



# **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](http://www.chalmers.se)

Akademien för företagande,  
Innovation och hållbarhet

HÖGSKOLAN I HALMSTAD  
Halmstad, Sverige 2022  
[www.hh.se](http://www.hh.se)



## Contents

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

## 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	
<b>CB</b>	Schaktning	<b>CB schaktning</b>	Tomgång	Service	Fyrkktorget	
			Avstängd		Färjenäs	
<b>BF</b>	Röjning	<b>BF Röjning</b>	Laddning		Drottningtorget	
			BFD borttagning av stubbar		Flytt på råvaror	SkandiaPorten
			BFE borttagning av markvegetation		Flytt på maskiner	Lillhagsparken
		Flytt på massor	Tankning		Glöstorpsvägen	
<b>DC</b>	Ytor	<b>DC marköverbyggnad</b>				
DCB		DCB obundna marköverbyggnad				
<b>FB</b>	Murverk	<b>FB murverk av natursten i anläggning</b>				
	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
<b>30/08</b>	05:03	56,32	00:18	3,35	02:56	32,71	00:41	7,62	<b>08:58</b>
<b>31/08</b>	06:29	73,81	00:48	9,11	00:07	1,33	01:23	15,75	<b>08:47</b>
<b>01/09</b>	03:27	38,84	00:08	1,50	05:18	59,66	00:00	0,00	<b>08:53</b>
<b>02/09</b>	02:40	30,25	00:04	0,76	06:05	69,00	00:00	0,00	<b>08:49</b>
<b>03/09</b>	03:05	67,52	00:32	11,68	00:05	1,82	00:52	18,98	<b>04:34</b>
<b>Plats</b>	<b>20:44</b>		<b>01:50</b>		<b>14:31</b>		<b>02:56</b>		<b>40:01</b>

## 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
<b>29/06</b>	05:00	71,43	00:04	0,95	00:00	0,00	01:56	27,62	<b>07:00</b>
<b>01/07</b>	06:10	69,94	00:42	7,94	00:08	1,51	01:49	20,60	<b>08:49</b>
<b>Plats</b>	<b>11:10</b>		<b>00:46</b>		<b>00:08</b>		<b>03:45</b>		<b>15:49</b>

## 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
<b>04/07</b>	02:11	90,34	00:08	5,52	00:00	0,00	00:06	4,14	<b>02:25</b>
<b>07/07</b>	04:46	68,21	00:00	0,00	01:44	26,67	00:00	0,00	<b>06:30</b>
<b>08/07</b>	05:11	84,28	00:01	0,27	00:05	1,36	00:52	14,09	<b>06:09</b>
<b>Plats</b>	<b>12:08</b>		<b>00:09</b>		<b>01:49</b>		<b>00:58</b>		<b>15:04</b>

## 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. Fokuset 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, 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.

### 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 tiotals 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		
<b>DC</b>	Ytor	<b>DC marköverbyggnad</b>			
DCB		DCB obundna marköverbyggnad			
<b>FB</b>	Murverk	<b>FB murverk av natursten i anläggning</b>			
	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
<b>30/08</b>	05:03	56,32	00:18	3,35	02:56	32,71	00:41	7,62	<b>08:58</b>
<b>31/08</b>	06:29	73,81	00:48	9,11	00:07	1,33	01:23	15,75	<b>08:47</b>
<b>01/09</b>	03:27	38,84	00:08	1,50	05:18	59,66	00:00	0,00	<b>08:53</b>
<b>02/09</b>	02:40	30,25	00:04	0,76	06:05	69,00	00:00	0,00	<b>08:49</b>
<b>03/09</b>	03:05	67,52	00:32	11,68	00:05	1,82	00:52	18,98	<b>04:34</b>
<b>Plats</b>	<b>20:44</b>		<b>01:50</b>		<b>14:31</b>		<b>02:56</b>		<b>40:01</b>

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. Fyrktorgets aktivitets- och energiförbrukningsmodell för Volvo ECR25**

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

## 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	<b>Fyllning</b>	Tomgång	Service	Albatross 2022
CEB		Fyllning för byggnad	Avstängd		Habitat 7
		Flytt på massor	Laddning		
CC		<b>Pålning</b>	Flytt på råvaror/massor		
CCB		Slagning av pålning	Flytt på maskiner		
		Flytt på massor	Tankning		
CDF		Geoteknisk Stödkonstruktion (Tillfällig spont)			
		Grävning (till källare)			
		Grundkonstruktion plats-gjuten 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
<b>06/02/ 2023</b>	02:45	56,51	00:38	13,01	01:29	30,48	<b>04:52</b>

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

### 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	<b>CB schaktning</b>	Tomgång	Service	Peabvägen
CBB		CBB jordschaktning	Avstängd		
PBB		Rörledning i ledningsgrav	Laddning		
-		<b>Ledningsbädd*</b>	Flytt på råvaror		
-		<b>Splejsning kylrör*</b>	Flytt på maskiner		
-		<b>Kylrörsmontage*</b>	Tankning		
-		<b>Kringfyllning*</b>			
CB	Avloppsledning	<b>CB schaktning</b>	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
<b>04/07</b>	02:11	90,34	00:08	5,52	00:00	0,00	00:06	4,14	<b>02:25</b>
<b>07/07</b>	04:46	68,21	00:00	0,00	01:44	26,67	00:00	0,00	<b>06:30</b>
<b>08/07</b>	05:11	84,28	00:01	0,27	00:05	1,36	00:52	14,09	<b>06:09</b>
<b>Plats</b>	<b>12:08</b>		<b>00:09</b>		<b>01:49</b>		<b>00:58</b>		<b>15:04</b>

### **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
<b>11/04/ 2023</b>	00:00	0,00	00:00	0,00	00:00	0,00	<b>00:00</b>
<b>12/04/ 2023</b>	03:00	37,50	00:00	0,00	05:00	62,50	<b>08:00</b>
<b>13/04/ 2023</b>	00:43	47,78	00:44	48,89	00:03	3,33	<b>01:30</b>
<b>17/04/ 2023</b>	03:40	40,89	02:44	30,48	02:34	28,62	<b>08:58</b>
<b>18/04/ 2023</b>	02:07	36,60	02:50	48,99	00:50	14,41	<b>05:47</b>
<b>19/04/ 2023</b>	00:07	46,67	00:08	53,33	00:00	0,00	<b>00:15</b>
<b>Platssum ma</b>	<b>09:37</b>		<b>06:26</b>		<b>08:27</b>		<b>24:30</b>

## 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.

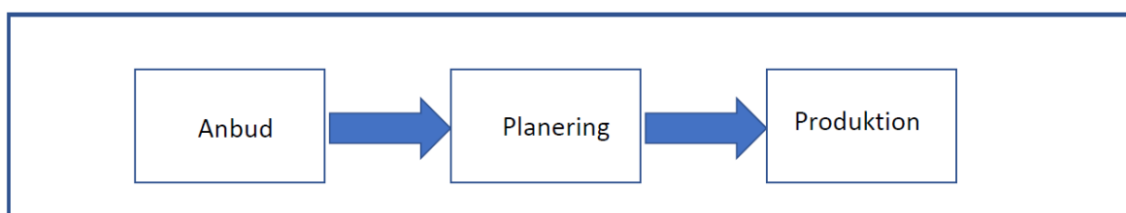
Dessa aktivitetsmönster kan påverka platsens layout och processplanering såväl som den energiförsörjning som krävs för driften av de elektriska byggfordonen. Av avgörande betydelse kan båda mönstren innehålla icke-aktiv arbetstid (tomgång, avstängd och/eller laddning), vars identifiering kan underlätta 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 autonomi 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 säges 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 beslutsutrymmet 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

- Grävkapaciten 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 EI) 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
Fyrkktorget	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)
Drottningtorget	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 Elhjulastare 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. 38<sup>th</sup> 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. 37<sup>th</sup> 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.