

FFI

FORDONSSTRATEGISK
FORSKNING OCH INNOVATION

Simuleringsverktyg för kostnad- och bränsleeffektivitet



Bild från projektet!

Författare: Erik Uhlin

Datum: 2013-09-10

Delprogram: Transporteffektivitet

Innehåll

1. Sammanfattning.....	3
2. Bakgrund	4
3. Syfte.....	6
4. Genomförande.....	7
5. Resultat	9
5.1 Bidrag till FFI-mål	9
6. Spridning och publicering.....	10
6.1 Kunskaps- och resultatspridning	10
6.2 Publikationer	10
7. Slutsatser och fortsatt forskning.....	12
8. Deltagande parter och kontaktpersoner	12

Kort om FFI

FFI är ett samarbete mellan staten och fordonsindustrin om att gemensamt finansiera forsknings-, innovations- och utvecklingsaktiviteter med fokus på områdena Klimat & Miljö samt Säkerhet. Satsningen innebär verksamhet för ca 1 miljard kr per år varav de offentliga medlen utgör hälften.

För närvarande finns fem delprogram Energi & miljö, Fordons- och trafiksäkerhet, Fordonsutveckling, Hållbar produktionsteknik och Transporteffektivitet. Läs mer på www.vinnova.se/ffi

1. Sammanfattning

Materialtransporter i bergtäkter och gruvor utförs av anläggningsmaskiner. Transporteffektiviteten för dessa transporter mäts i kostnad per transporterat ton, även kallad Total Cost of Ownership (TCO). Målet för detta projekt är att kunna göra robusta och exakta skattningar och optimering av TCO för ett givet transportscenario som innefattar anläggningsmaskiner i gruvor och bergtäkter. Ett simuleringsverktyg har utvecklats. Parallellt har viss supportdata för kostnadsestimeringar tagits fram.

Ett huvudsakligt användningsområde för det utvecklade verktyget är inom produktutveckling. Genom att använda ett simuleringsverktyg för masstransporter ökar sannolikheten att fatta rätt beslut när det gäller nya maskiner eller – koncept. När integrationen mellan omgivande miljö och maskin ökar är det fördelaktigt att kunna simulera interaktionen mellan dessa, snarare än att simulera enskilda körcykler för den individuella maskinen. Typiska exempel på applikationer är ITS- och M2X-kommunikation eller elektrifiering/hybridisering där laddnings och laddningsstrategier kan komma att måsta utvecklas med hjälp av simulering.

En annan användaraspekt gäller försäljning av produkter. Användandet av ett simuleringsverktyg för masstransporter med optimeringsfunktionalitet ökar sannolikheten att sälja rätt maskiner till kunder. Fältstudier visar att många bergtäkter har överkapacitet på sina anläggningsmaskiner, avseende storlek såväl som antal..

Förväntade projektresultat:

- Ett simuleringsverktyg för masstransporter i bergtäkter som kan utvärdera både produktion och kostnad.
- Publicerade forskningsartiklar relaterade till storskalig simulering av logistik och förarbeteende kopplat till produktion.
- Publicerade forskningsartiklar om användandet av simuleringsverktyget relaterat till ITS och ”smarta” transportlösningar inom anläggningsindustrin.
- En lista över möjliga säljbara tjänster
- Kvartalsrapporter från projektledningen rörande projektresultaten

För att nå målen ovan har projektet skett i samarbete mellan Volvo Construction Equipment och KTH. KTH har huvudsakligen varit ansvariga för utvecklingen av logistiksimuleringar och optimeringsalgoritmer. Volvo har lett utvecklingen av dynamiska simuleringsmodeller för maskiner och förare samt för utredningsarbete av dataresurser för kostnader såsom service, reparationer och sliddelar.

Det utvecklade simuleringsverktyget, där en logistikmodul från KTH kombineras med fordonsmodellerna från Volvo, visar på goda resultat när det gäller att beräkna TCO för

masstransporter. Det har också använts med goda resultat i utvecklingsarbetet på Volvo i Eskilstuna.

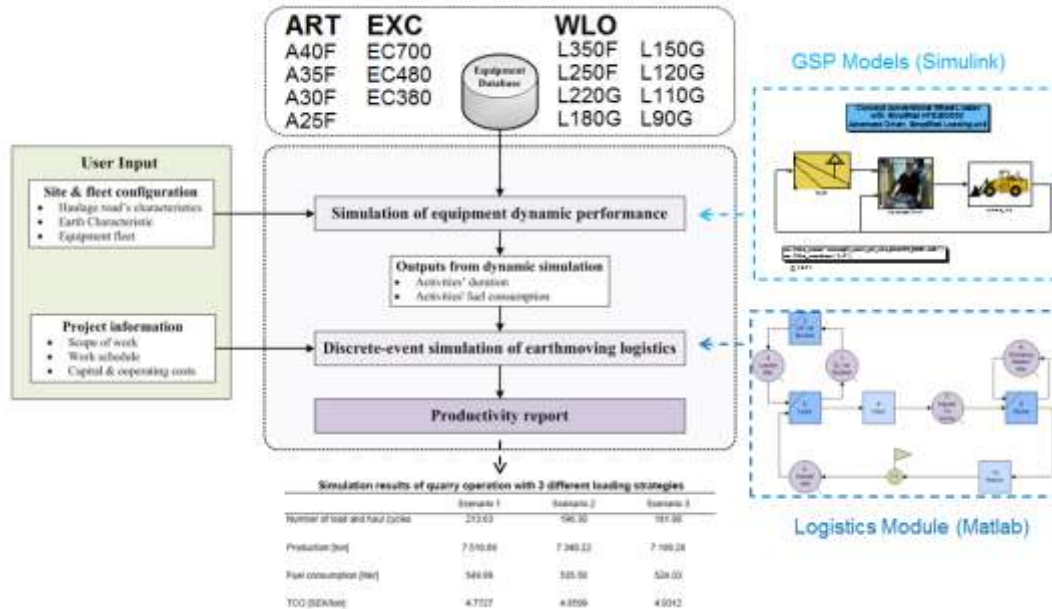


Figure 1 Översikt av simuleringsverktyg

Två doktorander har arbetat i projektet; en på KTH och en industridoktorand på Volvo/KTH. Forskningen har haft flera olika inriktningar. Artiklar har publicerats bland annat rörande integrationen mellan logistiksimuleringar och detaljerade, dynamiska maskinmodeller. En ny, alternativ logistikmodul har tagits fram för att utvärdera energieffektiviteten och möjliga laddningsstrategier för elektrifiering av bergtäktstransporter. En stor del av forskningen på KTH har fokuserat på användandet av genetiska algoritmer (GA) för optimering av TCO och produktivitet. Förarens inverkan på kostnader och effektiviteten i anläggningsarbeten har också studerats.

Gällande tjänstutveckling har 2 examenarbeten fastställt att en tjänsterbjudande baserat på LEAN-metoder i bergtäkter skulle vara både lämpligt och realistiskt att erbjuda.

Rapportering till den finansierande myndigheten har skett på halvårsbasis av projektledningen på Volvo.

2. Bakgrund

Att kunna fatta rätt beslut när det gäller inköp och utveckling av anläggningsmaskiner är viktigt för alla aktörer inom branschen. Genom att undersöka livscykelkostnader och

miljöpåverkan för en maskin, kan man få en fingervisning om vilken maskin man skall köpa eller utveckla.

Inom anläggningsindustrin är bränsleförbrukning en stor bidragande orsak till miljöpåverkan och kostnader. Detta faktum har förstärkts de senaste åren med stigande bränslepriser och mer miljömedvetna kunder. Bränsleförbrukning är proportionellt relaterad till CO₂-utsläpp, varför detta projekt kommer att fokusera på CO₂-utsläpp när det gäller miljöpåverkan.

Att bara fokusera på kostnadsfaktorer för en anläggningsmaskin kommer aldrig att ge hela sanningen när det gäller prestanda. En maskin med lågt inköpspris kan visa sig vara mycket dyr när det gäller kostnader för produktionsbortfall eller gällande service och reparationer. För att fastställa den verkliga kostnaden för en maskin måste man använda mått som Total Cost of Ownership (TCO) som tar hänsyn till både kostnader och produktionsaspekter. De tre huvudbyggstenarna för TCO är

1. Produktion per timme
2. Kostnad per timme
3. Enhetskostnaden, TCO.

Produktion per timme är produktionen från antingen en enstaka maskin eller en flotta av maskiner. Den mätts traditionellt i ton eller kubikmeter per timme.

Kostnad per timme inkluderar både rörliga och fasta kostnader. De viktigaste faktorerna är inköpspris, bränsleförbrukning och – pris samt service och reparationskostnader.

Enhetskostnaden eller TCO är kvoten mellan produktion och kostnader.

$$TCO = \frac{\textit{kostnad} / \textit{timme}}{\textit{produktion} / \textit{timme}} = \frac{\textit{kostnad}}{\textit{produktion}} = \frac{\textit{sek}}{\textit{ton}}$$

(eller annan valuta eller produktionsmått)

En av fördelarna med TCO-begreppet är att det inte är relaterat till varken maskinstorlek eller – koncept vilket tillåter jämförelser mellan olika maskinstorlekar och koncept. Detta kan till exempel vara hjullastare kontra grävmaskiner eller midjestyrd dumprar kontra anläggningslastbilar.

Volvo CE utvecklar anläggningsmaskiner som används i en uppsjö av olika applikationer där varje arbetsplats är unik i fråga om logistikupplägg och vilket material som hanteras. Ett av Volvogruppens mål är att tillgodo se sina kunder med miljö- och kostnadsoptimerade transportlösningar. Inom anläggningsindustrin utvecklas, säljs och underhålls maskiner traditionellt som enskilda enheter. Att fokusera mer på TCO för kompletta transportlösningar skulle kunna bidra till att skapa nya affärsmöjligheter. Att i säljledet stärka den befintliga kunskapen om arbetsplatssimuleringar borde kunna både öka försäljningen och sänka kundens TCO – vilken med största sannolikhet leder till lägre miljöpåverkan.

Att i produktutvecklingsprocessen använda samma simuleringsplattform som på säljsidan borde kunna bidra till att de maskiner som utvecklas är ytterligare bättre ur miljösynpunkt. Att simulera transporteffektivitet med hela arbetsplatsen som perspektiv borde kunna ge en inblick i hur maskin- och servicedesign skall ske för att skapa maximal potential för förbättringar för både Volvo och kunderna.

Inom detta projekt skapar vi ett simuleringsverktyg för masstransporter som skall kunna användas som plattform för både utvecklingsarbete och försäljning. Verktöget måste stödja både simulering av konceptmaskiner, förarbeteende, logistikdesign och kunna på en övergripande nivå utvärdera styralgoritmer för produktions och ITS-lösningar. Ur ett akademiskt perspektiv innebär detta forskning inom:

- Metoder för att validera simuleringar av såväl förarbeteende såsom flottor av anläggningsmaskiner
- Påverkan av spridning i vissa parametrar, såsom förarbeteende, och skapande av robusta stokastiska simuleringar.
- Formuleringar av multi objective-optimeringsproblem för arbetsplatsoptimering.

Det storskaliga optimeringsproblemet som skall lösas kommer att kräva specialiserade algoritmer och angreppssätt. De viktigaste egenskaperna hos problemet är

- Storskalighet. Problemet kan innehålla ett flertal parametrar som skall optimeras, beroende på arbetsplatskonfiguration, maskinutrustningar och hur körvägar och material ser ut.
- Ickelinjäritet. Beroende på att beslutsvariabler filtreras genom en simuleringsmodell kommer systemsvaret att vara kraftigt icke-linjärt. Detta resulterar i att målfunktionen för optimering kan ha många lokala minimum. Att göra en analys av målfunktionens faktiska form är inte realistiskt, beroende på det stora antal parametrar som måste analyseras.
- Icke-analytiska resultat. Då simulering kommer att användas kan analytiska optimeringsverktyg inte användas, utan andra typer av metoder måste analyseras.
- Stokasticitet. Simuleringsmodellen är stokastisk beroende på osäkerheter gällande maskiner och arbetsplats såväl som förarbeteende. Även detta påverkar vilka metoder som är lämpliga samt formuleringar av målfunktion för optimering.

3. Syfte

Det övergripande syftet med projektet, som nämns, ovan är att ta fram ett simuleringsverktyg för TCO-beräkningar i massförflyttningsprojekt. Simuleringsverktyget skall även ha optimeringsfunktionalitet.

Förväntade projektresultat:

- Ett simuleringsverktyg för masstransporter i bergtäkter som kan utvärdera både produktion och kostnad.
- Publicerade forskningsartiklar relaterade till storskalig simulering av logistik och förarbeteende kopplat till produktion.
- Publicerade forskningsartiklar om användandet av simuleringsverktyget relaterat till ITS och ”smarta” transportlösningar inom anläggningsindustrin.
- En lista över möjliga säljbara tjänster
- Kvartalsrapporter från projektledningen rörande projektresultaten

4. Genomförande

Utvecklingen av simuleringsverktyget har varit centralt under projektets gång. Verktögets övergripande arkitektur finns i Figure 1. Här visas även hur olika systemdelar interagerar för att beräkna TCO.

Den initiala litteraturstudien indikerade att Discrete-Event Simulering (DES) är det mest effektiva sättet att simulera massförflyttningsprocesser. I DES fortskrider simuleringstiden med övergången från ett simuleringstillstånd till ett annat genom utförandet av nästkommande händelse i 'Future Event'-listan (FEL). Denna typ av simulering ger möjligheten att utvärdera nyttjandegraden av till exempel en hjullastare eller beräkna flott-storlekar (till exempel antal midjestyrd dumper).

Litteraturstudien visade också på en del brister i existerande system. I bergtäkter och gruvor sätts produktionstakten av kapaciteten hos en krossanläggning. Detta behöver representeras i DES systemet vilket också gjorts. Vidare förbättringar av tillgängliga system har varit utökad noggrannhet vid lastning av lastmottagare/dumper. Det utvecklade DES finns avbildat i Figure 2.

En av utmaningarna med DES-simulering är att bestämma tidsåtgången för de olika händelserna. I detta projekt innebär detta tidsåtgången för de olika arbetsmomenten i arbetsprocessen för anläggningsmaskinerna, se också Figure 2. Detta kan vara tiden för att fylla en skopa eller transporttiden för en midjestyrd dumper. Simuleringsmodellerna för att bestämma dessa tidsåtgångar i DES simuleringarna är detaljerade Simulink-modeller, som ursprungligen använts inom produktutveckling.

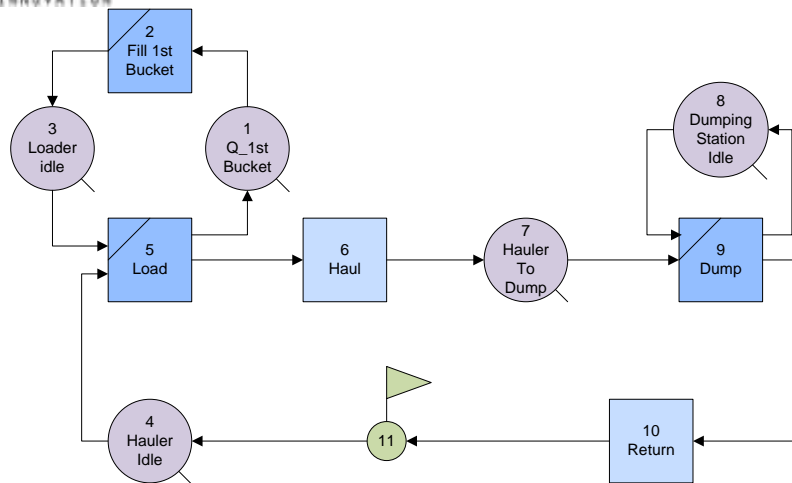


Figure 2 DES-simuleringsmodul

Nyss utförda studier för hjullastare visar att föraren har mycket stor effekt för en hjullastares bränsleeffektivitet och produktivitet. Under projektet har liknande effekter påvisats för dumperförare. Stor vikt har lagts på att utveckla de virtuella förarmodellerna så att de kan reproducera detta beteende. Ett exempel på detta arbete finns i Figure 3. Det är DES-simuleringsmodulen som tillsammans med förar- respektive fordonsmodellerna som utgör stommen i simuleringsverktyget.

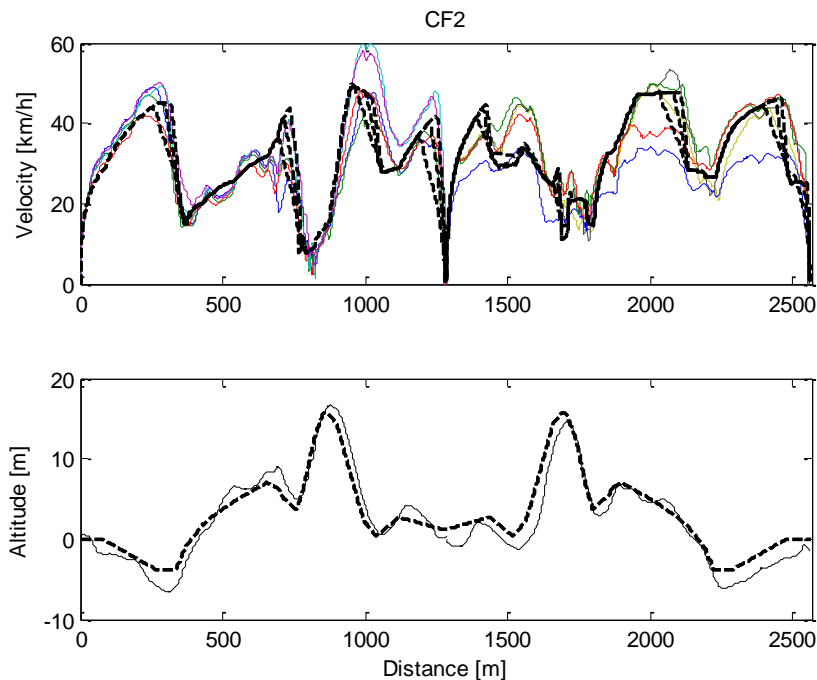


Figure 3 Uppmät samt simulerad hastighet samt altitud. Simuleringsresultat i streckad svart.

Forskningen inom projektet har utförts av 2 doktorander på KTHs avdelning för trafik och logistik. En av doktoranderna har varit industridoktorand och har därmed delat sin tid mellan KTH och Volvo. I huvudsak har forskningen varit fokuserad på simuleringsverktyget som beskriv ovan. Mycket tid har lagts på simuleringsmodeller och optimering samt nyttjande av dessa vid energieffektivitetsberäkningar. Bland forskningsbidragen kan nämnas DES-modulen i Figure 2, optimering med hjälp av genetiska algoritmer samt utvecklandet av ett system för analys av elektrifiering av masstransporter.

Andra projektaktiviteter har fokuserat på att säkerställa en bättre förståelse av de kostnadsfaktorer som ingår i en TCO-analys. En stor faktor är kostnaden för service och reparationer. Här har ett projekt genomförts på Volvo CEs eftermarknadsavdelning för att ta fram ett nytt verktyg för försäljning och prissättning på service och reparationskontrakt. Detta verktyg kommer att kunna användas i liknade applikationer som simuleringsverktyget som är utvecklat inom projektet.

Övriga projektaktiviteter:

- Timkostnad för slitdelar I skopor. Examensarbete vid Jönköpings Universitet.
- Utredningar för tjänsteutveckling. 2 examensarbeten vid Chalmers och Mälardalens Högskola.
- Demonstrator för stålverktyg baserat på konfiguratorplattform.
- Fallstudier på bergtäkter i Stockholm och Göteborg.

5. Resultat

5.1 Bidrag till FFI-mål

Inom projektet har de övergripande målen om miljöpåverkan, godsmobilitet och förbättrad industriell ekonomi adresserats. Användning av det utvecklade verktyget möjliggör förbättringar av miljöpåverkan vid bergtäkter och gruvor. Fallstudier pekar på potentialer på upp emot 30 % eller mer. Hur mycket eller lite beror naturligtvis på de individuella arbetsplatserna.

Konkurrenskraften hos Volvo CE stärks genom att användandet av det framtagna verktyget gör oss bättre på att både tillverka och sälja rätt typer av maskiner. Maskiner som ger lägre TCO och mindre miljöpåverkan.

Följande mål har adresserats:

- **Nya affärsmöjligheter utvecklade.** Slutsatsen från två examensarbeten konkluderade att tjänster baserade på LEAN-principer är både lämpliga och möjliga. Det utvecklade

verktyget stöder dessa typer av tjänster.

- **Reduktion av de transportrelaterade utsläppen av CO₂ med 50 % fram till 2020.** Bergtäkter har ofta feldimensionerade flottor av maskiner, både med avseende på antal och på storlek. Att dimensionera rätt har en stor potential att sänka utsläppsnivåerna.
- **Stärkt konkurrenskraft för den Svenska fordonsindustrin.** De två tidigare punkterna visar på att Volvo CE med hjälp av verktyget har bättre förutsättningar att både utveckla och sälja rätt typ av maskiner.
- **Förbättrad service, underhåll, samt förbättrade produkter och service.** Att kunna integrera service och reparationskontrakt med maskinförsäljning förbättrar Volvo CEs kunderbjudande. I detta projekt har det visat sig att specificering av servicekontrakt och maskiner kan ske med samma urvalskriterier.

Målen är realiserade genom projektaktiviteter som relaterar till de följande forskningsområden inom programmet:

- **Transportbehovsanalys och simuleringsmodeller för effektivare framtagning och utvärdering av nya transportkoncept** : godstransportflöden
- **Transport och logistik** Transportsystem som kan nyttja befintlig infrastruktur och olika transportslag optimalt
- **Fordonet:** Förstudie inom elektrifiering av bergtäktstransporter

Generellt borde den ökande integrationen inom transportsystemet göra att simuleringar av fordon i ett logistiksammanhang med flera olika interagerande resurser blir applicerbart inom många branscher. För Volvo CE har detta projekt varit ett första steg mot en mer komplett simuleringsmiljö för elektrifiering.

6. Spridning och publicering

6.1 Kunskaps- och resultatspridning

Som diskuterats tidigare så kommer skiftet mot ökande inslag av ITS-teknik att medföra internt användande av projektresultaten. Exempel är följande projekt:

- 'Business potential with M2X communication in the construction area'. Finansieras av KK-stiftelsen.

Ytterligare en drivare för fortsatt kunskapsspridning kan vara fokus på elektromobilitet inom fordonsindustrin. Fordon med batterier som energikälla kan komma att kräva en ny typ av interaktion med omliggande infrastruktur i form av laddningsstationer och dylikt.

6.2 Publikationer

Artiklar tidskrifter och konferenser:

Fu, Jiali. "A Microscopic Simulation Model for Earthmoving Operations." In Proceeding of International Conference on Sustainable Design and Construction Engineering, pp. 218-223. 2012.

Fu, J. (2012). "Simulation-based Optimization of Earthmoving Operations using Genetic Algorithm". In the 17th HKSTS International Conference. .

Fu, J. I. A. L. I., Jenelius, E., & Koutsopoulos, H. (2013). "Optimal Fleet Selection for Earthmoving Operations". In the 7th International Structural Engineering and Construction Conference.

Fu, J., & Bortolin, G. (2012). "Gear Shift Optimization for Off-road Construction Vehicles". Procedia-Social and Behavioral Sciences, 54, 989-998.

Uhlin, E. (2012). "Microsimulation of Total Cost of Ownership in Quarries". In 17th International Conference of Hong Kong Society for Transport Studies.

Uhlin, E., & Unneback, J. (2013, June). "On electrification of mass excavation". In Transportation Electrification Conference and Expo (ITEC), 2013 IEEE (pp. 1-6). IEEE.

Uhlin, E & Westlund A. "Simulation of Operator Behavior on Earthmoving Operations" (Pending)..

Licentiatavhandling:

Logistics of Earthmoving Operations – Simulation and Optimization. Jiali Fu.

Examensarbeten:

Service Development – A New Business Opportunity. Kristina Lebeck, Emma Sandberg.

New Service Development – Energy Efficiency Consultancy Service. Anteneh Gebremeskel.

7. Slutsatser och fortsatt forskning

Slutsatser:

- De framtagna maskinsimuleringsmodellerna är mycket användbara. En bra avvägning mellan simuleringssnabbhet och noggrannhet har hittats. Öppningen mot Volvo lastvagnars modelbibliotek är mycket positiv.
- Användandet av ovan nämnda modeller tillsammans med DES-modulen innebär ett fall framåt för simulering av masstransporter. Projektet visar att det är ett framgångsrikt koncept för studier av miljöpåverkan i olika applikationer.
- Genetiska algoritmer är effektiva för att optimera masstransporter.
- Det utvecklade systemet fungerar för att analysera elektrifiering av anläggningsfordon i vissa applikationer.

Fortsatt forskning:

- Garanterad global optimalitet för resultatet av den genetiska algoritmen. Detta kommer att kräva ett systematiskt sätt att beräkna alla möjliga kombinationer av fordonsflottor.
- Optimala masstransporter i dynamiska miljöer. En bergtäkt är en föränderlig miljö med avseende på till exempel transportavstånd. Detta gör att vad som är en optimal lösning idag kanske inte är det imorgon. Hur en optimal flotta ser ut i ett längre perspektiv bör undersökas.
- Elektrifiering. System bör tas fram för att till exempel utvärdera effekterna på elnätet av elektriska transporter i bergtäkter.

8. Deltagande parter och kontaktpersoner

FFI
FORDONSSTRATEGISK
FORSKNING OCH INNOVATION



Volvo Construction Equipment



KTH – Kungliga Tekniska Högskolan

Kontaktperson:
Erik Uhlin, Volvo CE (projektledare)
+46 16 5415762