Införandet av elektriska arbetsmaskiner för entreprenadmaskiner i ett systemperspektiv

Publik rapport

Författare: Fredrik Dunér, Hanna Lillestöl, Maria Johansson, Fabian Wrede,

FFI Fordonsstrategisk Forskning och Innovation
VINNOVA Energimyndigheten TRAFIKVERKET FKG VOLVO SCANIA VOLVO

Innehållsförteckning

1 Sammanfattning 4

2 Executive summary in English 6

3 Bakgrund 8

3.1 Dieselmotor, elmotor och HVO 8

4 Syfte, forskningsfrågor och metod 9

4.1 Syfte 9

4.2 Forskningsfrågor 9

4.3 Metod 9

5 Mål 10

6 Resultat och måluppfyllelse 10

6.1 Omvärldsanalys 10

6.2 Behovsanalys 12

6.3 Scenarier för elektrifiering av ABT:s maskinpark och estimerad livscykelkostnad 14

6.4 Miljösystemanalys, elektrifieringsstrategier och upphandlingskrav, kopplat till intäktsanalys och affärsmodeller 24

7 Diskussion, slutsatser och fortsatt forskning 29

7.1 Miljösystemanalys, elektrifieringsstrategier och upphandlingskrav, kopplat till intäktsanalys och affärsmodeller 29

8 Spridning och publicering 30

8.1 Kunskaps- och resultatspridning 30

8.2 Publikationer 30

9 Deltagande parter och kontaktpersoner 30

10 Referenslista 31

Kort om FFI

FFI är ett samarbete mellan staten och fordonsindustrin om att gemensamt finansiera forsknings- och innovationsaktviteter 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.

För närvarande finns fem delprogram; Energi & Miljö, Trafiksäkerhet och automatiserade fordon, Elektronik, mjukvara och kommunikation, Hållbar produktion och Effektiva och uppkopplade transportsystem. Läs mer på www.vinnova.se/ffi.

1 Sammanfattning

Utsläpp från arbetsmaskiner motsvarar 6 procent av Sveriges samlade klimatpåverkan. Myndigheter, branschorganisationer med flera har beskrivit hur de vill minska den samlade klimatpåverkan från arbetsmaskiner utifrån Sveriges nationella miljömål. Ett verktyg för detta är att elektrifiera en större andel av den samlade svenska maskinparken. Elektrifiering är eftersträvansvärt eftersom det inte innebär globala eller lokala emissioner när maskinerna används samt ur effektivitetssynpunkt. Elmotorer är betydligt mer energieffektiva än förbränningsmotorer. Likt användning av förbränningsmotorer innebär elektrifiering fortfarande klimatpåverkan i samband med tillverkningsprocesser för både maskiner och elenergi för användning.

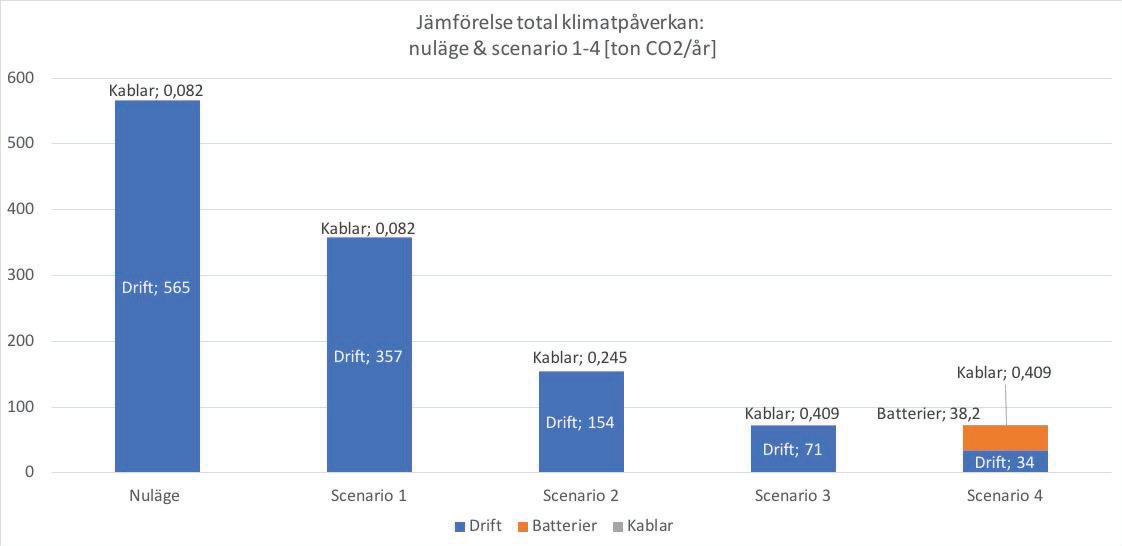
Marknaden för elektrifierade arbetsmaskiner präglas dock av stora utmaningar. De maskiner som i dagsläget erbjuds är, med få undantag, små i storlek och innebär stora investeringskostnader jämfört motsvarade fossildrivna maskiner. Därtill kräver elektrifiering även tillräckligt utbyggd infrastruktur för att tillgodose de nya krav elektrifierade maskiner ställer. Vid sidan av elektrifiering lyfts därför även ökad användning av biodrivmedel som alternativ. Detta sker idag genom både reduktionsplikten samt försäljning av rena biodrivmedel likt HVO. Biodrivmedel är en tekniskt mindre komplicerad lösning än elektrifiering men innebär inte samma utsläppsminskning och bemöter heller inte problematiken som lokala emissioner innebär.

Utifrån dessa förutsättningar beräknar denna förstudie effektbehovet vid en pilotentreprenad samt exemplifierar hur utfasning av fossila drivmedel för de maskiner som används skulle kunna gå till. Pilotentreprenaden som studerats är ABT:s anläggning vid Norrsätra. Verksamheten tar emot jord- och bergmassor som krossas och sorteras för att kunna bli produkter i infrastruktur- och byggnadsprojekt. Utifrån formulerade scenarier där fossila drivmedel stegvis ersätts av biodrivmedel och el analyseras livscykeleffekter i form av minskade utsläpp av koldioxidekvivalenter samt vilka kostnader respektive åtgärd innebär. Förstudien innehåller även en omvärldsanalys och marknadsundersökning över vilka elektrifierade arbetsmaskiner som erbjuds idag samt vilka förutsättningar maskintillverkare ser för framtiden.

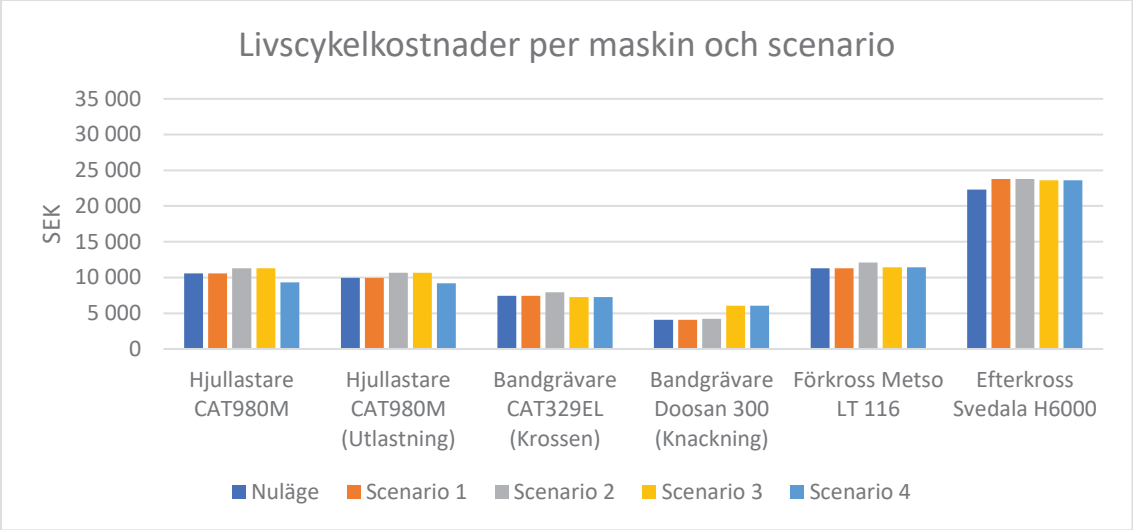
Beräknade resultat visar att ett byte från fossil diesel till biodiesel enbart för de två krossar pilotentreprenaden använder innebär 35% lägre samlade klimatutsläpp per år. Om hela verksamheten i stället elektrifieras skulle det innebära 90% lägre klimatutsläpp än dagsläget ur ett livscykelperspektiv. Tillhörande beräknade livscykelkostnader visar att biodrivmedelsalternativet innebär ytterligare kostnader emedan elektrifiering, vid rätt förutsättningar och över tid, kan vara ekonomiskt gynnsamt. Fördelningen av livscykelkostnader skiljer sig åt mellan maskiner med förbrännings- respektive elmotor. Elektrifierade maskiner kännetecknas av mycket stora investeringskostnader men har stora fördelar vid drift i form av, framför allt, lägre drivmedelskostnader. Maskinerna vid den undersökta pilotentreprenaden som har många maskintimmar per år framstår därför som särskilt intressanta att elektrifiera. Det ansträngda nuläget på drivmedelsmarknaden påverkar dock beräknade resultat.

Förstudien visar att en utfasning av fossila drivmedel har potential att drastiskt minska entreprenadbranschens klimatpåverkan men även vara ekonomiskt motiverat.

Figurerna nedan beskriver den samlade klimatpåverkan för nuläget och vardera av de fyra beräknade scenarierna samt livscykelkostnader för respektive maskin och scenario. Beräknad klimatpåverkan är summan för samtliga maskiner.



Figuren ovan beskriver den samlade klimatpåverkan i form av ton CO2 per år för maskinparken vid ABTs verksamhet vid Norrsätra. Beräkningar har genomförts för ett nuläge och fyra scenarier med stegvis ökad användning av biodrivmedel och el snarare än fossila drivmedel.



Figuren beskriver beräknade livscykelkostnader per scenario och maskin.

2 Executive summary in English

Emissions from work machines correspond to 6 percent of Sweden's total climate impact. Authorities, industry organizations and other parties have put forward their ambitions to reduce the overall climate impact from work machines on the basis of Sweden's national environmental goals. One potential method is the electrification of a significant share of the Swedish machine park. Electrification is desirable because it result in global or local emissions when the machines are used as well as from an efficiency point of view. Electric motors are significantly more energy efficient than internal combustion engines. Like the use of internal combustion engines, electrification still has a climate impact in connection with manufacturing processes for both machinery and electrical energy used.

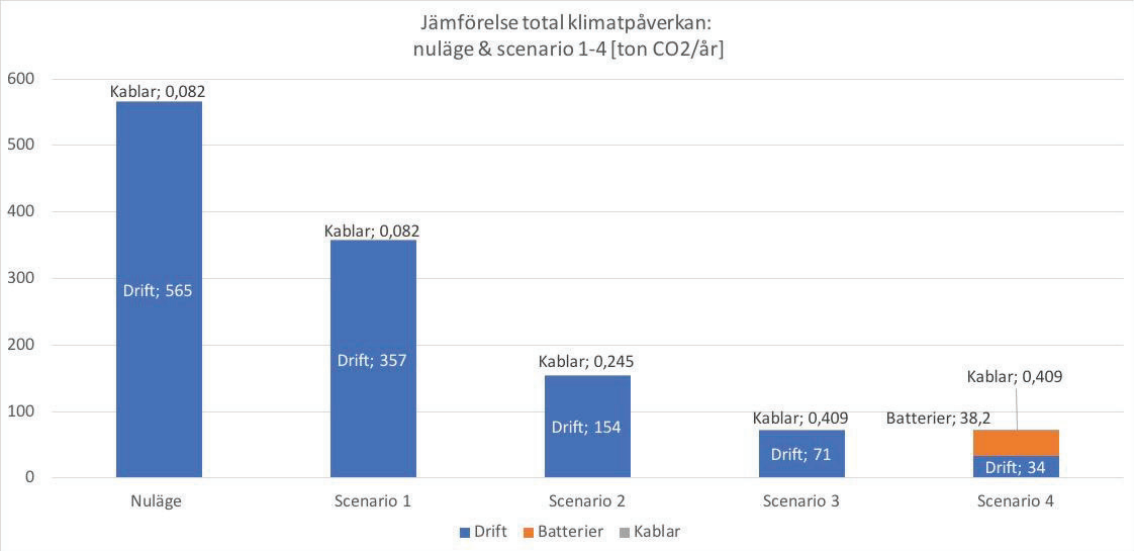
However, the market for electrified work machines suffers some major obstacles. The machines currently offered are, with a few exceptions, small in size and involve large investment costs compared to the corresponding fossil-fueled machines. In addition, electrification also requires sufficiently developed infrastructure to meet the new requirements of electrified machines. In addition to electrification increased use of biofuels as an alternative to fossil fuels has also been highlighted as a potential solution. This is done today through both “reduktionsplikten” and the sale of biofuels such as HVO. The use of biofuels is a technically less complicated solution than electrification but does not result in the same reduction in global emissions, nor do they address the problems that local emissions entail.

This feasibility study estimates the power requirement for a specified case and exemplifies how the phasing out of fossil fuels for the machines used could be implemented. The case studied is ABT's facility at Norrsätra. The business receives soil and rock masses that are crushed and sorted to become products in infrastructure and building projects. Based on formulated scenarios, where fossil fuels are gradually replaced by biofuels and electricity, life cycle effects are analyzed in the form of reduced emissions of CO2 equivalents as well as the costs each scenario entails. The feasibility study also contains a market study of which electrified work machines are offered today and what conditions machine manufacturers see for the future.

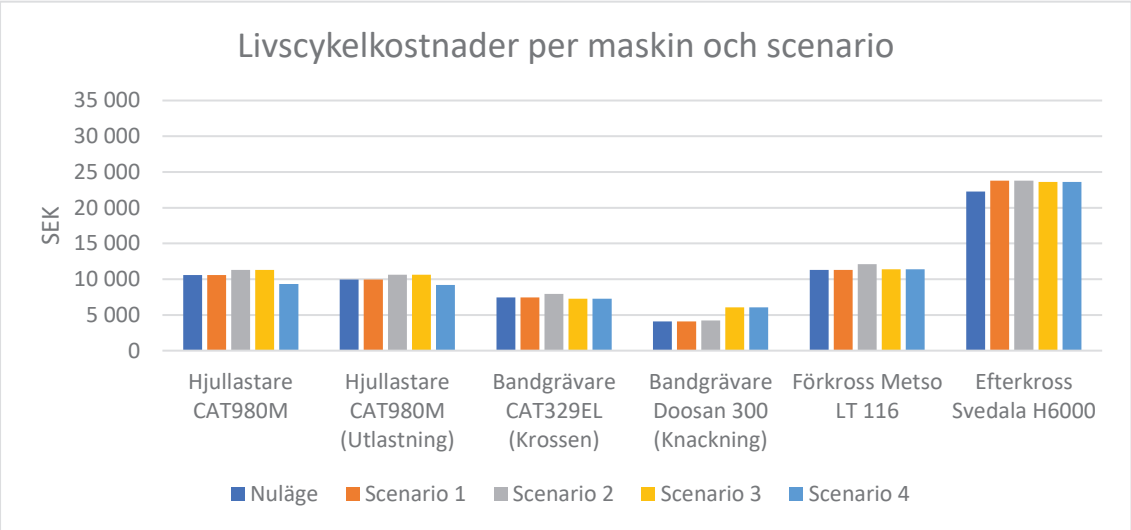
Estimated results show that a change from fossil diesel to biodiesel only for the two crushers used at Norrsätra means 35% lower emissions of CO2 equivalents per year. If all machines are electrified, it would mean 90% lower emissions than the current situation from a life cycle perspective. Associated estimated life cycle costs show that the biofuel alternative entails additional costs while electrification, under the right conditions and over time, can be economically favorable. The distribution of life cycle costs differs significantly between machines with internal combustion and electric motors. Electrified machines are characterized by very large investment costs but have great advantages over time in the form of, above all, lower fuel costs. The machines of the studied case which have many machine hours per year therefore appear particularly interesting to replace with electricity powered equivalents. The strained current situation in the fuel market can be expected to impact estimated results.

The feasibility study shows that the phasing out of fossil fuels has the potential to both drastically reduce the construction industry's climate impact but also be economically justified.

The following two figures describe yearly emissions for present day and each of the estimated scenarios along with estimated life cycle costs for each machine.



The figure above summarizes the estimated yearly climate impact from the machines at the ABT facility in Norrsätra. Yearly emissions have been estimated for the present day as well as four different scenarios when fossil fuels are replaced by biofuels or electricity.



The figure summarizes estimated life cycle costs for each machine and scenario.

3 Bakgrund

2016 stod arbetsmaskiner för 6 procent av växthusgasutsläppen i Sverige och branschen har över tid sett en sämre utveckling än de svenska utsläppen i stort (Naturvårdsverket, 2018). Hos upphandlingsmyndigheten framgår att bygg- och anläggningsarbete dominerar stort med 36 procent av upphandlingarna. Majoriteten, 70 procent, av anbudsgivarna är små eller medelstora företag, SMF, och drygt 40 procent av anbuden leder till kontrakt (Upphandlingsmyndigheten, 2020). Det är alltså SMF som i praktiken ska genomföra omställningen till fossilfrihet i byggbranschen.

Bolagen i fråga har anställda och äger arbetsmaskiner för att kunna utföra schakt- och anläggningsarbeten på uppdrag av större entreprenörer, som själva inte äger maskiner, eller direkt på uppdrag av kund. Omställningen till fossilfrihet betyder att företagen behöver investera i nya maskiner eller nya bränslen. Investeringskostnaden för en batterielektrisk maskin är i dagsläget betydligt större än motsvarande investering i en fossildriven maskin. Till detta tillkommer även investeringar i kunskapsutveckling och eventuellt infrastruktur när man byter teknik från förbränningsmotor till elmotor. Hanteringen av elektrifierade maskiner skiljer sig från dieseldrivna och tillgången till el, särskilt för att hantera toppeffekter, och laddstationer är avgörande vid inköp av elektrifierade maskiner.

Utbudet av elektrifierade arbetsmaskiner för entreprenad är idag mycket begränsat. Maskintillverkare beskriver ofta höga kostnader, särskilt för batterier, och tekniska begränsningar som orsaken. I dagsläget finns få utsläppsfria alternativ särskilt till större anläggningsmaskiner vilket minskar vilka upphandlingskrav som kan ställas på entreprenörer.

För att omställningen ska lyckas och vara effektiv är det viktigt att reda ut vilka strategier och drivkrafter små- och medelstora maskinleverantörer kan använda för att förnya sin maskinpark och vilka effekter dessa strategier kan ge på kostnader. Kombinationen av ny teknik, nya sätt att ställa upphandlingskrav och begränsat utbud på marknaden gör att maskinentreprenörer behöver förstå både maskinutbud och användningsområden för att kunna förnya sin maskinpark till en fossilfri sådan, i den takt som krävs för att uppnå byggbranschens klimatmål.

Denna förstudie beskriver tänkbara scenarier och strategier för små- och medelstora företag för att elektrifiera sin maskinpark. Resultaten stöttar maskinentreprenörernas förståelse för de åtgärder som behöver vidtas för kostnads- och miljöeffektiv omställning. Resultaten kan också användas av beställare både av tjänster maskinentreprenörer levererar men också som underlag för strategier för fossilfri upphandling där förutsättningar sätter gränser. Dessutom kommer maskintillverkare förstå hur kraven ställs och hur de ska vidareutveckla sin maskinflotta. Utveckling av kundbehov och maskinutveckling behöver gå hand i hand.

3.1 Dieselmotor, elmotor och HVO

Projektets fokus på elektrifiering grundar sig på elmotorns höga verkningsgrad jämfört med dieselmotor, se figur 1, samt på den stora möjligheten att uppnå hög grad av emissionsfrihet om ett elavtal med hållbarhetsfokus väljs. I dagens byggbransch är det relativt vanligt att erbjuda kunder låga fossilutsläpp genom användning av förnybar diesel, så kallad HVO. Det är ett bränsle som kemiskt liknar diesel så pass mycket att det ofta kan användas i dagens arbetsmaskiner utan att några nyinvesteringar eller justeringar av maskinerna behöver göras. Biodrivmedel som HVO minskar dock inte de lokala emissionerna, till skillnad från eldrift som även förbättrar den lokala miljön och arbetsmiljön på byggarbetsplatserna.

Drift	Verkningsgrad	Räckvidd
Förbränning (Diesel eller HVO)	30%	Obegränsad
Batteri	85%	1/2-1 skift
Batteri + kabel	92%	Kabelns längd + batteritid
Batteri + förbränning	50%?	Obegränsad
Kabel	95%	Kabelns räckvidd

Figur 1. Verkningsgrad för olika drivlinor (Wiik et al., 2020)

Tillgången på HVO kan också variera. Intervjuer med maskinanvändare gör gällande att utbudet av, och priset för, HVO försämrats i takt med reduktionspliktens införande och stegring (Segerborg-Fick et al., 2021). Ytterligare att ta hänsyn till är den klimatpåverkan HVO ger upphov till. Energimyndigheten samlar årligen in och publicerar uppgifter från drivmedelsleverantörer om klimatpåverkan från drivmedel på marknaden (Energimyndigheten 2021). Rapporterade värden varierar från år till år med livscykelegenskaperna för respektive drivmedel. Särskilt HVO har under de senaste åren visat prov på stora fluktuationer, se figur 21. Att gå över till eldrift medför samtidigt nyinvesteringar i maskiner och i laddinfrastruktur, vilket kan fördröja införandet. HVO är en bra övergångslösning för att uppnå högre fossiloberoende medan investeringar i eldrift görs steg för steg.

4 Syfte, forskningsfrågor och metod

Dagens användning av arbetsmaskiner ger upphov till en betydande del av Sveriges samlade klimatpåverkan. Arbetsmaskiner står för 39% av bygg- och anläggningssektorns utsläpp av växthusgaser och har i absoluta tal ökat med 24% sedan år 1990 (Naturvårdsverket, 2022). Arbetsmaskiner står också för utsläpp av andra luftföroreningar med negativ påverkan på miljö och hälsa som berörs av Sveriges miljökvalitetsmål.

4.1 Syfte

Förstudien ska ge underlag för att möjliggöra en snabbare omställning till fossil- och utsläppsfrihet i byggbranschen. Den fokuserar på möjligheter och konkreta åtgärder att ersätta dieseldrivna maskinalternativ med elektrifierade motsvarigheter vid en relevant exempelverksamhet. I studien ingår en analys av minskad miljöpåverkan genom teknikskifte som koppas till ekonomi.

4.2 Forskningsfrågor

Projektet fokuserade på byggarbetsplatser med mycket masshantering, och använde en av ABT:s anläggningar, Norrsätra, som fallstudieområde.
Projektet vägleddes av följande forskningsfrågor:

- Hur ser energianvändningen ut på en typisk masshanteringsplats relaterat till maskinparken, och vad avgör olika teknikval i dagens maskinpark?
- Hur stor fossilfrihet kan man uppnå på en sådan plats om man tar batteriers och dieselbränslens livscykel i beaktande?
- Hur kan en strategi för att minska masshanteringsplatsens fossilberoende utformas för snabbast möjliga implementering?

4.3 Metod

Omvärldsanalys
Omvärldsanalysen beskriver vilka eldrivna maskiner som finns tillgängliga idag och i en nära framtid. Detta för att bättre förstå vilka möjligheter som finns att elektrifiera den tänkta maskinparken på kort sikt. I analysen ingår en internationell utblick. Arbetet har utförts genom samtal med representanter för maskintillverkare och en litteraturstudie.

Behovsanalys
Fallstudieplatsens arbetsprocesser och energianvändning kartlades genom intervjuer med platschefen, platsbesök samt intervjuer med maskintillverkare. I kartläggningen ingick också drivmedel, samt användningsmönster (till exempel om maskinerna flyttas ofta). Kartläggningen resulterade i ett schema över årlig energianvändning fördelat på respektive maskin och arbetsprocess. Denna kartläggning kunde användas som bas för att diskutera teknikval och utbyte av maskiner eller drivmedel till mer hållbara alternativ.

Scenarier för elektrifiering av ABT:s maskinpark och estimerad livscykelkostnad
Scenarioanalysens syfte var att utvärdera hur effektiva olika strategier för att minska fossilberoendet är i ett livscykelperspektiv, samt vilken typ av kostnader de genererar. Den baseras på omvärldsanalysens beskrivning av tillgängliga maskiner på marknaden, på behovsanalysens beskrivning av fallstudieplatsens energianvändning samt på litteraturstudier över olika drivmedel och teknikers koldioxidemissioner i ett livscykelperspektiv. Förslag på olika strategier för ersättning av fossila bränslen togs fram och formulerades som scenarier. Scenariernas hållbarhet utvärderades med avseende på fossila utsläpp i livscykelperspektiv. För beräkning av klimatutsläpp från diesel, HVO och el användes Energimyndighetens rapport Drivmedel 2020. Livscykeldata för batterier togs från Emilsson och Dahllöf (2019). Data för beräkning av livscykelutsläpp för elkabel kommer från Myndigheten för tillväxtpolitiska utvärderingar och analyser (2018). Till detta genomfördes även förenklade LCC-analyser av respektive scenario. Detta för att visa på förväntade kostnader kopplade till de olika scenarierna.

5 Mål

Förstudien ska leverera strategier för elektrifiering av en simulerad maskinpark utifrån reella värden från fallstudien. Strategierna ska exemplifiera och stötta maskinentreprenörer till en kostnads- och miljöeffektiv omställning. Studien utgår från pilotentreprenaden ABT (fallstudien Norrsätra) och ska beskriva hur en stegvis elektrifiering skulle kunna gå till. Omställningen kopplas till tekniska och affärsmässiga lösningar.

Beräkningar av livscykelkostnader för pilotentreprenörens maskinpark visar på hur olika scenarier för framtida energipriser kan påverka omställningen, men även hur olika affärsmodeller och upphandlingskrav kommer in i processen för framtida beslut. Resultaten ger ABT:s ledning och andra entreprenörer en överblick över elektrifieringsstrategier och deras affärspotential. Resultaten är delvis öppna och fungerar som generell vägledning till köpare av entreprenaduppdrag för vad som krävs för att utveckla utsläppsfria dito. Resultaten kan även fungera som generell vägledning för politiska beslut hur upphandling bör ske för att nå utsläppsfrihet, där till exempel Trafikverket har krav på 100% fossilfrihet år 2030 (Trafikverket, 2021).

6 Resultat och måluppfyllelse

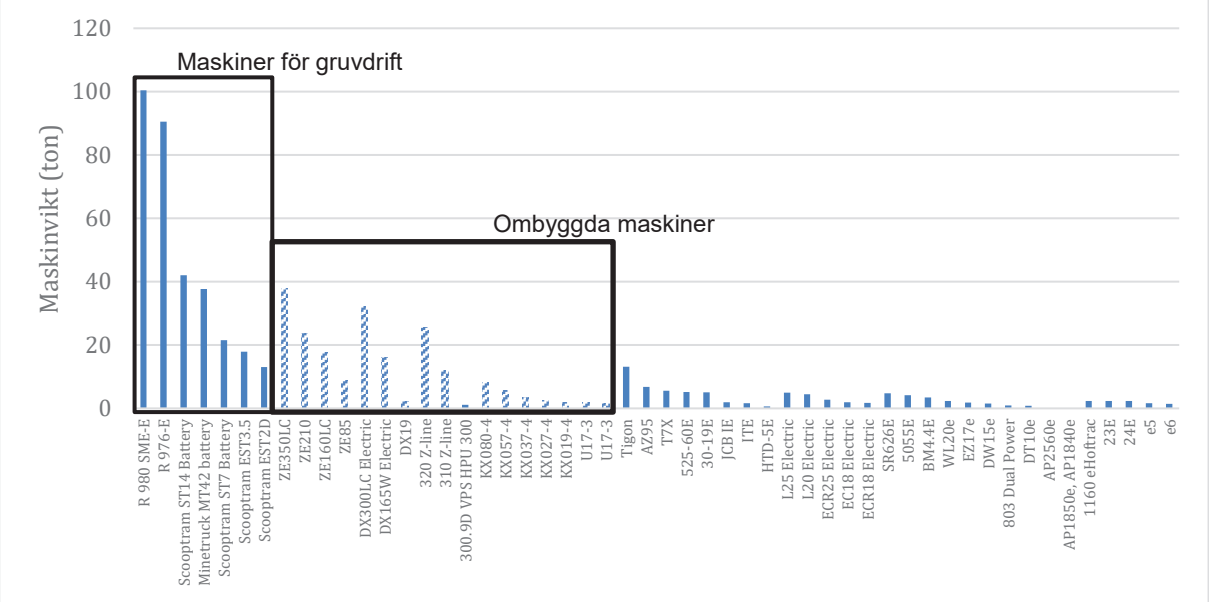
I avsnitt nedan presenteras förstudiens resultat. Resultaten utgår från metoder, som beskrivna ovan.

6.1 Omvärldsanalys

Analysen av vilka elektriska arbetsmaskiner som finns tillgängliga på marknaden har genomförts med hjälp av uppgifter och tekniska specifikationer från tillverkares hemsidor och offentliga databaser. Uppgifterna har kompletterats av intervjuer med representanter för ett urval av undersökta maskintillverkare.

Bonussystem finns. Miljödepartementet har introducerat en klimatpremie som ersätter en andel av prisskillnaden mellan en eldriven och närmast jämförliga fordon eller arbetsmaskin (SFS 2020:750). Premiesystemet har funnits sedan år 2020 och har initialt fått omfattande kritik (Aktuell hållbarhet, 2021). Detta eftersom premien enbart var tillämpbar för maskiner med en nettoeffekt över 75 kW, vilket innebär att mycket få av de elektriska arbetsmaskiner som erbjuds i dagsläget omfattades. Sedan år 2022 har premien justerats för att tillåta att premien utnyttjas vid köp av maskiner med en nettoeffekt över 15 kW som drivs enbart av elektrisk energi. Detta innebär att premiesystemet kan tillämpas på en större andel av de elektrifierade arbetsmaskiner som finns på marknaden.

Den svenska marknaden för elektriska arbetsmaskiner domineras av maskiner i de mindre storleksklasserna. Få av de maskiner som tillverkas idag har en maskinvikt som överstiger 10 ton eller en motoreffekt som överstiger 15 kW. Detta mönster gäller även för internationella marknader. Naturligt innebär detta en begränsning avseende vilka arbetsmoment maskinerna kan användas för, vilket även har en dämpande effekt på en eventuell bredare omställning till utsläppsfria arbetsmaskiner. Figuren nedan beskriver tillgängliga elektrifierade arbetsmaskiner sorterade efter maskinvikt, ombyggda elektriska arbetsmaskiner markeras med streckade staplar.



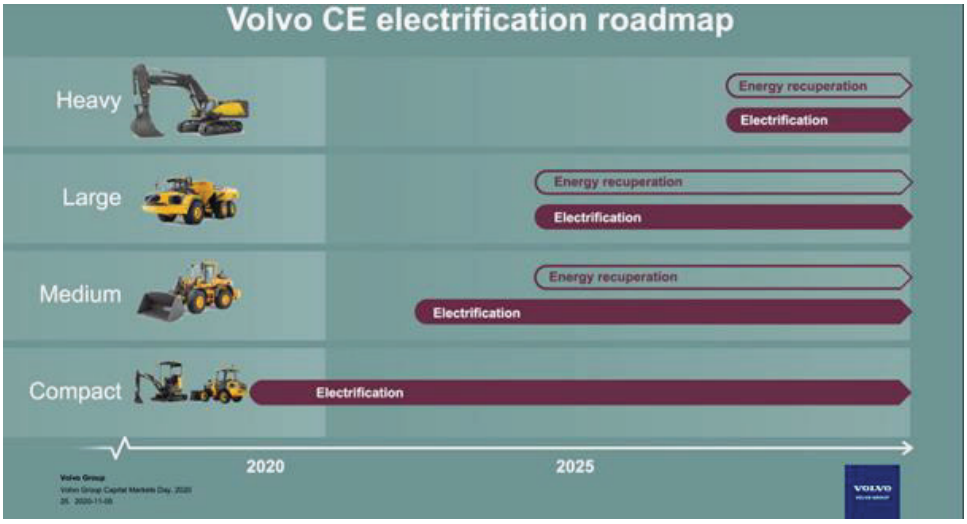
Figur 2. Sammanställning av tillgängliga elektrifierade arbetsmaskiner. Sorterade efter maskinvikt (ton) och tillverkare.

För enskilda maskinsegment har marknaden för elektrifierade arbetsmaskiner nått längre och större maskiner finns tillgängliga men de är undantag snarare än regel. Större serietillverkade elektriska arbetsmaskiner är i dagsläget i första hand avsedda för gruvindustrin. Epiroc är ett sådant exempel som tillverkar arbetsmaskiner i betydligt större storlek än andra tillgängliga arbetsmaskiner. Detta visar även hur den i dagsläget tillgängliga tekniken kan användas för att erbjuda marknadsmässigt gångbara utsläppsfria arbetsmaskiner (Segerborg-Fick et al., 2021).

I en europeisk kontext finns även en rad exempel där maskiner ombyggda för eldrift tagit plats också i större segment av framför allt grävmaskiner. Dessa är i första hand resultatet av lokala omständigheter i form av lagar, regler och restriktioner. Maskinerna erbjuds uteslutande av ett antal maskintillverkares nationella återförsäljare. Det tydligaste exemplet kommer från Norge där Nasta och Pon, återförsäljare av arbetsmaskiner för Hitachi och CAT, erbjuder grävmaskiner ombyggda för eldrift i storleksklasserna 10-, 20-, och 40 ton. De mindre maskinerna är batteridrivna medan de större modellerna drivs med kabeldrift eller en kombination av batteri- och kabeldrift för att säkerställa energitillförsel och undvika driftstopp. I samtal med återförsäljarna beskrivs de klimatkrav som Oslo kommun tagit fram för bygg- och anläggningsarbete samt klimatpremier norska staten erbjuder som avgörande för maskinernas introduktion. Något som nämnts som en utmaning för detta marknadssegments fortsatta utveckling är den osäkerhet som finns gällande de ombyggda maskinernas värdeutveckling över tid, detta både bland maskintillverkare som kunder (Segerborg-Fick et al., 2021).

Motsvarande maskinerbjudande återfinns även i Nederländerna där Staad-groep, nationell återförsäljare för Doosan, erbjuder ombyggda batterielektriska grävmaskiner i 30-tons klassen. Maskinlösningen bygger på

ett modulärt batterisystem i olika flera storlekar. Regelbundna batteribyten säkerställer avbrottsfri maskinanvändning.
I samtal med representanter för en rad maskintillverkare belyser många det egna företagets ambition att både på sikt och i relativ närtid erbjuda elektrifierade arbetsmaskiner i stegvis större storlek och för allt fler maskinsegment. Mindre och handhållna arbetsmaskiner förväntas i hög utsträckning vara batteridrivna emedan större maskiner kan komma kräva en kombination av batteri- och kabeldrift eller hybridteknik för att undvika driftstopp för laddning. Volvo är ett exempelföretag som presenterat ett eget scenario för takten med vilken olika maskinsegment är tänkta att elektrifieras. Kompakta maskiner erbjuds redan idag i form av små hjullastare och grävmaskiner. Eldrivna arbetsmaskiner för tungt konstruktionsarbete är under utveckling, se figur 3.



Figur 3. VCE electrification roadmap. Figuren visar tidsaxeln för VCEs introduktion av elektrifierade arbetsmaskiner.

Samtidigt lyfts ett antal omfattande utmaningar som kan hämma omställningen och erbjudandet av elektrifierade arbetsmaskiner. Dessa är främst osäkerhet kring de ytterligare inköpskostnader elektrifierade arbetsmaskiner innebär och huruvida tillräcklig betalningsvilja finns både bland tänkta maskinköpare och köpare av maskintjänster. Bland vissa av de intervjuade maskintillverkarna nämns att försäljningen av elektrifierade arbetsmaskiner gått sämre än förväntat. Anledningar beskrivs vara, förutom de högre kostnaderna, även osäkerhet bland kunder inför den nya tekniken. Ytterligare en stor fråga att lösa som lyfts är säkerställande av tillräcklig tillgänglig energi för att undvika driftstopp. Tillräcklig batterikapacitet, tillgängliga laddningsmöjligheter och tillräcklig elförsörjning är avgörande för kommersialisering av batteridrivna arbetsmaskiner. Batterikostnader är i dagsläget avgörande för utsläppsfria arbetsmaskiners högre inköpspris. Större produktionsvolymer beskrivs, tillsammans med teknikutveckling, som avgörande för att sänka de elektrifierade maskinernas höga inköpspris.

6.2 Behovsanalys

Fallstudieplats Norrsätra

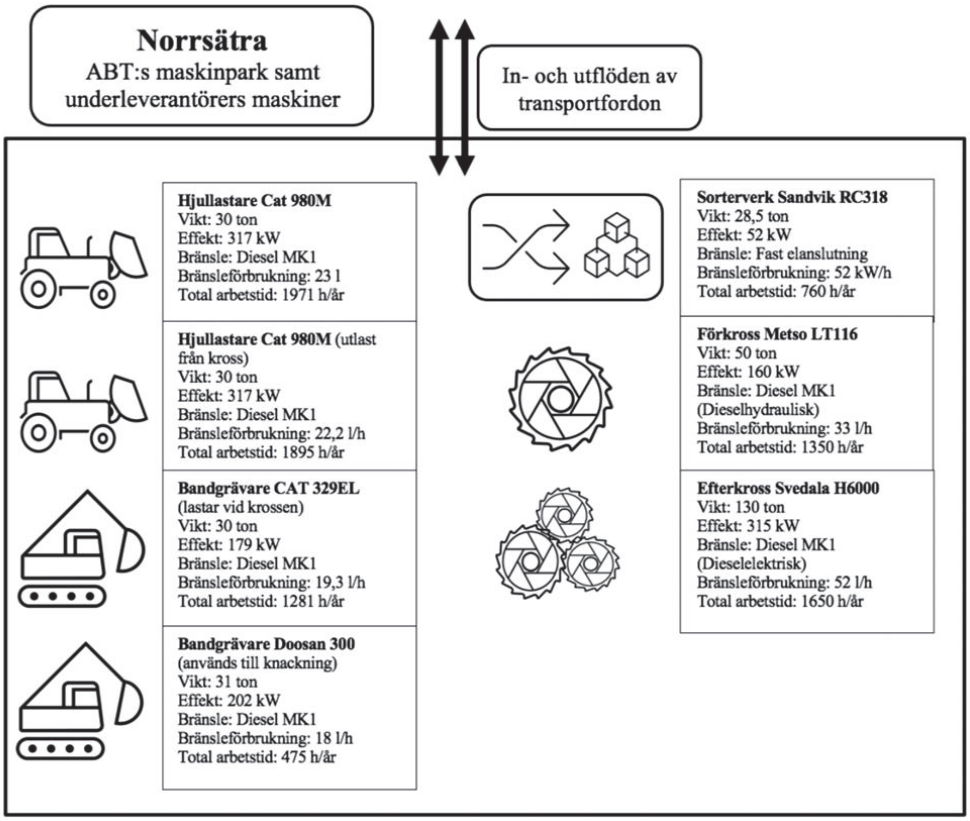
Norrsätra är en av ABT:s tre anläggningar i Stockholmsområdet. ABT erbjuder tjänster som underentreprenör inom jord- och bergschakt. På Norrsätra tar man emot jord- och bergmassor som krossas och sorteras för att kunna bli produkter i infrastruktur- och byggnadsprojekt.

Massor kommer in till anläggningen med lastbil, bilarna vägs och lossar sitt material. Det förekommer även att tomma lastbilar kommer in och hämtar massor som ska ut på schaktentreprenader. Materialet läggs på lager tills det är dags för uppgradering genom krossning och/eller sortering. Då transporteras materialet med hjullastare till anläggningens krossar eller sorterverk. Beroende på vilket material som ska tillverkas kan antingen både en för- och efterkross samt sorterverk användas, eller enbart någon av dessa maskiner. På anläggningen finns också bandgrävare som kan knacka isär större stenar och även lasta

krossen och sorterverket. Krossen och sorterverken kan flyttas, men står ofta i kampanjer på en och samma plats i anläggningen. Efter krossning och sortering transporteras materialet återigen med hjullastare till lagringsytor där olika typer av material lagras separerat från varandra, redo för utlastning med lastbil.

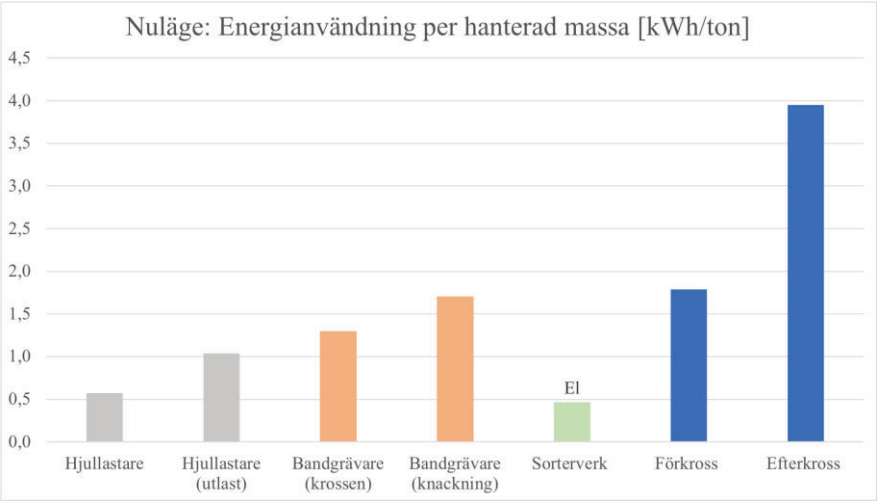
Maskinpark och energiförbrukning

Maskinerna som finns på täkten idag ägs av både ABT och underentreprenörer. Vissa maskiner befinner sig på täkten på heltid och vissa tillkommer vid behov. De maskiner som ingår i fallstudien är två hjullastare, två bandgrävare, ett sorterverk samt en för- och efterkross. Transporterna till och från anläggningen med lastbil ingår inte i fallstudien, utan fokus är på maskiner som transporterar sig och tankar/laddar uteslutande inom anläggningens gränser. I figur 4 finns en sammanställning av Norrsätras maskinpark, antal driftstimmar och bränsleförbrukning.

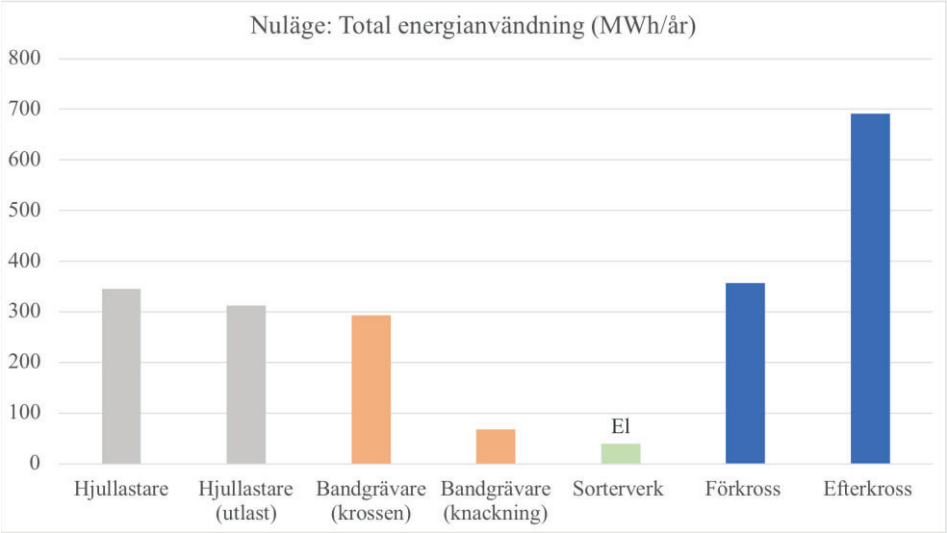


Figur 4. Översikt över Norrsätras maskinpark

Som synes i 5 förbrukar krossarna och sorterverket mycket energi under drift medan hjullastarna har jämförelsevis låg energiförbrukning per ton hanterad massa. Men eftersom hjullastarna har så många drifttimmar per år så är deras andel av anläggningens totala energiförbrukning relativt stor (figur 6). Lägst energiförbrukning har sorterverket. Detta är den enda av anläggningens maskiner som är eldriven. På grund av elmotorers höga verkningsgrad i kombination med att sorterverken har relativt få driftstimmar per år utgör sorterverkens energiförbrukning en mycket liten andel av den totala energiförbrukningen.



Figur 5 Energianvändning för Norrsätras maskinpark, visat per ton hanterad massa som medelvärde över ett år



Figur 6 Energianvändning för Norrsätras maskinpark, totalt per år

6.3 Scenarier för elektrifiering av ABT:s maskinpark och estimerad livscykelkostnad

Förutsättningar

Behovsanalysen visar att den största energianvändningen är för krossarna. Dessa står på en och samma plats under drift och drivs idag av en dieselhydraulisk respektive dieselelektrisk drivlina (Lillestöl, 2022) Det finns alltså god potential att elektrifiera dem och därmed både öka energieffektiviteten och minska klimatutsläpp. Det samma gäller i hög grad bandgrävarna, som visserligen är mobila men som ofta står stilla och arbetar på en plats, eller arbetar inom en mindre radie. Det gör det möjligt att elektrifiera dem med fast elanslutning, eller med en anslutning till batteri.

Hjullastarna som också står för en stor del av energianvändningen kräver troligen att man övergår till batteridrivna maskiner om de ska elektrifieras. Det finns exempel på elektrifierade hjullastare som drivs med en fast elanslutning (en elkabel som dras efter maskiner), men denna typ av lösning minskar maskinens rörelsefrihet. På en anläggning som Norrsätra kan transportavstånden för hjullastarna vara 50-100 m, vilket är svårt att kombinera med en maskin med sladd.

Hjullastare som drivs med batteri finns enligt omvärldsanalysen än så länge mest tillgängliga i mindre storlekar än de som behövs på Norrsätra. Utvecklingen går snabbt och man kan anta att sådana maskiner

kommer vara möjliga om några år. Tills sådana maskiner finns tillgängliga kan en övergångsstrategi vara att ersätta det fossila dieselbränslet med HVO.

Scenarier

Projektets syfte är att studera hur man kan underlätta fullständig elektrifiering av bygg/masshanteringsplatser. Men på grund av begränsningar i tillgänglig teknik, investeringskostnader samt praktiska frågor kring laddinfrastruktur kommer det vara svårt för de flesta aktörer att gå direkt till helt ektrifierade lösningar. Därför tog projektet fram både ett helelktrifieringsscenario baserat på Norrsätra, samt ett antal ”hybridscenarier” där delar av maskinparken byts ut. Dessa listas nedan. I samtliga scenarier är utgångspunkten att arbetsflödena på platsen ska kunna fortgå som förut, det vill säga inga förslag på exempelvis ändrade transportavstånd eller placering av krossar föreslås.

I Tabell 1 finns en översikt över scenarierna. Nuläget utgår från beskrivningen i behovsanalysen, där enbart sorterverket drivs på el, och övriga maskiner på diesel. Scenarierna är sedan uppbyggda med stegvis ökande svårighetsgrad. Det första scenariot representerar ett lätt första steg, att byta bränsle i de mest energiförbrukande maskinerna till HVO. I det andra scenariot är ambitionerna och acceptansen för osäker bränsletillgång lite högre, så alla tidigare dieseldrivna maskiner går på HVO. I det tredje scenariot görs det som är mest praktiskt genomförbart idag för att elektrifiera arbetsplatsen. På grund av höga batterikostnader byter man till eldrift med kabel på de maskiner som är stationära eller står mycket stilla under arbetet, det vill säga krossarna. Bandgrävarna byts till eldrift med kabel. Det sista scenariot är en vision som bygger på att marknaden snart kommer erbjuda batteridrivna hjullastare av rätt storlek för en anläggning som Norrsätra, och att det därmed blir möjligt att planera en helt elektrifierad anläggning. Batteridrivna hjullastare av den storleken (30 ton) finns ännu inte, batterierna skulle vara på 600 kWh och dessa tar mycket stor plats i hjullastarna (Wethal Helljesen, 2022). Vi har ändå valt att räkna på ett scenario där hjullastarna antas drivas av batterier av storleken 600 kWh och de livscykelutsläpp Li-jon-batterier av den storleken skulle ha, samt bandgrävare som drivs både med kabel men som har ett batteri som tar effekttoppar, för att kunna få en bild av hur stor påverkan batterierna har på den helt elektrifierade anläggningens hållbarhet.

Tabell 1 Översikt över drivmedel i respektive scenario

		Hjullastare (2 st)	Bandgrävare (2 st)	Sorterverk	Krossar
Nuläge	Som i behovsanalysen	Diesel	Diesel	El, kabelansluten	Diesel
Scenario 1	”Det första steget”	Diesel	Diesel	El, kabelansluten	HVO
Scenario 2	”Den tekniskt enklaste lösningen”	HVO	HVO	El, kabelansluten	HVO
Scenario 3	”Pragmatisk elektrifiering med dagens teknik”	HVO	El, kabelansluten	El, kabelansluten	El, kabelansluten
Scenario 4	”Helelektrifiering med morgondagens teknik”	El, batteridriven	El, batteri + kabelanslutn	El, kabelansluten	El, kabelansluten

Life cycle cost analysis (LCCA)

För respektive scenario följer i detta stycke beräkningar av livscykelkostnader. Beräkningar har genomförts för respektive maskin i scenario 1,2,3 och 4 samt för nulägesalternativet. Utöver detta har beräkningar även genomförts utifrån en ögonblicksbild med drivmedelspriser för mars 2022 samt utifrån antagna framtida kostnader för drivmedel och maskiner. Tabell 2 listar maskinparken för vilka beräkningar har genomförts. Beräkningar har inte genomförts för sorterverket eftersom det redan idag är fullständigt eldrivet.

Tabell 2. Maskinmodell och maskintyp

	Modell	Typ
1	CAT980M	Hjullastare
2	CAT980M	Hjullastare
3	CAT329EL	Bandgrävare
4	Doosan 300	Bandgrävare
5	Metso LT 116	Förkross
6	Svedala H6000	Efterkross

Beräkningarna följer en förenklad version av AGC-metoden för beräkningar av maskiners livscykelkostnad. LCC-analys används ofta som budgetverktyg för att beräkna den samlade kostnaden att köpa och äga en maskin samt möjlig kapitalåtervinning för att möjliggöra initierade beslut om underhåll och nyinvesteringar (Gransberg och O'Connor, 2015). I detta sammanhang är samma metod till hjälp för att beskriva skillnader i absoluta och relativa kostnader för respektive scenario (Wiik et al., 2020). Kostnader och systemeffekter som inte beskrivna är inte inkluderade. Syftet med dessa beräkningar är inte att ge en exakt bild utan visa på beroendeförhållanden mellan inkluderade variabler. Modellen för beräkningar kan beskrivas enligt följande (se även teckenförklaring i tabell 3):

$$LCC_{it} = PI_i + \sum_{t=1}^{10} T_i U_{it} + \sum_{t=1}^{10} V_i E_p T_{it} + \sum_{T=1}^{10} Ö_{it} - R_i \qquad (1)$$

Där $i = 1, \dots, 6$, $p = diesel\ MK1, HVO100, el,\ t = 1, \dots, 10$

Den totala livscykelkostnaden (LCC) för en av de studerade arbetsmaskinerna (i) över tid (t) antas således vara summan av den ursprungliga investeringskostnaden (I), kostnader för service och underhåll (TU), kostnader för drivmedel (VET) samt kostnader för försäkring (Ö) från vilket maskinens restvärde subtraheras (R). En typisk del av LCC-analyser som inte inkluderats är kostnader för maskinförare. Detta eftersom beräkningarna i första hand ska fungera för jämförelse mellan olika scenarier. Ett grundläggande antagande för samtliga scenarier är att maskinparken, i den mån den ersätts med elektrifierade motsvarigheter eller på annat sätt klimatanpassas, behåller samma funktioner och kan användas i samma utsträckning som nulägesalternativet. Beräkningarna antar en ägandeperiod och avskrivning om 10 år. Tabell 3 beskriver respektive variabel.

Tabell 3. Variabelbeskrivning

Variabel	Beskrivning
LCC	Livscykelkostnad för maskin 1–6.
P	Klimatpremie. Ersätter upp till 20% av skillnaden i investeringskostnaden för en eldriven arbetsmaskin. Högst 40% av den stödberättigade kostnaden.
I	Investeringskostnad.
T	Marskintimmar per år för maskin 1–6. Summan av arbetstimmar och tomgångstimmar.
U	Underhållskostnader per timme för maskin 1–6.
V	Drivmedelsförbrukning per timme för maskin 1–6. Beräknad utifrån drivmedelsförbrukning per arbetstimme, drivmedelsförbrukning per tomgångstimme, arbetstimmar per år och tomgångstimmar per år.
E	Pris per volymenhet drivmedel. Pris differentieras mellan diesel MK1, HVO100 och el.
Ö	Kostnad för försäkring per år för maskin 1–6.
R	Restvärde för maskin 1–6. Restvärdet antas vara 25% av investeringskostnad.

Elektrifierade arbetsmaskiner kännetecknas av högre initial investeringskostnad, maskinerna är dyra. Flera av de maskiner som används vid pilotarbetsplatsen saknar idag relevant elektrifierad motsvarighet. Se figur 2. För att trots detta uppskatta kostnaden för en elektrifierad maskin i rätt storlek används en genomsnittlig omräkningsfaktor utifrån uppgifter om investeringskostnader för elektrifierade arbetsmaskiner som idag finns tillgängliga på marknaden. Omräkningsfaktorn antas vara 2,6. Elektrifierade arbetsmaskiner kännetecknas av lägre underhållskostnader per år (Wiik et al.,2020). Omräkningsfaktorn antas vara 0,8.

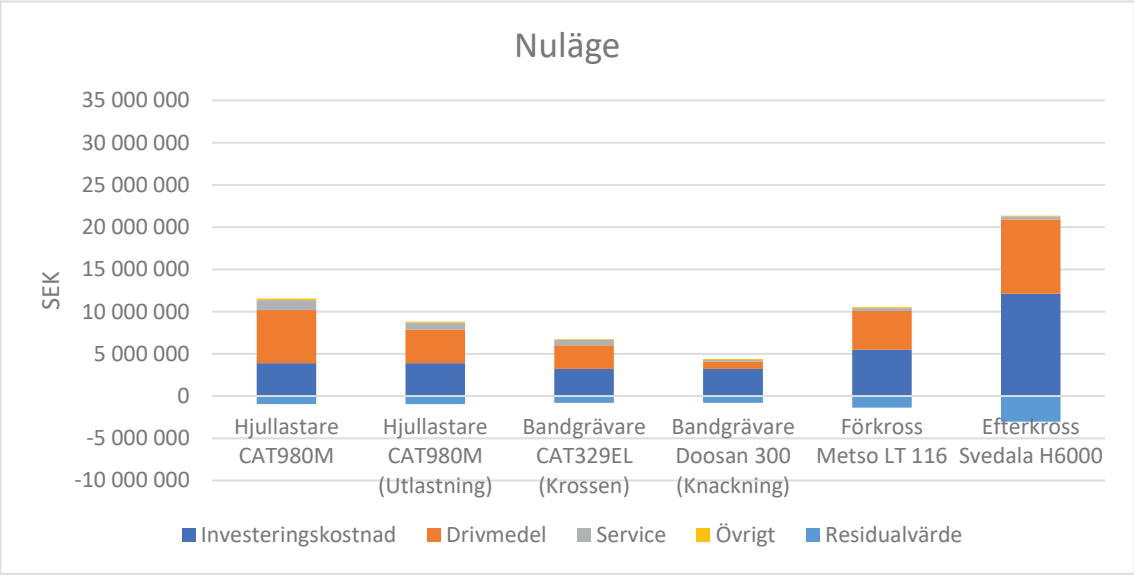
Uppgifter om arbetstimmar och tomgångstimmar per år, drivmedelsförbrukning per timme, kostnader för service och underhåll, utgifter för försäkring och ursprunglig investeringskostnad för respektive maskin har samlats in vid samtal med ABT-bolagen (Lillestöl, 2021). Uppgifter om rådande kostnader för drivmedel har sammanställts från uppgifter om genomsnittliga företagspriser per volymenhet för det senaste året från ett tvärsnitt av svenska drivmedelsleverantörer, för diesel MK1 och HVO100, samt SCB, för el. Tabell 4 beskriver beräknade kostnader för respektive drivmedel.

Tabell 4. Pris per volymenhet drivmedel

	Diesel	HVO100	El
Kr per volymenhet (l/kWh)	18,20	19,61	1,33

Nuläge

Beräknade livscykelkostnader för nuläget, då samtliga arbetsmaskiner drivs med fossil diesel, syns i figur 7. Livscykelkostnaderna är beräknade med en förväntad ägandeperiod om 10 år.

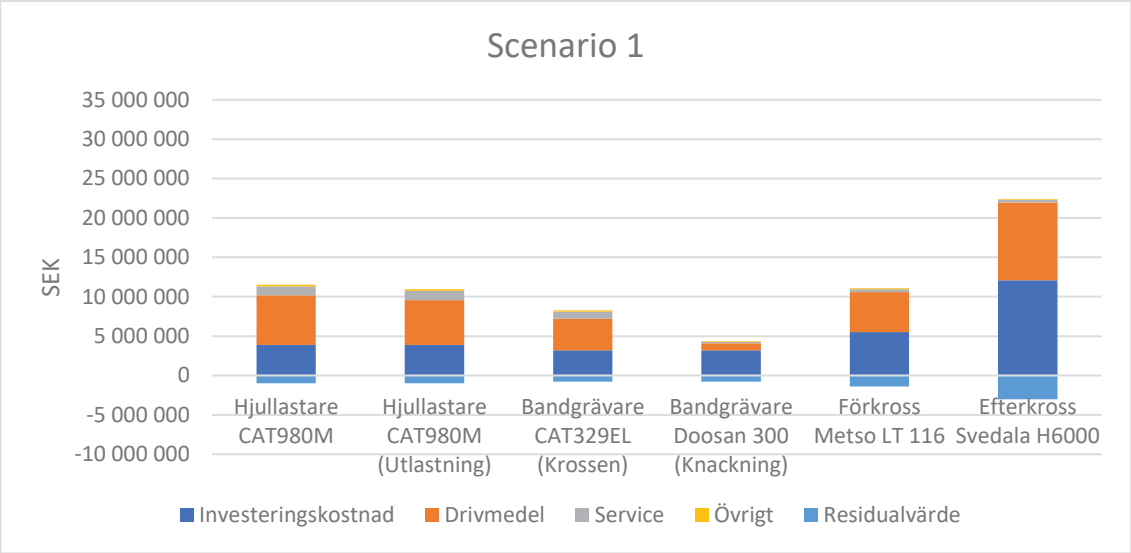


Figur 7. Beräknade livscykelkostnader per maskin för nuläget. Negativa värden beskriver antaget restvärde för respektive maskin.

Tydligt är att drivmedelskostnader är dominerande för de maskinerna med många maskintimmar per år, hjullastarna, och de med stor bränsleförbrukning per timme, krossarna.

Scenario 1

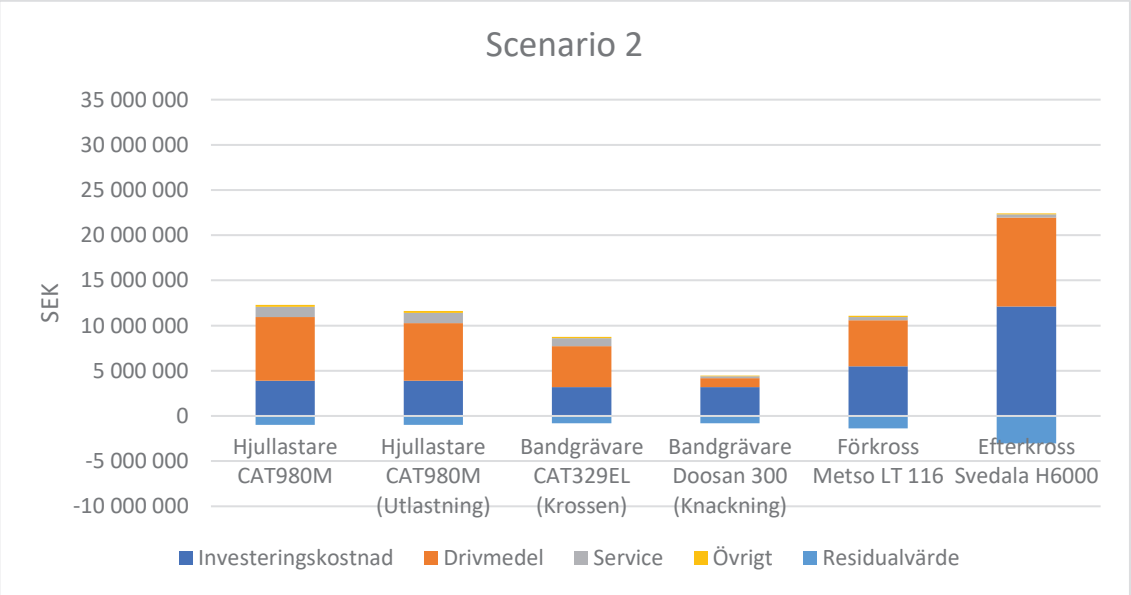
Krossarna drivs på HVO100, övriga maskiner på diesel. Scenario 1 är begränsat i sin omfattning då det inte innebär direkta maskininvesteringar. Kostnader för drivmedel är något högre för de två krossarna med tanke på användningen av HVO, se figur 8.



Figur 8. Beräknade livscykelkostnader per maskin för scenario 1. Negativa värden beskriver antaget restvärde för respektive maskin.

Scenario 2

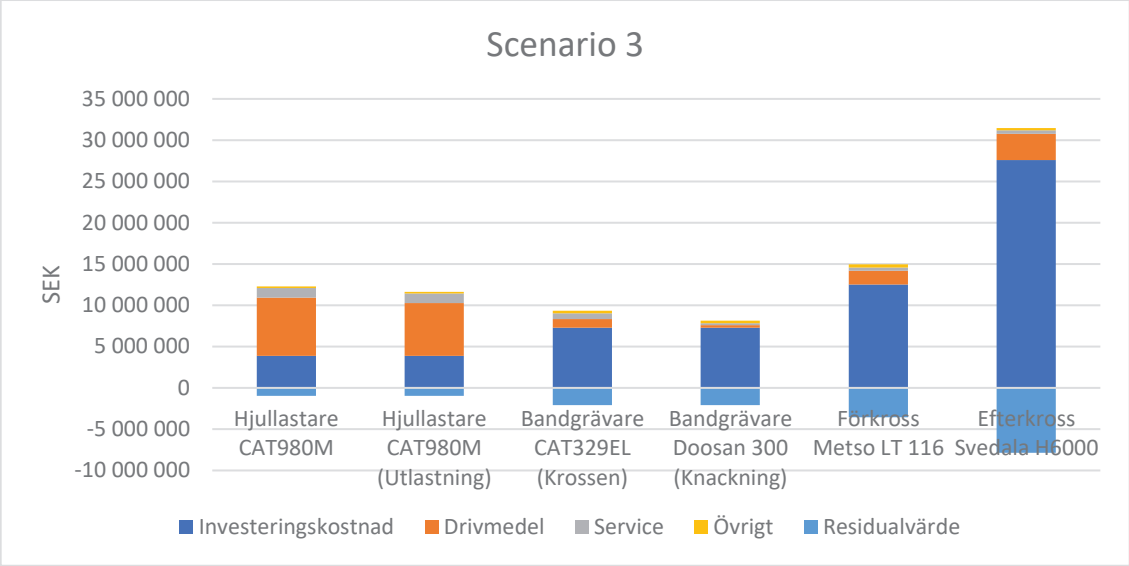
Samtliga maskiner drivs på HVO100. Scenario 2 är begränsat i sin omfattning då det inte innebär direkta maskininvesteringar. Tack vare det något högre priset för HVO är också den samlade livscykelkostnaden något högre för samtliga maskiner, se figur 9.



Figur 9. Beräknade livscykelkostnader per maskin för scenario 2. Negativa värden beskriver antaget restvärde för respektive maskin.

Scenario 3

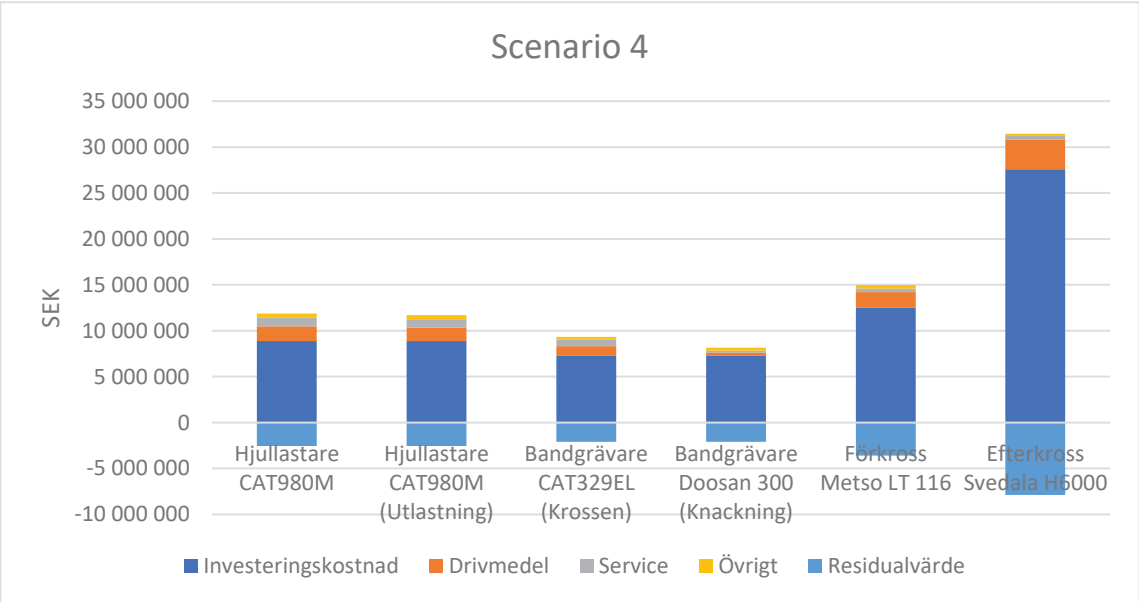
Hjullastarna drivs på HVO100, övriga maskiner på el. Scenario 3 innebär en rad större maskininvesteringar, vilket också märks i beräknade livscykelkostnader för krossverk och bandgrävare. Direkt uppenbart är också den förändrade fördelningen mellan utgifter för maskin och drivmedel, se figur 10.



Figur 10. Beräknade livscykelkostnader per maskin för scenario 3. Negativa värden beskriver antaget restvärde för respektive maskin.

Scenario 4

Samtliga maskiner drivs på el. Scenario 4 innebär omfattande maskininvesteringar. Samlade livscykelkostnader beror närmast uteslutande av kostnader för maskininvesteringar, se figur 11.



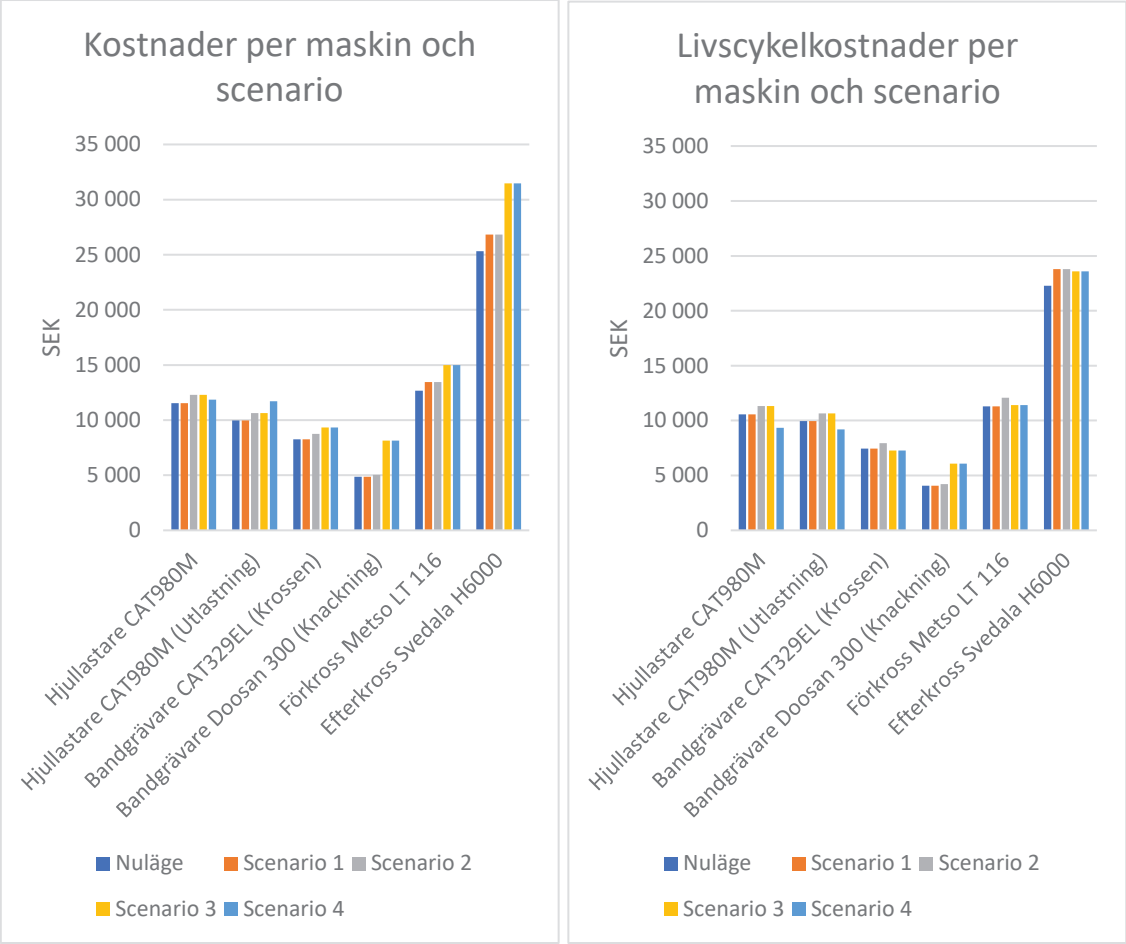
Figur 11. Beräknade livscykelkostnader per maskin för scenario 4. Negativa värden beskriver antaget restvärde för respektive maskin.

Scenarier för enskilda maskiner

Vad scenarioanalyserna tydliggör är att de ekonomiska förutsättningarna för elektrifiering skiljer sig åt maskiner emellan. De främsta drivkrafterna är maskinernas respektive användning. De maskiner som har fler maskintimmar per år och större andel arbetstimmar per år, relativt tomgångstimmar, är också de som

har bäst förutsättningar att över tid motivera den högre investeringskostnaden som elektrifiering innebär. Detta eftersom elektrifiering drastiskt minskar löpande kostnader för drivmedel. Avgörande för kostnadseffektiv implementering av elektrifiering blir därmed även den förväntade livslängden för respektive maskin. Presenterade beräkningar är alla utförda med en antagen ägandeperiod om 10 år. Eftersom den ursprungliga investeringskostnaden förblir densamma innebär kortare tidsintervall sämre förutsättningar att maximera kostnadsbesparingen som ett byte från diesel, eller HVO100, till el innebär. Att ersätta diesel med HVO100 har stora fördelar vad gäller att minska maskinernas klimatpåverkan men innebär enbart en ytterligare kostnad jämfört nuläget. Beräknade livscykelkostnader presenteras i figur 12.

Tydligast är utfallet, som beskrivet ovan, för de två hjullastarna. Livscykelkostnaden för en potentiell elektrifiering är, eventuellt restvärde för maskinen efter 10 år medräknat, lägre än det dieseldrivna alternativet. Samma slutsats går även att dra vid jämförelse av kostnaden för scenario 2, då samtliga maskiner körs på HVO100, och scenario 4, då hela maskinparken är elektrifierad. Samma analys går inte att göra för samtliga övriga maskiner.



Figur 12. Beräknade livscykelkostnader per scenario och maskin. Resultat till vänster inkluderar inte respektive maskins beräknade restvärde. Figuren till höger beskriver livscykelkostnader per maskin enligt modell 1.

Den ena av de två bandgrävarna, CAT329 EL, har långt fler maskintimmar per år. Detta innebär att den, jämfört maskinen som används för knackning, bättre kan motiveras för elektrifiering. Medräknat maskinens teoretiska restvärde är det elektrifierade alternativets livscykelkostnad jämförbart med ursprungsläget och lägre än detsamma för scenario 2. För de två krossarna är livscykelkostnaderna för elektrifiering i absoluta tal markant större än övriga maskiner. Det berör främst på maskinernas högre investeringskostnader. Elektrifiering är, medräknat maskinernas restvärde, trots detta ekonomiskt motiverat jämfört en övergång till HVO100. För förkrossen är livscykelkostnader för elektrifiering lägre än motsvarande för ursprungsläget.

Jämförelser mellan de elektrifierade scenarierna och övriga belyser även den stora betydelse som antaganden om investeringskostnader för elektrifierade maskiner innebär för beräknade kostnader.

Nuläge och framtidsspaning

I följande avsnitt presenteras motsvarande beräkningar för en ögonblicksbild, utifrån genomsnittliga kostnader för drivmedel under första halvan av mars 2022, och en tänkt framtidsspaning år 2040. Nuläget är intressant att analysera eftersom priser för drivmedel stigit särskilt mycket de senaste månaderna. Framtidsspaningen analyseras för att ge en bild av hur marknaden och förutsättningarna för elektrifiering kan se ut i framtiden då investeringskostnader för elektrifierade arbetsmaskiner antas sjunka.

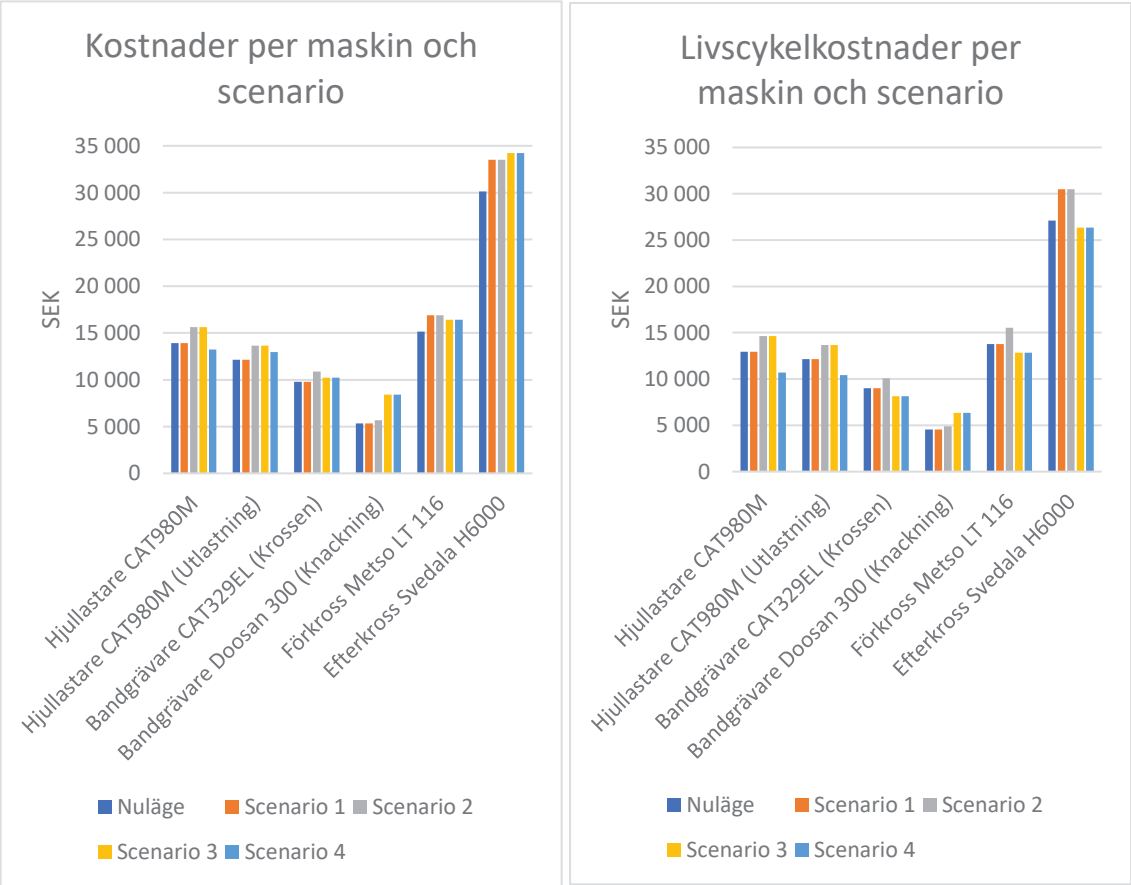
Nuläge

Nulägesberäkningar utgår från modell 1. Tabell 5 visar antagna energipriser.

Tabell 5. Pris per volymenhet drivmedel för perioden 22-03-01-22-03-15.

	Diesel	HVO100	El
Kr per volymenhet, 22-03-01 – 22-03-15 (l/kWh)	25,15	28,9	2,48

Beräknade livscykelkostnader presenteras i figur 13. Effekten av dagens extrema energipriser är uppenbar. Ägandekostnader för alla maskiner i samtliga scenarier är tydligt större. Mer uppenbart än tidigare beräkningar är scenario 4 det mest kostnadseffektiva alternativet för samtliga maskiner utom den med minst antal maskintimmar per år.



Figur 13. Beräknade livscykelkostnader per scenario och maskin. Resultat till vänster inkluderar inte respektive maskins beräknade restvärde. Figuren till höger beskriver livscykelkostnader per maskin enligt modell 1.

Framtidsspaning

I samband med omvärldsanalysen har samstämmiga uppgifter från tillverkare gjort gällande att de högre inköpskostnaderna för elektrifierade arbetsmaskiner förväntas sjunka över tid. Detta beskrivs bero av flera faktorer, bland annat större produktionsvolymer och batteriutveckling. En rad studier gör gällande att priset per kWh batterilagring kan förväntas sjunka med mellan 28% och 75% till och med 2050 (se exempelvis Cole et al., 2021). För att illustrera förändrade maskinkostnader över tid och hur de påverkar respektive scenario har, i avsaknad av bättre underlag, Trafikverkets framtagna schabloner för merkostnader för elektrifierade lastbilar även tillåtits beskriva utvecklingen för arbetsmaskiner (Edwards och Grudemo, 2021). Den antagna utvecklingen för merkostnader för elektrifierade arbetsmaskiner över tid beskrivs i tabell 6.

Tabell 6. Antagen utveckling av markapitalkostnaden för elektrifierade maskiner.

	2030	2035	2040
Merkapitalkostnad	50%	35%	20%

Vad gäller framtida drivmedelspriser råder stor osäkerhet. Den skattebefrielse för biodrivmedel som gäller till och med 31 december 2022 är ännu inte bekräftad om den kommer fortsätta. Skattebefrielsen innebär att höginblandade biodrivmedel inte beläggs med koldioxid- eller energiskatt. Regeringen har för syfte att lämna en sådan ansökan till EU-kommissionen som skulle förlänga systemet för skattebefrielse ytterligare 10 år (Regeringskansliet, 2022). Om systemet inte tillåts fortsätta kommer det, vid sidan av marknadens fortsatta utveckling, innebära att priset för biodrivmedel stiger. Uppskattningar gör gällande att priset per liter HVO100 skulle öka med drygt 6 kronor (Dagens PS, 2022).

Till detta har världsmarknadspriser för energi och drivmedel under senare tid påverkats av en rad exogena chocker som tillskrivits Coronapandemin (Sveriges riksbank, 2022) och den ryska invasionen av Ukraina (Regeringskansliet, 2022). Mellan perioden 2021-01-01 och 2022-03-24 har priset för företagskunder för diesel och HVO100 stigit med 83% respektive 95%. Detta har i sin tur inneburit politiska reaktioner. Finansdepartementet har lämnat förslag om tillfälligt sänkta drivmedelsskatter (Regeringskansliet, 2022) och infrastrukturdepartementet har lämnat förslag som skulle innebära att reduktionspliktens planerade skärpning år 2023, från krav om 30,5% till 35% minskning av koldioxidutsläpp från den reduktionspliktiga energimängden, pausas (Regeringskansliet, 2022). Att prognosticera framtida drivmedelspriser är därför mycket osäkert. Trafikverkets Prisprognos B, först presenterad 2017 som del av ASEK7, beskriver till exempel en real prisökning för diesel och HVO100 om 1,2% per år under perioden 2018–2040 (Trafikverket, 2021). Samma prognos för el antar en årlig real prisökning om 2,5%. Detta motsvarar ett förväntat dieselpris ”vid pump” om cirka 24 kronor per liter år 2040. Vida överstiget redan idag. Allt detta beskriver svårigheterna att tillförlitligt anta framtida drivmedelspriser.

I avsaknad av bättre prognosverktyg tillåts trots detta Trafikverks prisprognos B beskriva förväntade priser för drivmedel år 2040. Tabell 7 beskriver antagna priser för drivmedel. Prisprognos B antar att HVO100 inte längre omfattas av skattebefrielse år 2040.

Tabell 7. Pris per volymenhet drivmedel. Antagna prisnivåer utifrån Trafikverkets prisprognos B.

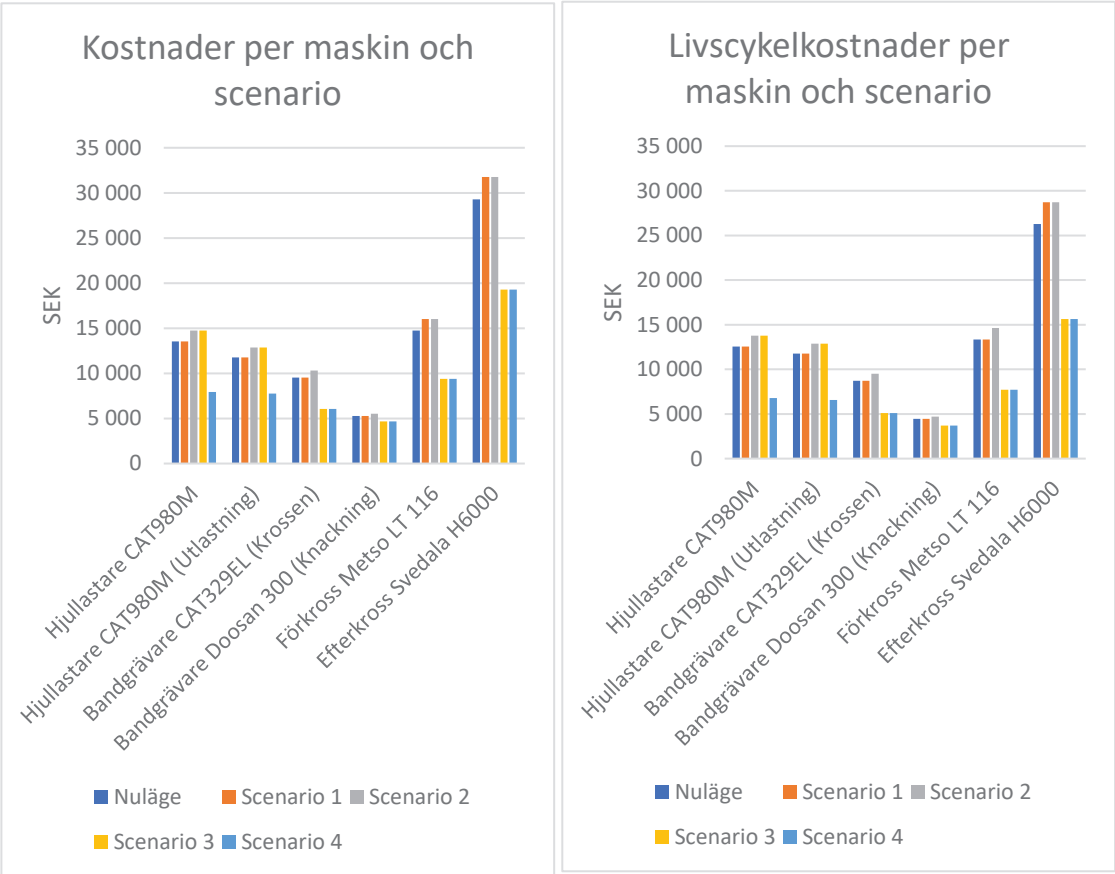
	Diesel	HVO100	El
Kr per volymenhet, 2040 (l/kWh)	23,96	26,48	1,75

Beräknad framtidsspaning antar att den inköpspremie för elektrifierade arbetsmaskiner som i dagsläget existerar inte kommer att finnas kvar år 2040. Modell 1 uppdateras därför enligt följande:

$$LCC_{it} = I_i + \sum_{t=1}^{10} T_i U_{it} + \sum_{t=1}^{10} V_i E_p T_{it} + \sum_{T=1}^{10} \ddot{O}_{it} - R_i \qquad (2)$$

Där $i = 1, \dots, 6$, $p = diesel\ MK1, HVO100, el,\ \ t = 1, \dots, 10$

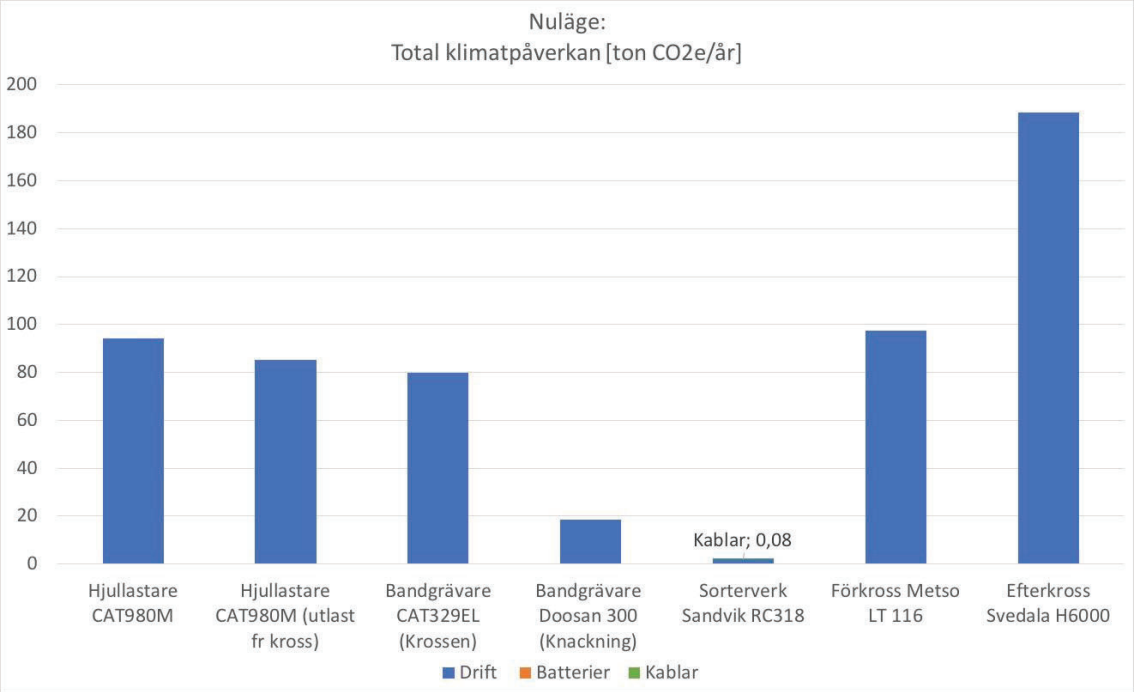
Beräknade livscykelkostnader presenteras i figur 14. Effekten av, jämfört dagsläget, betydligt lägre investeringskostnader för elektrifierade maskiner är slående. För samtliga maskiner är scenario 4 det överlägset mest ekonomiskt fördelaktiga. Intressant att lyfta är samtidigt resultatet för den arbetsmaskin med minst antal maskintimmar per år, bandgrävaren som används för knackning. Den relativa kostnadsminskningen som scenario 4 innebär jämfört nuläget är för denna maskin absolut minst. Detta belyser vikten av maskintimmar för arbetsmaskiner som elektrifieras för att möjliggöra den kostnadsbesparing bytet av drivmedel innebär.



Figur 14. Beräknade livscykelkostnader per scenario och maskin. Resultat till vänster inkluderar inte respektive maskins beräknade restvärde. Figuren till höger beskriver livscykelkostnader per maskin enligt modell 2.

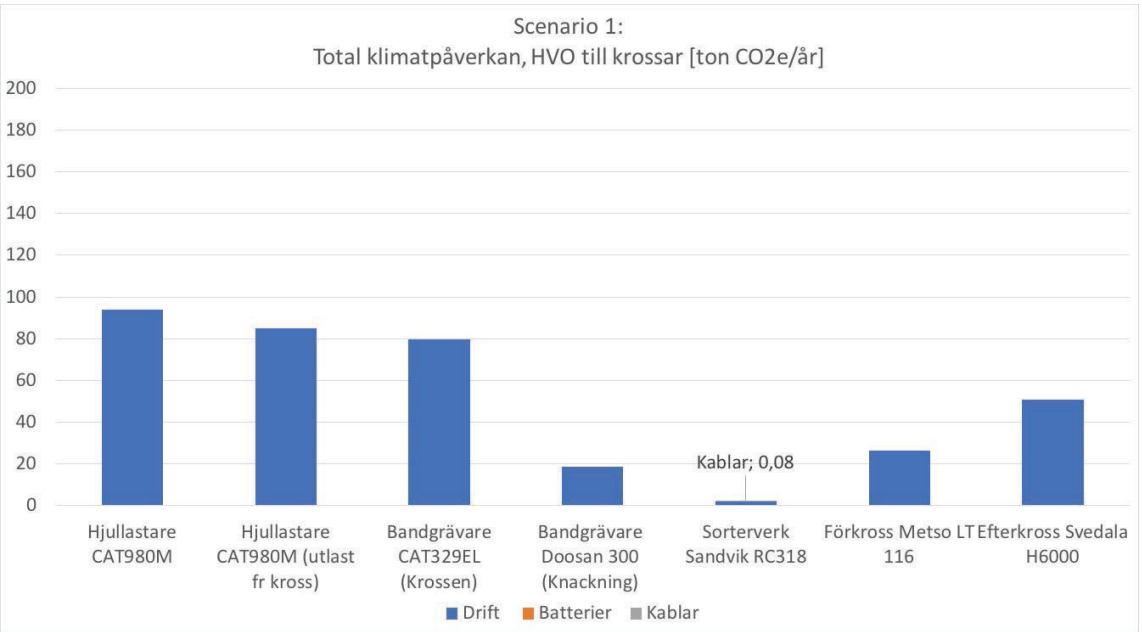
6.4 Miljösystemanalys, elektrifieringsstrategier och upphandlingskrav, kopplat till intäktsanalys och affärsmodeller

Klimatbelastningen från fallstudieanläggningen beräknades för de olika scenarierna.



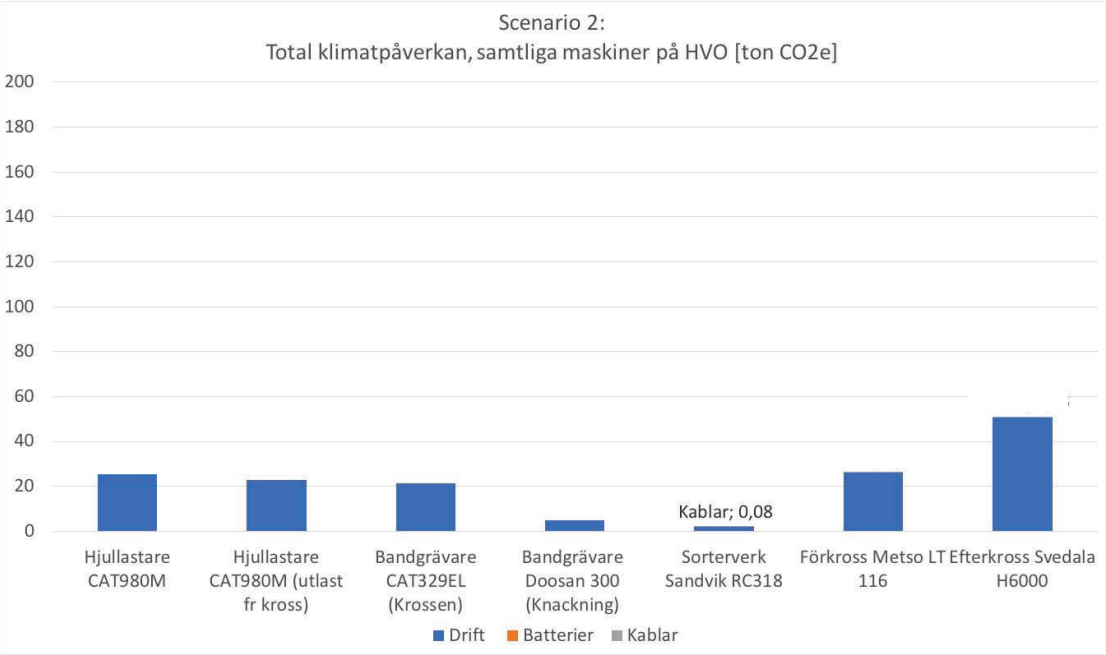
Figur 15 Klimatpåverkan för respektive maskin i nuläget

I figur 15 visas klimatpåverkan för maskinerna på Norrsätra i nuläget. Det eldrivna sorterverket har en mycket liten klimatpåverkan jämfört med övriga maskiner. Ingen av maskinerna drivs med batteri, men behovet av kabel till sorterverket är medräknat. Kabelns klimatpåverkan är dock ganska liten. För övrigt följer klimatbelastningen energiförbrukningen eftersom alla maskiner utom sorterverket antas använda diesel, och precis som i figur 6 står krossarna för den största belastningen.



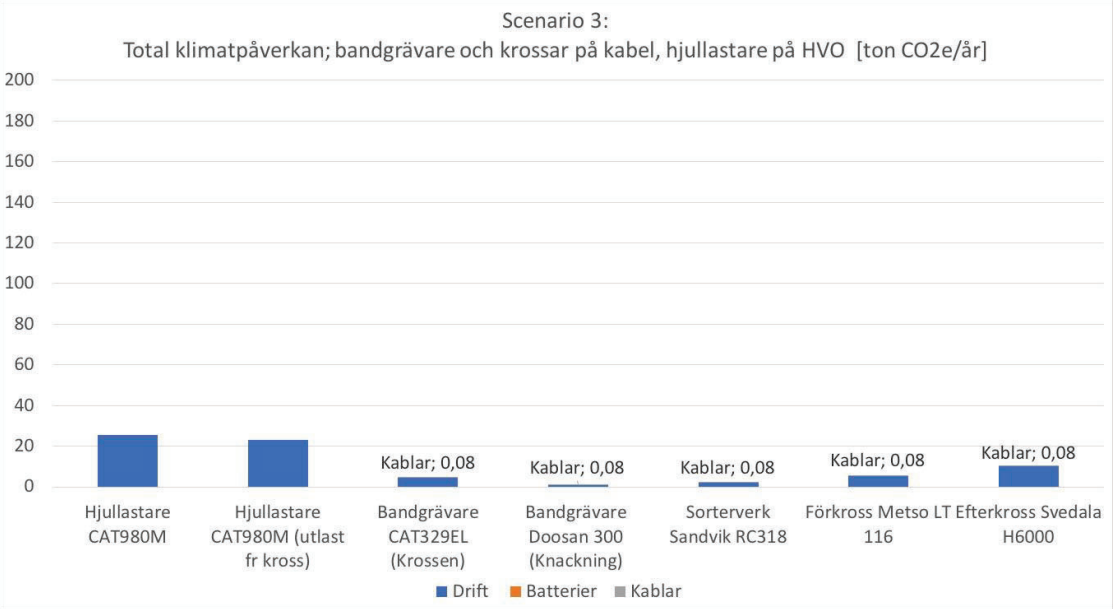
Figur 16 Klimatpåverkan för respektive maskin i scenario 1

I scenario 1, där krossarnas drivmedel har bytts från diesel till HVO är deras klimatbelastning lägre än hjullastarnas, se Figur 16. Den enkla ”förstastegsåtgärden” ger alltså ett betydande bidrag till minskad klimatbelastning.



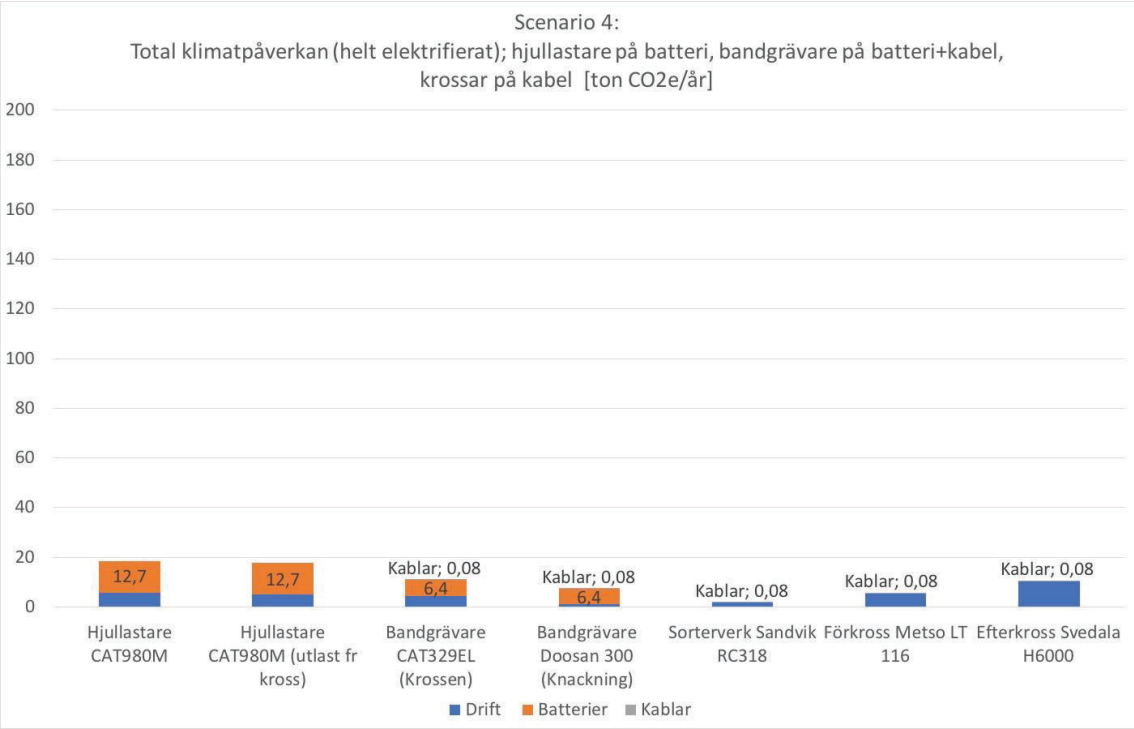
Figur 17 Klimatbelastning för respektive maskin i scenario 2

När samtliga tidigare dieseldrivna maskiners bränsle byts till HVO, som i scenario 2 i Figur 17, är återigen krossarna de största klimatbelastarna, men nu på en lägre totalnivå.



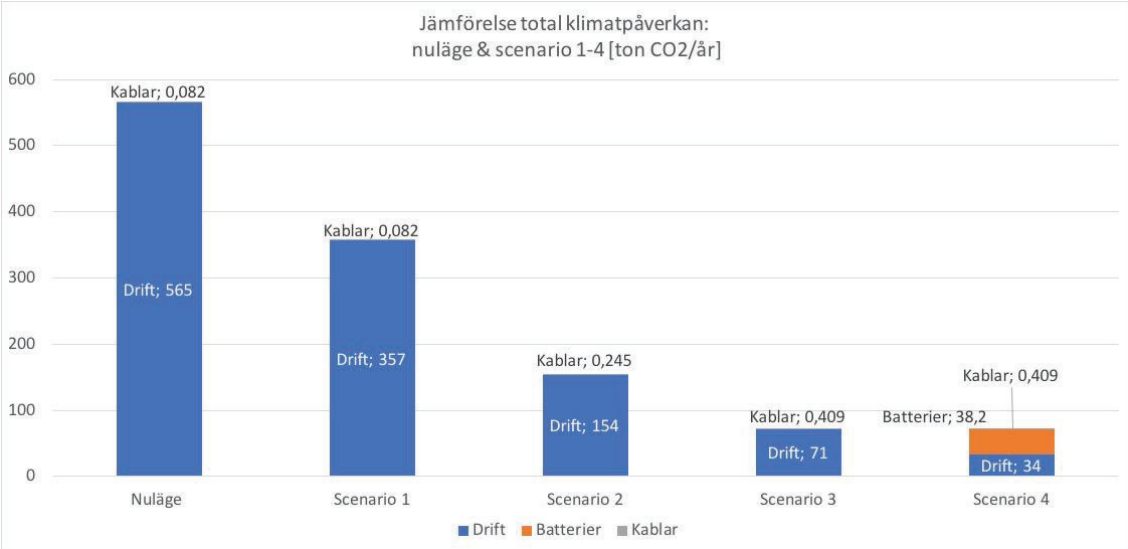
Figur 18 Klimatbelastning för respektive maskin i scenario 3

När de stationära krossarna och delvis stationära bandgrävarna elektrifieras med kabelanslutning, som i scenario 3 i Figur 18, blir deras klimatbelastning mycket liten jämfört med både nuläget och med HVO-drift. Till klimatbelastningen kommer anslutningskablarnas livscykelutsläpp, men de är mycket små i jämförelse med elens klimatbelastning.



Figur 20 Klimatbelastning för respektive maskin i scenario 4

I det framtidsvisionära helelektringsscenariot (Figur 20) är klimatutsläppen jämförbara med scenario 3. Det beror på att livscykelutsläppen för bandgrävarnas och hjullastarnas batterier äter upp mycket av klimatvinsten med att gå över från diesel till el. Här är det viktigt att komma ihåg att det ännu inte finns hjullastare med den storlek på batterier som är aktuell i scenario 4.



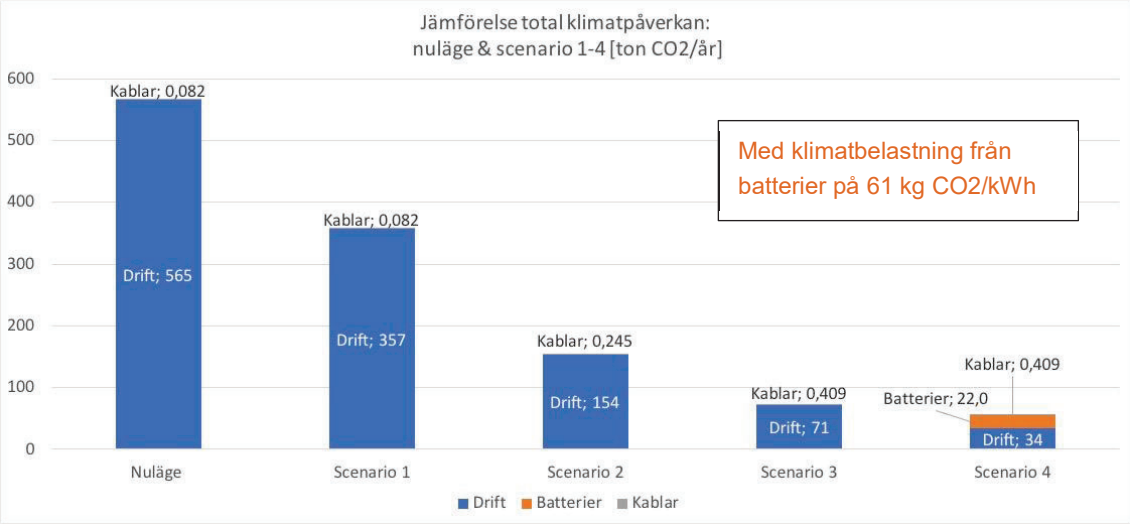
Figur 19 Jämförelse klimatpåverkan per scenario

I Figur 19 syns att alla de definierade scenarierna ger en betydande miljövinst jämfört med nuläget. Även scenariot som representerar de enklaste åtgärderna, att byta ut krossarnas diesel mot HVO, minskar klimatutsläppen med så mycket som 35%. Att byta ut all diesel på anläggningen till HVO ger en dramatisk klimatutsläppsminskning, med över 70%. Vid tolkningen av resultatet är det dock viktigt att hålla reda på att miljöbelastningen från batteritillverkning varierar dramatiskt med tillverkningsland, och att miljöbelastningen från HVO varierar från år till år. Detta diskuteras i följande två avsnitt.

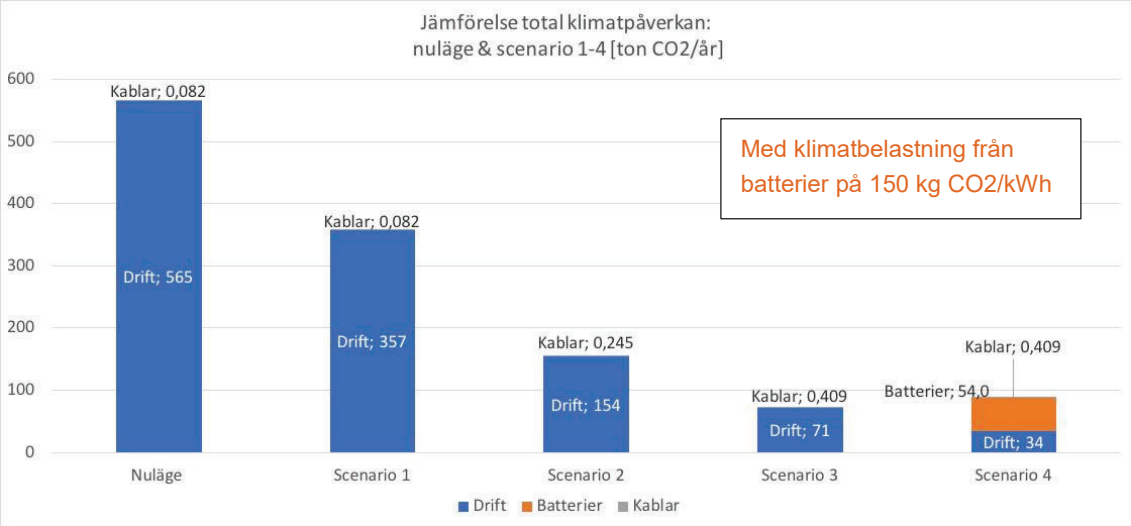
Variationer miljöbelastning batteritillverkning

Emilsson och Dahllöf (2019) hittade i sin litteraturstudie över livscykelanalyser på batterier värden på koldioxidemissioner för batteritillverkning på mellan 61 och 106 kg CO_2 per kg kWh batteri. Dessa värden gällde när enbart studier där ingångsdatan redovisats på ett transparent sätt togs med. När studier med mindre transparent rapportering togs med i sammanställningen kunde batteribelastningen vara upp till 150 kg CO_2 per kg kWh batteri.

Variationen beror framförallt på tillverkningsland och då framförallt på tillgången på fossilfri energi för batteritillverkningen. Den lägsta siffran innebär produktion med i stort sett fossilfri elmix, och de högre siffrorna har större andel fossila källor i elmixen. I scenarioanalysen räknades med ett värde på 106 kg CO_2 per kg kWh batteri. Vid detta värde ger scenario 3 och scenario 4 ungefär lika stor miljöbelastning, det vill säga det lönar sig inte miljömässigt att använda hjullastare och bandgrävare som går på batteri istället för på HVO. Däremot är miljöbelastningen från både scenario 3 och 4 lägre än för scenario 2 där alla maskiner utom sorterverket går på HVO, så elektrifiering är en viktig klimatåtgärd.



Figur 22. Jämförelse klimatpåverkan per scenario med lägre klimatbelastning från batterier



Figur 21. Jämförelse klimatpåverkan per scenario med högre klimatbelastning från batterier

I Figur 22 och Figur 21 visas scenariojämförelsen med den lägre respektive högre klimatbelastningen från tillverkning av batterier. Här blir det tydligt att valet av batteri är oerhört viktigt för batteridrivna maskiners miljöbelastning. Dels är det viktigt att dimensionera batterierna rätt så att man inte använder större batterier än nödvändigt, dels är det viktigt att välja batterier från tillverkare som använder fossilfri energi i sin produktion.

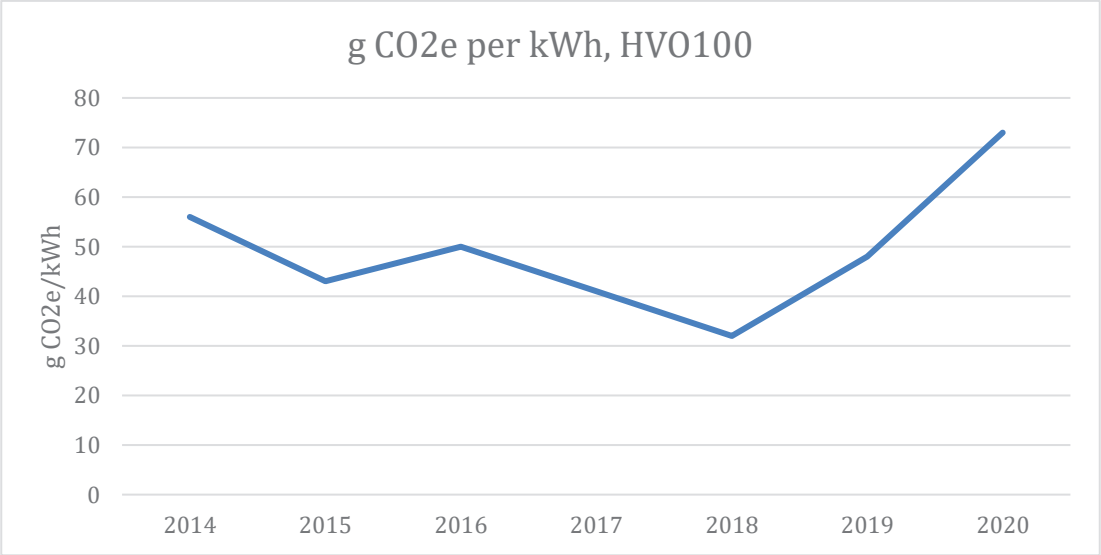
Variationer miljöbelastning HVO

Miljöbelastningen från HVO varierar från år till år, se figur 21 (Energimyndigheten, 2021). Miljövinsten med att byta från diesel till HVO kan alltså bli mindre dramatisk under år då HVO:n innehåller ”sämre” råvaror. Dessutom finns en rad osäkerhetsfaktorer gällande pris och tillgång till HVO i framtiden. Dessa beror bland annat på skattebefrielsen för biodrivmedel som utan förlängning avslutas 2022 samt reduktionspliktens framtida utformning, som just nu står inför utvärdering. Åtgärden riskerar därför att bli dyr.

Dessa osäkerheter kring HVO, tillsammans med det faktum att HVO inte minskar de lokala emissionerna, såsom NOx och partiklar, och därför inte ger någon förbättring i arbetsmiljön, gör att det finns all anledning att titta på elektrifierade lösningar, trots de stora miljöfördelarna med HVO.

Det första elektrifieringsscenariet. Scenario 3, som kan genomföras med den typ av maskiner som finns på marknaden idag (mars 2022) ger mer än 85% minskning av klimatutsläpp jämfört med nuläget. Jämfört med byggbranschens mål om halverade utsläpp till 2030 och klimatneutralitet till 2045 så skulle en anläggning som Norrsätra alltså kunna leverera, förutsatt att resurser för de nödvändiga investeringarna finns, och förutsatt att laddinfrastruktur och elnät är tillräckligt utbyggda. Som beräkningar av livscykelkostnader visat kan minskade kostnader för framförallt drivmedel över tid motivera elektrifiering av en stor del av maskinerna som används vid Norrsätra.

En helt elektrifierad anläggning, med batteridrivna hjullastare som förväntas finnas på marknaden inom några år, ger ytterligare utsläppsminskningar, upp till 90% jämfört med nuläget. Den resterande klimatbelastningen beror dels på hur elen produceras, dels på hur batterier och produceras. Detta ligger delvis inom och delvis utanför ABT:s kontroll. Elproduktionen kan till viss del påverkas genom val av elavtal med grön el. Livscykelns klimatbelastning från batterier kan variera stort, framförallt beroende på var de produceras; det går åt mycket energi för produktionen av batterier, och om batterifabrikerna ligger i områden med mycket fossil energi blir batterierna också mycket miljöbelastande. Batteriproduktion håller på att byggas upp i Sverige, där framförallt tillgången på fossilfri energi är ett argument. Det kan alltså bli viktigt för entreprenörer som ABT att ställa frågor om batteriers härkomst vid investeringar i batteridrivna maskiner.



Figur 23. Gram CO2 ekvivalenter per kWh för HVO100

7 Diskussion, slutsatser och fortsatt forskning

7.1 Miljösystemanalys, elektrifieringsstrategier och upphandlingskrav, kopplat till intäktsanalys och affärsmodeller

Scenarioanalyserna av effekterna som en omställning av ABT:s verksamhet vid Norrsätra skulle innebära ger en rad viktiga slutsatser. För att omedelbart minska den undersökta maskinparkens klimatpåverkan framstår ett byte från diesel till HVO-bränsle som ett mycket kraftfullt verktyg. Det innebär inga ytterligare investeringar i nya maskiner och ger goda förutsättningar att nå byggbranschens mål år 2030 om halverad klimatpåverkan. HVO är dessutom en lösning som kan användas för att minska klimatutsläpp från samtliga maskiner.

Till HVO-lösningens nackdel är de ytterligare kostnader det innebär jämfört diesel. En strategi för miljöanpassning av verksamheten som bygger på användning av biodrivmedel innebär därtill utsatthet inför det stora mått osäkerhet förstudien beskrivit vad gäller bränslets framtida pris och framtida klimatavtryck. Dessutom innebär drivmedelsbytet inga förändringar av de lokala emissioner i form av partiklar, NOx och buller som förbränningsmotorer ger upphov till. Att byta drivmedel från diesel till HVO framstår därför som en övergångslösning och ett delverktyg snarare än en slutgiltig lösning.

De elektrifieringsscenarier som presenterats visar goda förutsättningar att nå svenska klimatmål. Vid sidan av att kraftigt minska utsläpp av växthusgaser innebär elektrifiering även att lokala emissioner undviks. Beräkningar av livscykelkostnader för respektive scenario visar även att elektrifiering kan vara en kostnadseffektiv lösning vid rätt förutsättningar och i ett längre tidsperspektiv.

Som förstudien beskrivit skiljer sig förutsättningarna för elektrifiering åt olika delar av maskinparken emellan. De stora investeringskostnaderna för elektrifierade maskiner innebär att tillräckligt antal maskintimmar och tillräckligt höga drivmedelspriser krävs för att lösningen ska vara effektiv. Viktigast av allt att poängtera är dock att elektrifiering ännu inte möjligt för flera av de maskiner som används vid Norrsätra, eftersom inga alternativ finns på den svenska marknaden. Som marknadsundersökningen beskrivit finns bland tillverkare ambitioner och mål om att erbjuda elektrifierade maskiner av relevant typ och storlek men innan det sker är fullständig elektrifiering inget realistiskt alternativ.

Därför blir de analyserade scenarierna att betrakta som en vägledning för hur en strategi att minska klimatpåverkan och användningen av fossila drivmedel kan utformas. I dagsläget är en hybridlösning där krossar och, i viss mån, bandgrävare elektrifieras både möjlig och ekonomiskt motiverad. Detta skulle innebära särskilt stor minskning av verksamhetens samlade klimatpåverkan om det kombineras av drivmedelsbyte för hjullastare och den grävmaskin som används för knackning. Elektrifiering innebär dock ytterligare investeringar i maskiner och infrastruktur. Under en övergångsperiod är därför ett byte till HVO för samtliga maskiner motiverat ur klimatsynpunkt, om än till en ytterligare kostnad. De maskiner som ur kostnadssynpunkt är särskilt intressanta att elektrifiera, de två hjullastarna, tvingas vänta till dess att maskintillverkare kan erbjuda sådana maskiner.

En övergripande utmaning som entreprenörer med avsikt att klimatanpassa sin verksamhet står inför är det faktum att effektiva lösningar uteslutande innebär ytterligare och/eller initialt stora kostnader. De företag som väljer att inleda en omställning från fossila drivmedel riskerar därför att tvingas bära större risk, i form av stora investeringskostnader i nya maskiner och ny infrastruktur, eller att bli mindre konkurrenskraftiga, tack vare större löpande kostnader för drivmedel, jämfört företag som inte inleder samma satsning. Det krävs därför att utmaningarna tydligt medvetandegörs gentemot kunder, beställare och köpare av maskintjänster. Effektiv klimatanpassning kräver sannolikt att kostnaderna för den kan spridas i flera led.

Detta kan till exempel ske genom upphandlingskrav där utvärderingen av anbud till viss del uttryckligen baseras på anbudsgivarens möjlighet att påvisa minskad klimatpåverkan genom användningen av maskiner som drivs på el eller biodrivmedel. Metoden har testats med varierande framgång i Norge (Samferdselsdepartementet, 2021). Detta skulle potentiellt ge entreprenörer beredda att investera i

klimatsmarta energilösningar möjlighet att konkurrera på jämbördiga villkor. Att beställare generellt och den offentliga sektorn specifikt är beredda att prissätta och värdera klimatanpassning i samband med upphandling är sannolikt avgörande under en övergångsperiod. Som framtidsspaningen visat finns goda förhoppningar att elektrifiering i framtiden kommer vara direkt ekonomiskt gynnsamt men innan det sker kan andra incitament krävas.

8 Spridning och publicering

8.1 Kunskaps- och resultatspridning

Hur har/planeras projektresultatet att användas och spridas?	Markera med X	Kommentar
Öka kunskapen inom området	X	
Föras vidare till andra avancerade tekniska utvecklingsprojekt	X	
Föras vidare till produktutvecklingsprojekt		
Introduceras på marknaden		
Användas i utredningar/regelverk/ tillståndsärenden/ politiska beslut	X	

Projektet kopplar till flera pågående projekt och uppdrag, både inom FFI-programmet och utanför. Några viktiga kopplingar är till FFI-finansierade ”Med utsikt från förarplatsen” där ett praktiskt test och demonstration av en ellastbil och batterilager genomförs i Stockholms stad. Starka kopplingar finns även till projektet ”Elektrifiering av tunga lastbilar genom smart samverkan i energisystemet” finansierat av Europeiska regionala utvecklingsfonden/Energimyndigheten där ellastbil testas i en verksamhet med långa transportavstånd.

8.2 Publikationer

Projektet resulterade i ett examensarbete, med planerad publicering i maj 2022:
Hanna Lillestöl, ”Hållbar hybridarbetsplats”, 2022, SLU

9 Deltagande parter och kontaktpersoner

Organisation	Kontaktperson	Email	
ABT Bolagen	Fabian Wrede	fabian.wrede@abtbolagen.se	
Ecoloop	Ann Segerborg-Fick	ann.segerborg-fick@ecoloop.se	

10 Referenslista

Cole, W. A., Frazier, W. och Augustine, C. för National Renewable Energy Laboratory. (2021) *Cost projections for utility scale battery storage: 2021 update*. (NREL/TP-6A20-79236)

Ds Fi2022/01024. *Tillfälligt sänkt skatt på bensin och diesel*. https://www.regeringen.se/rattsliga-dokument/departementsserien-och-promemorior/2022/03/tillfalligt-sankt-skatt-pa-bensin-och-diesel/

Ds I2022/00725. *Pausad höjning av reduktionsplikten för bensin och diesel 2023*. https://www.regeringen.se/rattsliga-dokument/departementsserien-och-promemorior/2022/03/pausad-hojning-av-reduktionsplikten-for-bensin-och-diesel-2023/

Edwards, H. och Grudemo, S. (2021). *Samhällsekonomisk analys för utbyggnad av elvägar respektive laddstationer för tung trafik längs det statliga vägnätet - underlagsrapport till ett regeringsuppdrag*. (Trafikverket rapport: 2021:018)

Eldrivna arbetsmaskiner – klimatpremien som kammade noll. (2021). Aktuell Hållbarhet. Tillgänglig från https://www.aktuellhallbarhet.se/miljo/mobilitet/eldrivna-arbetsmaskiner-klimatpremien-som-kammade-noll/ (2022-03-30)

Emilsson, E. och Dahllöf, L. för IVL. (2019) *Lithium-Ion Vechicle battery production – Status 2019 on Energy Use, CO_2 Emissions, Use of Metals, Products Environmental Footprint, and Recycling.* (C 444)

Energimyndigheten, (2021). *Drivmedel 2020 – Redovisning av rapporterade uppgifter enligt drivmedelslagen, hållbarhetslagen och reduktionsplikten*. (Energimyndigheten ER 2021:29)

Gransberg, D.D och O'Connor, E. P. (2015). *Major equipment life-cycle cost analysis*.

Lillestöl, H. (2022). *Hållbar hybridbyggarbetsplats.* Examensarbete, SLU

Miljödepartementets förordning 2020:750 om statligt stöd till vissa miljöfordon (SFS 2020:750)

Myndigheten för tillväxtpolitiska utvärderingar och analyser. (2018). *Metaller och deras betydelse för produkters klimatavtryck - Underlag till regeringsuppdrag om spårning och märkning av metaller.* (2018/073)

Naturvårdsverket. (2018). *Arbetsmaskiners klimat- och luftutsläpp – redovisning av regeringsuppdrag om kartläggning och förslag för minskade utsläpp.*

Naturvårdsverket. (2022). *Arbetsmaskiner, utsläpp av växthusgaser*. Tillgänglig från https://www.naturvardsverket.se/data-och-statistik/klimat/vaxthusgaser-utslapp-fran-arbetsmaskiner/ (2022-04-01)

Natanaelsson, K., Lindgren, M., Rydén, E., Hasselgren, B., Palo, K. och Grudemo, S. (2021). *Analysera förutsättningarna och planera för utbyggnad av elvägar*. (Trafikverket rapport: 2021:013).

Ny skatt på miljöbränsle – höjs till 30 kr per liter. (2022). Dagens PS, 5 januari. Tillgänglig från https://www.dagensps.se/motor/ny-skatt-pa-miljobranslen-hojs-till-30-kr-per-liter/ (2022-03-30)

Segerborg-Fick, A., Dunér, F., och Lundberg, K. (2021). *Fossilfria och nollutsläpps arbetsmaskiner*. (Trafikverket 2020/119998)

Regeringskansliet (2022). *Regeringen ansöker om fortsatt skattebefrielse för flytande biodrivmedel*. (Pressmeddelande 2022-02-14)

Regeringskansliet (2022). *Regeringen presenterar åtgärdsförslag för att möta prisökningar på drivmedel och el till följd av invasionen av Ukraina*. (Pressmeddelande 2022-02-14)

Sveriges Riksbank (2022). *High energy prices – how will other consumer prices be affected* i *Monetary policy report february 2022*.

Samferdselsdepartementet. (2021). *Handlingsplan for fossilfrie anleggsplasser innen transportsektoren*.

Trafikverket (2020). *Analysmetod och samhällsekonomiska kalkylvärden för transportsektorn: ASEK 7*.

Trafikverket (2021). *Klimatkrav i byggskede underhåll och på tekniskt godkänt byggmaterial*. (Trafikverket TDOK: 2015:0480).
Upphandlingsmyndigheten och konkurrensverket. (2020). *Statistik om offentlig upphandling 2020*.

Wethal Helljesen, Sjur (2022). Senior rådgivare för klimat- och kundlösningar vid Nasta AS. Intervju mars 2022.

Wiik, M. K., Haukaas, N.O, Ibsen, J. I, Lekanger, R., Thomassen, R., Sellier, D., Schei, O. O., och Suul, J.. (2020). *Nullutslippsgravemaskin - LÆRINGSUTBYTTE FRA ELEKTRIFISERING AV ANLEGGSMASKINER*. Oslo: Sintef akademisk forlag.