms effekter genom att valda kriterier poängsätts på en skala, där positiva poäng avspeglar positiva effekter och negativa poäng avspeglar negativa effekter (risker). För kriterier där ett absolut värde räknats fram (kan till exempel vara klimatpåverkan, icke-förnybara resurser samt kostnader) omvandlas dessa inför den sammanvägda bedömningen till den bestämda poängskalan baserat på det absoluta värdet.

Steg 3: Viktning

I nästa steg görs en viktning av ingående kriterier, och underkriterier, för att ange vilken relativ betydelse de olika kriterierna ska få i utvärderingen av alternativen. Viktningen reflekterar de bedömande intressenternas uppfattning om hur viktiga olika aspekter (kriterier) är i hållbarhetsanalysen.

Steg 4: Bedömning av grad av måluppfyllelse

För att bedöma alternativens måluppfyllelse behöver man väga samman poängen för kriterier och underkriterier, med de vikter som tilldelats dem. I Figur 2 visas denna process för en typ av MKA, den linjära additiva metoden.



Figur 2. Princip för den linjära additiva metoden för beräkning av totalpoäng för ett alternativ.

$Vikt_u$ – vikt för underkriterium; $Vikt_h$ – vikt för huvudkriterium; $Poäng_u$ – poäng för underkriterium; $Poäng_{v_u}$ – poäng för viktad underkriterium

Alternativen som bedöms brukar jämföras mot ett referensalternativ som ofta är det samma som noll-alternativet, d.v.s. den situation som skulle uppstå om inget arbete utförs.

3.2.3 LIVSCYKELANALYS OCH LIVSCYKELKOSTNADER

Livscykelanalys (LCA) är ett verktyg för att analysera och beräkna den miljöpåverkan som uppstår under en produkts livscykel, till exempel under tillverkning, användning och avfallshantering. Klimatpåverkan är en av miljöpåverkanskategorierna men det finns fler så som övergödning, försurning, ozonförtunning osv. Livscykelanalyser beräknas i ett antal moduler, A, B, C, D och undermoduler vilka tillsammans täcker in allt från utvinning av råmaterial till rivning och återvinning av produkten i dess slutskede. Det finns olika mjukvaror för att stötta LCA eller klimatberäkningar inom byggbranschen, som exempelvis Gabi, Trafikverket klimatkalkyl, OneClick LCA och Boverket Byggsektorns miljöberäkningsverktyg.

Livscykelkostnader (LCC) är en beskrivning av de kostnader som är förknippade med en produkts livscykel i analogi med hur livscykelanalysen återger en produkts miljöpåverkan. Exempel på sådana kostnader är kostnader som betalas av den upphandlande myndigheten eller enheten eller av någon annan användare, kostnad för förvärv av produkten, återvinningskostnader och andra kostnader vid livslängdens slut.

3.2.4 KOSTNADS-NYTTOANALYS

Målet med en kostnads-nyttoanalys är att så långt som möjligt kvantitativt göra en jämförelse mellan nyttor och kostnader för alla berörda i samhället nu och i framtiden i monetära termer. För att erhålla skillnaden i kostnader och nyttor med olika alternativ jämförs de mot ett referensalternativ som ofta är det samma som noll-alternativet, det vill säga den situation som skulle uppstå om ingen åtgärd utförs. En samhällsekonomisk kostnads-nyttoanalys (KNA) fokuserar på marknadsvärderade kostnader och nyttor. Även övriga ekonomiska poster för samhället, till exempel för människors hälsa och för miljön, tas med (så kallade externa effekter). Nettonuvärde är ett begrepp som gäller bedömning av samhällsekonomiska effekter, med summan av diskonterade nyttor minus summan av diskonterade kostnader över en viss tidsperiod, och som uttrycks i monetära termer (Naturvårdsverket, 2008 och Söderqvist et al., 2015). Om inte alla nyttor mäts i monetära termer kan det hända att nettonuvärdet blir negativt även om lösningen är

samhällsekonomiskt lönsam. En tillämpning av KNA som använts i projekt med stort miljöfokus är beskrivet i Söderqvist et al. (2015) och Rosén et al. (2015). Där har man utvärderat olika saneringsalternativ utifrån hållbarhetsbegreppet.

3.2.5 ÖVRIGA METODER OCH VERKTYG SOM ANVÄNDS I BRANSCHEN

De exempel på metoder och verktyg som beskrivs i detta avsnitt hanterar hållbarhet på olika sätt. Några fokuserar på hållbarhet utifrån miljöperspektiv, några på social hållbarhet medan andra främst hanterar ekonomisk hållbarhet. Även inom hållbarhetsmetoder som enbart fokuserar på en av hållbarhetsaspekterna miljö, hälsa eller ekonomi så finns det nischade metoder för specifika påverkanskategorier. Å andra sidan, och enligt Ek et al (2020), är vissa miljöaspekter tätt knutna till social hållbarhet, såsom utsläpp av avgaspartiklar och toxicitet som relateras med hälsa inom livscykelanalyser.

Lagstiftning på nationell, europeisk och global nivå sätter miniminivåer för hållbarhet i projekt och hur enskilda och övergripande frågeställningar måste hanteras. EU inför nu även lagkrav gällande rapportering av hållbarhetsaspekter från företag och verksamheter, bland annat den så kallade taxonomin, som syftar till att tydliggöra och sätta en gemensam bas för kommunikation av vad som anses vara hållbara aktiviteter. Relevant för arbetsmaskiner på en byggarbetsplats är även beställares, i många fall offentliga organisationer, upphandlingskrav inom miljö, sociala aspekter och ekonomi. Särskilt genom detta kommer det i närtid finnas krav på att åtminstone delar av fordons- och maskinparken måste elektrifieras.

BREEAM Infrastructure (tidigare CEEQUAL) är ett hållbarhetscertifieringssystem för projekt inom mark, anläggning, infrastruktur, landskapsutformning och offentliga miljöer som har ett brett fokus. Övriga liknande verktyg för certifiering som riktar sig mot byggnader har också hållbarhet som fokus. De flesta av dem har dock en mer begränsad omfattning i kriteriesammansättningen.

NCC Teknik har utvecklat och använt egna verktyg för hållbarhetsanalyser, både internt i företaget och i samarbete med andra aktörer. Kostnads-nyttanalyser har till exempel använts i samverkan med Volvo för bedömning av systemet Effektiv utlastning i projektet Västlänken E02 Centralen. Andra exempel är ett multikriterianalysverktyg som utvecklades för att välja lämpliga och hållbara alternativ för hjulvättsrutiner (NCC, 2019).

3.3 Hållbarhet i anläggningsbyggande med elektrifiering

Utifrån litteraturstudien, som presenteras i Bilaga Litteraturstudie, kan slutsats dras att det inte finns ett särskilt stort utbud av litteratur som behandlar hållbarhetsanalys av parametrar som direkt avser elektrifiering av byggarbetsplatser. Ett fåtal relevanta referenser eller verktyg som direkt berör elektriska maskiner och fordon har dock identifierats:

- Elektrifierad bygg- och anläggningsplats. Genomförbarhetsstudie (Bernholdsson, A. et al. 2020)
- Utslippsfri anleggsplass. Bymiljøetatens erfaring med elektriske anleggsmaskiner i Olav Vs gate (Bymiljøetaten, 2020)
- Hållbar elektromobilitet. Vad krävs för att eldrivna vägtransporter ska vara miljömässigt och socialt hållbara (IVL, 2020)
- Miljöeffekter av elektrifiering av transporter (Naturvårdsverket, 2023a)
- Volvo Environmental Footprint Calculator (Volvo Trucks, 2023)

Dessa har i varierade grad fungerat som underlag för utveckling av kriterier och vägledning till hur dessa kan tillämpas i hållbarhetsanalysen.

Det finns några skillnader mellan de olika metoderna och verktygen som identifieras i Bilaga Litteraturstudie, bland annat vilka skeden de avser att användas i, vilka hållbarhetsaspekter och vilka indata de omfattar samt vilken expertkompetens som krävs av användaren. Sammantaget utifrån litteraturstudien bedöms MKA kunna vara lämplig som metod för att på ett strukturerat sätt analysera både kvalitativa och kvantitativa hållbarhetsaspekter för fossilbränsle drivna och elektrifierade fordon och maskiner på byggplatser. Miljömässiga hållbarhet, sociala hållbarhet och ekonomiska hållbarhet täckas i olika grader / omfattningar.

Vissa MKA-studier lyfter möjligheten att ha exempelvis ett hållbarhetsindex, det vill säga att helheten bedöms utifrån ett sammanvägt värde (Rosén et al), medan andra föredrar att resultat kvarstår disaggregerade för miljö, socialmässig respektive ekonomisk hållbarhet (Ek et al).

4 Framtagning metod för hållbarhetsanalys av elektrifierade byggarbetsplatser

4.1 Alternativ för jämförelse

För att ta fram de alternativ som ska jämföras i hållbarhetsanalysen så är det viktigt att tänka på följande:

- Metoden behöver vara avsedd för att analysera val av energibärare, system för energiförsörjning och av arbetsmaskiner på byggplatsen
- Alternativ som jämförs behöver ha samma funktionella enhet och systemgräns
- För rättvis jämförelse mellan arbetsmaskiner krävs att de utför samma typ av arbetsmoment
- Alternativ som jämförs måste vara rimliga ur ett produktionsperspektiv

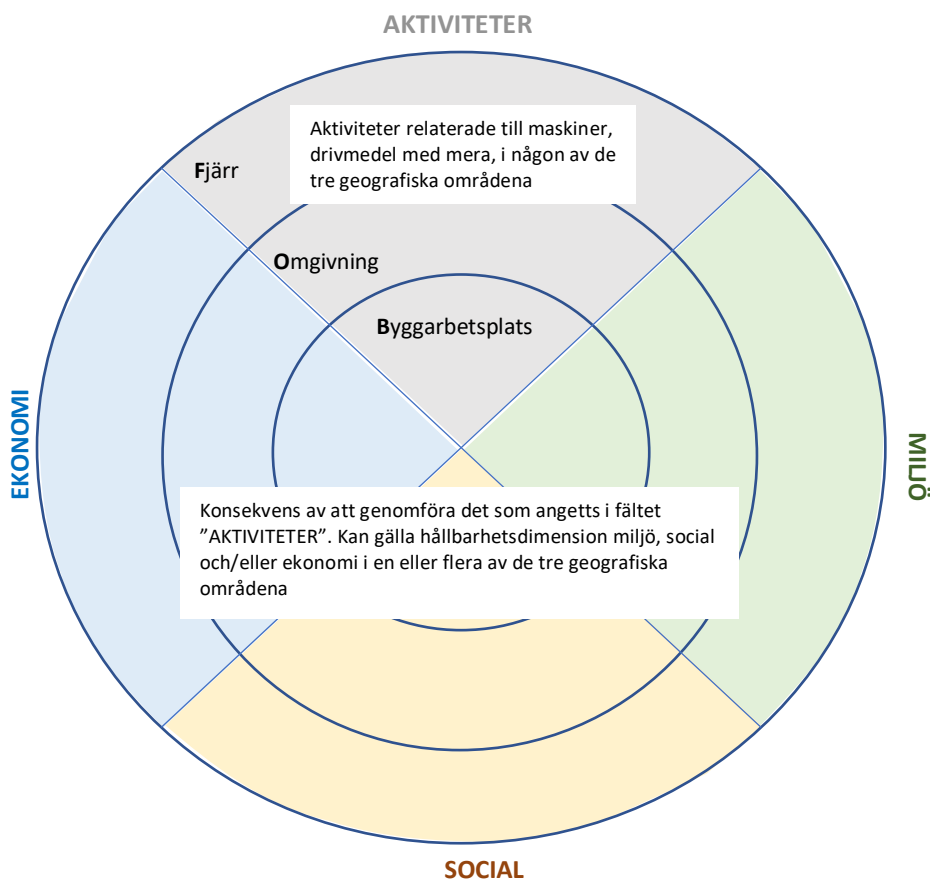
4.2 Konceptuell modell

Ett av de viktigaste stegen är att bestämma sig för vilken systemgräns och skala som analysen ska utgå ifrån. Detta påverkar vilka kriterier som ska inkluderas. Att identifiera rätt kriterier, det vill säga de som speglar hållbarhet för en anläggningsarbetsplats, är av största vikt.

För att ge stöd till denna process, så har en konceptuell arbetsmodell utvecklats där det ingår olika dimensioner:

- Geografisk dimension: exempelvis byggplatsområdet, omgivning utanför området samt mer fjärran (regional/global nivå)
- Identifiering av ingående aktiviteter för att genomföra arbetet med maskiner på en byggarbetsplats ur ett livscykelperspektiv: från utvinning av resurser, tillverkning av maskiner och energi samt användning och slutskede
- Identifiering av hur aktiviteterna kopplar till aspekter inom miljömässig, social och ekonomisk hållbarhet, exempelvis:
 - användning av fossilbränsle drivna maskiner genererar växthusgasutsläpp och luftföroreningar på arbetsplatsen
 - användning av maskiner på arbetsplats genererar buller från förbrännings-motorer och från utfört arbete
 - att köpa eller hyra maskiner kostar pengar
- Identifiering av var någonstans påverkan sker, exempelvis:
 - att växthusgasutsläpp har en påverkan på global nivå (fjärr),
 - att buller och luftföroreningar som genereras på platsen påverkar yrkesarbetarna men även människor i den direkta omgivningen
 - att kostnader för maskiner påverkar projektekonomi

I Figur 3 illustreras en systemmodell som beskriver de huvudsakliga aktiviteterna och hållbarhetsdimensionerna i olika tårtbitar samt de geografiska dimensionerna strukturerat i cirklar.



Figur 3 – Systemmodell för systemgränser och kriterier som stöder hållbarhetsbedömning

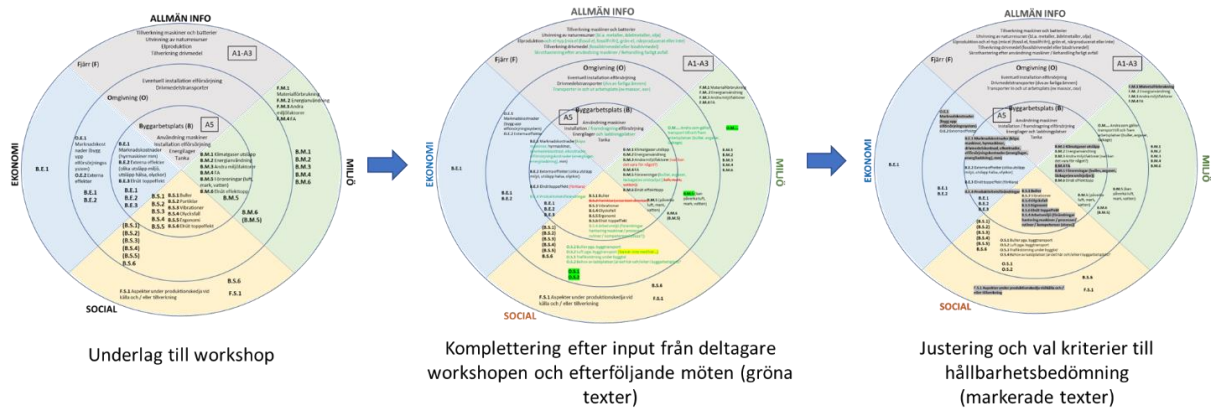
Ovanstående figur ger möjligt att illustrera, strukturera och sammanställa bland annat systemgränser och kriterier som är relevanta för hållbarhetsanalysen.

Systemmodellen utvecklades i två steg. I första steget antecknades i modellen tänkbara aktiviteter och hållbarhetsaspekter. Huvudsakliga aktiviteter identifierades utifrån samlad kunskap i projektet. Hållbarhetsaspekter identifierades och hämtades från den samlade litteraturen i litteraturstudien.

I andra steget diskuterades och kompletterades modellen vid en workshop och i efterföljande möten med nyckelpersoner i projektet. I diskussionerna fick deltagare utifrån sina expertkunskaper lämna synpunkter på modellen, komplettera modellen med fler aktiviteter samt fler hållbarhetsaspekter. Erfarenheter från NCC:s anläggningsprojekt Bergsbyns Företagspark samlades också in. I Bergsbyn har tester med bland annat en elektrisk grävmaskin och en elektrisk bergkross genomförts.

Platsbesök genomfördes på NCC:s entreprenad Habitat 7 där en elektrisk grävmaskin testats. Erfarenheter från detta, och andra tester inom Electric Worksite II, har också påverkat urval av aktiviteter och aspekter i systemmodellen.

Processen för att utveckla systemmodellen i steg illustreras i Figur 4, nedan. Det är inte meningen att visa de exakta begreppen som tillkommit eller försvunnit utan snarare synliggöra hur modellen förändrats under processens gång.



Figur 4 Stegvis utveckling av systemmodellen utifrån information sammanställt i litteraturstudier, vid workshoppar och intervjuer samt platsbesök vid byggprojekt

På så sätt samlades en stor andel aspekter in som är relevanta och specifika för projekt där elektrifierade och icke elektrifierade maskiner kan användas. Den slutliga versionen av systemmodellen presenteras i Bilaga Konceptuell arbetsmodell med systemgränser och kriterier.

4.3 Systemgränser, kriterier, skala, poängsättning och viktning

4.3.1 SYSTEMGRÄNSER

För att bestämma systemgränser diskuterades omfattningen av analysen och vilka gränsdragningar som var lämpliga. Det diskuterades bland annat om det analyserade systemet skulle inkludera:

- Maskiner och fordon samt deras energiförsörjning, elanslutning och/eller laddning
- Geografisk avgränsning i form av själva byggarbetsplatsen, eller även omgivning, och regional/global nivå
- Livscykelsteg för maskiner och fordon
- Gemensamma och/eller särskilda/enskilda indikatorer/kriterier för varje livscykelsteg

4.3.2 KRITERIEVAL

För att välja rätt kriterier som är lämpliga för hållbarhetsanalys av en byggarbetsplats samt inte överlappar varandra kan nedanstående tankesätt användas.

Miljö	=	påverkan på ekologi och naturmiljö
Socialt	=	upplevelser som påverkar människor
Ekonomi	=	påverkan på samhället (kostnader och nyttor för samhället)

I föregående projekt Electric Worksite I lyftes ett antal hållbarhetskriterier, se projektrapporten för EW1 (Bernholdsson, A. et al. 2020). Ett urval av dessa kriterier har plockats ut för att användas i

detta projekt. Det är viktigt att det finns underlag och information om kriterierna så att de går att bedöma och poängsätta.

I Tabell 1 presenteras en sammanställning av de hållbarhetskriterier som analyseras i den framtagna metoden. En kort beskrivning av alla föreslagna kriterier ingår i Bilaga Kriterier och vägledning för poängsättning, tillsammans med en vägledning för poängsättning.

Tabell 1 Sammanställning av hållbarhetskriterier som ingår i metoden för hållbarhetsanalys

MILJÖ	SOCIAL	EKONOMI
Klimat	Arbetsmiljö på byggarbetsplats	Byggarbetsplats utförandekostnader
Utsläpp av CO ₂ e vid fordons- och maskinanvändning	Buller och vibrationer	Planerade kostnader maskiner
Utsläpp av CO ₂ e vid energiproduktion	Rutiner och relaterad stress	Planerade kostnader drivmedelskostnad, elkostnader
Utsläpp av CO ₂ e vid tillverkning maskin eller ev. komponenter	Olycksfall och ergonomi	Planerade kostnader relaterade med att säkerställa tillgång till diesel och elförsörjning mm
Föroreningar på byggarbetsplats	Påverkan tredje man	Planerade kostnader med produktivitetsförändringar
Läckage till mark och/eller vatten	Buller och vibrationer	Oplanerade / oförväntade kostnader
Emissioner till luft	Luftkvalitet i närområdet	
Resurser, Cirkularitet, Avfall	Under produktionskedja vid källa / tillverkning	
Förbrukning icke-förnybara resurser	Arbetsmiljö - hälsa och säkerhet	
Cirkularitet	Arbetsvillkor - lön och arbetstid	
Genererat farliga avfall		

4.3.3 SKALA, POÄNGSÄTTNING OCH VÄGLEDNING

För kriterier som kan kvantifieras är det möjligt att poängsätta dem utifrån en kvantitativ skala i en relevant enhet (exempelvis genom beräkning av kostnader i svenska kronor). I andra fall görs en kvalitativ bedömning och poängsättning från -3 till 0. Omvandling från vissa absoluta värden till en bestämd poängskala görs för att kunna jämföra alternativ och olika kriterier mot varandra på en och samma skala.

Förutom en kort beskrivning om vad varje kriterium och underkriterium gäller, har det tagits fram en kort vägledning för poängsättning, där det identifieras det som ska tas hänsyn till när poäng sätts. I de flesta fall, och för att undvika onödig repetition genom ett samma underkriterium, är en samma text aktuell till hela skala för poängsättning.

I Bilaga Kriterier och vägledning för poängsättning samlas in Vägledning för alla kriterierna och underkriterierna som ingår i denna hållbarhetsanalysmetod.

4.3.4 VIKTNING OCH VÄGLEDNING

Viktning tillämpas för kriterier och underkriterier för att ange vilken relativ betydelse de olika kriterierna ska få i utvärderingen av alternativen. Viktning kan även tillämpas övergripande till de tre hållbarhetsdimensionerna, alltså miljömässig, social och ekonomisk hållbarhet. Viktningarna anges av dem som gör analysen och speglar därmed analytikernas bedömning av hur viktiga olika aspekter (kriterier) är i hållbarhetsanalysen. På varje nivå ska summa vikt uppnå 100 procent.

4.4 Datainhämtning

Det är viktigt att tidigt börja titta på vilken data som finns att få tag på och vilken som behövs experthjälp för att kunna bedöma. Intressenter och experter är en viktig informationskälla till kartläggningen av vilken data som kan vara lämplig och tillgänglig. Beräkningar exempelvis gällande kostnader och koldioxidutsläpp är information som kanske är delvis tillgängliga / rimligt att beräkna. Beroende på vad datan består av, kan det användas i bedömning som kvantitativ data eller som underlag för en kvalitativ bedömning.

5 Tillämpning av metod för hållbarhetsanalys

Inom detta projekt har det genomförts flera tester med olika elektriska maskiner i pågående entreprenader med olika förutsättningar och under en begränsad tidsperiod.

Den framtagna metoden för hållbarhetsanalys har testats att tillämpas för att jämföra användning av maskiner på en byggarbetsplats. Ett scenario har tagits fram med utgångspunkt från de tester som genomförts med elektriska maskiner.

5.1 Förutsättningar

Scenariot speglar ett byggprojekt i stadsmiljö, i närheten av högtrafikerad väg, kontor och bostäder samt andra närliggande pågående entreprenader. I Tabell 2 presenteras de alternativ som jämförs i hållbarhetsanalysen. Alternativ 1 representerar användning av konventionell, fossilbränsle driven maskin. Alternativ 2 utgörs av en eldriven maskin som är kabelansluten och som drivs med förnybar el. I alternativ 3 ingår en eldriven, batteriburen maskin som även använder energilager. Elen kommer från förnybara energikällor.

Tabell 2 Utvalda alternativ för maskiner och energiförsörjning som ingår i analysen

Alternativ referensnr	Kort beskrivning av alternativ
1	Fossilbränsle driven maskiner
2	Eldrivna maskiner, kabelanslutning, förnybar el
3	Eldrivna maskiner, batteri & energilager, förnybar el

I Tabell 3 presenteras information om de förutsättningar som gäller i projektet som studeras. I detta exempel på analys är förutsättningarna hämtade från projektet Habitat 7.

Tabell 3 Information om förutsättningar i studerat projekt

Rubrik	Specifikation	Projektets förutsättningar (anläggningsarbete baserat på ex. entreprenad Habitat 7)
Avser projekt	Projektnamn	Grundläggningsentreprenad Habitat 7
Typ av omgivning, bullerstatus, osv	Specificera om det är stadsmiljö, bullerkänsligt område, annat.	Stadsmiljö, bullerstört nära högtrafikerad gata
Berörda i närheten	Specificera verksamheter såsom förskola eller andra känsliga verksamheter.	Främst kontorsbyggnader, flera entreprenader pågår i närheten
Berörda på byggarbetsplatsen	Specificera antal yrkesarbetare, platschef m.fl. som påverkas av val av maskin. Kan variera mellan utredningsalternativen.	2 förare, platschef, arbetsledare
Relevanta maskiner	Specificera vilka maskiner som berörs. Kan variera mellan utredningsalternativen.	Grävmaskin
Drivmedel / energi	Specificera typ av energi, t.ex. diesel, HVO, förnybar el, mix-el. Kan variera mellan utredningsalternativen.	Diesel och förnybar el, se specifik info för varje alternativ
Relevant tidsperiod maskiner	Specificera när maskiner kommer användas, t.ex. dagtid, 4 månader. Kan variera mellan utredningsalternativen.	Fyra dagar (i sträck)
Typ arbete (störning arbete)	Specificera typ av arbete i entreprenaden, t.ex. schakt, jordmassor, transport. Ej beroende av utredningsalternativ.	Schaktarbete

Elanslutning förutsättningar	Specificera, t.ex. begränsningar i elsystemet. Ej beroende av utredningsalternativ.	El finns framdraget
Storlek arbetsområde	Specificera om arbetet sker i en punkt eller kräver förflyttningar inom området.	Huvudsakligen stationärt arbete på en begränsad plats
Påverkan naturområde	Specificera om det finns naturområde i anslutning till byggarbetsplatsen, och ev. status t.ex. Natura 2000.	Ej relevant i detta projekt

Ytterligare informationsrader kan adderas för ytterligare beskrivning där så bedöms behövt.

5.2 Exempel på utvärdering av kriteriet Buller och vibrationer

I Tabell 4 presenteras ett exempel på hur utvärdering av ett kriterium kan se ut. I detta exempel görs en bedömning av Buller och vibrationer, som är ett underkriterium till kriteriet Arbetsmiljö på byggarbetsplats.

Tabell 4 Bedömning med poängsättning av Buller och vibrationer

Arbetsmiljö på byggarbetsplats	Skala	Alternativ 1		Alternativ 2		Alternativ 3	
		Poäng	Motivering	Poäng	Motivering	Poäng	Motivering
Buller och vibrationer	-3 till 0	-3,0	Bullrig maskin	-1,0	Tystare maskin (motor, även om buller från ventilationssystem förekommer)	-1,0	Tystare maskin (motor, även om buller från ventilationssystem förekommer)

För poängsättningen används vägledningen för detta underkriterium som presenteras i Tabell 5. Denna tabell återfinns även i Bilaga Kriterier och vägledning för poängsättning, men är även inkluderad här som exempel på vägledning för ett underkriterium.

Tabell 5 Vägledning för att sätta poäng för underkriteriet Buller och vibrationer inom kriteriet Arbetsmiljö på byggarbetsplats

Buller och vibrationer		
Omfattar	Användning fordon och maskiner i byggprojektet	Poängsättning
Buller och vibrationer vid användning maskin/fordon på byggarbetsplats och vid transport	Varierar från stor risk för negativ påverkan till liten eller ingen risk.	-3
	Avser buller och vibrationer från användning av maskin på byggarbetsplats och vid transport som påverkar förare och arbetare på byggarbetsplatsen. Ta hänsyn till:	-2
	<ul style="list-style-type: none"> - buller från maskin/fordon som utvärderas (förbränningsmotorer har väsentligt mycket högre ljud än elmotorer) - arbetsuppgifter som utförs av maskin/fordon (beakta att hantering av bergmassor / krossmaterial är mer störande än jordmassor) - andra maskiner på platser och om de är bullriga eller inte (eller deras arbetsuppgifter) - bullrig omgivning, exempelvis intensiv trafik eller industri - om tid arbete med maskiner skiljer sig pga. att lastkapacitet eller effektivitet skiljer sig mellan maskiner / lastbilar - möjlighet att utföra arbete under fler tider som effekt av reducerade bullernivåer. 	-1
	<p>Ifall det finns bullermätningar, kan efterlevnad av gränsvärdet beaktas.</p> <p>Eventuella synpunkter, tidigare erfarenheter och undersökningar kan också stötta i poängsättning, exempelvis om förare upplever att deras arbetsmiljö förbättrades pga. tystare maskiner/fordon.</p>	0

5.3 Sammanställd bedömning

Bedömning görs för alla kriterier och underkriterier som identifierats som relevanta och där det finns underlag för att kunna utvärdera kvantitativt eller kvalitativt. Dessutom görs en viktning på olika nivåer, det vill säga på nivåerna för underkriterium, kriterium samt hållbarhetsdomän (dimension).

I detta exempel på tillämpning av metod för hållbarhetsanalys värderas några kriterier högre än andra. Under domän Miljö viktas Klimat till 80 procent och Föreningar respektive Resurser, Cirkularitet, Avfall till 10 procent vardera. På samma vis har kriterier inom Social och Ekonomi i en del fall fått olika viktning. Det har bedömts att miljö, sociala aspekter och ekonomi har samma tyngd och därför är viktningen lika mellan alla tre domäner – 33 procent per domän, så att på domännivå är total 100 procent. På varje nivå måste alltså de underliggande nivåer som ingår, tillsammans uppgå till hundra procent av nivån.

Ett exempel på resultatsammanställning av både poängsättning, viktning och utfall visas i Tabell 6. Observera att resultaten dels är starkt kontextberoende utifrån scenario och viktning av kriterier dels att det finns osäkerheter på grund av brist på data, främst gällande jämförelser av kostnader. Färggraderingen för poängsättning i tabellen varierar från vit, som motsvarar poäng på noll, till rödmarkering, som gäller mer negativa poäng, dvs närmare -3. Ljusaste rosa finns i mitten i skalan. Syftet med den färggraderingen är att lättare kunna hitta underkriterier/kriterier/domäner med högsta negativa utfall.

Tabell 6 Indikativt resultat av hållbarhetsbedömning

Domän	Viktning, %	Kriterier och underkriterier	Viktning	Alternativ 1	Alternativ 2	Alternativ 3
		TOTAL HÅLLBARHET		-1.90	-1.00	-1.66
MILJÖ	33%	MILJÖ	33%	-2.9	-0.2	-0.4
		Klimat	80%	-3.0	0.0	0.0
		Utsläpp CO _{2e} vid fordons- och maskinanvändning	100%	-3.0	0.0	0.0
		Utsläpp CO _{2e} vid energiproduktion	0%	Ej bedömt	Ej bedömt	Ej bedömt
		Utsläpp CO _{2e} vid tillverkning maskin eller ev. komponenter	0%	Ej bedömt	Ej bedömt	Ej bedömt
		Föroreningar	10%	-2.5	-0.5	-0.5
		Läckage till mark och/eller vatten	50%	-3.0	-1.0	-1.0
		Emissioner till luft	50%	-2.0	0.0	0.0
		Resurser, Cirkularitet, Avfall	10%	-2.1	-1.4	-3.0
		Förbrukning ej förnybara resurser	40%	-3.0	-2.0	-3.0
		Cirkularitet	30%	-2.0	-2.0	-3.0
		Genererat farliga avfall	30%	-1.0	0.0	-3.0
SOCIAL	33%	SOCIAL	33%	-1.9	-1.6	-1.9
		Arbetsmiljö på byggarbetsplats	60%	-2.0	-2.0	-2.0
		Buller och vibrationer	50%	-3.0	-1.0	-1.0
		Rutiner och relaterad stress	50%	-1.0	-3.0	-3.0
		Olycksfall och ergonomi		-1.0	-2.0	-2.0
		Påverkan tredje man	20%	-2.6	-1.0	-1.4
		Buller och vibrationer	60%	-3.0	-1.0	-1.0
		Luftkvalitet i närområdet	40%	-2.0	-1.0	-2.0
		Under produktionskedja vid källa / tillverkning	20%	-1.0	-1.0	-2.0
		Arbetsmiljö - hälsa & säkerhet	50%	-1.0	-1.0	-2.0
		Arbetsvillkor - lön och arbetstid	50%	-1.0	-1.0	-2.0
EKONOMISK	33%	EKONOMISK*	33%	-0.9	-1.2	-2.8
		Byggarbetsplats utförandekostnader	100%	-0.9	-1.2	-2.8
		Planerade kostnader maskiner	35%	-1.7	-3.0	-3.0

	Planerade kostnader drivmedelskostnad, elkostnader	10%	-3.0	-0.6	-0.6
	Planerade kostnader relaterade med att säkerställa tillgång till diesel och elförsörjning mm	20%	-0.1	-0.2	-3.0
	Planerade kostnader med produktivitetsförändringar	10%	-0.3	-0.6	-3.0
	Oplanerade / oförväntade kostnader	25%	0.0	-0.1	-3.0

**Mycket osäkra data, förutsättningar varierar mycket mellan projekt*

Från tabellen går det att identifiera vilka kriterier där det finns eller riskerar att uppstå en negativ påverkan. Detta ger möjlighet att:

- välja det alternativet där den sammanvägda hållbarheten är högre
- identifiera vilka åtgärder som bör vidtas så att den negativa påverkan/riskerna minimeras, exempelvis vidta åtgärder så att ingen -3 eller -2 påverkan förekommer

Resultaten i exemplet visar att utifrån den valda viktningen och poängsättningen faller Alternativ 1 ut som det minst hållbara alternativet. Det alternativet avviker från de andra främst avseende domänen miljö, där föroreningar och klimat drar ner poängen kraftigt. Orsaken till detta är användningen av fossila drivmedel. Åtgärder för att minska miljöpåverkan är till exempel att byta till förnybara drivmedel, såsom HVO100 och till maskiner med motorer som har lägre emissioner. För att få alternativ 2 eller 3 med högre hållbarhet, skulle det behövas påverka inköp och avfallshantering, så att råvaror utvinning minskas och avfall återvinning ökas.

Gällande domänen social hållbarhet visar resultaten att alternativ 2 faller ut som det mest hållbara alternativet. Detta beror på att alternativet innebär minst negativ påverkan på tredje man (här ingår buller) samt mindre negativ påverkan än alternativ 3 gällande sociala aspekter i leverantörskedjan av produkterna. Detta beror delvis på att alternativ 3 kräver mer resurser i form av batterier, där det finns sociala aspekter kopplade till utvinningen av naturresurser för batterier. Frågan om batteriernas ursprung kommer troligtvis bli allt viktigare när efterfrågan på batterier ökar och aktörer i samhället vill krävställa att batterier ska komma tillverkas med hänsyn till arbetsmiljö. Åtgärder för att förbättra den sociala hållbarheten i alternativ 3 kan vara att om möjligt välja batterier som enligt eventuella branschstandards uppfyller krav på hållbar produktion och återvinning av batterier. Alternativ 2 och 3 innebär ny teknik som yrkesarbetare ska hanteras vilket kan leda till ökad stress. Här kan tydliga rutiner bidra till att förbättra den sociala hållbarheten.

För domänen kostnader så är dataunderlaget bristfälligt, men det finns en indikation att kostnader för maskiner i alternativ 2 och 3 är högre än i alternativ 1. För att kunna göra en mer säker analys av kostnader behövs data från fler referensprojekt med elektriska maskiner.

6 Diskussion och förslag på fortsatt arbete

En målsättning med detta arbete har varit att ta fram en hållbarhetsanalysmetod för att bedöma hållbarhetsaspekter som blir aktuella i samband med val av maskiner och tillhörande energiförsörjning på byggarbetsplatser. När byggbranschen styr mot klimatneutralitet så kommer elektrifiering av fordon och maskiner vara en av flera dellösningar. I en hållbarhetsbedömning är det viktigt att ha med ett livscykelperspektiv där även produktionskedjan och inte bara aktiviteter på byggarbetsplatsen inkluderas.

Den utvecklade metoden fungerar både vid planering av konventionella byggplatser och av byggplatser där elektriska maskiner ska användas. Metoden fungerar både för att ställa alternativ mot varandra för att hitta den bästa lösningen för ett byggprojekt, och för att identifiera områden där det behövs åtgärder för att förbättra hållbarhetsprestandan.

Utveckling av metoden har även lett till en samlad kunskap om de hållbarhetsaspekter som kommer bli aktuella när fler och fler byggplatser elektrifieras. Denna typ av kunskap är viktig så att övergången mot elektrifiering inte leder till omedveten suboptimering, till exempel att växthusgasutsläppen minskar i projekten men att prestandan gällande andra hållbarhetsaspekter försämras på ett oplanerat sätt. Arbetet visar att elektrifiering av arbetsplatser innebär relativt stora förändringar i både aktiviteter på byggplatsen och vilka hållbarhetsaspekter som blir aktuella. Med den utvecklade metoden synliggörs eventuella risker för suboptimering och åtgärder kan vidtas.

Vid användning av metoden behöver det göras ett urval av de hållbarhetskriterier som ska analyseras. I projektet har det gjorts en omfattande kartläggning via litteratur, intervjuer och workshoppar gällande vilka hållbarhetsaspekter som kan bli relevanta vid val av maskiner och elförsörjning av en byggplats. Projektet har identifierat ett stort antal aspekter, och för att metoden ska vara praktiskt genomförbar bör det göras ett urval baserat på vad intressenter/aktörer anser är viktigast samt att det finns rådighet att påverka resultat av bedömningen från aspekten.

Dessutom behöver det finnas tillräcklig information om de valda kriterierna för att kunna bedöma dem/poängsätta dem i metoden. En mycket viktig del av arbetet är viktningen och poängsättningen av de ingående kriterierna. Vid användande av metoden i ett planeringsskede är det troligt att det finns en brist på projektspecifika data som behövs för att kriterier ska värderas kvantitativt. Vid kvalitativa bedömningar är det viktigt att dokumentera hur användaren har resonerat vid poängsättning. I den framtagna metoden finns stöd för att poängsätta ett antal av de kriterier som identifierats.

I den framtagna metoden jämförs alternativ mot ett noll-alternativ, som innebär att ingen verksamhet utförs alls. De kriterier som ingår i metoden tar endast hänsyn till negativa effekter som alternativen kan innebära, till exempel ökade utsläpp. Det innebär att resultaten antingen blir 0 (ingen påverkan) eller ett negativt värde ned till -3 (mycket stor negativ påverkan). Om andra kriterier inkluderas, som innebär potentiellt bidrag till förbättrad hållbarhetsprestanda, kan detta påverka skalan.

De vägledningarna som är framtagna till respektive kriterium kan, och bör, justeras utifrån framtida ny kunskap och erfarenhet som leder till högre kvalitet på bedömningarna. I dagsläget är vägledningarna baserade på data som identifierats inom Electric Worksite II och via litteraturstudien. Vägledningarna kan även kompletteras med hänvisningar till exempelvis certifieringskrav eller verktyg som är tillämpliga inom branschen.

Viktningen, som är en väsentlig del av hållbarhetsbedömningsmetoden, ska spegla den frågeställning som analyseras i aktuellt fall. Aktören som genomför hållbarhetsbedömningen kan genom viktningen låta till exempel ekonomi eller miljömässiga faktorer väga tyngst, men även påverka vad som ska få störst inverkan på resultatet inom en domän – såsom klimat eller föroreningar inom domänen Miljö. Eftersom detta val har så stor betydelse för den slutgiltiga bedömningens värde är det av högsta vikt att det tydligt framgår hur viktningen är gjord vid användning av resultatet. Det gör också att viktningen behöver vara prioriterad i arbetet när metoden för hållbarhetsanalys tillämpas. Att inkludera viktningen, vilket i praktiken varit samma sak som en jämnt fördelad viktning, har bedömts viktigt i metodframtagningen då syftet med att genomföra en hållbarhetsanalys kan skilja mellan olika projekt och tillfällen och viktningen blir ett relevant verktyg att använda för att framhäva aktuellt syfte.

Det finns än så länge begränsade mängder data för att kunna hantera kostnader i metoden. Över tid, när fler entreprenader med elektrifierade byggarbetsplatser genomförs, kommer det finnas mer kunskap inom branschen och mer data som kan göra hållbarhetsbedömningarna mer robusta.

Orsaken till att en del av kriterierna för elektrifierade arbetsplatser har ett stort negativt utfall kan relateras till brist på data och osäkerhet på grund av begränsade erfarenheter. Detta kommer förändras när erfarenhet och kunskap ökar, vilket gör att erfarenhetsutbyte mellan aktörer och inom branschen blir väldigt viktigt. Troligtvis kommer kostnader som förekommer på grund av produktivitetsförändringar minska kraftigt med ökad erfarenhet av elektrifierade byggarbetsplatser, kostnader för utrustning och maskiner kommer troligtvis minska när produktionen av, och därmed tillgången till dessa ökar. Rutiner anpassade för elektrifiering för yrkesarbetare kan leda till mindre stress och oro.

Samtidigt, och för att ha ett långsiktigt fungerande system, måste vissa förutsättningar vara på plats. Ett exempel är att tillräckliga naturresurser måste finnas för att klara ökad efterfrågan kring elektrifiering. Det innebär att cirkulariteten avseende batterier måste öka och att det måste säkerställas att elektriskt och elektroniskt avfall återvinns.

De sammanfattande slutsatserna från projektet är att:

- den framtagna modellen kan ge stöd till beslut och bättre förståelse av hållbarhetsperspektivet vid val av maskiner och energiförsörjning på en byggplats
- omfattningen av hållbarhetsanalysen styrs i hög grad av vilka frågor användaren prioriterar och begränsas av vilken data som användaren kan få tillgång till
- det är viktigt att användaren dokumenterar hur arbetet med val av kriterier och poängsättning har gått till, då dessa val får stor betydelse för resultaten
- metoden ställer stora krav på användaren att kritiskt granska utfallet, och bejaka hur val av scenarier, viktning och poängbedömning påverkar resultaten
- arbetssättet vid framtagande av metoden EW II (litteraturstudier, workshoppar och intervjuer med projektets aktörer) har resulterat i en omfattande kunskapssammanställning gällande hållbarhetsaspekter som kan vara relevant
- det finns behov av att öka kunskapen om kostnader vid elektrifiering i projekt och att sådan data kan även stärka den utvecklade metoden

Vi föreslår att metoden testas ytterligare i ett verkligt, helelektrifierat projekt för att kunna utvärdera användarvänlighet, behov av förbättringar och uppdatering utifrån nya erfarenheter och lärdomar av elektrifiering.

7 Referenser

- Abhishek K. et al, 2017
 Abhishek Kumara, Bikash Sahb, Arvind R. Singhc, Yan Denga, Xiangning Hea, Praveen Kumarb, R.C. Bansald (2017). *A review of multi criteria decision making (MCDM) towards sustainable renewable energy development*. Renewable and Sustainable energy Reviews, <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2016.11.191> och <https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S1364032116309479?token=31EA93E55421758EE7F9BF8CDE6C9BF6E361CE9FA17F70723D1C409693683E579EC18E5328CEBDAE4C82EB485A3FEB7C&originRegion=eu-west-1&originCreation=20230512112231>.
- Belton, V. & Stewart, T.J., 2002
 Belton, V. & Stewart, T. J. (2002) *Multiple Criteria Decision Analysis: An integrated Approach*, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht. https://books.google.se/books?hl=sv&lr=&id=mxNsRnNkL1AC&oi=fnd&pg=PR11&ots=DMLuJQyxDz&sig=ukUDdt3Oiu6HF8e5h8cfBQYZSmA&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false.
- Bernholdsson, A. et al. 2020
 Bernholdsson, A., Grauers, A., Frank, B., Björklund, E., Ohlin, G., Forsgren, H., Johansson, H., Unneback, J., Östblom, M., Aronsson, M., Lindgren, P., Brinkhoff, P., Al Fahel, R., Wijk, S. (2020) *Elektrifierad Bygg- och anläggningsplats. Genomförbarhetsstudie*. Chalmers Tekniska Högskola AB, Göteborg Energi AB, Göteborgs Stads Trafikkontor samt Park- och naturförvaltningen, NCC Sverige AB, Volvo Construction Equipment AB och Lindholmen Science Park AB [http://www4.goteborg.se/prod/Intraservice/Namndhandlingar/SamrumPortal.nsf/93ec9160f537fa30c12572aa004b6c1a/ecd1b3e76c2ccd19c125861f003f2d99/\\$FILE/Elektrifierad%20bygg%20och%20anlaggning.pdf](http://www4.goteborg.se/prod/Intraservice/Namndhandlingar/SamrumPortal.nsf/93ec9160f537fa30c12572aa004b6c1a/ecd1b3e76c2ccd19c125861f003f2d99/$FILE/Elektrifierad%20bygg%20och%20anlaggning.pdf).
- Bymiljøetaten, 2020
 Bymiljøetaten (2020). *Utslippsfri anleggsplass. Bymiljøetatens erfaring med elektriske anleggsmaskiner i Olav Vs gate*. https://www.klimaoslo.no/wp-content/uploads/sites/88/2020/12/BYM_Utslippsfri-anleggsplass.pdf
- Ceu, 2016
 Thang Tling Hlawn Ceu (2016). *Jämförelse mellan två fasadbeklädnader - En hållbarhetsanalys med fokus på livscykelanalys, kostnadsanalys samt sociala aspekter*. Examensarbete. Högskolan i Borås. <http://hb.diva-portal.org/smash/get/diva2:968320/FULLTEXT01.pdf>.
- Diaz-Balteiro, L. et al, 2016
 L Diaz-Balteiroa, J. González-Pachónb, C. Romero (2016). *Measuring systems sustainability with multi-criteria methods: A critical review*. European Journal of Operational Research. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ejor.2016.08.075> 0377-2217/ och <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0377221716307147?via%3Dihub>.
- Dodgson, J. et al, 2009
 Dodgson, J., Spackman, M., Pearman, A. D. & Phillips, L. D. (2009). *Multi-criteria analysis: a manual*, London: Department for Communities and Local Government. https://www.researchgate.net/publication/30529921_Multi-Criteria_Analysis_A_Manual
- Ek et al, 2020a
 Ek, K., Mathern, A., Rempling, R., Karlsson, M., Brinkhoff, P., Norin, M., Lindberg, J. and Rosén, L. (2020). *A harmonized method for automatable life cycle sustainability performance assessment and comparison of civil engineering works design concepts*. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science (EES), 588. <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/588/5/052023/pdf>.

- Ek et al, 2020b Ek, K., Mathern, A., Rempling, R. et al (2020b). Life Cycle Sustainability Performance Assessment Method for Comparison of Civil Engineering Works Design Concepts: Case Study of a Bridge. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17 (21): 1-34. doi.org/10.3390/ijerph17217909
- Ek., K. et al, 2019 Ek, K., Mathern, A., Rempling, R., Rosén, L. Claeson-Jonsson, C., Brinkhoff, P. and Norin, M. (2019). Multi-criteria decision analysis methods to support sustainable infrastructure construction. IABSE Symposium 2019 Guimarães. (PDF) Multi-criteria decision analysis methods to support sustainable infrastructure construction (researchgate.net)
- Erdogan, S. Ali et al, 2019 Seyit Ali Erdogan, Jonas Šaparauskas and Zenonas Turskis (2019). *A Multi-Criteria Decision-Making Model to Choose the Best Option for Sustainable Construction Management*. *Sustainability* 2019, 11, 2239; https://doi.org/10.3390/su11082239.
- FN-förbundet, 2023 FN-förbundet (2023). *Globala målen för hållbar utveckling*. Globala målen för hållbar utveckling - Svenska FN-förbundet, den 2023-04-13
- Grankvist, P., 2012 Grankvist, P. (2012). *CSR i praktiken - Hur företaget kan jobba med hållbarhet för att tjäna pengar*. Upplaga 2:1, Malmö: Liber AB.
- Hill, N. et al. 2023 Hill, N., Raugei, M. et al. (2023), Research for TRAN Committee – *Environmental challenges through the life cycle of battery electric vehicles*, European Parliament, Policy Department for Structural and Cohesion Policies, Brussels. https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/STUD/2023/733112/IPO_L_STU(2023)733112_EN.pdf och https://www.europarl.europa.eu/thinktank/en/document/IPOL_STU(2023)733112
- Håkansson, F., Ljung, M., 2020 Frea Håkansson & Miriam Ljung (2020). *Cirkulär ekonomi inom byggsektorn - En kvalitativ intervjustudie kring byggbranschens förhållande till cirkulär ekonomi för hållbar framtid*. Examensarbete. Malmö universitet. https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1483313/FULLTEXT01.pdf.
- IVL, 2020 IVL (2020). *Hållbar elektromobilitet. Vad krävs för att eldrivna vägtransporter ska vara miljömässigt och socialt hållbara*. https://www.ivl.se/download/18.694ca0617a1de98f4731f3/1628415650774/FULLTEXT01.pdf
- Jato-Espino, D. et al, 2014 Daniel Jato-Espino, Elena Castillo-Lopez, Jorge Rodriguez-Hernandez, Juan Carlos Canteras-Jordana (2014). *A review of application of multi-criteria decision making methods in construction*. *Automation in Construction*. Volume 45, September 2014, Pages 151-162. https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0926580514001307?via%3Dihub.
- Landström, Å. et al, 2011 Landström, Å., Östlund, A.-S. (2011). *Choosing sustainable remediation alternatives at contaminated sites. Application and Evaluation of a Multi-Criteria Analysis method*. Master of Science Thesis in the Master's Programme Geo and Water Engineering. https://publications.lib.chalmers.se/records/fulltext/149361.pdf.

- Lunergård, F. och Nilsson, D., 2018 Lunergård, F. och Nilsson, D. (2018). *Integrering av LCA och LCC i en multikriterieanalys Optimering av byggnadsdelar*. Examensarbete. Högskolan i Jönköping. <http://hj.diva-portal.org/smash/get/diva2:1239868/FULLTEXT01.pdf>
- Mulia, P. et al (2016) Mulia, P., Behura, A.K., Kar, S. (2016). *Categorical Imperative in Defense of Strong Sustainability*. Problems of sustainable development, vol. 11, 2, 29-36. PROBLEMY EKOROZWOJU – PROBLEMS OF SUSTAINABLE DEVELOPMENT (pollub.pl)
- Naturvårdsverket, 2023a Naturvårdsverket (2023a). *Miljöeffekter av elektrifiering av transporter. Redovisning av ett regeringsuppdrag NV-0992 1-21*. Miljöeffekter av elektrifiering av transporter (naturvardsverket.se)
- Naturvårdsverket, 2023b Naturvårdsverket (2023b). *Sveriges Miljömål*. Sveriges miljömål (sverigesmiljomal.se), den 2023-04-13
- Naturvårdsverket, 2008 Naturvårdsverket (2008). *Samhällsekonomisk konsekvensanalys av miljöåtgärder*. Handbok 2008:4 • UTGÅVA 1. Samhällsekonomisk konsekvensanalys av miljöåtgärder Handbok med särskild tillämpning för vattenmiljö ISBN 978-91-620-0155-1 (naturvardsverket.se)
- NCC, 2019 NCC (2019). *SBUF rapport ID:13412, Att välja hjulvätts-rutin ur ett hållbarhetsperspektiv*, SBUF 13412 Slutrapport Att välja hjulvätts-rutin ur ett hållbarhetsperspektiv.pdf
- Penadés-Plà, V. et al, 2016 Vicent Penadés-Plà, Tatiana García-Segura, José V. Martí and Víctor Yepes (2016). *A Review of Multi-Criteria Decision-Making Methods Applied to the Sustainable Bridge Design*. Sustainability, 8, 1295. https://res.mdpi.com/sustainability/sustainability-08-01295/article_deploy/sustainability-08-01295.pdf.
- Rosén et al, 2015 Rosén, L., Back, P.-E., Söderqvist, T., Norrman, J., Brinkhoff, P., Norberg, T., et al. (2015). *SCORE: A novel multi-criteria decision analysis approach to assessing the sustainability of contaminated land remediation*. Science of the Total Environment 511 (2015): 621-638. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048969714017604>.
- Rosén et al, 2009 Rosén, L., Back, P.-E., Söderqvist, T., Soutukorva, Å., Brodd, P. och Grahn, L. (2009). *HÅLLBAR SANERING. Rapport 5891 – Multikriterieanalys (MKA) för hållbar efterbehandling - Metodutveckling och exempel på tillämpning*. Naturvårdsverket. <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1623657/FULLTEXT01.pdf>.
- SIS, 2020 SIS (2020). *SS-ISO 21678:2020 - Sustainability in buildings and civil engineering works – Indicators and benchmarks – Principles, requirements and guidelines (ISO 21678:2020, IDT)*.
- SIS, 2022 SIS (2022). *SS-EN 17472:2022 - Sustainability of construction works – Sustainability assessment of civil engineering works – Calculation methods*.
- Söderqvist et al, 2015 Söderqvist, T., Brinkhoff, P., Norberg, T., Rosén, L., Back, P.-E., & Norrman, J. (2015). *Cost-benefit analysis as part of a sustainability assessment of remediation alternatives for contaminated land*. Journal of Environmental Management 157 (2015). 267-278, <https://research.chalmers.se/publication/219001>.

- Ulmestig, M., 2010 Ulmestig, M. (2010). *Hållbarhet i ett vägprojekt – faktorer och indikatorer*. Examensarbete. Lunds Tekniska Högskola. <https://lup.lub.lu.se/luur/download?func=downloadFile&recordId=8921039&fileId=8921040>.
- Volvo Trucks, 2023 Environment Footprint Calculator | Volvo Trucks, tillgång den 2023-03-28, <https://www.volvotrucks.com/en-en/trucks/renewable-fuels/environmental-footprint/environment-footprint-calculator.html>.
- Östlin, E., 2021 Östlin, Eira (2021). *Multikriterieanalys av lättfyllnadsmaterial i väg. En fallstudie av Stadsgårdsleden*. Examensarbete. KTH. <http://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1570008/FULLTEXT01.pdf>.

Bilagor

- Bilaga Litteraturstudie
- Bilaga Konceptuell arbetsmodell med systemgränser och kriterier
- Bilaga Kriterier och vägledning för poängsättning

Bilaga Litteraturstudie

SYFTE OCH MÅL MED LITTERATURSTUDIEN

Syftet med litteraturstudien var att beskriva forskningsläget och utveckling inom hållbarhetsanalys av anläggningsplatser.

Målet var att identifiera befintliga metoder för hållbarhetsanalys och bedöma tillämpbarheten av dessa metoder för jämförelse av konventionell respektive elektrifierad byggplats.

Frågeställningar som tillämpats i litteraturstudien:

- Vilka metoder finns för hållbarhetsanalys av anläggningsplatser?
- Vilka indikatorer för hållbarhet används i metoderna?
- Hur kan dessa metoder tillämpas för att jämföra hållbarhetsaspekter vid en konventionell respektive elektrifierad arbetsplats?

METOD

Litteraturstudien har genomförts inom området hållbarhetsbedömning av anläggningsplatser. Sökning av vetenskapliga artiklar och rapporter har skett i google, google scholar och i scopus databas. Även sökning av relevanta standarder har gjorts. Nyckelord som använts i sökningarna presenteras nedan.

Anläggningsplats	Arbetsmaskiner	Hållbarhetsbedömning
Byggplats	Anläggningsmaskiner	Multikriterieanalys
Byggarbetsplats	Construction machines	Multi criteria analysis
Bygg- och anläggning	Elektrifiering	Sustainability assessment
Construction site	Electric	Hållbarhetsanalys
Worksite	Nollutsläpp	
Civil Engineering	Utsläppsfri	
Infrastructure	Zero Emission	
	NRMM (Non road mobile machinery)	

I anläggningsprojekt, har miljömässig, social och ekonomisk hållbarhet ur livscykelperspektiv blivit allt viktigare, vilket återspeglas i det stora antalet standarder i ämnet de senaste åren (Ek et al, 2020a). På senare år har även standarder publicerats med fokus på principer, krav och riktlinjer (SIS, 2020), samt mer detaljerad vägledning om beräkning av hållbarhetsindikatorer och deras aggregering (SIS, 2022). Exempel på praktiska tillämpningar av dessa är fortfarande lite begränsade.

RESULTAT

Litteraturstudien visar att hållbarhetsanalys tillämpas på olika sätt och med olika omfattning, från mer begränsad tillämpning till bredare tillämpning. En del studier är fokuserade på en specifik aspekt (som klimatpåverkan) medan andra har ett bredare hållbarhetsperspektiv. En del studier fokuserar på ett visst skede i livscykeln medan andra tittar på hela livscykelperspektivet. Syftet kan vara att jämföra två byggdelar (till exempel olika fasader, grundläggningar eller material till stommar) eller alternativ av byggprojekt (såsom broar och saneringsåtgärder). Litteratur och erfarenhet gällande elektrifiering är mer begränsade, även om det finns ett fåtal specifika och

relevanta referenser. Nedan noteras de mest relevanta studier och rapporter som relaterar till denna studies frågeställning. De som bedömes vara mest aktuella för EW II, har gråmarkerats.

ELEKTRIFIERING Publikation eller källa	Omfattning och användaren av verktyget	Hållbarhetsaspekter som inkluderas			Kvalitativ/ kvantitativ
		Miljö	Ekonomi	Socialt	
Volvo Environmental Footprint Calculator (Volvo Trucks, 2023)	Klimatpåverkan från fordon (CO _{2e}), samt energiförbrukning (MWh), vattenförbrukning (m ³), NOx (Kg) och material (Kg) under produktion, drift och slutskede. Underlag som maskinägaren kan ha vid investerings-beslut. Gäller fossildriva och elektrificerade maskiner/fordon.	X	-	-	Kvantitativ
Elektrifierad bygg-och anläggningsplats. Genomförbarhetsstudie (Bernholdsson, A. et al. 2020)	Rapport gällande Electric Worksite I. Bl.a. omfattar underlag med utkast till hållbarhetsanalys för vidareutveckling genom Electric Worksite II.	X	X	X	Kvantitativ och kvalitativ
Utslippsfri anleggsplats. Bymiljøetatens erfaring med elektriske anleggsmaskiner i Olav Vs gate (Bymiljøetaten, 2020)	Rapport (på norska med sammanfattning på engelska) om en byggarbetsplats med nollutsläpp i Oslo, med elektrifierade maskiner. Använder kvantitativ bedömning för miljö och ekonomiparameter till kvalitativ bedömning, ex. sociala aspekter.	X	X	X	Kvantitativ och kvalitativ
Hållbar elektromobilitet. Vad krävs för att eldrivna vägtransporter ska vara miljömässigt och socialt hållbara (IVL, 2020)	En studie som baseras på MKA av hållbarhetsaspekter för eldrivna fordon, energibärare och infrastruktur. Bilaga 3 i dokumentet omfattar en matris med hållbarhetsaspekter.	X	X	X	Kvalitativ
Miljöeffekter av elektrifiering av transporter. (Naturvårdsverket, 2023a).	Naturvårdsverkets rapport om bl.a. batterier till elfordon och miljöpåverkan ur ett helhetsperspektiv i olika geografiska skala och i alla livscyklar (dock ej arbetsmaskiner, men kan läsas generellt map. dem). Även en del socialpåverkan ingår.	X	X	-	Kvalitativ
Environmental challenges through the life cycle of battery electric vehicles (Hill, N. et al. 2023)	CO _{2e} utsläpp för batteridrivna elfordon mot de från fordon med förbränningsmotorer utifrån en livscykelpåverkan.	X	-	-	Kvantitativ

MKA OCH / ELLER HÅLLBARHET Publikation eller källa	Omfattning och användaren av verktyget	Hållbarhetsaspekter som inkluderas			Kvalitativ/ kvantitativ
		Miljö	Ekonomi	Socialt	
Multi-criteria analysis: a manual (Dodgson, J. et al, 2009)	Regeringens vägledning om tillämpning av MCA-metoder. Linjära additiva metoden är en av de vanligaste metoderna för multikriterieanalys för det.	X	X	X	Kvantitativ <u>och</u> kvalitativ
Multiple Criteria Decision Analysis: An integrated Approach (Belton, V., Stewart, T. J. 2002)	Översikt över de viktigaste tankeströmmarna inom Multikriteriebeslutsanalys.	X	X	X	Kvantitativ <u>och</u> kvalitativ
Life Cycle Sustainability Performance Assessment Method for Comparison of Civil Engineering Works Design Concepts (Ek et al, 2020b)	Livscykel hållbarhetsbedömning metod i en vägbro fallsstudie. Metoden i linje med kraven i standarder, med användning livscykelbedömning, livscykelkostnader och inkomster samt externa effekter.	X	X	X	Kvantitativ
A harmonized method for automatable life cycle sustainability performance assessment and comparison of civil engineering works design concept (Ek et al, 2020a)	Hållbar design. Underlag för exempelvis projektörer för att välja mest hållbara design. Föreslår steg att följa, indikatorer, normalization och vikt.	X	X	X	Kvantitativ
A review of MCDM methods applied to the sustainable bridge design (Penadés-Pla, V. et al, 2016)	Granskar olika metoder och hållbara kriterier som används för beslutsfattande vid varje livscykelfas av en bro, från design till återvinning eller rivning. Undersöker 77 tidskriftsartiklar för vilka olika metoder har använts (table 1). De mest använda metoderna beskrivs kortfattat. Metod och kriterier för varje livcykelskede sammanställas (Table 2 - 5).	X	X	X	Kvantitativ och kvalitativ
A review of multi criteria decision making (MCDM) towards sustainable renewable energy	Granskar olika MCDM (Multiple criteria decision making), med fokus på hållbarenergi projekt.	X	X	X	Kvantitativ och kvalitativ

development (Abhishek K. et al, 2017)					
Measuring systems sustainability with multi-criteria methods: A critical review (Diaz-Balteiro, L. et al, 2016)	Undersöker 271 tidskriftsartiklar om MCDM metoder gällande hållbarhet. Fokusera mest på aggregering metod än på vilka exakta indikatorer är.	X	X	X	Kvantitativ och kvalitativ
A Multi-Criteria Decision-Making Model to Choose the Best Option for Sustainable Construction Management (Erdogan, S. Ali et al, 2019)	Projektstyrning som kan leda till hållbara projekt. Villkoren för och problem med byggprojektledning. Diskuterar sätt att lösa de mha MKA för ökad hållbarhet. Skapar en modell och presenterar kriterier, för skapandet av en beslutsmodell för byggledning, som tillämpades på en turkisk fallstudie. Fokus är på att välja den bäst entreprenören map. ett antal kriterier.	X	X	X	Kvantitativ och kvalitativ
Circular economy in the construction sector. (Håkansson, F., Ljung, M., 2020)	Intervjustudie kring byggbranschens förhållande till cirkulär ekonomi för hållbar framtid, bl.a. mha LFM30.	X	X		Kvalitativ
Jämförelse mellan två fasadbeklädnader (Ceui, 2016)	En hållbarhetsanalys med fokus på livscykelanalys, kostnadsanalys samt sociala aspekter.	X	X	X	Kvantitativ och kvalitativ
Multikriterieanalys av lättfyllnadsmaterial i väg (Östlin, E. 2021)	Undersöka alternativ till cellplast som lättfyllnad. MKA har konstruerats. Linjär additiv metod.	X	X	X	Kvantitativ och kvalitativ
Integrering av LCA och LCC i en multikriterieanalys Optimering av byggnadsdelar (Lunergård, F. och Nilsson, D., 2018)	Integrering av miljöbelastning och kostnader vid projektering. Fallstudie av ett antal fasader. MKA:n Copras (complex proportional assessment) tillämpas.	X	X	-	Kvantitativ och kvalitativ
A review of application of multi-criteria decision making methods in construction (Jato-Espino, D. et al, 2014)	Granskar tillämpningen av 22 olika metoder som tillhör denna disciplin inom olika områden av byggbranschen, grupperade i 11 kategorier. De viktigaste metoderna diskuteras kort och pekar på deras främsta styrkor och begränsningar.	X	X	-	Kvantitativ och kvalitativ
Hållbarhet i ett vägprojekt – faktorer och indikatorer (Ulmestig, M. 2010)	Identifiera faktorer och indikatorer vid planering och projektering av väg för hållbarhet.	X	X	X	Kvantitativ och kvalitativ

MKA FOKUS SCORE OCH PANTURA Publikation eller källa	Omfattning och användaren av verktyget	Hållbarhetsaspekter som inkluderas			Kvalitativ/ kvantitativ
		Miljö	Ekonomi	Socialt	
SCORE: A novel multi-criteria decision analysis approach to assessing the sustainability of contaminated land remediation. (Rosén, L. et al., 2015)	SCORE som är en MCDA metod, beskrivning av systemgränser, indikatorer och utvärdering hållbarhet av alternativ för sanering.	X	X	X	Kvantitativ och kvalitativ
Cost-benefit analysis as part of a sustainability assessment of remediation alternatives for contaminated land (Söderqvist et al, 2015)	Metod och ekonomiska poster (där en del gäller externa effekter). Fokus är på hållbara saneringsåtgärder.	X	X	X	Kvantitativ
HÅLLBAR SANERING Rapport 5891 – Multikriterieanalys (MKA) för hållbar efterbehandling – (Rosén et al 2009)	Metodutveckling och exempel på tillämpning MKA för hållbar efterbehandling av förorenade områden.	X	X	X	Kvantitativ och kvalitativ
Choosing sustainable remediation alternatives at contaminated sites (Landström, Å. et al, 2011)	Tillämpande av SCORE för att utreda bästa åtgärdsalternativ för hållbar utveckling vid sanering.	X	X	X	Kvantitativ och kvalitativ
Multi-criteria decision analysis methods to support sustainable infrastructure construction (Ek., K. et al, 2019)	Tillämpande av SCORE och PANTURAS-metoden hållbarhet som bedömningsmetod för broprojekt.	X	X	X	Kvantitativ och kvalitativ

STANDARDER FÖR HÅLLBARHETSANALYS I ANLÄGGNINGSBYGGANDE

Lista enligt Ek, et al., (2020) med komplettering med två nya relevanta standarder som utvecklats och publicerats senare.

Standardnummer (publikationsår)	Omfattning
ISO 15392 (2008, uppdaterad 2019)	Tillhandahåller allmänna principer för hållbarhet relaterade till byggnader och andra byggnadsverk och anger hållbarhetsmål.
EN 15643-1 (2010) till EN 15643-4 (2012)	Ett generellt ramverk för hållbarhetsbedömning av byggnader. Bedömning av byggnaders miljömässiga, sociala och ekonomiska prestanda.
EN 15643-5 (2017)	Beskriver specifika principer och krav för hållbarhetsbedömning av anläggningsprojekt. Kräver att miljöindikatorer är samma som EPD indikatorer i EN 15804. Föreslår att inkludera LCC och externa kostnader som indikatorer i ekonomisk dimension
SIS. SS-EN 15804:2012 +A2:2019	Tillhandahåller en struktur för att säkerställa att EPD för byggprodukter, tjänster och processer härleds, verifieras och presenteras på ett harmoniserat sätt.
SIS. ISO/TS 21929-2:2015	Beskriver och ger vägledning för utveckling av hållbarhetsindikatorer relaterade till anläggningsarbeten. Definierar aspekter och effekter av anläggningsarbeten som ska beaktas vid utveckling av indikatorsystem. Krav att ta med sig vid utveckling av indikatorer, samt behov på relaterade data (4.6). Borde gälla hela livscykel. Relevant info i 4.7.2 - 4.7.4, 5 (och tabell 1), 6.2
SIS. ISO 21931-2:2019	Ger ett ramverk för metoder för bedömning av hållbarhetsprestanda för anläggningsarbeten. Syftet är att förbättra kvaliteten och jämförbarheten av metoder för att bedöma anläggningsarbetenas bidrag till hållbar utveckling utifrån en livscykelansats. Följande rubriker finns med i standarden: 4 Principles for the sustainability performance assessment, 5.4 on system boundaries, 5.6 assessment sustainability categories, 5.8 methods for quantification
SS-ISO 21678:2020	Hållbarhet hos byggnadsverk – Indikatorer och riktmärken – Principer, krav och riktlinjer
SS-EN 17472:2022	Hållbarhet hos byggnadsverk – Hållbarhetsvärdering av anläggningar – Beräkningsmetoder Olika indikatorer om hållbarhet för civil engineering works (Annex E (fil pdf 106/124 i standarden sammanställer dessa i en lista)). En del indikatorer ingår i EN 15804 och LCA/EPD metod. Alla indikatorer följer LCA perspektiv.

STUDIER RELEVANTA FÖR METODUTVECKLING HÅLLBARHETSANALYS

Metoden för hållbarhetsanalys baseras i hög grad på nedanstående källor. Därför beskrivs dessa studier lite mer ingående.

Från [Ek et al, 2020a](#), är det relevant att artikeln lyfter:

- Vissa obligatoriska bedömningssteg i den föreslagna metoden ska följas, vilka är baserade på ISO 21931-2:2019.
- Jämförelse ska göras på nivån för respektive dimension, det vill säga miljömässigt, socialt och ekonomiskt alternativt för något av livscykelstadierna. Interdimensionell jämförelse är inte möjlig.

[Dodgson, J. et al, 2009](#) lyfter:

- Bedömning av kriterierna kan kombineras till ett övergripande värde. Detta görs genom att multiplicera poängen för varje kriterium med vikten av det kriteriet, se citat:

“If it can either be proved, or reasonably assumed, that the criteria are preferentially independent of each other and if uncertainty is not formally built into the MCA model, then the simple linear additive evaluation model is applicable. The linear model shows how an option’s values on the many criteria can be combined into one overall value. This is done by multiplying the value score on each criterion by the weight of that criterion, and then adding all those weighted scores together. However, this simple arithmetic is only appropriate if the criteria are mutually preference independent.”

- Arbetsgången för multikriterieanalys enligt linjär additiv metod kan beskrivas i åtta steg, se citat:

“A full application of multi-criteria analysis normally involves eight steps:

(...)

Figure 5.1 Steps in a multi-criteria analysis

1. Establish the decision context. What are the aims of the MCA, and who are the decision makers and other key players?
2. Identify the options.
3. Identify the objectives and criteria that reflect the value associated with the consequences of each option.
4. Describe the expected performance of each option against the criteria. (If the analysis is to include steps 5 and 6, also ‘score’ the options, i.e. assess the value associated with the consequences of each option.)
5. ‘Weighting’. Assign weights for each of the criteria to reflect their relative importance to the decision.
6. Combine the weights and scores for each of the options to derive an overall value.
7. Examine the results.
8. Conduct a sensitivity analysis of the results to changes in scores or weights.

IVL, 2020, lyfter att de viktigaste hållbarhetsaspekterna är indelade i olika steg av värdekedjan för fordon och relaterad infrastruktur. Dessa omfattar sociala, miljömässiga och ekonomiska aspekter som har på fokus:

- Utvinning och bearbetning av råvaror
- Tillverkning av fordon och komponenter
- Infrastruktur och markanvändning
- Framställning och användning av el och vätgas
- Användning av fordon
- Återvinning och skrotning av material, fordon och infrastruktur

I denna IVL rapport finns inte elektriska arbetsmaskiner med, men ett liknande resonemang hade kunnat göras för dessa.

Hill, N. et al. 2023, menar att batteridrivna elfordon tenderar att uppvisa betydligt lägre livscykelpåverkan för växthusgaser än fordon med förbränningsmotorer. Dessa slutsatser användes inte direkt som stöd till poängsättning och vägledning i hållbarhetsmetod som presenteras i här presenterad rapport. I stället betraktas denna studie som ett exempel på hur nya studier kan, på kort eller lång sikt, ifrågasätta befintlig kunskap (eller säga emot förväntade slutsatser, då kunskap kommer utvecklas konstant).

Ek., K. et al, 2019 presenterar konkreta exempel på två metoder och ingående kriterier, SCORE respektive PANTURA metoden. Varje metod är utvecklad för specifika projekt, den första till saneringsprojekt och den andra till broprojekt. Relevanta lärdomar härifrån är att metoder måste anpassas till objekt / fall som bedömes samt tillgång till data och om bedömning sker i planering, anbudsskede, produktion osv.

Andra referenser är lika relevanta, men då de delvis påstår liknande saker som de första nämnda studierna har de inte inkluderats i samma omfattning i det fortlöpande arbetet.

Utifrån den konkreta information som identifierats i dessa referenser, kan det lyftas att det är möjligt att använda specifika kriterier för elektrifiering för att bedöma miljö, social och ekonomisk hållbarhet. Aggregering ska göras försiktigt, och även om det kan vara intressant att ha ett utfall i form av ett tal, är det relevant att i stället titta närmare inom varje hållbarhetsdomän.

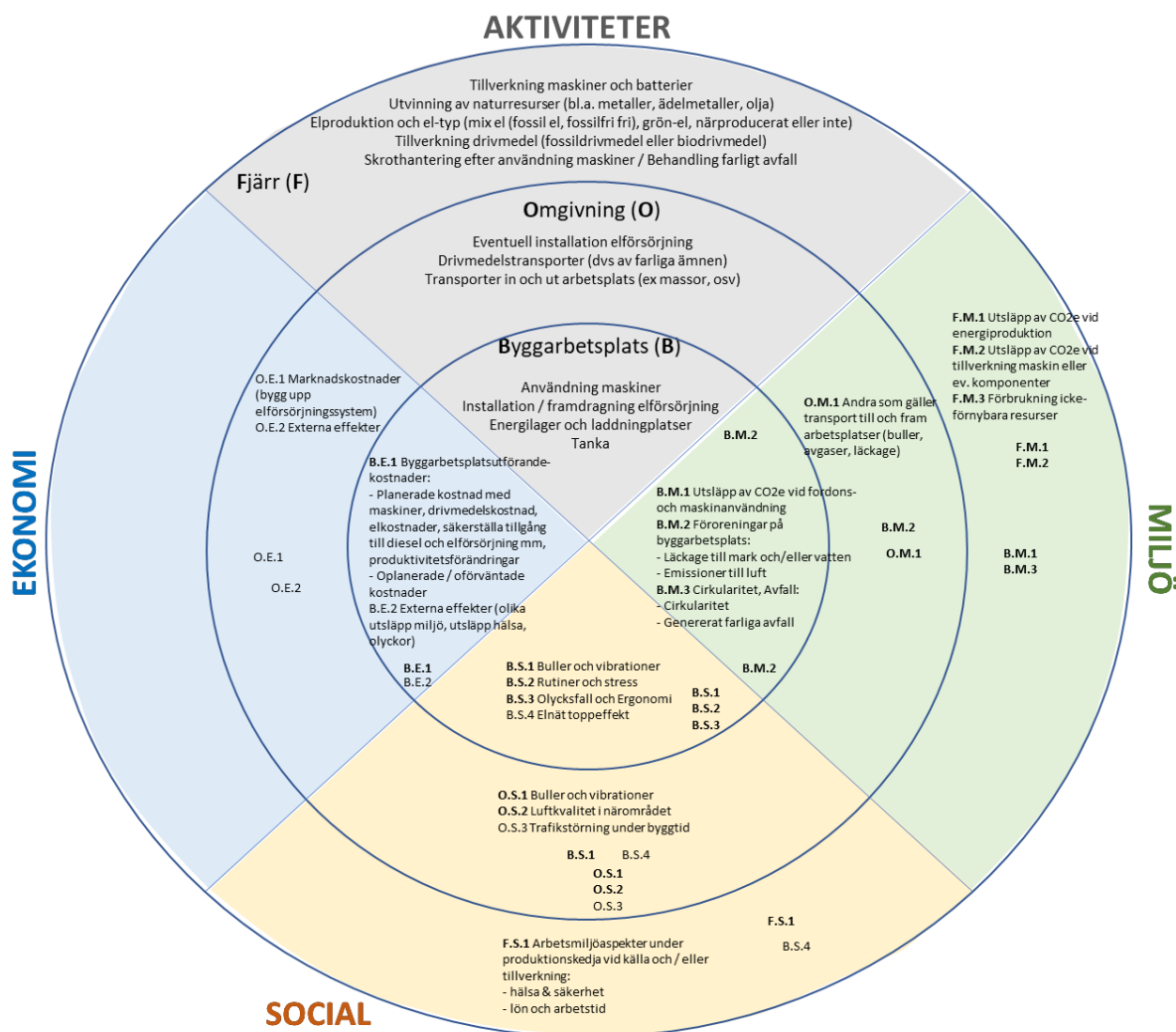
Bilaga Konceptuell arbetsmodell med systemgränser och kriterier

Figuren illustrerar en konceptuell arbetsmodell vid jämförelse av elektrifierade och icke elektrifierade byggarbetsplatser ur ett hållbarhetsperspektiv. Modellen visualiserar dels den geografiska dimensionen genom de tre ringarna för Byggarbetsplats (B) i centrum, Omgivning (O) utanför och längst ut Fjärr (F) som utgörs av allt längre bort än den direkta omgivningen, det vill säga såväl regionala, nationella som globala aspekter.

Tårtbitarna delar in aspekterna i de tre hållbarhetsdimensionerna Miljö (M), Social (S) och Ekonomi (E) samt Aktiviteter, vilket avser specificering av förutsättningar och avgränsningar för modellen.

Förkortningar som har en efterföljande rubrik gäller konsekvens av en aktivitet. Så, exempelvis "B.S.1 Buller och vibrationer" förekommer pga. användning maskiner på byggarbetsplats (B) som påverkar socialdimension (S).

Förkortningar utan en rubrik avser var någonstans konsekvensen av en aktivitet sker. Så, B.S.1 (utan rubrik) visas under social dimension och både i ringarna för byggarbetsplats och för omgivning, då buller och vibrationer inte bara påverkar arbetare på byggarbetsplats men även berörda i direkt anslutning. Förkortningar som är fetmarkerade togs med i metoden medan de som inte är fetmarkerade visas för information, då de också har lyfts och är intressanta.



Bilaga Kriterier och vägledning för poängsättning

I metoden för hållbarhetsanalys är det framtaget vägledning till hur poängsättning och bedömning av respektive kriterium och underkriterium är tänkt att göras. Dessa vägledningar presenteras nedan. Tabell 1 i rapporten visar samtliga kriterier och underkriterier samt hur de knyter an till varandra.

Observera att metoden bygger på att högsta tillgängliga poäng är 0. Detta motsvaras av att ingen aktivitet genomförs.

Domän	<i>Miljö</i>
Kriterium	<i>Klimat</i>
Beskrivning	<i>Utsläpp av CO₂e vid användning av fordon och maskiner, energi till dessa samt tillverkning av utrustningen</i>

Utsläpp CO₂e vid fordons- och maskin användning

Omfattning	Användning fordon och maskiner i byggprojektet	Poängsättning
Utsläpp på byggarbetsplatsen (direkta utsläpp)	<p>Varierar från stora utsläpp till nollutsläpp vid användning av maskiner och fordon. Om det finns klimatberäkningar kan resultat från dessa ligga till grund för skalan -3 till 0.</p> <p>Om mer än ett underkriterium under rubriken Klimat har uppskattning på CO₂e utsläpp, ska mängden utsläpp summeras och skala -3 till 0 gälla totalen.</p> <p>Om inga projektspecifika data för klimatgasutsläpp finns kan Environmental Footprint Calculator från Volvo användas i de fall relevant lastbilsmodell används i projektet: https://www.volvotrucks.com/en-en/trucks/renewable-fuels/environmental-footprint/environment-footprint-calculator.html.</p>	-3
		-2
		-1
		0

Utsläpp CO₂e vid energiproduktion

Omfattning	Användning fordon och maskiner i byggprojektet	Poängsättning
Utsläpp från produktion av energi (indirekta utsläpp)	<p>Varierar från stora utsläpp till minimala utsläpp från produktion av energi som maskiner och fordon använder. En maskin eller ett fordon som använder förnybar el orsakar väsentligt mindre utsläpp än en maskin som använder mix-el och väldigt mycket mindre utsläpp än fordon och maskiner som drivs med fossila eller förnybara flytande eller gasformiga drivmedel.</p> <p>Om det finns klimatberäkningar kan resultat från dessa ligga till grund för skalan -3 till 0.</p>	-3
		-2
		-1
		0

Utsläpp CO₂e vid tillverkning maskin eller ev. komponenter

Omfattning	Användning fordon och maskiner i byggprojektet	Poängsättning
Utsläpp från tillverkning av maskin, batterier m.m.	<p>Varierar från stora utsläpp till mindre utsläpp gällande tillverkning av fordon och maskiner och relevanta komponenter som möjliggör system så att maskinerna/fordonen kan användas.</p> <p>Om det finns klimatberäkningar kan resultat från dessa ligga till grund för skalan -3 till 0.</p> <p>Om inga projektspecifika data för klimatgasutsläpp finns kan Environmental Footprint Calculator från Volvo användas i de fall relevant lastbilsmodell används i projektet:</p> <p>https://www.volvotrucks.com/en-en/trucks/renewable-fuels/environmental-footprint/environment-footprint-calculator.html.</p>	-3
		-2
		-1
		0

Domän *Miljö*
Kriterium *Föreningar*
Beskrivning *Olika föreningar som uppkommer av maskin och fordon under sin användning*

Läckage till mark och/eller vatten

Omfattning	Användning fordon och maskiner i byggprojektet	Poängsättning
Läckage till mark eller vatten pga diesel eller t.ex. smörjoljor	<p>Varierar från stor risk till liten risk med vad det händer på byggarbetsplats vid användning maskin.</p> <p>Gäller risk med eventuellt läckage av diesel när det tankas (och från tank som användas), samt motorolja för fossildrivna maskiner. Alla maskiner kräver hydraulolja, så, där finns även risk för elektriska maskiner för läckande smörjoljor. Om det är okänt om det finns oljor som innehåller farliga ämnen, fråga leverantören.</p> <p>Vid känsliga användningar, exempelvis vid naturområde eller vattenskyddsområde, blir poängsättningen tuffare.</p>	-3
		-2
		-1
		0

Emissioner till luft

Omfattning	Användning fordon och maskiner i byggprojektet	Poängsättning
Direkta emissioner till luft av andra ämnen än klimatpåverkande gaser	Avser de reglerade ämnena HC, CO, NOx och partiklar och hur det påverkar den ekologiska miljön. Varierar från höga utsläpp (från maskiner och fordon som använder flytande eller gasformiga drivmedel) till nollutsläpp (från elektriska fordon och maskiner).	-3
	Skala -3 till 0 kan utgå från sämsta tillåtna miljöklass vid utvärderingstillfället till EL (bästa miljöklass) eller t.ex. Gemensamma miljökrav för entreprenader, se https://bransch.trafikverket.se/for-dig-i-branschen/upphandling/Sa-upphandlar-vi/Forfragningsunderlag/Miljokrav-i-entreprenader/ .	-2
	Information om miljöklasser för lätta och tunga fordon finns hos Transportstyrelsen: https://www.miljofordon.se/bilar/vad-aer-miljoebil/miljoeklasser/	-1
	Information om arbetsmaskiners miljöklasser (Steg) finns hos EU: https://single-market-economy.ec.europa.eu/sectors/automotive-industry/environmental-protection/non-road-mobile-machinery_en	0

Domän Miljö
Kriterium Resurser, cirkularitet, avfall
Beskrivning Användning av ändliga resurser, potential för cirkularitet och risk för farligt avfall

Förbrukning ej förnybara resurser

Omfattning	Användning fordon och maskiner i byggprojektet	Poängsättning
Förbrukning ej förnybara resurser som fossil energi, metaller och mineraler	Varierar från stor risk för negativ påverkan till lite risk.	-3
	Avser:	-2
	- Förbrukning ej förnybara resurser som fossila drivmedel och ev. fossil elproduktion - Förbrukning ej förnybara resurser som metaller och mineral till elektriska och elektroniska komponenter (elektrisk motor, batterier m.m.).	-1
	Användning av elektriska och elektroniska komponenter i högre skala kommer leda till brist av råvaror för tillverkning om inte hög grad av återvinning kan tillämpas.	0

Cirkularitet

Omfattning	Användning fordon och maskiner i byggprojektet	Poängsättning
Möjlig återvinning av förbrukade maskindelar, batterier m.m.	Varierar från stor till liten möjlighet och snabb utveckling sker inom området. Relaterat till hantering av maskindelar och tekniska komponenter. Miljöeffekter av elektrifiering finns bland annat beskrivet i Naturvårdsverkets rapportering av regeringsuppdrag Miljöeffekter av elektrifiering av transporter: https://www.naturvardsverket.se/491c55/contentassets/3a1f5d5418b043699cfedd13563f2b2a/redovisning-ru-miljoeffekter-elektrifieringen-av-transporter.pdf	-3
		-2
		-1
		0

Genererat farliga avfall

Omfattning	Användning fordon och maskiner i byggprojektet	Poängsättning
Mängder genererat farligt avfall från tillverkning och sluthantering av fordon och maskiner	Varierar från stor risk till lite risk. Farligt avfall som genereras från exempelvis batteritillverkning i dagsläget. Hanteringen kan påverka miljön vid exempelvis återvinning eller deponi. Det beror mycket på var någonstans i världen avfall hanteras då det beror på lokala förhållande och lagstiftning.	-3
		-2
		-1
		0

Domän Social
Kriterium Arbetsmiljö på byggarbetsplats
Beskrivning Aspekter som påverkar de som arbetar på byggarbetsplats

Buller och vibrationer

Omfattar	Användning fordon och maskiner i byggprojektet	Poängsättning
Buller och vibrationer vid användning maskin/fordon på byggarbetsplats och vid transport	Varierar från stor risk för negativ påverkan till liten eller ingen risk.	-3
	Avser buller och vibrationer från användning av maskin på byggarbetsplats och vid transport som påverkar förare och arbetare på byggarbetsplatsen. Ta hänsyn till: <ul style="list-style-type: none"> - buller från maskin/fordon som utvärderas (förbränningsmotorer har väsentligt mycket högre ljud än elmotorer) - arbetsuppgifter som utförs av maskin/fordon (beakta att hantering av bergmassor / krossmaterial är mer störande än jordmassor) - andra maskiner på platser och om de är bullriga eller inte (eller deras arbetsuppgifter) - bullrig omgivning, exempelvis intensiv trafik eller industri - om tid arbete med maskiner skiljer sig pga. att lastkapacitet eller effektivitet skiljer sig mellan maskiner / lastbilar. 	-2
		-1
	Ifall det finns bullermätningar av området, kan efterlevnad av gränsvärdet beaktas. Eventuella synpunkter, tidigare erfarenheter och undersökningar kan också stötta i poängsättning, exempelvis om förare upplever att deras arbetsmiljö förbättrades pga. tystare maskiner/fordon.	0

Rutiner och relaterad stress

Omfattar	Användning fordon och maskiner i byggprojektet	Poängsättning
Rutiner och relaterad stress kopplat till ev förändringar i arbetsutförande och -planering	Varierar från stor risk till liten risk.	-3
	Beror på omfattning ändringar rutiner som arbetare är van att ha. Med förändrade arbetsätt och behov att lära sig nya saker kan det förekomma stress. Beakta följande: <ul style="list-style-type: none"> - Maskiner och fordon med fossila drivmedel innebär etablerade arbetsätt (tanka, hur maskinen fungerar m.m.). - Maskiner/fordon med elmotor kan innebära nya sätt att planera arbete, manövrera, energiförsörja m.m. Kan även påverka andra maskiner / fordon som arbetar i samma område. Batterimaskiner måste laddas och kabelmaskiner kräver nya körsätt. - Batterimaskin kan påverka raster och pauser för förare (så att det förhindrar att de träffar sina kollegor). 	-2
		-1
	Med tiden och med erfarenhet kommer alla bli vanare att arbeta med nya förutsättningar och rutiner och dessa faktorer kommer få allt mindre betydelse.	0

Olycksfall och ergonomi

Omfattar	Användning fordon och maskiner i byggprojektet	Poängsättning
Risk för olyckor och ergonomiska besvär	<p>Varierar från stor risk till lite risk.</p> <p>Beakta följande:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Att maskiner och fordon är tystare kan innebära att de inte är så "synliga" för arbetare på byggarbetsplats eller på väg, vilket skulle kunna öka olycksrisken något samtidigt som kommunikation mellan de som arbetar på platsen underlättas vilket skulle kunna minska olycksrisken - Kabel till elektrisk kabelmaskin kan medföra ökad olycksrisk vid trånga arbetsplatser där många vistas på liten yta. <p>Med tiden och med erfarenhet kommer alla bli vanare att arbeta med nya förutsättningar och rutiner, där arbetsberedningar och förebyggande åtgärder och rutiner hjälper minska eventuella risker. Trängsel och hinder på väg (kablar) kan i vissa fall kvarstå som risk.</p>	-3
		-2
		-1
		0

Domän Social
Kriterium Påverkan på tredje man/utomstående i närområdet
Beskrivning Aspekter som påverkar de i omgivning runt byggarbetsplats

Buller och vibrationer

Omfattar	Användning fordon och maskiner i byggprojektet	Poängsättning
Buller och vibrationer från fordon och maskiner som påverkar allmänheten i omgivningen	<p>Varierar från stor risk för negativ påverkan till lite risk eller ingen risk.</p> <p>Buller och vibrationer från användning av maskiner och fordon på byggarbetsplats och vid transport som påverkar boende och verksamheter i närheten av byggplatsen. Ta hänsyn till:</p> <ul style="list-style-type: none"> - buller från maskin/fordon som utvärderas (förbränningsmotorer har väsentligt mycket högre ljud än elmotorer) - arbetsuppgifter som utförs av maskin/fordon (beakta att hantering av bergmassor / krossmaterial är mer störande än jordmassor) - andra maskiner på platser och om de är bullriga eller inte (eller deras arbetsuppgifter), - bullrig omgivning, exempelvis intensiv trafik eller industri - eventuella känsliga verksamheter i omgivningen såsom vårdinrättningar, förskolor, bostäder - arbete som utförs på natt tid eller andra känsligare tid är mer eller mindre störande beroende på maskin / fordon som används. <p>Ange ett avstånd mellan byggarbetsplats eller transport och berörda känsliga verksamheter i omgivningen.</p> <p>I fall det finns bullermätningar, kan efterlevnad av gränsvärdet beaktas. Eventuella klagomål, tidigare erfarenheter eller synpunkter kan också stötta i poängsättning.</p>	-3
		-2
		-1
		0

Luftkvalitet i närområdet

Omfattar	Användning fordon och maskiner i byggprojektet	Poängsättning
Luftkvalitet med anledning av transporter och maskiner i och till byggarbetsplatsen	Varierar från stor påverkan till liten påverkan.	-3
	Avser de reglerade ämnena HC, CO, NOx och partiklar och hur det påverkar människors hälsa. Varierar från höga utsläpp (från maskiner och fordon som använder flytande eller gasformiga drivmedel) till nollutsläpp (från elektriska fordon och maskiner).	-2
	Beakta om elektrifiering t.ex. minskar de lokala emissionerna till luft så att luftkvaliteten förbättras för boende och verksamma i närheten.	-1
	Ta hänsyn till: <ul style="list-style-type: none"> - trafikintensitet i omgivningen, om mycket långsamgående trafik förekommer och mycket tomgångskörning - verksamheter och / eller användning i omgivning, exempelvis närhet till GC-väg (som kan innebära en risk till gående och cyklister) - eventuella känsliga verksamheter i omgivningen såsom vårdinrättningar, förskolor, bostäder. Eventuella klagomål eller synpunkter kan också stötta i poängsättning.	0

Domän *Social*
Kriterium *Under produktionskedja vid källa/tillverkning*
Beskrivning *Aspekter under produktionskedja vid källa och / eller tillverkning*

Arbetsmiljö - hälsa & säkerhet

Omfattar	Användning fordon och maskiner i byggprojektet	Poängsättning
Arbetsmiljövillkor som kan påverka hälsa och säkerhet (tillverkningsprocessen och under avfall hantering)	Varierar från stor risk till lite risk.	-3
	Beakta tillverkning av nödvändiga insatsmedel och komponenter för de olika alternativen (råvaruutvinning, energiproduktion, maskiner/fordon, elektronik).	-2
	Arbetsmiljövillkor som kan påverka hälsa och säkerhet, exempelvis dåliga förutsättningar gällande skyddsutrustning för farliga ämnen, förebyggande åtgärder för att förhindra olyckor. Relevant för vissa aktiviteter och var nästan de tar plats (utvinning naturresurser, tillverkning maskiner och utrustning, återvinning och slutdeponi där det sker utanför Sverige och Europa).	-1
	Poängsättning ska spegla kunskap som beställare eller entreprenör har gällande hur det hanteras under produktionskedja. Där det inte finns koll på det, ska risk för negativ hantering antas som stor. Effekter av elektrifiering finns bland annat beskrivet i Naturvårdsverkets rapportering av regeringsuppdrag Miljöeffekter av elektrifiering av transporter: https://www.naturvardsverket.se/491c55/contentassets/3a1f5d5418b043699cfedd13563f2b2a/redovisning-ru-miljoeffekter-elektrifieringen-av-transporter.pdf	0

Arbetsvillkor - lön och arbetstid

Omfattar	Användning fordon och maskiner i byggprojektet	Poängsättning
Arbetsmiljövillkor som gäller lön och arbetstid (tillverkningsprocessen och under avfall hantering)	<p>Varierar från stor risk till lite risk.</p> <p>Arbetsmiljövillkor som gäller lön och arbetstid (och balans arbete och privatliv, tid för pauser osv). Relevant beroende på i vilka länder pågår vissa aktiviteter och var nånstans de tar plats (utvinning naturresurser, tillverkning maskiner och utrustning, återvinning och slutdeponi). I icke-europeiska länder är troligtvis arbetsvillkor inte lika bra.</p> <p>Poängsättning ska spegla kunskap som beställare eller entreprenör har gällande hur det hanteras under produktionskedja. Där det inte finns koll på det, ska risk för negativ hantering antas som stor.</p> <p>Effekter av elektrifiering finns bland annat beskrivet i Naturvårdsverkets rapportering av regeringsuppdrag Miljöeffekter av elektrifiering av transporter: https://www.naturvardsverket.se/491c55/contentassets/3a1f5d5418b043699cfedd13563f2b2a/redovisning-ru-miljoeffekter-elektrifieringen-av-transporter.pdf</p>	-3
		-2
		-1
		0

Domän *Ekonomi*
Kriterium *Byggarbetsplats utförandekostnader*
Beskrivning *Kostnader gällande tillgång till maskiner, energi och övriga så att maskiner kan användas på byggarbetsplats, och konsekvenser gällande kostnader*

Planerade kostnader maskiner

Omfattning	Användning fordon och maskiner i byggprojektet	Poängsättning
Köpa / hyra maskiner och fordon	<p>Varierade kostnader (från mycket dyr (hundra tusental kronor till miljoner kr) till låg kostnad (hundratal kronor) för införskaffande av maskiner/fordon. Om flera kostnader redan ingår i hyran (drivmedel och förare), sätt ingen kostnad i parameter "Planerade kostnader drivmedelskostnad...".</p> <p>För närvarande är utbudet av elektrifierade fordon och maskiner på marknaden mycket begränsat, men ökad efterfrågan kommer skapa ökad tillgång. Vissa typer och modeller kommer snabbare bli kommersiellt tillgängliga och det kan skilja sig mellan batterilösningar och kabelanslutna lösningar.</p> <p>Om mer än ett underkriterium under rubrik kostnader har uppskattning på kostnader, ska kostnader summeras och omvandling till skala -3 till 0 gälla den totalen.</p>	-3
		-2
		-1
		0

**Planerade kostnader
drivmedelskostnad,
elkostnader**

Omfattning	Användning fordon och maskiner i byggprojektet	Poängsättning
Drivmedelskostnader, elkostnader	Varierade kostnader. Gäller kostnader för drivmedel eller el, som kan variera med det aktuella marknadspriset, politiska reformer i form av t.ex. skatter samt ansluten totaleffekt till byggplatsen.	-3
		-2
		-1
		0

**Planerade kostnader
relaterade med att
säkerställa tillgång till
diesel och elförsörjning
mm**

Omfattning	Användning fordon och maskiner i byggprojektet	Poängsättning
Infrastruktur för elförsörjning och diesel användning	<p>Varierade kostnader, från mycket dyr (hundra tusental kronor till miljoner kr) till låg kostnad (hundratal kronor).</p> <p>För diesel: kostnader att placera tank, förbereda mark och personalkostnader med att tanka.</p> <p>För el: framdragnings el utöver ordinarie byggström, ev. energilager (stationär eller semi-mobil laddare), ev. extra resurser som elektriker.</p> <p>Om flera elektriska maskiner finns, kan det orsaka spänningssprång (voltage spikes) och kräver att en transformatorstation kopplas in.</p> <p>Om framdragnings av el görs ändå för permanent användning, oberoende av om elektrifierade maskiner används eller ej, ska det inte belasta kostnaden här. Bara "extra" kostnader gällande temporär elförsörjning ska läggas till för utvärdering under denna rubrik.</p>	-3
		-2
		-1
		0

Planerade kostnader med produktivitetsförändringar

Omfattning	Användning fordon och maskiner i byggprojektet	Poängsättning
Produktivitetsförändringar	Varierade kostnader (från mycket dyr (hundra tusental kronor till miljoner kr) till låg kostnad (hundratal kronor), som påverkas av: <ul style="list-style-type: none"> - om fossildrivna och eldrivna maskiner med samma funktion har olika kapacitet (förändrad lastkapacitet, drifttid innan tankning/laddning o.s.v.) - rutiner som kan minska antal timmar med effektivt arbete (exempelvis hantering kabel för elmaskin med kabelanslutning i icke-stationära arbete) - olika behov av extra planering: för batterimaskiner - att maskiner är laddade så att antal timmar arbete inte påverkas; för kabelmaskiner - att arbetsmoment av alla maskiner på en viss plats planeras, så att risker och störning med kablar på ett område minskas - eventuell möjlighet att utföra arbete under fler tider som effekt av reducerade bullernivåer (ifall elektrifierade maskiner / fordon används). 	-3
		-2
		-1
		0

Oplanerade / oförväntade kostnader

Omfattning	Användning fordon och maskiner i byggprojektet	Poängsättning
Oplanerade / oförväntade kostnader	Oplanerade / oförväntade kostnader pga. att alla faktorer inte var kända från början så att planering kunde ske därefter och/eller att tekniska system och levererat material inte fungerade enligt plan. Kan gälla begränsad kunskap/erfarenhet hos olika aktörer. <p>Projekt är vana att använda dieseldrivna fordon och maskiner och eventuella kostnader borde vara -1 (då något oplanerat alltid kan förekomma) för dessa.</p> <p>Projekt med elektriska maskiner har en stor risk för oplanerade eller oförväntade kostnader (-3 till -2). Ökad erfarenhet kommer minska denna typ av kostnader (-1).</p> <p>Exempel på kostnader:</p> <ul style="list-style-type: none"> - elektriker och specialisttekniker för service - fel med en del i system (ex. laddningslösning) och behov av reservdelar (som kan ta tid att få, vilket kan innebära försening i arbetsutförande och påverka rubrik "Planerade kostnader med produktivitetsförändringar"). 	-3
		-2
		-1
		0