



Hur påverkar hälsoeffekter planeringen av elektrifierade byggarbetsplatser?

Sara Janhäll, Anders Genell och Hanna Askemar

RISE Rapport 2023: 108

# Hur påverkar hälsoeffekter planeringen av elektrifierade byggarbetsplatser?

Sara Janhäll, Anders Genell och Hanna Askemar

# Abstract

## **How does health and environment affect electrification of working sites?**

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

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

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

Nyckelord: elektrifiering, byggarbetsplats, luftkvalitet, buller, planering

RISE Research Institutes of Sweden AB

RISE Rapport 2023:108

ISBN: 978-91-89821-88-0

Omslagsbild: Sara Janhäll

Borås 2023

# Innehåll

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

# Förord

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

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

# Sammanfattning

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

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

# 1 Bakgrund

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

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

I Göteborgs stads miljö- och klimatprogram finns generellt uppsatta mål för att minska exponeringen av luftföroreningar för människor där de spenderar mycket tid, vid bostäder och följt av barns extra utsatthet även vid förskolor (Göteborgs Stad, 2023). Vägtrafik anges som det enskilt största bidraget till luftföroreningar på dessa platser. En bygg och anläggningsplats är, om än tillfällig, ett tillskott till de redan existerande föroreningarna på en specifik geografisk plats som riskerar att höja föroreningskoncentrationer på redan utsatta platser än mer. Målsättningen i Göteborg är att minska utsläpp av växthusgaser ur ett livscykelperspektiv från ny- och ombyggda byggnader och anläggningar i Gbg stads regi samt vid ny-exploatering på mark med markanvisningar ska minska med 50 % koldioxidekvivalenter/m<sup>2</sup> till 2025, och 90 % koldioxidekvivalenter/m<sup>2</sup> till 2030.

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

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

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

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

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

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

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

## 2 Metod

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

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

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



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

## 2.1 Vem kan ställa krav på elektrifiering av arbetsmaskiner?

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

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

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

## 2.2 Modeller för att planera prioriteringen av elektrifiering av arbetsmaskiner

### 2.2.1 Spridningsberäkningar

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

### 2.2.2 Prioriteringsmodellen

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

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

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

## 3 Resultat

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

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

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

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

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

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

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

### 3.1.1 Variabler som påverkar emissionerna

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

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

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

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

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

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

### 3.1.2 Spridningsberäkningar

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

Vid byte av en eller flera arbetsmaskiner till elektrifierade maskiner försvinner de lokala utsläppen av avgaser (luftföroreningar, såsom kväveoxider (NO<sub>x</sub>) och partiklar) helt för de maskinerna och istället påverkas jämförelsen främst av emissionerna från de dieseldrivna arbetsmaskiner som *hade kunnat användas istället*. Avgasemissionerna från traditionella arbetsmaskiner är idag inte sammanställda i en användbar emissionsmodell där emissionerna från olika arbetsmoment beskrivs på ett lagom detaljerat sätt. Det är heller inte en lämplig uppgift för ett arbete kring elektrifiering att skapa detaljerade emissionsmodeller för fossila arbetsmaskiner. Vid spridningsberäkningar för avgasutsläpp från elektriska arbetsmaskiner blir utfallet av naturliga skäl noll.

I större byggprojekt görs en utredning av buller med gängse metod för industribuller (ISO 9613-2) och för luftkvalitet med olika spridningsmodeller (t.ex. SIMAIR<sup>1</sup>). Att jämföra ett antal beräkningar av en eller flera elektrifierade arbetsmaskiner som utför olika arbetsuppgifter med beräkningar av traditionella arbetsmaskiner som utför samma arbetsuppgifter skulle vara ett möjligt sätt att utvärdera effekten. Detta är dels relativt omfattande, både att skapa det flertal kartunderlag och identifiera emissionsdata från traditionella arbetsmaskiner för de specifika arbetsuppgifter med mera som krävs, och dels skulle den beräkning som utförs innan projektet vara helt annorlunda än den situation som sedan genomfördes, i och med att planeringen av byggarbetsplatser, enligt erfarenheter från denna studie, inte är detaljerad nog. Om

<sup>1</sup> <https://www.smhi.se/tema/simair>

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

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

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

### 3.1.3 Andra emissioner än från arbetsmaskin

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

## 3.2 Hur prioriterar vi i praktiken?

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

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

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

### 3.2.1 Prioriteringsmodellen

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

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

För att påverka exponeringen för buller och luftföroreningar finns

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

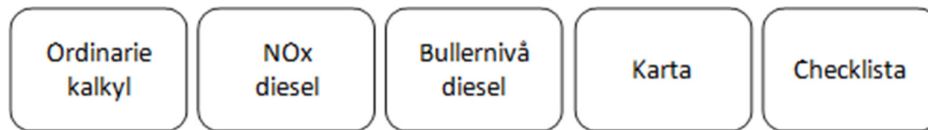
Genom att estimerar de olika faktorer som kan bidra till olika former av exponering i närheten av byggplatsen och genom kartunderlag för bedömning av avstånd till känsliga miljöer så kan en ranking slutligen göras av vilka arbetsmoment som bäst gynnas av att genomföras med elektrifierade arbetsmaskiner.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

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



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

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



Figur 1. Beräkningssteg för prioriteringsmodellen.

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

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

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

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

Modellen använder det underlag som fylls i på följande sätt:

- Avståndet till känsliga miljöer bestämmer bullernivå utifrån maskinernas bulleremission. Eftersom det är den relativa bullernivån som är intressant tas inte hänsyn till korrekt markimpedans utan en schablon används baserad på Nordisk beräkningsmodell reviderad 1996.
- Eventuell nyttjandefaktor som beskriver den del av tiden som maskinen går med full kapacitet används för att beräkna medelnivå av användande, dvs bulleremission samt avgasemission.
- En faktor för hur stor del av arbetet som innebär bulleremission från t.ex. massahantering används för att minska skillnader mellan elektrifierade och dieseldrivna arbetsmaskiner där källan är oberoende av arbetsmaskinens buller.
- Avseende luftföroreningar påverkar andra källor såsom damm inte halterna av avgaser, medan partikelutsläppen (PM<sub>10</sub>) påverkas mer av damm än av avgaspartiklar.
- Om arbetet sker i en miljö där miljö kvalitetsnormerna för luft är i närheten av att överskridas är det av särskild vikt att begränsa avgasutsläppen och elektrifiera arbetsplatsen för att undvika överskridanden.
- Typ av känslig miljö bestämmer vilken bullerkänslighet som används i enlighet med Naturvårdsverkets riktlinjer. Är det t.ex. en skola i närheten så "straffas" bullernivå med +5dB så att alla bullernivåer normeras för de olika typerna av känslig miljö.
- Sker arbete kvälls- eller nattetid görs motsvarande normering för riktvärden nattetid.
- Avseende luftkvalitet gäller begränsningarna oberoende av antalet exponerade, och fördelen med att begränsa antalet exponerade finns i verkligheten, men inte i lagsystemet. Däremot finns stora skillnader mellan de tillåtna halterna i arbetsmiljö och för allmänheten, vilket ingår i modellen.

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

### 3.3 Vem har rätt att ställa krav?

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

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



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

### 3.3.1 Kommuners ansvar för halter av luftföroreningar och nivåer av buller

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

#### 3.3.1.1 Miljökvalitetsnormer och lagstiftning

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

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

Avseende luftkvalitet gäller främst miljökvalitetsnormerna (MKN) för olika luftföroreningar i utomhusluft (och även gränsvärden för arbetsmiljö där så är tillämpligt). Gränsvärdena läggs i MKN på nivåer som kan anses acceptabla med hänsyn till miljö- och hälsoaspekter (Naturvårdsverket, 2019). MKN i relation till avgaser, vilket är det som påverkas vid elektrifiering av byggarbetsplatser, är främst kväveoxider (NO<sub>x</sub>), partiklar (PM<sub>10</sub>, PM<sub>2,5</sub> samt avseende utsläpp även partikelantal PN) och i viss mån flyktiga organiska ämnen (VOC). NO<sub>x</sub> härstammar i detta sammanhang framförallt från förbränning i icke eldrivna fordon medan partiklar i olika storlekar emitteras vid förbränning (främst små partiklar), slitage av vägunderlag, bromsar och däck samt damning från arbetsprocesser, trafik och väderlek. Hälsoeffekterna vid exponering för NO<sub>x</sub> och partiklar är sjukdomar kopplade till hjärta, kärl och lungor. Vid starkt trafikerade gator överstiger flera av Sveriges tätorter MKN för NO<sub>x</sub>, men utsläppstrenden är, om än långsamt, avtagande. De totala utsläppen av partiklar har de senaste tio åren varit nästan konstanta. En del utsläppstrender för partiklar i gatumiljö är avtagande men spridningen är komplex med bland annat långväga lufttransport av fina partiklar från Europa. Tabell 1 beskriver vilka gräns- och målvärden som ställs i MKN på dessa luftföroreningar.

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

Luftförorening	Medelvärde	Gränsvärde (GV) / Målvärde (MV)
<b>NO<sub>2</sub></b>	Timme	90 µg/m <sup>3</sup> GV Får överskridas 175 ggr/år, förutsatt att 200 µg/m <sup>3</sup> inte överskrids mer än 18 ggr /år
	Dygn	60 µg/m <sup>3</sup> GV Får överskridas 7 ggr/år
	År	40 µg/m <sup>3</sup> GV
<b>NO<sub>x</sub> regional bakgrund</b>	År	30 µg/m <sup>3</sup> GV
<b>PM10</b>	Dygn	50 µg/m <sup>3</sup> GV Får överskridas 35 ggr/år
	År	40 µg/m <sup>3</sup> GV
<b>PM2,5</b>	År	25 µg/m <sup>3</sup> MV 25 µg/m <sup>3</sup> GV

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

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

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

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

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

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

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

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

### 3.3.1.2 Frivilliga miljöpolicy

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

Samtidigt blir dessa krav lätt komplexa och därför svåra att kommunicera utåt. De flesta miljöpolicyer relaterar till uppföljningsbara mål och tydlighet och utveckling av tydliga och lätt kommunicerade krav på hur arbetsplatser ska elektrifieras relaterat till bullernivåer och luftföroreningar är en utmaning. Exempel på olika miljöpolicyer som kan användas här är de lägre halter än MKN som används i miljömål etc och således överskrids i större områden. Utmaningar kring mätningar och uppföljning av dessa halter är ofta av samma typ som för MKN. Andra exempel är LFM30<sup>2</sup> och Gemensamma krav för entreprenader (Trafikverket, 2018).

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

Exempel på denna typ av kommunala policyer är miljömål med lydelse liknande ”halten kvävedioxid vid bostäder skolor och förskolor i Mölndal inte överskrida 60 µg/m<sup>3</sup> luft fler än 175 timmar per år eller 20 µg/m<sup>3</sup> luft som årsmedelvärde” (Mölndals stad, 2014). Göteborgs miljöplan säger att ”Alla förskolegårdar och bostäder ska ha en kvävedioxidhalt (NO<sub>2</sub>) understigande 20 mikrogram per kubikmeter”, eller 15 µg/m<sup>3</sup> för partiklar, mätt som PM<sub>10</sub> (Göteborg stad, 2022). Här kommer kommunen själv att behöva bekosta mätningar för att påvisa om ngn näraliggande byggarbetsplats har orsakat att miljömålen inte klaras.

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

<sup>2</sup> <https://lfm30.se>

### 3.3.2 Kravställning med hjälp av planmonopolet

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

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

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

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

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

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

### 3.3.3 Kravställning vid upphandling, styrdokument

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

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

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

Saxat ur "Vägledning till gemensamma miljökrav för entreprenader".

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

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

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



### 3.3.4 Kravställning vid upphandling, process

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

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

## 4 Diskussion

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

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

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

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

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

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

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

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

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



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

## 5 Slutsats

Projektet föreslår:

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

## 6 Referenser

- Boverket (2023). <https://www.boverket.se/sv/PBL-kunskapsbanken/planering/detaljplan/lamplighetsbedomning/mkn/>, besökt 2023-09-05
- Brydolf, M. & C. Johansson (2010) Avståndets betydelse för luftföroreningshalter vid vägar och tunnel-mynningar JÄMFÖRELSE MELLAN UPPMÄTTA OCH BERÄKNADE HALTER AV KVÄVEOXIDER (NO<sub>x</sub>), LVF 2010:22, Stockholms och Uppsala läns luftvårdsförbund
- Garção, Magnusson, Franzén (2023). Electric Worksite II - Metodutveckling för Hållbarhetsanalys, Jämförelse mellan konventionell och elektrifierad arbetsplats ur hållbarhetsperspektiv, NCC Teknik
- Göteborgs stad (2017). [Checklista+Miljöanpassat+byggande+2.0-2017.pdf \(goteborg.se\)](#), besökt 2023-05-22
- Göteborgs stad (2019). Göteborgs stads miljö- och klimatprogram 2021-2030, <https://goteborg.se/wps/portal/start/kommun-och-politik/sa-arbetar-goteborgs-stad-med/hallbarhet-och-agenda-2030/program-och-planer-for-miljo-och-klimat/miljo--och-klimatprogram-for-goteborgs-stad-2021-2030>, besökt 2023-06-01
- Göteborgs stad (2023). *Göteborgs Stads miljö- och klimatprogram 2021-2030*. N010G00732 Version: 4. (H 2021 nr 43, P 2021-03-25 § 18, Dnr 0409/19; H 2021 nr 269, P 2022-01-27 § 10, Dnr 0110/21. H 2023 nr 3, P 2023-01-26 § 20, Dnr 0044/22)
- Haeger-Eugensson, Bjurbäck, Nygren, Janhäll, Hultberg, Gustavsson, Achberger, García, Lindstein (2018). *Damning och buller vid byggarbetsplatser*, COWI, VTI LFM30, <https://lfm30.se>, besökt 2023-09-28
- Mawdsley, Ingrid., Helbig, Tobias. 2021. *Kartläggning av eldrivna arbetsmaskiner*. SMED Svenska MiljöEmissionsData. SMED Rapport Nr 3 2021. Sveriges Meteorologiska och Hydrologiska Institut. Norrköping. ISSN: 1653-8102
- Mölnadal stad (2014). *Mölnadals miljömål 2022*, Mölnadal <https://www.molndal.se/download/18.53808c8a15893b227318b40/1553599947845/miljomal.pdf>, besökt 2022-10-22
- Naturvårdsverket (2019). *Luftguiden*, <https://www.naturvardsverket.se/publikationer/0100/luftguiden-version-4/>
- Naturvårdsverkets allmänna råd (2004:15) om buller från byggplatser
- Trafikverket (2022). TDOK 2015:0480 Klimatkrav i planläggning byggskede underhåll och på tekniskt godkänt järnvägsmateriel, Trafikverket
- Trafikverket. (2018). *Gemensamma krav för entreprenader*. [Miljökrav i entreprenader - Bransch \(trafikverket.se\)](#)

Trafikverket (2018). *Vägledning för gemensamma krav för entreprenader*.  
[https://bransch.trafikverket.se/contentassets/f8269da30deo47a38b10a76f80fcb43c/vagledning\\_2018\\_rev-2021-03-02.pdf](https://bransch.trafikverket.se/contentassets/f8269da30deo47a38b10a76f80fcb43c/vagledning_2018_rev-2021-03-02.pdf)

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

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

## Lagar och standarder:

Sveriges rikets lag: 1998:1707 samt 1998:1709

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

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

EU-förordning 2013/167

ISO 9613-2

# Bilaga 1 – Beslutsstödsmodell

## *Enkelt beräkningsstöd för miljöeffekter av elektrifiering av arbetsmaskiner*

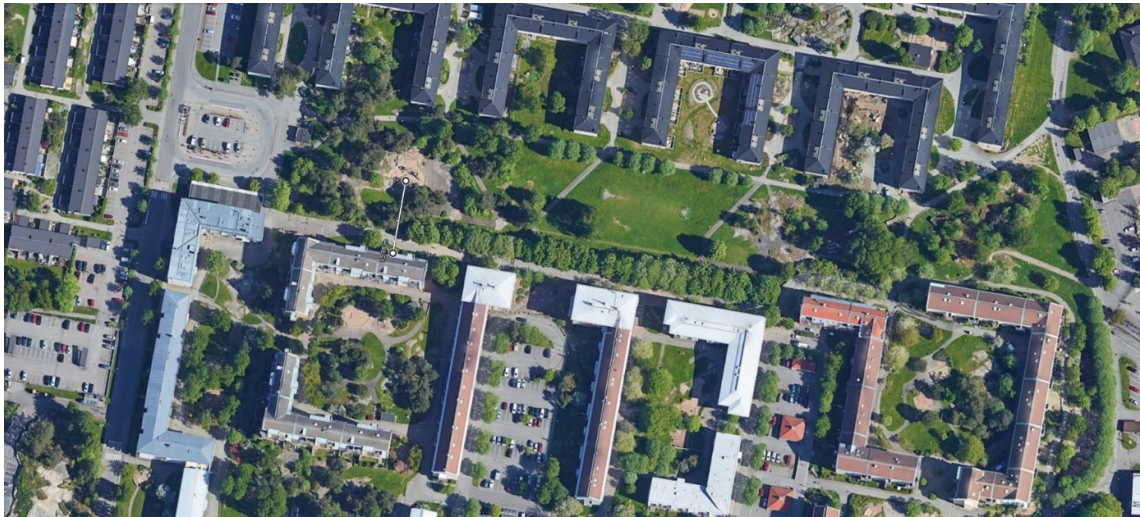
I denna bilaga presenteras den modell som kan användas som beräkningsstöd när man skall bestämma den lämpligaste arbetsmaskinen att elektrifiera med hänsyn till lokala miljöeffekter. Modellen presenteras genom en exempelkalkyl för ett påhittat byggprojekt som baseras på olika underlag. Underlaget för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



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

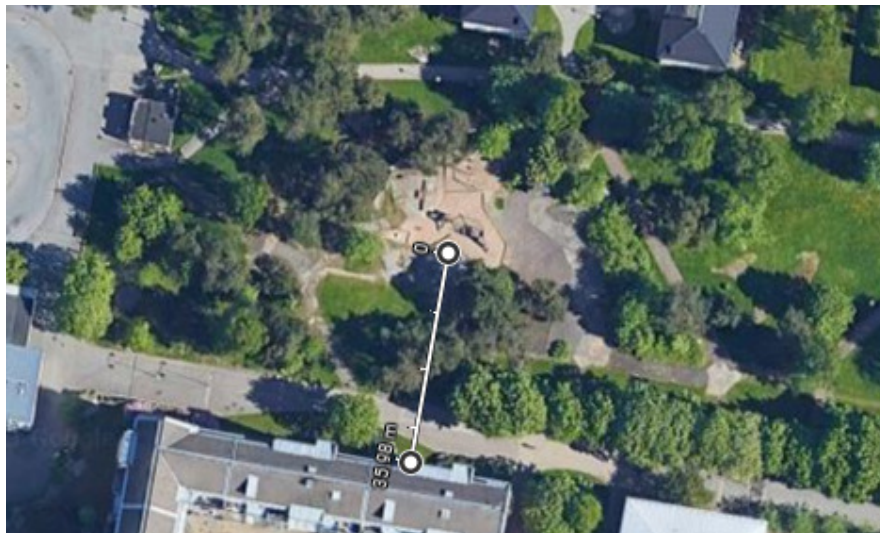


I det tänkta byggprojektet skall två grävmaskiner arbeta i området Högsbohöjd i Göteborg (Figur 1) för att bygga en lekplats och bygga om ett torg. Detta projekt har verkligen genomförts i början av 2020-talet, men kalkylerna för maskinval, drivmedel och arbetstid från arbetet med lekplatsen och torgmiljön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



Figur 2. Satellitbild över del av Högsbo höjd.

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



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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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



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

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

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

- ljudeffektnivå för arbetsmaskinen
- NOx-emissionsfaktor, eller annan avgasemission, för arbetsmaskinen<sup>3</sup>
- andelen av tiden som maskinen skall köras under full last
- avstånd till bostad/sjukhus, skola och kontor
- veckodagar då arbetet skall utföras
- tid på dygnet då arbetet skall utföras
- totala antalet timmar maskinen används för arbetet
- aktivitetens egenbuller
- förekomst av kringbyggd innergård

---

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

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

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

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

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

där L<sub>w</sub> beräknas enligt

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

där L<sub>x</sub> kan anta samma värde som L<sub>wfull last</sub> (100dBA i detta fall) för bullriga aktiviteter som hantering av sprängsten eller oDBA för ickebullrande aktiviteter och där Gr kan anta värdet 1 om maskinen står på kringbyggd innergård eller 0 om maskinen står utanför innergård, vilket sedan multipliceras med 3 dBA för att representera den ökade ljudnivån på kringbyggd innergård.

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

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

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

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

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

För luftföroreningar beräknas den lokala halten med en gaussisk spridningsmodell enligt

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

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

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

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

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

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

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

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

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



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

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