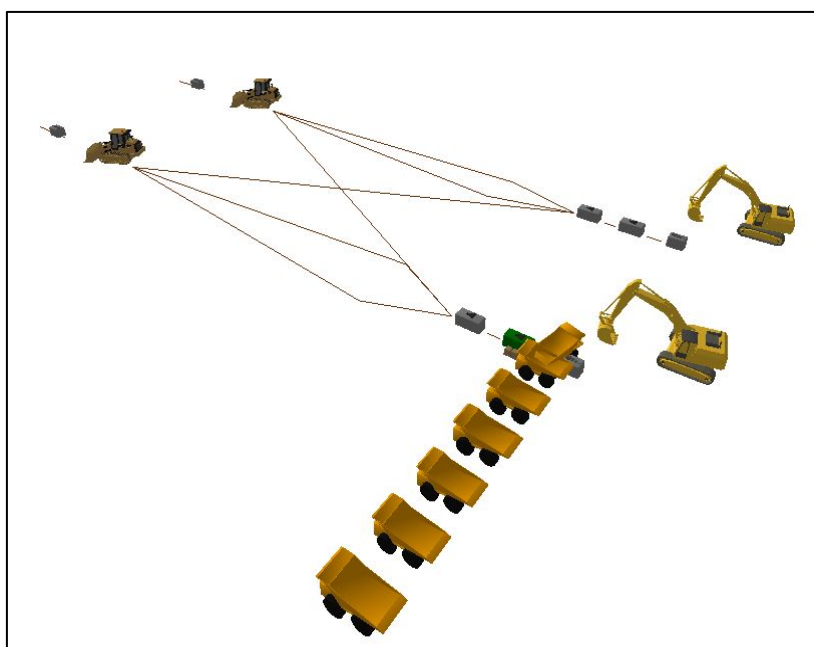


Planering för ökad effektivitet och minskade CO2-utsläpp i infrastrukturprojekt



Jan Krantz

2019-01-10

Förord

I denna rapport redogör jag för resultaten av ett 2-årigt forskningsprojekt med titeln ”Planering för ökad effektivitet och minskade CO₂-utsläpp i infrastrukturprojekt” finansierad av Svenska Byggbranschens Utvecklingsfond (SBUF). Som huvudsaklig utförare av projektet och författare till denna rapport vill jag tacka SBUF för det finansiella stödet. Jag vill också tacka för allt stöd i forskningen från både projektgrupp och referensgrupp.

Projektgruppen bestod av:

Jan Krantz	LTU	Doktorand och utförare av projektet
Johan Larsson	LTU	Projektledare SBUF projektet och biträdande handledare
Thomas Olofsson	LTU	Projektkoordinator och vetenskaplig huvudhandledare
Bo Johansson	NCC	Teknisk Specialist och bollplank

Referensgruppen bestod av:

Staffan Hintze	NCC	Chef Forskning och Utveckling
Magnus Alfredsson	NCC	Chef produktionsutveckling Anläggning

Jan Krantz

Luleå, januari 2019

Sammanfattning

Byggande av Transportinfrastruktur står för en ökande andel av Sveriges koldioxidutsläpp varpå Trafikverket har börjat ställa krav på entreprenörer att minska dessa utsläpp. En stor andel av utsläppen kommer från materialets försörjningskedjor samtidigt som en stor andel av byggandeprocessernas utsläpp fastställs i samband med att produktens utformning bestäms, vilka entreprenören har begränsad möjlighet att påverka. Entreprenörens huvudsakliga möjlighet att minska utsläppen ligger istället i att effektivisera maskinganvändning och processer på bygget. I detta forskningsprojekt har två praktiskt tillämpbara verktyg utvecklats för att minska koldioxidutsläppen i transportinfrastrukturprojekt utifrån entreprenörens perspektiv. I ena verktyget har de strategiska, taktiska och operationella beslutsnivåerna för Eco-Driving applicerats på dumpertafik för att möjliggöra minskningar av koldioxidutsläpp. Det andra verktyget skapades för jämföra olika maskinkonfigurationer för masshanteringsprocesser. Verktygen demonstrerades i ett fallstudieprojekt där simulering användes för att modellera flertalet olika scenarier och alternativ. Resultaten visade att verktygen möjliggör effektivare processer vilket inte bara kan ge minskningar av koldioxidutsläpp, utan kan också bidra till minskade kostnader och kortare tidsåtgång. Detta ger möjlighet för entreprenörer att på ett bättre sätt avväga mellan finansiella och miljömässiga projektbegränsningar.

INNEHÅLL

FÖRORD.....	1
SAMMANFATTNING.....	2
BAKGRUND.....	4
SYFTE	4
GENOMFÖRANDE.....	4
FALLSTUDIE	4
ECO-HAULING.....	5
FÖRDELNING AV ARBETSMASKINSKONFIGURATIONER.....	6
SLUTSATSER	8
FRAMTIDA FORSKNING	8
REFERENSER	9

Bakgrund

Utsläppen av koldioxid från byggandeprocesser i Sverige uppgår till ca 10 miljoner ton koldioxidekvivalenter årligen, varav transportinfrastrukturprojekt står för ca 30 % av dessa utsläpp [1]. Detta är en utsläppsandel som ökar både jämfört med övrigt byggande och det svenska näringslivet i stort [2]. För att vända utvecklingen har Trafikverket börjat ställa krav på entreprenörer att minska sina utsläpp och senast 2045 leverera helt klimatneutral transportinfrastruktur [3]. Trafikverket har utvecklat verktyget "Klimatkalkyl" för att bedöma utsläppsnivåer för projekt och föreslagna utsläppsminskande åtgärder ur ett livscykelperspektiv [4]. Livscykelanalyser (LCA) möjliggör att direkta och indirekta utsläpp från materialtillverkning, materialtransporter, byggande, drift och underhåll kan bedömas [5]. För transportinfrastrukturprojekt är det framförallt användandet av stora dieseldrivna maskiner i byggandet, såsom grävmaskiner och dumprar [6], samt materialtillverkningsprocesser [7], som orsakar störst utsläpp. De flesta LCA-verktygen fokuserar på produkt snarare än process [8], exempelvis genom att byggandeprocesser hanteras på en generell nivå där hänsyn inte tas till projektets platsspecifika förutsättningar [9], eller dess dynamiska interaktioner [10]. Det samma gäller Klimatkalkyl där branschmedelvärden kopplade till materialtyper och mängder utgör grunden för att bedöma byggandeprocessernas klimatpåverkan. Detta kan begränsa incitamenten för entreprenören att minska sina egna utsläpp från byggprocesser och att utsläppsminskande åtgärder istället hamnar hos underleverantörer för material och byggelement. Samtidigt påverkas byggandeprocesser till stor del av produktens planerade utformning och parametrar, vilka primärt bestäms i projektplaneringsfasen. Detta kräver att rätt resurser organiseras och rätt kunskap tillgängliggörs i tid innan avgörande projektbeslut fattas [11].

Syfte

Syftet med detta SBUF-projekt har varit att bidra till kunskapen om hur utsläpp av växthusgaser kan minskas i transportinfrastrukturprojekt med målsättningen att utveckla praktiskt tillämpbara verktyg för anläggningsprojekt. Utgångspunkten för dessa verktyg är att de bygger på de förutsättningar som beställaren ger till entreprenören. Verktygen behöver dessutom kunna beakta produktionseffektivitet för kunna bidra till Trafikverkets mål om mer väg för pengarna.

Genomförande

SBUF-projektet har genomförts av åren 2017-2018 av Jan Krantz som ett led i hans doktorandutbildning vid Luleå Tekniska Universitet (LTU). I ett första skede gjordes en nulägesanalys för att få en klarare bild av utmaningar och möjligheter med att minska CO₂-utsläppen i transportinfrastrukturbyggandet. Denna analys har baserats rapporter och litteratur från industrin och akademien men också intervjuer och diskussioner. I samband med verktygsutvecklingen blev det klart att en kompletterande fallstudie från ett verkligt projekt bör göras parallellt för att få en bättre verklighetsförankring och därigenom kunna identifiera utmaningar som verktygen behöver kunna hantera. Detta ledde till att två olika studier vilka utmynnade i två olika verktyg. I ena studien utvecklades ett verktyg för att implementera Eco-Driving för dumprar vilket vi valt att benämna "Eco-Hauling". Den andra studien presenterade ett verktyg för att fördela arbetsmaskinskonfigurationer till olika processer baserat på koldioxidutsläpp, kostnader och tidsåtgång. Av dessa bägge studier har en publicerats i en vetenskaplig tidskrift medan den andra är i färd med att lämnas in för granskning och publikation. Bägge dessa studier ska bidra i färdigställandet av Jans doktorsavhandling [12].

Fallstudie

Fallstudien omfattas av vägprojektet "Väg 26/47" utanför Mullsjö där NCC är huvudentreprenör. Projektet omfattas av både ombyggnad och nybyggnad av totalt 17 km väg inklusive trafikplatser, viltpassager, broar, samt sidovägar. Från projektet har data insamlats som berör produkten (mängder, materialtyper etc.) och processen (tidplan, masshanteringsplan, tillgängliga maskiner etc.), samlats in. Dessa data har bidragit dels i utvecklingen av verktyg men framförallt för att kunna demonstrera dessa

Eco-Hauling

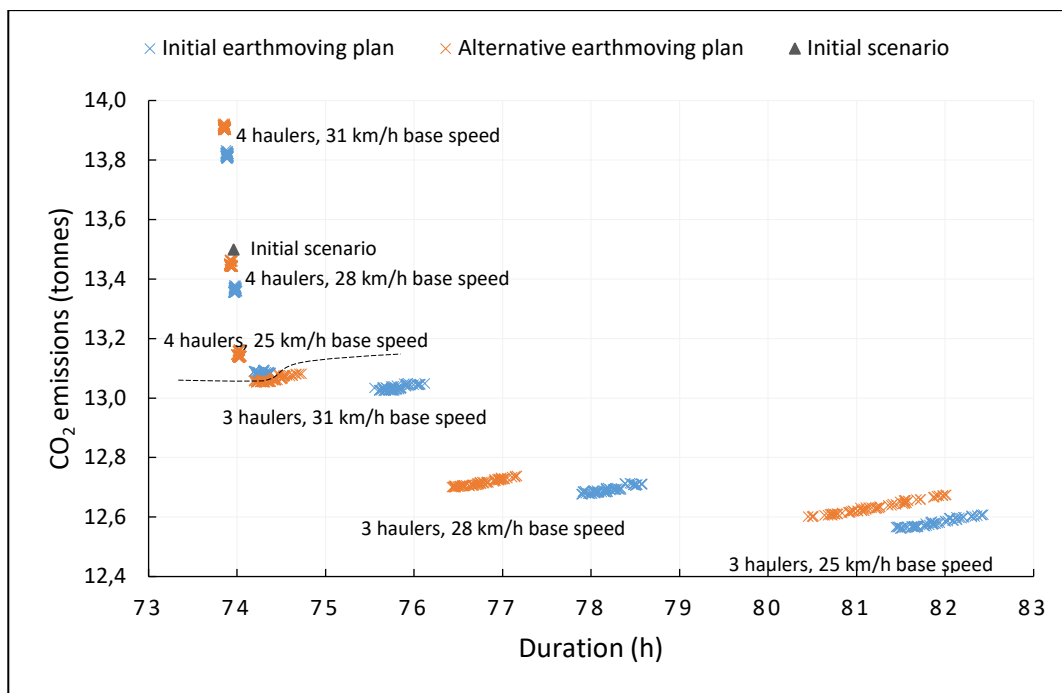
För att ge entreprenörer ökad möjlighet att minska utsläppen från byggandeprocesser på byggarbetsplatsen har Eco-Hauling utvecklats. Detta koncept bygger på Eco-Driving som normalt förespråkas för och används av privatbilister men har i detta fall utvecklats för entreprenörer och dess dumprar. Komponenterna i Eco-Hauling, som kan ses i Tabell 1, består av tre beslutsnivåer nämligen *strategisk*, *taktisk* och *operationell*.

Tabell 1. Valmöjligheter för olika beslutsnivåer vid implementering av Eco-Hauling.

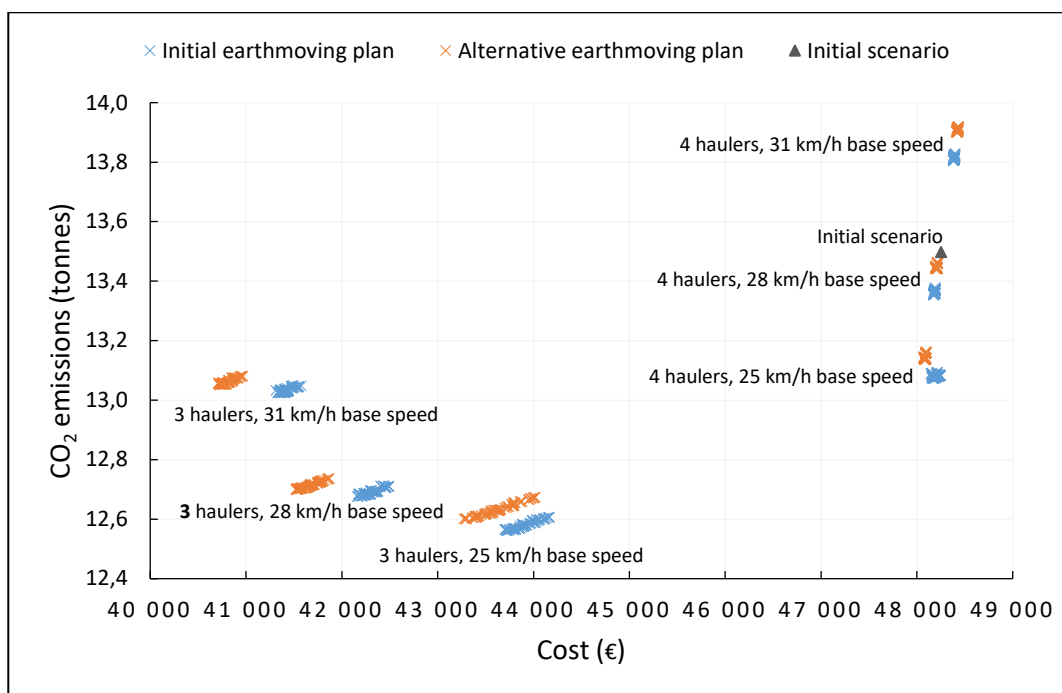
Eco-Driving	Eco-Hauling
<p>General characteristics</p> <ul style="list-style-type: none"> - For individual drivers. - Reduces costs, fuel use, and CO₂ emissions at vehicle level. <p>Strategic (long-term decision level)</p> <ul style="list-style-type: none"> - Acquire energy-optimal vehicle. - Regular vehicle maintenance. - Install energy-optimal navigation system. <p>Tactical (trip level)</p> <ul style="list-style-type: none"> - Optimal route choice (eco-routing). - Eliminate excess load from the vehicle. <p>Operational (driver behavior level)</p> <ul style="list-style-type: none"> - Use fuel-optimal speed. - Anticipate upcoming obstacles to maintain even speeds. - Use high gears while cruising. - Minimize throttle. 	<p>General characteristics</p> <ul style="list-style-type: none"> - For earthmoving contractors and equipment operators. - Reduces costs, fuel use, and CO₂ emissions at fleet level. - Maintains or increases productivity. <p>Strategic (company level)</p> <ul style="list-style-type: none"> - Acquire fuel/productivity-optimal equipment fleet. - Regular equipment maintenance. <p>Tactical (project and task level)</p> <ul style="list-style-type: none"> - Optimize equipment assignments. - Optimize earthmoving (mass-haul) plan. - Determine optimal speed for equipment in earthmoving task. - Select fuel types. <p>Operational (equipment operator level)</p> <ul style="list-style-type: none"> - Anticipate upcoming obstacles to maintain even speeds. - Use decided optimal speed.

En masshanteringsaktivitet bestående av ett schakt, ett fyll och ett brobyggnadsläge, har valts från fallstudien för att demonstrera Eco-Hauling. Då flera val från Eco-Hauling kan kombineras och påverka utfallet har en simuleringsmodell byggts upp som möjliggör att ett stort antal alternativa kombinationer kan simuleras. Resultaten från simuleringarna, som kan ses i Figur 1 och Figur 2, visar att lägst CO₂-utsläpp för aktiviteten uppnås för de kombinationerna som innehåller 3 dumprar och en bashastighet av 25 km/h.

I en mer generell bemärkelse visar resultaten att många avvägningmöjligheter finns mellan utsläpp, tidsåtgång och kostnader. Vilken valkombination som implementeras i ett projekt bör således ta detta i beaktande och hanteras gentemot projektets begränsningar och krav. Implementering av Eco-Hauling är mer komplex än för Eco-Driving eftersom resultaten, dvs. de bästa valkombinationerna varierar beroende på transportavstånd, tillgängliga maskintyper samt övriga förutsättningar. Hur dessa förutsättningar påverkar resultaten är inte heller uppenbart utan behöver utredas exempelvis som i denna studie med hjälp av simulering. I detta fall kan det illustreras med att en bashastighet för en enskild dumper på 25 km/h ger betydligt lägre bränsleåtgång, och således CO₂-utsläpp, än bashastigheten 31 km/h. Trots detta möjliggör 31 km/h och 3 dumprar en utmärkt avvägning gentemot utsläpp, tidsåtgång och inte minst, kostnader. Detta förhåller sig sannolikt annorlunda om andra projektförutsättningar råder, exempelvis med andra maskiner, materialdensiteter, transportavstånd osv. Denna studie har publicerats i tidskriften ”*Journal of Cleaner Production*” [13].



Figur 1. CO₂-utsläpp och tidsåtgång för olika kombinationer av Eco-Hauling.

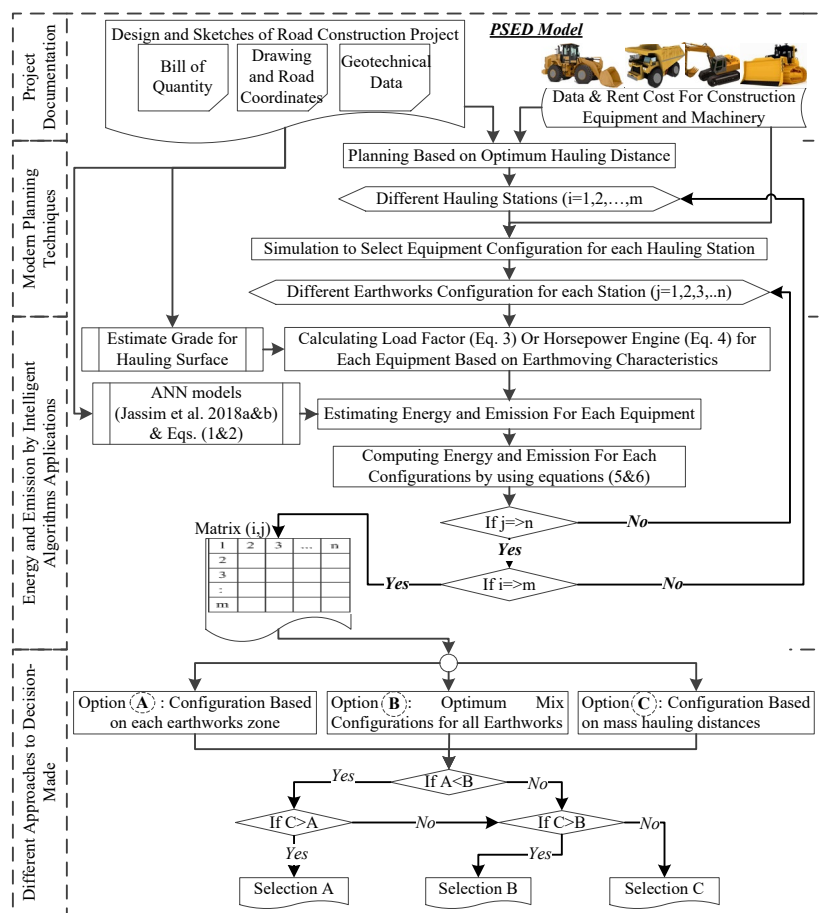


Figur 2. CO₂-utsläpp och kostnad för olika kombinationer av Eco-Hauling.

Fördelning av arbetsmaskinskonfigurationer

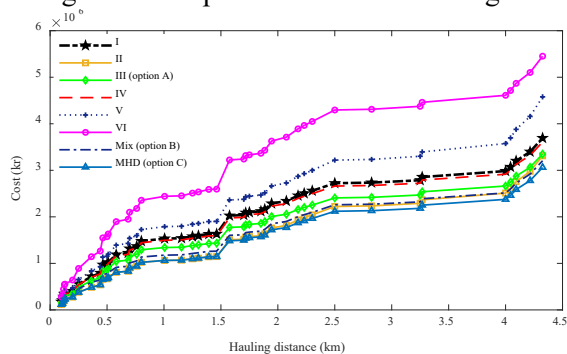
Hur resurser i form av arbetsmaskiner fördelas till olika masshanteringsaktiviteter påverkar produktionseffektiviteten för dessa aktiviteter vilket i sin tur kan påverka både CO₂-utsläpp, kostnader och tidsåtgång. Detta har undersökts genom att utveckla ett verktyg (se Figur 3) för att fördela arbetsmaskinskonfigurationer till olika aktiviteter och beräkna deras inverkan. I första steget för att implementera verktyget samlas projektdata in gällande exempelvis mängder, geoteknisk data och maskindata för tillgänglig maskinpark. I nästa steg skapas en optimerad masshanteringsplan för projektet där transportavstånd, materialdensitet och lutning för transportvägar specificeras. Baserat på den tillgängliga maskinparken sammanställs ett antal möjliga maskinkonfigurationer. Med hjälp av simulering

modelleras varje konfiguration i tur och ordning för varje masshanteringsstation (schakt om ca 50 meter kombinerat med ett fyll). Med utdatat från simuleringen skapas en 3-dimensionell matris där CO₂-utsläpp, kostnader och tidsåtgång ingår för varje masshanteringsstation. Slutligen analyseras resultaten för tre identifierade maskinfördelningsprinciper nämligen (A), en konfiguration för hela masshanteringsprocessen, (B), mixad konfiguration (en konfiguration per masshanteringsstation) och (C), konfigurationerna fördelas baserat på transportavstånd.

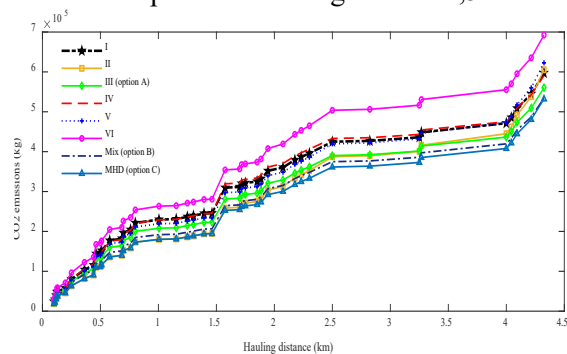


Figur 3. Översiktlig vy över de komponenter som ingår i verktyget.

Tre delområden i fallstudieprojektet med totalt 43 masshanteringszoner valdes ut för att demonstrera verktyget och totalt sex maskinparkskonfigurationer formulerades. Resultaten i form av kostnader och CO₂-utsläpp kan ses i Figur 4 och Figur 5. Resultaten visar att maskinfördelningsprincip C, dvs. där konfigurationerna fördelas på transportavstånd, hade lägst kostnader och CO₂-utsläpp. Brytpunkten där konfiguration III presterar bättre än konfiguration II var för transportavstånd längre än ca 1,5 km.



Figur 4. Konfigurationernas kumulativa kostnad för masshantering fördelat på zonernas transportavstånd.



Figur 5. Konfigurationernas kumulativa CO₂-utsläpp för masshantering fördelat på zonernas transportavstånd.

Verktyget kan vara till stöd för entreprenörer för att identifiera effektiva konfigurationer av arbetsmaskiner och att på längre sikt uppgradera sin maskinpark för att möjliggöra ännu effektivare konfigurationer. Konfigurationer kan fördelas enligt en enkel regelbaserad metod (maskinfördelningsprincip C) med gott resultat. Detta kan praktiskt innebära att även om verktyget kräver expertis och resurser för att användas och identifiera lämpliga konfigurationer och hur dessa bör fördelas i ett projekt kan resultaten kommuniceras ut i ett enkelt format till berörda personer på byggarbetsplatsen. Vid likartade förhållanden gällande materialtyper och densiteter är även brytpunkterna i transportavstånd för en konfiguration likartad vilket gör att kunskapen kan användas i flera projekt, förutsatt att samma konfigurationer finns tillgängliga. Denna studie ska inlämnas till vetenskaplig tidskrift för granskning.

Slutsatser

Detta SBUF-projekt har presenterat två verktyg framförallt anpassade för entreprenörers förutsättningar, som kan användas för att minska CO₂-utsläpp i infrastrukturbyggande. Även om dessa inte kan användas för att kunna tillgodoräkna sig minskningar av CO₂-utsläpp enligt Trafikverkets Klimatkalkyl kan verktygen vara till nytta för entreprenörer eftersom de också möjliggör minskningar av och avvägningar mot både tidsåtgång och kostnader. Projektet bidrar också till Trafikverkets mål om ”mer väg för pengarna” genom att verktygen möjliggör mer effektiva byggandeprocesser exempelvis genom val av antalet maskiner, maskintyper och hastigheter. Bägge studierna visade att en ökning maskinernas nyttjandegrad, och således minska deras överksamta tid, i de flesta fallen kunde bidra inte bara till minskade kostnader, utan också till minskad tidsåtgång och utsläpp. Vidare visar detta projekt behovet av systematiska modelleringar och analyser av byggandeprocesser krävs om dessa processer ska kunna effektiviseras baserat på CO₂-utsläpp, kostnader och tidsåtgång. Komplexa och föränderliga beroenden mellan maskinresurser och byggarbetsplatsen gör processen svår att förstå. Detta kan innebära att erfarenhetsbaserade tumregler inte nödvändigtvis hjälper för att identifiera effektivare metoder som i vissa fall kan vara konstraintuitiva.

Framtida forskning

SBUF-projektet har bidragit till identifiera möjligheter för att ytterligare bidra till att infrastrukturbranschen ska kunna minska sina CO₂-utsläpp. Dessa kan med fördel utgöra ett underlag för framtida forskningsprojekt och inriktningar.

1. Utredda möjligheter och effekter av att nyttja digitala produktionsstyrningssystem för byggande av infrastruktur. Processimuleringar som uppdateras med aktuella förutsättningar vart eftersom projektet framskrider kan bidra till att i realtid kunna styra och optimera maskin användningen i byggprocesser.
2. Undersöka hur infrastrukturens utformning påverkar möjligheterna att effektivisera byggandeprocessen avseende CO₂. Detta kan bidra till att anpassa utformningen efter byggandeprocessen, så kallad ”aktiv design”. Parallellt med ett sådant projekt kan också möjligheterna att uppnå till Trafikverkets klimatmål och att utveckla deras verktyg ”Klimatkalkyl” att bättre kunna hantera byggandeprocesser, utredas.

Referenser

- [1] IVA, (2014) *Klimatpåverkan från byggprocessen*,.
- [2] Boverket, (2014) *Miljöpåverkan från bygg- och fastighetssektorn 2014*, 2014:23.
- [3] Trafikverket, (2017) *Klimatkrav*, 2018.
- [4] Trafikverket, (2016) *Användarhandledning klimatkalkyl version 4.0*,.
- [5] A. Del Borghi, (2012) *LCA and Communication: Environmental Product Declaration*, Int. J. Life Cycle Assess. 18 293-295. <https://doi.org/10.1007/s11367-012-0513-9>.
- [6] A. Hajji, P. Lewis, (2013) *Development of productivity-based estimating tool for energy and air emissions from earthwork construction activities*, Smart and Sustainable Built Environ. 2 84-100. <https://doi.org/10.1108/20466091311325863>.
- [7] D. Cass, A. Mukherjee, (2011) *Calculation of Greenhouse Gas Emissions for Highway Construction Operations by Using a Hybrid Life-Cycle Assessment Approach: Case Study for Pavement Operations*, J. Constr. Eng. Manage. 137 1015-1025. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CO.1943-7862.0000349](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0000349).
- [8] R.J. Cole, (2005) *Building environmental assessment methods: redefining intentions and roles*, Build. Res. Inf. 33 455-467. 10.1080/09613210500219063.
- [9] J. Reap, F. Roman, S. Duncan, B. Bras, (2008) *A survey of unresolved problems in life cycle assessment*, Int. J. Life Cycle Assess. 13 374-388. <https://doi.org/10.1007/s11367-008-0009-9>.
- [10] S. Thiede, Y. Seow, J. Andersson, B. Johansson, (2013) *Environmental aspects in manufacturing system modelling and simulation—State of the art and research perspectives*, CIRP J. Manuf. Sci. Technol. 6 78-87. <https://doi.org/10.1016/j.cirpj.2012.10.004>.
- [11] T. Häkkinen, K. Belloni, (2011) *Barriers and drivers for sustainable building*, Build. Res. Inf. 39 239-255. <https://doi.org/10.1080/09613218.2011.561948>.
- [12] J. Krantz, (2019) *Mitigating Carbon Emissions during the Planning and Execution of Transport Infrastructure Projects*, Doctoral thesis. Luleå University of Technology, Luleå, Sweden. <http://ltu.diva-portal.org/smash/record.jsf?pid=diva2%3A1299295&dswid=6540>.
- [13] J. Krantz, K. Feng, J. Larsson, T. Olofsson, (2019) *'Eco-Hauling' principles to reduce carbon emissions and the costs of earthmoving - A case study*, Journal of Cleaner Production. 208 479-489. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.10.113>.