

# ASETS – Automated Safe and Efficient Transport System

Publik rapport



Författare: Björn Enquist, Martin Fogelquist, Patrik Westerlund, Hans Zackrisson, Björn Groth, Björn Källstrand, Viktor Johansson, Johan Fries, Peter Forsberg, Mattias Wahde, Johan Tofeldt, Leo Laine, Carsten Lindgren

Datum: 2018-11-26

Projekt inom



FFI – Transport Efficiency / FFI – Vehicle and Traffic Safety

# Innehållsförteckning

<b>1 Sammanfattning</b> .....	<b>4</b>
<b>2 Executive summary in English</b> .....	<b>4</b>
<b>3 Bakgrund</b> .....	<b>5</b>
3.1 Transportledningssystem .....	5
3.2 Autonoma fordon.....	6
3.3 Lastbilstransportsystem för gruvor .....	6
3.4 Självkörande sopbilar .....	7
3.5 Samarbete industri och akademi .....	7
<b>4 Mål</b> .....	<b>7</b>
<b>5 Utmaningar</b> .....	<b>8</b>
<b>6 Att bygga systemsäkerhet för automatiserade fordon</b> .....	<b>9</b>
6.1 Introduktion och mål för projektets säkerhetsarbete .....	9
6.2 Argumentera för säkerhet - Safety Case .....	9
6.3 Planering och styrning av försöksverksamhet .....	10
<b>7 Resultat och måluppfyllelse</b> .....	<b>11</b>
7.1 Boliden Preliminary Safety Case .....	11
7.2 Transportledningssystem för autonoma fordon .....	15
7.3 Fordonets rörelsekontroll .....	26
7.4 Positionering.....	28
7.5 Produktivitet.....	31
7.6 Boliden .....	32
7.7 Renova .....	32
<b>8 Spridning och publicering</b> .....	<b>34</b>
8.1 Kunskaps- och resultatspridning .....	34
8.2 Projektet i social media .....	35
8.3 Publikationer.....	37
<b>9 Slutsatser och fortsatt forskning</b> .....	<b>38</b>
<b>10 Ansvarsfriskrivning (Disclaimer)</b> .....	<b>38</b>
<b>11 Deltagande parter och kontaktpersoner</b> .....	<b>39</b>

## 12 Nomenklatur ..... 39

### Kort om FFI

FFI är ett samarbete mellan staten och fordonsindustrin om att gemensamt finansiera forsknings- och innovationsaktiviteter med fokus på områdena Klimat & Miljö samt Trafiksäkerhet. Satsningen innebär verksamhet för ca 1 miljard kr per år varav de offentliga medlen utgör 400 Mkr.

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

# 1 Sammanfattning

Den teknologin som lovar att ha störst påverkan på säkerhet och effektivitet för framtida transportlösningar är förarlösa (autonoma) fordon. Förarlösa fordon har möjlighet att bli en 'disruptiv teknologi' och totalt förändra fordonsbranschen för kommersiella fordon och transport branschen. Volvos största drivkrafter inom detta område är säkerhet och effektivitet. Volvo kommer att utnyttja sina produkter inom anläggningsmaskinsområdet för att utveckla tekniken och sedan överföra den till produkter för allmän väg, vilket möjliggör för Volvo att snabbare och säkrare utveckla autonoma fordon för allmän väg. Detta projekt möjliggör alltså snabbare och säkrare framtida utveckling av autonoma fordon för allmän väg. I projektet användes en plattform med autonoma fordon för att höja både säkerheten och effektiviteten. Plattformen validerades både i en gruva och på allmän väg för att testa plattformens allmängiltighet och skalbarhet. I gruvan kördes fullständigt förarlösa gruvlastbilar. På allmän väg kördes sopbilar kortare sträckor autonomt under övervakning av en operatör.

## 2 Executive summary in English

The technology that promises to have the biggest impact on safety and efficiency in the future is the technology for autonomous vehicles. It has the potential to become a game changer resp. disruptive technology for the truck industry and completely change the transport industry. The biggest driving force for developing autonomous transport technology for Volvo is efficiency and safety. Volvo will use its presence in confined areas to build technology for the future within the autonomous arena. This makes it possible for Volvo to develop knowledge for confined areas and use this to reach out on public road faster and in a more safe way. This project strengthens the necessary technology for future development aimed at public road. In this project the aim is to increase both safety and efficiency in transport system by using automated vehicles. The project used an automated transport system platform to increase the productivity and efficiency. The project validated this in two different environments with two different requirements paradigm to ensure the platforms generality and scalability. One test site was inside an underground mine using autonomous mine trucks. The other test site was on public roads using autonomous refuse trucks. In the mine trucks ran completely autonomous. The refuse truck ran autonomously a short distance supervised by an operator on public road.

## 3 Bakgrund

Transport utgör en mycket viktig del av ekonomin. Drivkrafter för utveckling av transportteknik är t.ex. säkerhet, bränsleförbrukning, energieffektivitet, förutsägbarhet, tillgänglighet och mer. Autonoma fordon lovar att ge störst påverkan för att förbättra säkerhet och effektivitet av framtida transportlösningar och därmed bidra till ett säkrare och hållbar samhälle. Autonoma fordon har dessutom stor potential att vara spelväxlare för lastbilsindustrin och helt förändra transportbranschen.

De största drivkrafterna för att utveckla autonom transportteknik för Volvo är effektivitet och säkerhet. Det finns många sätt att öka effektiviteten med autonom teknik. Föraren är i allmänhet en tredjedel av kostnaden för transporter. Autonom teknik kan påverka nästan varje kostnadsförande aspekt. Genom att använda en autonom förare kan en stor del av de löpande transportkostnaderna optimeras på nytt, särskilt på systemnivå. Säkerheten påverkas också på ett stort sätt. Det faktum att föraren inte längre är i fordonet är stor säkerhetsförmån, både i olyckor och i farliga miljöer. Men det finns också en stor säkerhetsutmaning på grund av att det inte finns någon förare i fordonet. En människa är med dagens teknik oslagbar som ett sensordrivande system, men människor är ojämn i sina prestationer. Autonoma fordon lovar att vara mer förutsägbara och deterministiska i sin prestation inom de situationer som autonoma fordon har tränats för. Speciellt blandad trafik kommer ställa autonoma förare och mänskliga förare för stora utmaningar där framför allt de autonoma systemen måste tränas och verifieras väldigt noggrant. Som lastbilstillverkare har Volvo en stor fördel jämfört med våra konkurrenter. Volvo gruppen har en stor produktsegment som riktar sig både till allmänna vägar och begränsade områden (Construction, Busstrafik, etc.).

Volvo kommer att använda fördelen av vår närvaro i begränsade områden för att bygga upp kunskap, erfarenhet och teknik för framtiden inom den autonoma arenan. Detta gör det möjligt för Volvo att utveckla kunskap, erfarenhet och autonom teknik för begränsade områden och använda detta för att nå ut på offentlig väg snabbare och på ett säkrare sätt. Detta kommer att leda till högre volymprodukter och det är mycket viktigt både för Volvo och för Sverige att behålla teknikkvaliteten.

I begränsade områden liknar drivkrafterna mycket de drivkrafterna på allmän väg: säkerhet och effektivitet. Volvo har i tidigare projekt byggt upp kunskap och teknik för både säkerhet och effektivitet. Säker och robust plattform för automatiserade fordon (SARPA), olyckad bil och lastbil (NHCT) och mer på fordonsnivå. Men vi saknar erfarenhet av att driva autonoma fordon som en del av den dagliga verksamheten. Det finns också en stor potential för förbättringar av effektivitet och säkerhet på en systemnivå. Även om alla fordon är säkra och effektiva kan det vara till nytta med system omfattande optimering. Detta är ett område med stor potential för förbättringar.

Detta projekt gav oss erfarenheter av att driva autonoma fordon i en daglig verksamhet hos en kund. Det gav oss möjlighet att verifiera och validera denna teknik. Det gav oss också den nödvändiga möjligheten att undersöka hur man förbättrar säkerhet och effektivitet på systemnivå.

Det finns två olika delar i detta projekt där vi har verifierat och validerat tekniken: autonoma transportlösningar på begränsade områden (Boliden gruvan) och autonoma transportlösningar på allmänna vägar (Renova sopbilar). Projektet har strävt efter att använda begränsade områden för att driva tekniken. För att visa att tekniken inte endast fungerar på begränsade områden så inkluderades också allmänna vägar som användningsområde. Detta gav projektet och projektmedlemmarna medvetenhet om att denna teknik också ska fungera på allmänna vägar i framtiden. Det är i fråga om problemet med allmänna vägar motsatta områden som vi inte kan göra samma sak på allmänna vägar som vi kan i begränsade områden. Ett helt autonomt fordon utan förare måste vara mycket mer avancerad att köra på allmänna vägar jämfört med begränsade områden. Detta återspeglas av funktionaliteten i detta projekt på allmänna vägar jämfört med begränsade områden.

### 3.1 Transportledningssystem

Combitech stödjer Saab för att bredda produktportföljen mot de olika industrisegmenten. För Combitech som kommer från en militär bakgrund har "situation awareness" alltid varit avgörande. Säkerhets- och säkerhetshanteringssystemet SAFE används i många applikationer där robusthet och säkerhet är viktiga parametrar.

Kunskapen om att implementera kompletta system för hantering, positionering och säker kommunikation i olika slags miljöer är avgörande för att nå en autonom lösning som är robust, säker och operativ styrd från ett fjärrstyrt kontrollrum.

I systemlösningen Combitech och Saab har olika produkter som stödjer både kommunikationsskiktet och sensorer med hög upplösning och realtid.

Combitech har i samarbete med våra företag utvecklat en helt öppen källplattform, AGA (Automotive Grade Android) tillgänglig via AGA-Community. Denna gratis mjukvara kan vara en del av mjukvaran för fordonets kommunikation.

## 3.2 Autonoma fordon

Autonoma fordon lovar att bli mycket säkrare genom att stadig och deterministisk kunna analysera situationer och planera och exekvera planer för att styra fordonet för de situationer den har tränats för. En mänsklig förare kommer inom överskådlig framtid alltid att vara bättre än en autonom förare vid hantering av oväntade händelser, men en autonom förare lovar att vara mer förutsägbar och kontrollerbar än en mänsklig förare. Med andra ord kommer en autonom förare att göra vad man tränar eller instruerar den att göra. Detta gör autonom körning extremt intressant för att både förbättra säkerheten och samtidigt sänka kostnaderna (förarnas lön, optimering av bränsleförbrukning genom programmerad körning, mindre underhållskostnader, etc.). Samtidigt kan autonoma fordon användas över längre dagtid/veckotid utan paus och även inom farliga områden.

Driftkostnaden är en avgörande konkurrensfaktor för transport flottor. Driftkostnaderna innehåller förarkostnader (som en stor andel), bränslekostnader, service- och underhållskostnader. Autonoma fordon utan mänsklig förare ger möjlighet att centralt för en hel flotta anpassa körbeteende och därmed påverkar bränsleförbrukningen. Förarkostnader för mänskliga förare kommer falla bort med autonoma fordon, men det kommer till underhållskostnader och kostnader för träning av det autonoma systemet. I långa perspektivet så lovar autonoma transportsystem att sänka driftkostnaden enormt speciellt för användningsområden där det finns transporter för upprepade och liknande rutter i en begränsad miljö.

Detta projekt undersöker autonoma fordon både i en begränsad miljö (gruva) och på öppna vägar (sopbilar) med hänsyn till säkerhet och produktivitet.

## 3.3 Lastbilstransportsystem för gruvor

Bolidens gruvor blir djupare, malmhalterna är ofta låga och operatörernas säkerhet är mycket viktig. Säkerhets- och arbetsmiljöfrågor är viktiga faktorer vid automatisering av gruvdriften. Automatiseringen av maskiner och fordon möjliggör fjärrkontroll, semi- och hel autonoma operationer. Det flyttar operatören bort från de mest farliga områdena och förbättrar arbetsmiljön gällande buller, vibrationer och avgaser.

Djupare gruvor resulterar i ständigt ökande tidsförluster för operatören vid t.ex. skiftbyten, vilket minskar utnyttjandegraden maskinerna. Autonoma och video-fjärrstyrda enheter som styrs från ytan, kan användas under alla skifttimmar såväl som tider då gruvan måste vara utrymd pga. sprängning. Djupare gruvor resulterar också i ständigt ökade transportavstånd och höjdkilometer som malmen måste transporteras. Eftersom transportsystemet till stor del baseras på bemannade gruvtruckar eller lastbilar så är obemannade enheter en stor potentiell kostnadsbesparare.

Vid gruvdrift har många steg gjorts i mekanisering och i storskaliga produktionsmetoder. Automationsgraden har dock hittills varit ganska låg.

En nyckelfaktor för automatisering är datakommunikationsnätverk genom hela gruvan. Introduktionen av WLAN, trådlös datakommunikation över WiFi, är den lösning som nu används i Bolidens gruvor. I en relativt nära framtid kommer sannolikt datakommunikationen ske över 5G nätverk.

### **3.4 Självkörande sopbilar**

Renova AB har en flotta på över 250 tunga lastbilar för avfallshantering. Den vanligaste lastbilen är baklastaren som servas av två personer.

För Renovas del handlar utveckling av självkörande fordon om att ligga i framkant när det gäller säkerhet, miljö och teknisk utveckling. En självkörande bil förbättrar chaufförernas arbetsmiljö på flera sätt. Att ständigt kliva i och ur hytten sliter på lederna. Med den självkörande bilen kan chauffören gå efter bilen och förflytta den mellan hämtningsställena med fjärrkontroll. Att dessutom kunna ha total uppsikt när bilen backar minskar stressen och innebär också ökad säkerhet för dem som rör sig i närheten. Den självkörande bilen ger även stora miljömässiga fördelar: Växling, styrning och hastighet optimeras för att ge lägre bränsleförbrukning och därmed lägre utsläpp. Att inte behöva kliva i och ur bilen ökar dessutom effektiviteten. I dagsläget är det brist på chaufförer med C-körkort och giltigt YKB. Med ny teknologi och nya fordonstyper hoppas vi kunna attrahera utbildade chaufförer.

### **3.5 Samarbete industri och akademi**

Det finns ett antal specifika delar i ett autonomt fordonssystem som behöver undersökas. Exempel är trafikplanering för flera autonoma bilar och optimering både för effektivitet och säkerhet, hantering av oförutsedda/oväntade situationer för autonoma fordon och mer. Professor Mattias Wahde vid Institutionen för tillämpad mekanik Chalmers tekniska högskola är unikt kvalificerad leda denna forskning och levererar inte bara akademisk forskning utan även praktiska lösningar för detta projekt.

## **4 Mål**

Målet med det här projektet var att bygga en plattform för autonoma fordon för både begränsade områden och allmänna vägar och som kan användas för vidare utveckling i framtiden. Detta system kan sedan användas för att öka säkerheten och optimera effektiviteten.

## 5 Utmaningar

För att skapa en plattform för autonoma fordon för både begränsade områden (Boliden gruvan) och allmänna vägar (Renova sopbilar), projektet stod för följande utmaningar:

- **Safety Case:** Projektet bygger upp ett Safety Case dvs. en argumentation för säkerhet som vägleder all utveckling av autonoma transportlösningar.  
Ett autonomt fordon måste vara säkert i sig självt, det har ingen förare som kan ta över vid problem. Fordonet måste kunna hantera alla typer av trafiksituationer utan att utsätta människor eller egendom för risk. Projektet undersöker hur en introduktion av ett automatiserat fordonssystem kan tas in i en existerande produktionsmiljö utan att kompromissa med säkerheten. Detta kommer att drivas vidare i mer detalj efter projektets avslut.
- **Transportledning:** Projektet behöver utveckla resp. anpassa ett transportledningssystem för att hantera transportuppdrag och skicka ut transportuppdrag till autonoma fordon. Transportflödet ska optimeras med avseende på effektivitet och säkerhet för ett stort antal autonoma fordon som kör inom samma område.
- **Fordonets rörelsekontroll:** Projektet behöver skapa funktionalitet för att kontrollera lastbilens rörelse för en given rutt genom gruvan. Rutten dikterar fordonets önskade placering i både position och tid. Utmaningen för projektet är att det autonoma fordonet ska följa rutten med hög precision och nå den slutliga ruttpositionen på ett säkert och tidsbestämt sätt.
- **Positionering:** Projektet behöver både på allmänna vägar och i gruvan fastställa fordonets position såväl som att fastställa personal och utrustning i gruvan.
- **Produktivitet:** Projektet undersöker produktivitet i samband med de användningsområden Boliden gruvan och Renova sopbilar.



## 6 Att bygga systemsäkerhet för automatiserade fordon

### 6.1 Introduktion och mål för projektets säkerhetsarbete

Ett autonomt fordon måste vara säkert i sig självt, det har ingen förare som kan ta över vid problem. Fordonet måste kunna hantera alla typer av trafiksituationer utan att utsätta människor eller egendom för risk.

I detta projekt har vi studerat ett automatiserat fordon för att bestämma vilka system och säkerhetsbarriärer fordonet bör ha för att säkert hantera en trafikmiljö med mix av automatiserade, manuella fordon och fotgängare.

Vi har studerat hur en introduktion av ett automatiserat fordonssystem kan tas in i en existerande produktionsmiljö utan att kompromissa med säkerheten.

Ett automatiserat fordon, som är säkert i sig, kan uppnå en ännu högre nivå av säkerhet om det integreras i ett system där flera fordon tillsammans med infrastruktur samspelar för att höja säkerheten.

Syftet med säkerhetsarbetet i projektet har varit att utröna vilka kravställningar som rimligen bör ställas på transportsystemet för att det ska kunna betraktas som acceptabelt säkert. Krav och förväntningar ställs dels från lagstiftare, dels från potentiell kund/operatör och dels från leverantören av systemet (i detta fall Volvo Trucks). Som ett verktyg för att visualisera och lättfattligt förklara hur säkerhetsargumentationen byggs upp utgick projektet från en etablerad modell, inom litteraturen kallad Safety Case.

Projektet har diskuterat två grundläggande problemområden:

- Vilken argumentation behövs för att det automatiserade transportsystemet är acceptabelt säkert?
- Hur säkerställer projektet, vid praktiska fältförsök med automatiserade fordon, att försöken genomförs på ett för människor och egendom tillräckligt säkert sätt?

### 6.2 Argumentera för säkerhet - Safety Case

Konceptet med Safety Case är att presentera helheten av bevisargumentation som krävs för att tillfredsställa intressenter, myndigheter, kunder, operatör inklusive systemleverantören själv om att systemet opereras på ett säkert sätt. Den koncept-modell som beskrivs i detta Safety Case liknar den modell som är designad och publicerad av "European Organisation for the Safety of Air navigation" (Eurocontrol). En applikation av modellen används av Swedish Air Traffic Control Services (Luftfartsverket) för att påvisa att flygtrafikverksamhet i kontrollzon kan anses säker.

En modell och guide kan laddas ned från internet ([www.eurocontrol.int](http://www.eurocontrol.int)).

#### Is this transportation safe?

The Safety case is aiming, in a clear, understandable and unambiguous way, to demonstrate that the transport system is delivering an acceptable level of safety.



Figur 1. Argumentationen i Boliden Safety Case ämnar till att skapa en förståelse för hur transportsystemet kan anses vara tillräckligt säkert.

Den metod som Eurocontrol har publicerat, benämnd Safety Assessment Methodology (SAM), betraktar tre olika typer av systemelement: Utrustning (HW, SW), Människor och Procedurer, med tillhörande beroenden (inom systemet och med dess omgivning) i dess speciella kontext av operation.

Projektet har tagit fram ett Preliminary Safety Case anpassat för Bolidens gruvsystem. Detta har integrerats tillsammans med the Eurocontrol Safety Case methodology i samspel med livscykeln i ISO 26262-Vehicle Functional Safety och ISO 17757-Autonomous machine system safety.

SAM adresserar inte organisationella och management aspekter i livscykelprocessen för utveckling och underhåll av transportsystem. Med den anledningen, ISO 26262 används som ramverk för hela systemet. Processen som används för att bygga upp ett Safety Case, ett Case som ska påvisa den logiska kedjan av argumentation och bevis, ska var tydlig, förståelig och reviderbar. Denna process beskrivs mer i kapitel 8.

### **6.3 Planering och styrning av försöksverksamhet**

Under projektet genomfördes försök med automatiserad körning i Kristinebergsgruvan.

Att genomföra försöksverksamhet är en nödvändig del i utvecklingen av automatiserad teknologi och är en naturlig del i utveckling, implementation samt även vidmakthållande av transportsystemets säkerhetsförmåga. Betydelsefull output från försöken är att skapa förståelse för vilka "misstag" som det automatiserade fordonet skulle kunna visa upp.

Projektet har tagit fram en mall för att underlätta planering och genomförande av den praktiska försöksverksamheten i gruva.

#### *Syftet med en säkerhetsplan för fältförsök i gruva*

En säkerhetsplan för fältförsök (engelska: Safety plan) presenterar på vilket sätt försöksverksamheten ska genomföras på ett kontrollerat och säkert sätt. Detta är för att minimera riskexponeringen för personal och egendom som befinner sig i gruvans försöksområde.

Planen sammanställer och presenterar relevanta säkerhetsinstruktioner för involverad personal i försöken: Volvos projektpersonal, maskinförare, servicetekniker och annan personal som kan befinna sig i närheten av test (d.v.s. risk-) området.

Planen baserar sitt innehåll på Arbetsmiljölagens intentioner för att trygga arbetsmiljö i industriell verksamhet.

# 7 Resultat och måluppfyllelse

## 7.1 Boliden Preliminary Safety Case

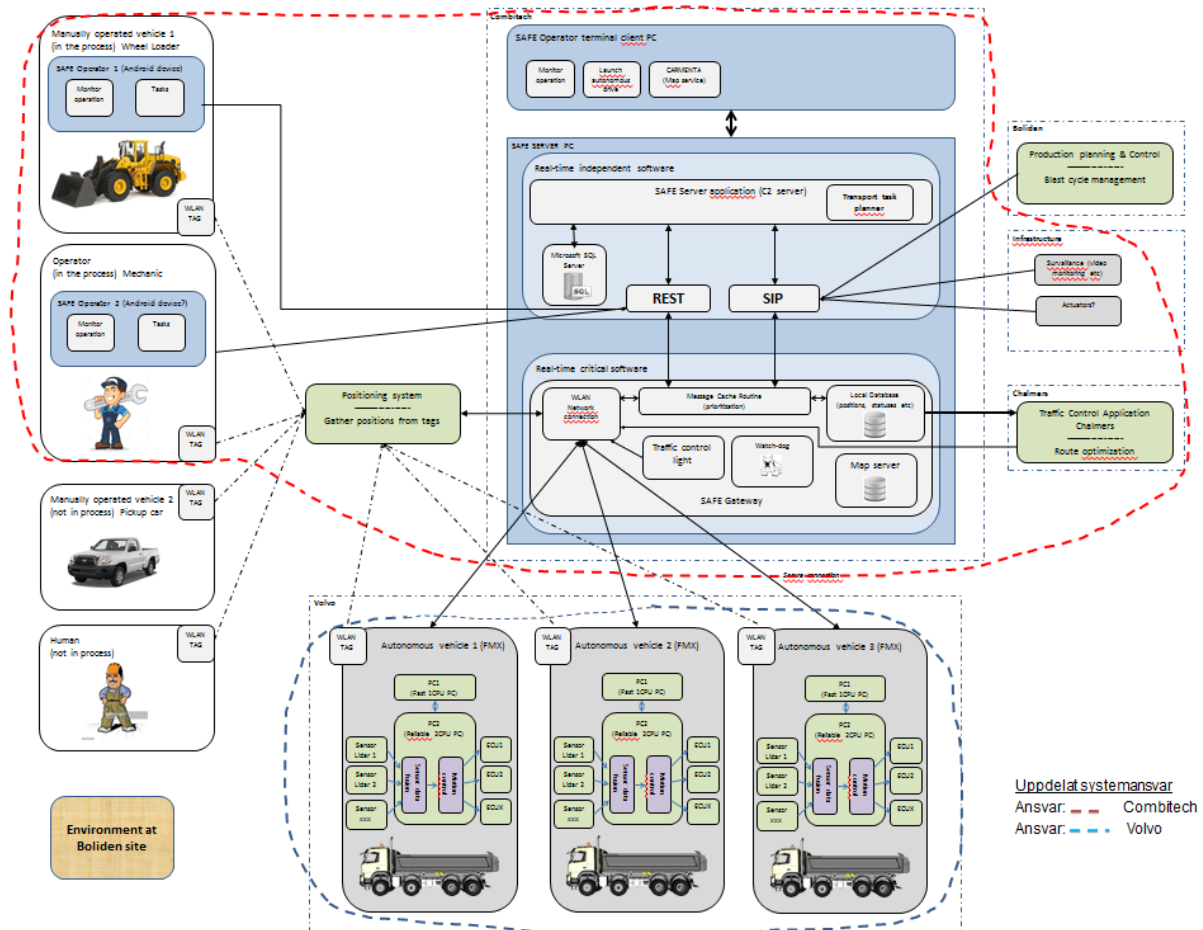
### Ändamål med ett Safety Case

Målet med *Boliden Preliminary Safety Case* är att på ett tydligt, begripligt och otvetydigt sätt påvisa att transportsystemet kommer att upprätthålla en acceptabel nivå av säkerhet (under förutsättning att de förutsättningar som definierats i kontexten gäller).

Projektet är att presentera en grundstruktur till en strukturerad och logisk säkerhetsargumentation. Resultatet, i form av ett *Preliminary Safety Case*, ska visa vad det är för typ av argumentation och bevisning som kommer att utgöra stommen i *Final Safety Case*, vilken är formen på det Safety Case som ska vara framtaget till det tillfälle då det kommersiella transportsystemet lanseras.

Bolidens operationella *Final Safety Case* ska verifiera att transportererna sker på ett acceptabelt säkert sätt när transportsystemet är i drift inom förutsättningarna beskrivna i dess givna kontext.

Boliden Safety Case beskriver transportsystemet vid ett visst givet tillfälle. Systemet består av fordon, Automated Driving System, infrastruktur etc. Det transportsystem som i projektet definierats som referenssystem presenteras i figur 2.



Figur 2. En schematisk bild över de olika delsystem som tillsammans representerar projekt Boliden transport system.

### Syftet

Syftet med ett Safety Case är att identifiera hazarder och risker, påvisa de säkerhetsbarriärer som beslutats och beskriva de säkerhetsrutiner och föreskrifter som definieras, ex i ett *Safety Management System* eller operatörens interna arbetsmiljöprogram. Safety Case kan användas som en verifiering till myndigheter, men också till de parter som ansvarar för driften av systemet (t.ex. kunder) att risker hanteras på ett adekvat sätt. Det ska, på ett tydligt och verifierbart sätt demonstrera tillförlitligheten i säkerhetsupplägget för transportsystemet.

### Omfattning för system och säkerhetsarbetet

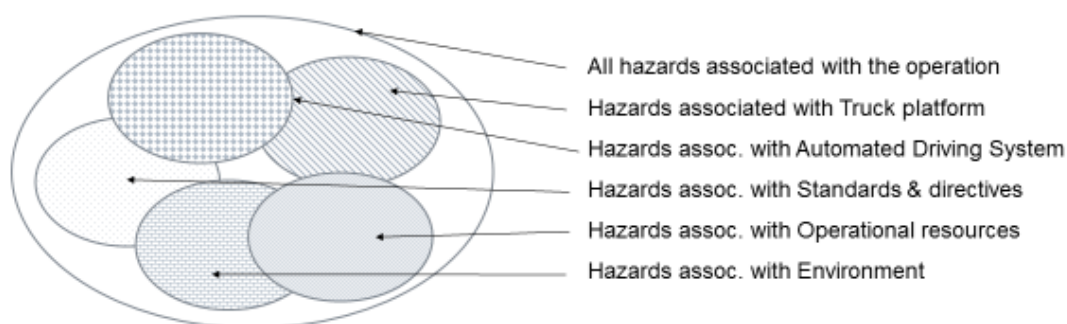
Det övergripande systemet definieras som automatiserade lastbilar för transport av bulkmaterial och tillsammans med tillhörande systemsupport. Systemet med dess avgränsningar presenteras i Figur 2.

Boliden Safety Case omfattar driften av automatiserade lastbilar, för transport av tunga bulkklaster, i ett avgränsat område i Bolidens underjordsgruva i Kristineberg.

Arbetsområdet består av en underjordsgruva där både automatiserade och manuella fordon är i drift.

Säkerhetsarbetet baseras på att potentiella risker analyseras och kontrolleras. Figur 3 presenterar hur transportsystemets totala riskexponering kan delas upp i områden (fem stycken) som täcker "Maskin-Människa-Miljö"-begreppet.

### Sources of Hazards to be controlled – systems & conditions



Figur 3. En schematisk bild över hur risker i transportarbetet kan delas upp i logiska områden.

Notera att de områden (ovala cirklar) som i figuren ovan sammanfattar transportsystemets risker kan sammanfattas till tre områden av säkerhet. Dessa risker har bedömts att man behöver ta hänsyn till, beroende på den omfattande som det innebär att kontrollera relaterade risker till att genomföra transportarbete i gruvan:

- Tekniska system och komponenter
- Processer & arbetssätt
- Personal och organisation

### Uppbyggnad av Boliden Preliminary Safety Case

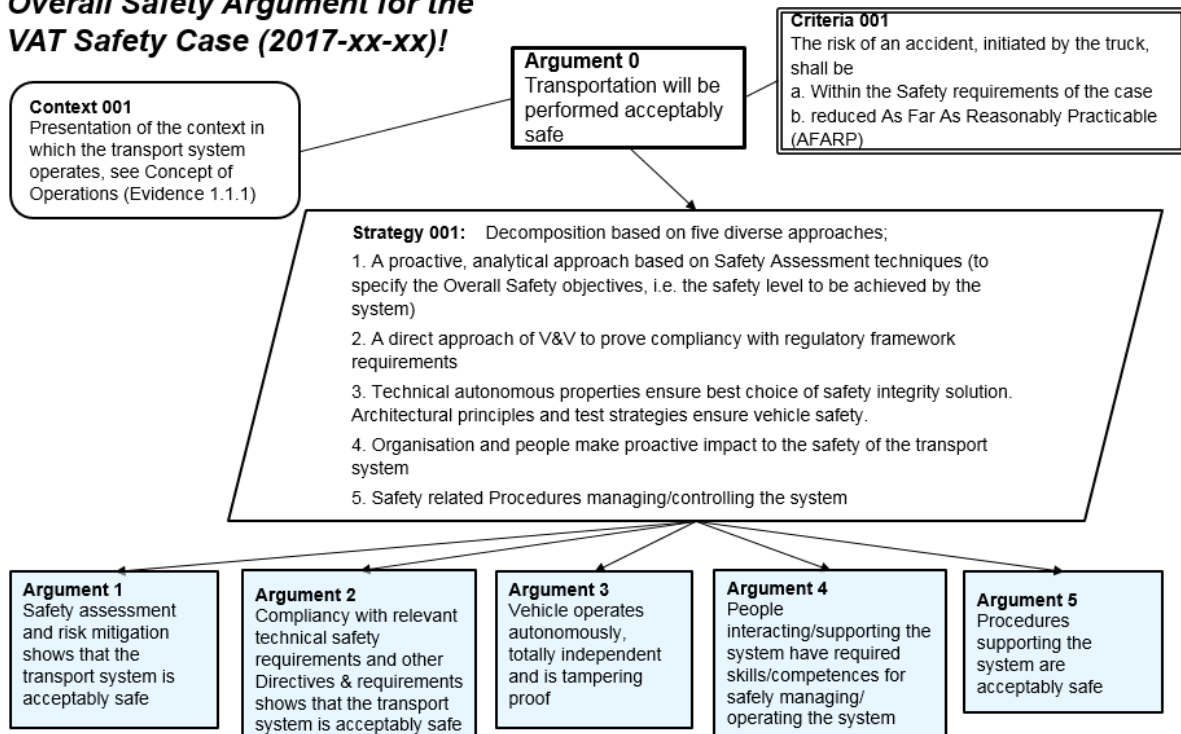
Topp argumentet (d.v.s. Argument 0) fastställer att transportererna kommer att genomföras på ett acceptabelt säkert sätt, se figur 4. Definitionen "acceptabelt säkert" (se Argument 0) kan tolkas på många olika sätt. I "Criteria 001" ges en förklaring till tolkning.

"Acceptabel" risknivå har i projektet definierats (As Low As Reasonably Practicable) som den nivå där riskexponeringen motsvarar en nivå jämförbar med de kravställningar som gestaltas av svensk och europeisk lagstiftning för maskiner och arbetsmiljö.

Criteria for Argument 0 = As Low As Reasonably Practicable (Ref: definition enligt British HSE (Health and Safety Executive))

För att argumentera för hur transporten utförs på ett acceptabelt säkert sätt har en strategi valts (se "Strategy 001" i figur 4). Strategin används för att leda ett resonemang mot en nedbrytning till Argument 1 till 5, vilka utgör de huvudsakliga grundbultarna för underliggande säkerhetsresonemang. Nedan presenteras Argument 1 – 5.

### Overall Safety Argument for the VAT Safety Case (2017-xx-xx)!



Figur 4. Boliden Safety Case toppnivå-argument med den strategi för nedbrytning av Argument 0 som leder till underliggande Argument 1 till 5, argument för varför transportsystemet kan anses vara acceptabelt säkert.

Bevis på att ställda säkerhetskrav har infriats kan byggas upp genom olika metoder:

- Verifikation och validering
- uppfyllande av lagar, direktiv och tekniska standarder
- Tester och praktiska försök

#### Argument 1 – System Safety Concept uppfyller krav på systemsäkerhet

Argument 1 redogör för hur systemets risker har identifierats och värderats. Här redogörs även för vilka säkerhetsmål som har definierats och de krav på funktionell säkerhet som ställts. Hur konceptet för säkerhet har beskrivits.

Detta säkerhetsfundament är grundläggande i uppbyggnaden av säkerhetsargumentationen, framför allt då vi i projektet hanterar ny och relativt oprövad teknologi.

Fordonsstandarden ISO 26262 Functional Safety utgör en viktig bas i analysarbetet.

Argumentet innehåller:

- Innehåll som tillsammans bygger upp "System Safety Concept", dvs. Item description, HARA, FSR, säkerhetsmål

#### Argument 2 – Uppfyllande av lagar, Direktiv och Tekniska standarder

Argument 2 ger en beskrivning av ett säkerhetsfundament som representerar branschens bästa vetande vad gäller applicerbara risker. Dessa risker har av myndigheter och intresseorganisationer identifierats och hanterats och formulerats i form av lagar och föreskrifter.

Argumentet redogör för hur regulatoriska kravställningar och etablerade tekniska standarder har applicerats på transportsystemet för att bidra till att Argument 0 uppfylls.

Argumentet innehåller:

- Bevis på överensstämmelse med identifierade tekniska krav, direktiv och standards
- Dokumentation som visar kompatibilitet med ISO 26262-3
- Dokumentation som visar kompatibilitet med Maskindirektivet (CE märkning)

#### *Argument 3 – ADS uppfyllande av säkerhetskrav*

Argument 3 beskriver hur funktionaliteten som representeras av Automated Driving System (ADS) säkras och kontrolleras, både m.a.p. direkta risker (safety) och manipulerade risker vid utbyte av data (security).

Argumentet innehåller:

- Dokumentation om att "Automated Driving System" upprätthåller acceptabel nivå av Safety och security
- ADS Technical safety concept
- IT Cyber security

#### *Argument 4 – personalens Utbildning och kompetenser*

Argument 4 beskriver hur organisationen jobbar för att i möjligaste mån minska personalens exponering mot att bidra till risker.

Argumentet innehåller:

- Kompetens och utbildningsprogram för berörda operatörer/tekniker
- Rutiner för hur Ändringshantering ska genomföras i det praktiska dagliga arbetet
- Dokumentation över hur Människa-Maskin interaktionen (eng.: HMI) har säkrats i det dagliga jobbet

#### *Argument 5 – Hantering av procedurer*

Argumentet beskriver vilka kompletteringar i ledningssystem som behövs för att trygga säkerheten över tid. Här diskuteras hur de inblandade operatörernas ledningssystem behöver harmonieras och synkroniseras.

Argumentet innehåller:

- Procedurer för att genomföra revisioner av det dagliga arbetet
- Systemsäkerhets monitorering, principer och ledning
- Rutiner och processer för genomförande av arbetssäkerhetsanalyser
- "In case of Emergency" procedurer

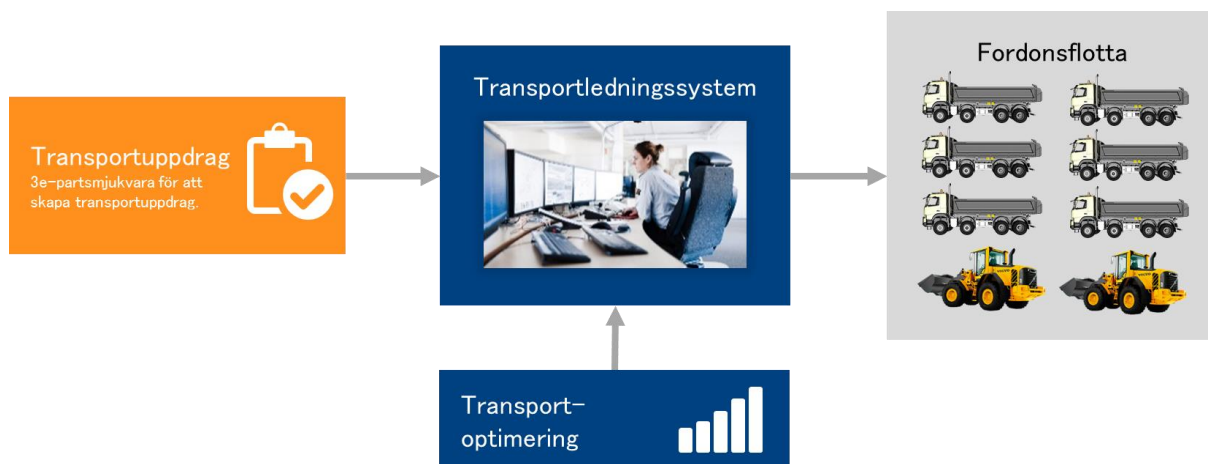
## 7.2 Transportledningssystem för autonoma fordon

Transportledningssystemet ATMS (Automomous Transport Management System) består av ett antal olika komponenter, där huvuddelen är ett kontrollrum för hantering av en flotta av autonoma fordon. Som bas för kontrollrumsapplikationen har vi använt oss av Saabs mjukvara SAFE (Situational Awareness for Enhanced Security). Applikationen används sedan tidigare kommersiellt i bland annat kontrolltorn på flygplatser, kontrollrum för fångelser och koordinering av kommunaltrafik. En annan viktig del i transportledningssystemet är en gateway-applikation som utvecklats för att möjliggöra kommunikation mellan SAFE-applikationen och autonoma fordon. Denna gateway implementeras som ett plugin till SAFE-basprogrammet. All kommunikation mellan autonoma fordon och SAFE överförs via denna applikation.



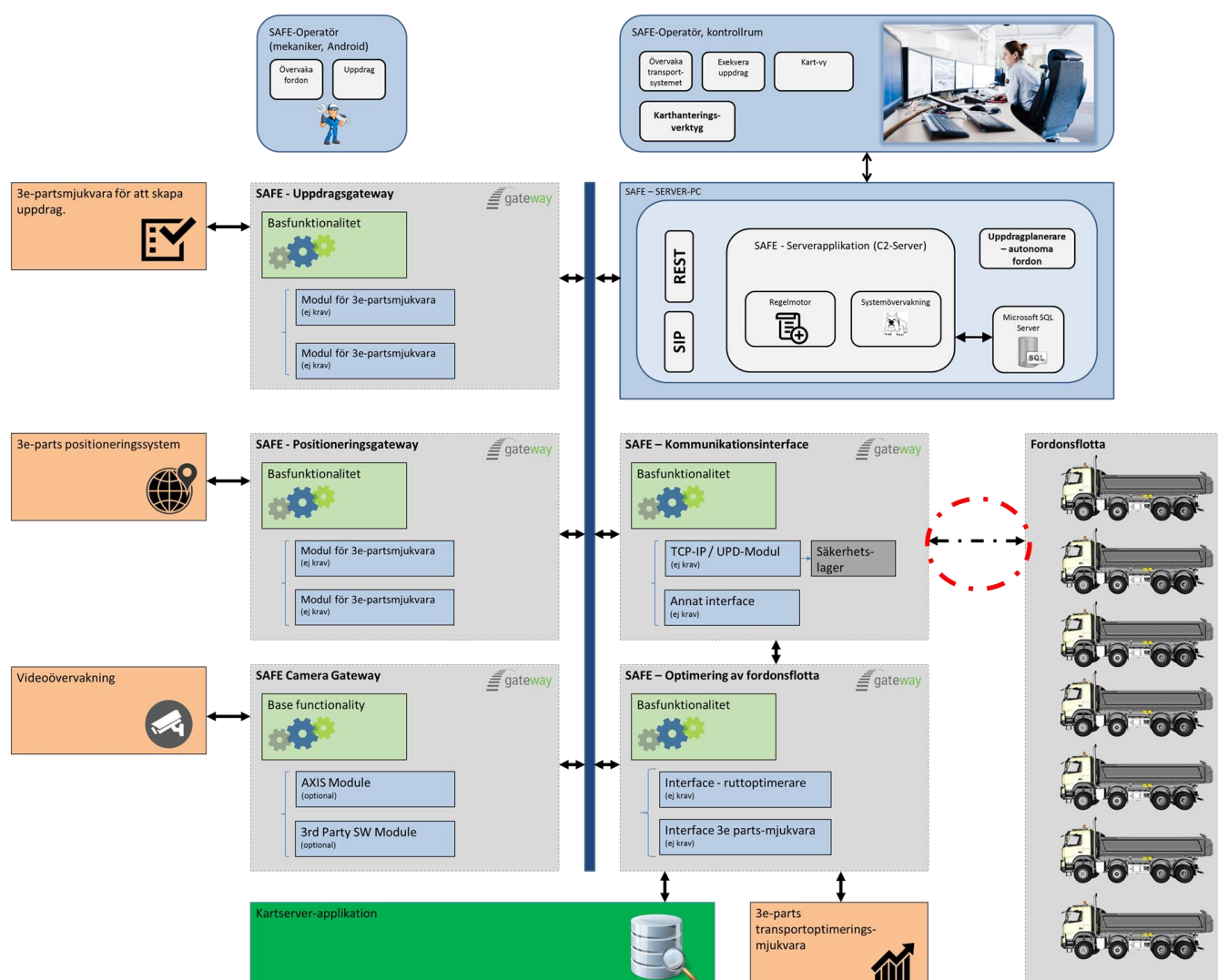
Figur 5: Kontrollrumsapplikation tillsammans med autonoma fordon.

Vidare innehåller transportledningssystemet en mjukvara för att optimera transportflödet, med avseende på effektivitet och säkerhet för ett stort antal autonoma fordon som kör inom samma område. Denna applikation, som har utvecklats av Chalmers Tekniska Högskola, använder evolutionära algoritmer för att på ett snabbt och robust sätt generera trajektorier (väg och hastighetsprofil) för en hel autonom fordonsflotta, baserat på en begäran från ett fordon. Metoden är dynamisk, d.v.s. den hanterar frekvent omplanering, vilket är nödvändigt varje gång ett fordon är redo att lämna en ändpunkt (efter antingen lastning eller lossning). Fordonet begär då omplanering, varpå metoden genererar och optimerar en ny plan (för hela flottan) inom någon eller några sekunder. Under planeringsfasen tas hänsyn till de fordonsrörelser som äger rum under tiden. Metoden beskrivs i detalj i en tidskriftsartikel som för närvarande är under utvärdering. Figur 6 nedan visar informationsflödet från det att ett uppdrag skapas till dess att det exekveras på fordonen.



Figur 6: Arbetsflöde - transportledning

Slutligen innehåller transportledningssystemet integrationer mot sensorer såsom infrastrukturkameror, och mot 3e-partsmjukvaror för bland annat positionering av manuella fordon och för skapande av transportuppdrag. Figuren nedan beskriver mer ingående SAFE-mjukvaran tillsammans med de tillägg och integrationer som implementerats under projektets gång.



Figur 7: Systemlayout för transportledningssystemet



Interfacet som utgör kommunikationslänken mellan fordon och SAFE är markerad med en röd cirkel i figuren. Alla orange boxar är 3e-partsapplikationer och/eller 3e-partssensorer som integrerats mot SAFE. Ljusblå boxar med SAFE-benämning utgör olika delar av SAFEs grundmjukvara, och de grå boxarna markerade med "gateway" utgör olika interface-implementationer mot SAFE-mjukvaran. Varje gateway-applikation innehåller dels en basfunktionalitet, och dels en modulbaserad funktionalitet som kan bytas ut för att matcha det interface den kopplas upp mot.

Slutligen representerar den gröna boxen en kartdatabas tillsammans med en mjukvara för administration av densamma. Kartdatabasen används för att lagra inspelad kart-data och rutt-information som skapats vid manuell körning av ett autonomt fordon. Informationen kan sedan delas mellan flera autonoma fordon.

### *Situational Awareness For Enhanced Security (SAFE)*

Säkerhets- och säkerhetshandlingssystemet SAFE används i många applikationer där robusthet och säkerhet är viktiga parametrar. Kunskapen om att implementera kompletta system för hantering, positionering och säker kommunikation i olika slags miljöer är avgörande för att nå en autonom lösning som är robust, säker och operativt styrd från ett fjärrstyrt kontrollrum.

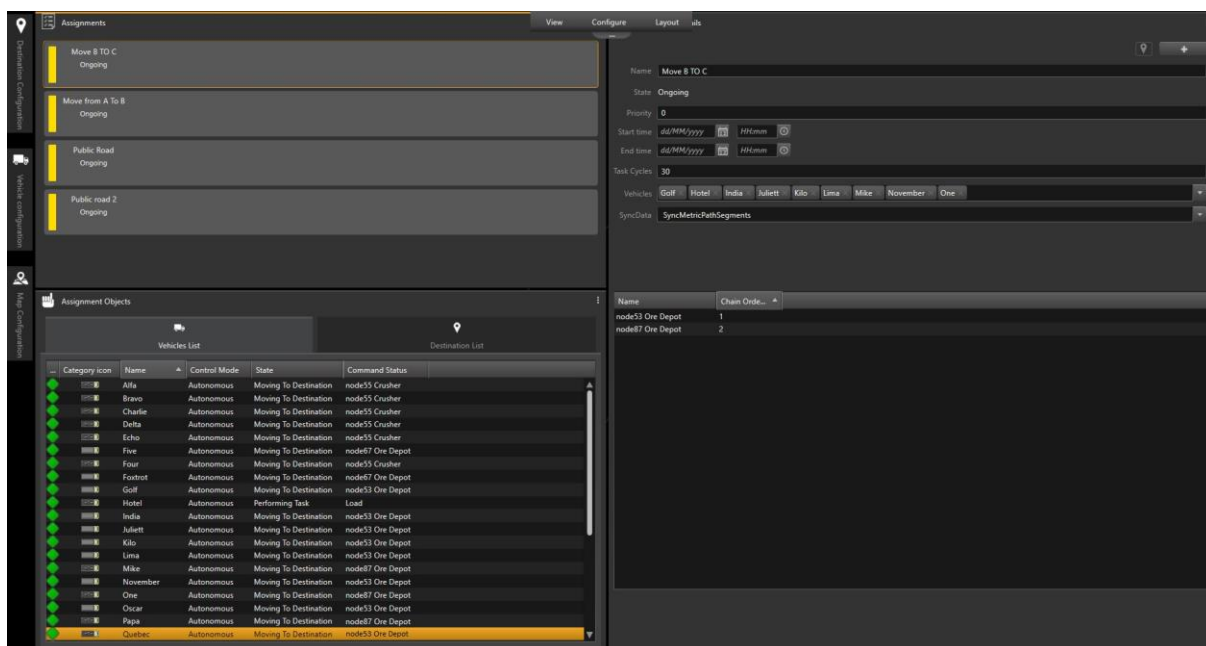
SAFE är i grund och botten ett mycket avancerat ärendehanteringssystem och beslutsstödsystem där begreppet ärende är väldigt generellt. Till exempel kan ett ärende vara en arbetsorder för en mekaniker. Ett ärende kan anta olika tillstånd, som för en arbetsorder skulle kunna vara "Ej påbörjat", "Pågående" och "Avslutat" som exempel. En huvudkomponent i SAFE är också en regelmotor där mjukvaran konfigureras, till exempel så att en arbetsorder för en mekaniker automatiskt genereras då ett larm inkommer från ett fordon.

### **Operatörsrum – och operatörsfunktioner**

En stor del av transportledningssystemet utgörs av operatörsrum och dess funktionalitet. I operatörsrummet sker bland annat planering av autonoma uppdrag, övervakning av pågående uppdrag samt hantering av eventuella larm. Principen som använts i projektet är att operatören inte skall behöva göra något ingrepp så länge inget händer som kräver operatörens uppmärksamhet.

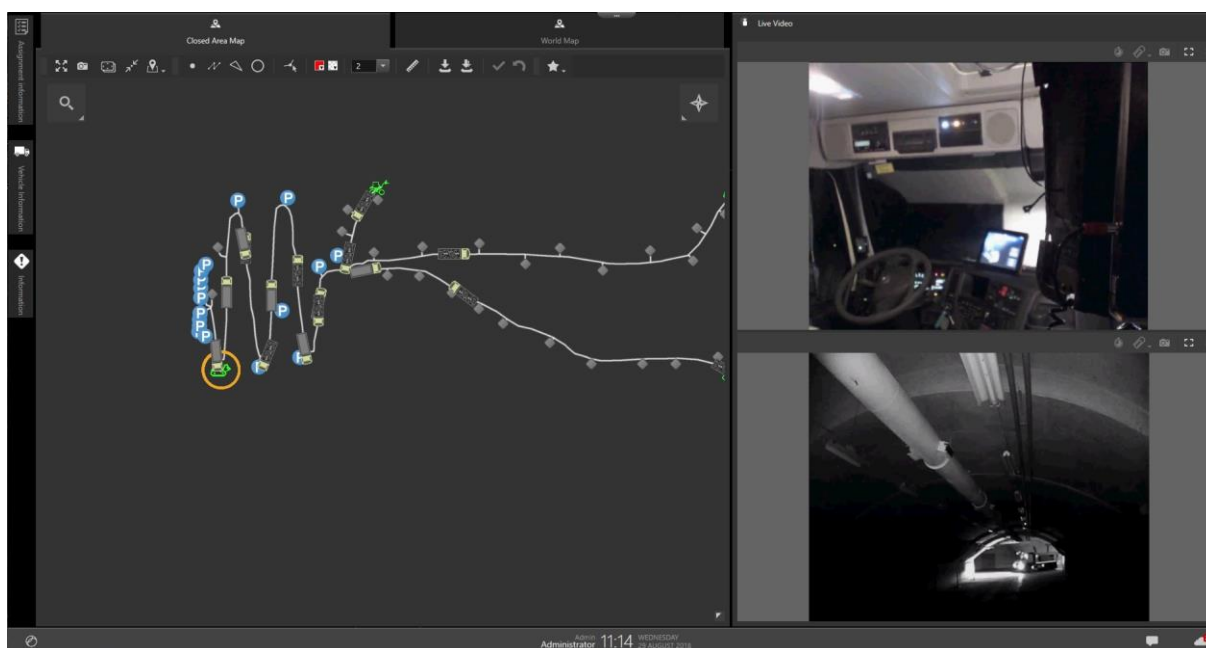
Planering av ett uppdrag kan till exempel vara att allokera ett antal autonoma lastbilar för att transportera malm mellan ett brytrum och en stenkross. Uppdraget kan antingen startas manuellt, eller automatiskt på en given tidpunkt. Ett uppdrag kan också vara att köra en sopbil autonomt mellan ett antal soptunnor längs en gata i ett villaområde.

Figuren nedan visar den operatörsvy som används för att manuellt skapa uppdrag åt autonoma fordon. I exemplet har ett uppdrag skapats för att transportera malm mellan destination "Ore depot" och destination "Crusher". Bedömnigen är att lastbilarna totalt behöver transportera 5 lass, men detta kan justeras i efterhand för att inte i onödan köra lastbilstransporter. Flikarna till vänster i vyn innehåller verktyg för att konfigurera destinationer, fordon samt kartinformation.



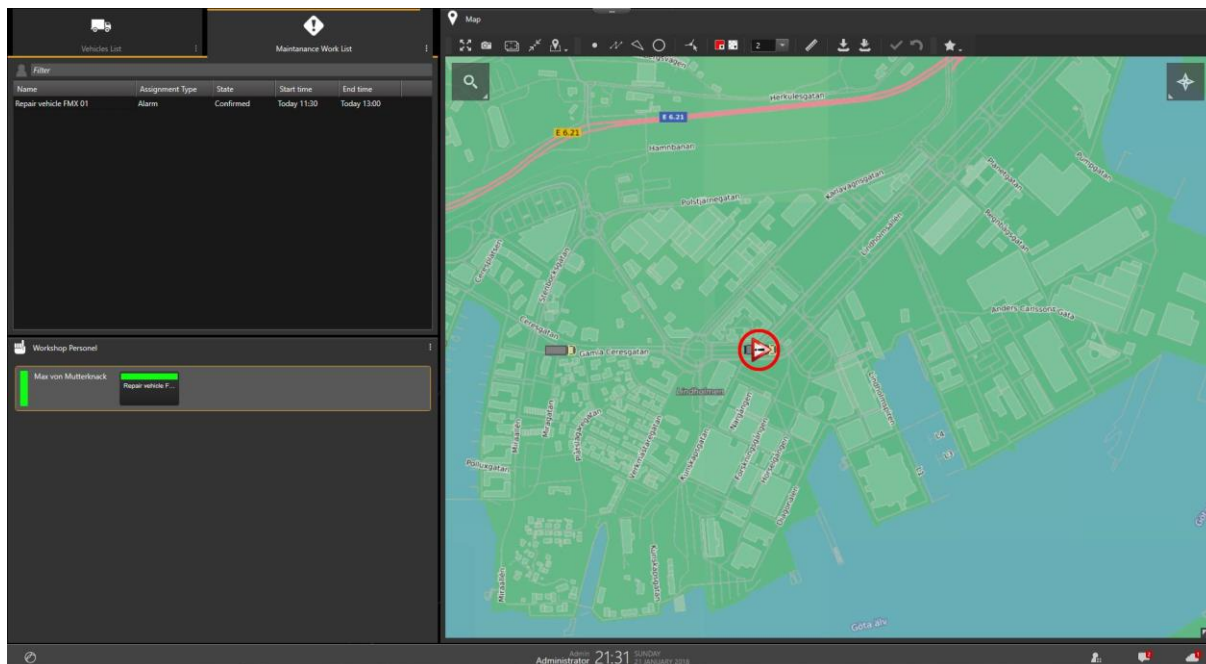
Figur 8: Operatörsvy - uppdragshantering

Övervakning av systemet kan dels ske genom att studera fordonens rörelser i en karta, i projektet har såväl en 2D-karta som en 3D-karta implementerats. Övervakning kan också ske genom att studera kameraflöden dels från infrastrukturen, men också från kameror monterade på fordonen. Figuren nedan visar en operatörsvy som visar alla fordon i en 2-dimensionell karta samt utvalda videostreamar till höger. Vid klick på ett fordon visas de videostreamar som är aktuella för det fordonet.



Figur 9: Operatörsvy - kartvy

Förutom vid planering av uppdrag krävs operatörens uppmärksamhet också vid olika typer av larm. I figuren nedan visas den operatörsvy som används för larmhantering.



Figur 10: Operatörsvy - larmhantering

I operatörsvyn visas en lista med uppdrag som automatgenererats till följd av att fordon rapporterat larm, och en lista över de fordon som rapporterar något form av larm. Genom att klicka på ett fordon visas det i kartan, och beroende på om felet är allvarligt eller ej visas en röd- respektive blå varningstriangel på fordonssymbolen.

Det som krävs i manuell ingrepp är att operatören kopplar en verkstadsmechaniker till uppdraget genom att dra mekanikern från nedre listan (Workshop personel) till aktuellt uppdrag. Om fordonet självt kan ta sig till verkstaden kommer detta att ske per automatik under förutsättning att en verkstad finns tillgänglig i systemet.

### Säkerhet

Säkerhet är ett brett begrepp och sträcker sig hela vägen från hantering av rena hot såsom att någon bryter sig in i kontrollrummet till säkra dataöverföringar. I såväl gruvmiljö (malmtransport) som på allmän väg i villaområden (avfallshastering) ligger mycket stort fokus på säkerhet, men på helt olika sätt. I gruvmiljö körs fordonen i trånga utrymmen, ofta med bara en väg som leder ut. Om en brand skulle uppstå i en sådan miljö är det av yttersta vikt att kunna koordinera autonoma fordon så att vi maximerar chanserna att rädda alla människor i gruvan. På allmän väg är det istället människor, i synnerhets nyfikna barn, som utgör den största risken.

Under projektets gång har mycket stort fokus lagts på säkerhet, och detta kapitel går igenom de viktigaste arbetet som gjorts för att garantera säkerheten.

### Larm från fordon

Larm från fordon sänds som en signal från fordonet till ledningssystemet. De larm som kan inträffa är indelat i fyra olika kategorier, och hanteringen av larmet beror av vilken kategori larmet tillhör.

#### Larm - Blockering:

Ett autonomt fordon har stannat eftersom det ligger något i vägen. Operatören åtgärdar problemet genom att slå på kameravyn för aktuellt fordon och kalla på hjälp för att flytta föremålet.

#### Larm – Blå varning:

Enkelt fel på fordon, till exempel att spolarvätskan börjar ta slut. fordonet kör till verkstaden efter det att nuvarande uppdrag är slutfört. Operatören skapar med automatik ett uppdrag att åtgärda problemet och allokerar det till närmsta tillgängliga mekaniker.

### Larm - Gul varning:

Mer allvarligt fel på ett fordon. Till exempel punktering på ett bakdäck. Fordonet kör till verkstaden direkt, men klarar att göra det för egen maskin. Operatören skapar med automatik ett uppdrag att åtgärda problemet och allokera det till närmsta tillgängliga mekaniker.

### Larm – Rött:

Allvarligt fel på ett fordon. Till exempel punktering på ett framhjul. Fordonet behöver assistans på plats. Operatören skapar med automatik ett uppdrag att åtgärda problemet och allokera det till närmsta tillgängliga mekaniker.

Ett larm kan alltid uppgraderas till en allvarligare nivå. Till exempel skulle det kunna ske om bränslet börjar ta slut, för att sedan komma ned på en kritiskt låg nivå.

### **Larm från andra system**

Larm kan också komma utifrån, till exempel i form av ett brandlarm. Operatören kan då begära att samtliga autonoma fordon skall flytta sig ur vägen och i säkerhet.

### **IT-säkerhet – säker dataöverföring**

Den mest kritiska datalänken ur säkerhetssynpunkt är den trådlösa överföringen av data mellan fordon och ledningssystemet. Här tillämpas såväl kryptering som signering av alla meddelanden, och ovanpå det skickas signalerna i ett lokalt och krypterat nätverk. Dessutom finns en rad säkerhetsåtgärder som skydd mot att meddelanden spelas in och senare spelas upp (man-in-the-middle-attacker). Se kapitlet "Kommunikationsinterface SAFE - Fordon" för figurer och mer detaljer.

All data som skickas mellan olika komponenter internt på server-datorn mellan olika SAFE-komponenter är också skyddad med kryptering och autentisering (REST-protokoll).

### **Körplanering för att undvika möten**

Genom att utnyttja ruttoptimeringsalgoritmen från Chalmers undviks komplicerade mötessituationer vilket ökar såväl säkerheten som produktiviteten. Säkerheten eftersom mötessituationer alltid utgör ett riskmoment, och produktiviteten eftersom mötessituationer ofta är tidskrävande.

### **Positionering av manuellt körda fordon**

Säkerheten ökas ytterligare genom att även integrera mot det system Boliden använder sig av för att positionera manuellt körda fordon. Positioneringen är relativt grov (+/- 100m ungefär), men genom att logga positioner kontinuerligt under en tid och sedan skatta nuvarande position och riktning med hjälp av ett Kalman-filter kan noggrannheten ökas till ca (+/- 50m). Den noggrannheten är tillräcklig för att kunna för att kunna undvika de flesta komplicerade mötessituationer.

### **Redundans**

För att möjliggöra att köra server-applikationen fördelat på flera datorer finns inga tillstånd inbyggda i någon mjukvara. All data som lagras görs i en PostGres-databas som är uppbyggd för att kunna köras på flera servrar vid behov. På så sätt är systemet skalbart efter behov.

I projektet har vi dock endast haft behov av att köra server-mjukvaran och databasen på en enskild server-dator.

### ***Kartserver***

De autonoma fordonen använder sig av en datogenererad karta för att positionera sig, och datogenererade rutter som de kan följa autonomt i kartan. För att inte alla fordon skall behöva göra om proceduren med att spela in kartan och spela in rutter laddas information upp till kartservern, och tankas sedan över till alla övriga fordon av samma typ.

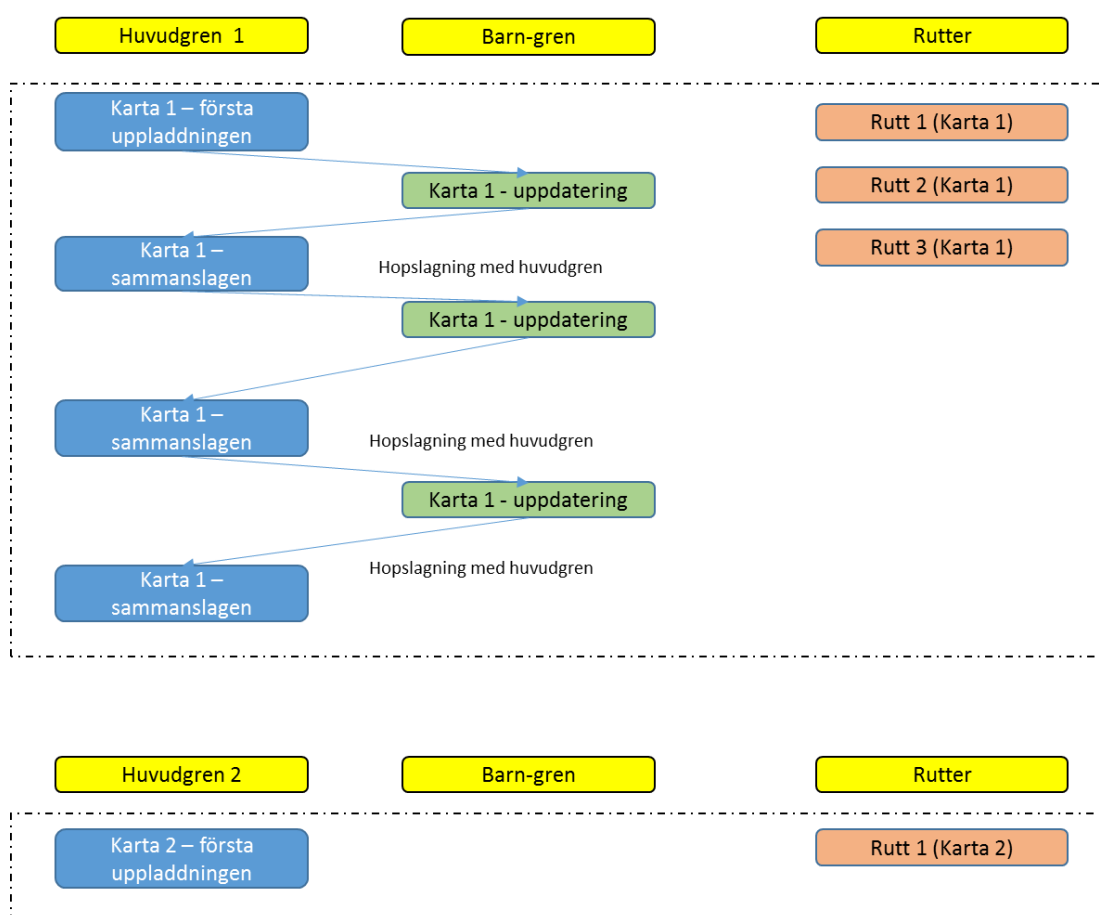
### Inspelning av karta och rutter

För att utöka och/eller ändra kartan börjar aktuellt fordon med att försäkra sig om att det har den senaste versionen av kartan ombord. Sedan körs fordonet manuellt i det nya området, eller området som skall uppdateras och laddar sedan upp den nya kartinformationen till servern. Den nya kartinformationen blir då en gren till den ursprungliga kartan som via ett manuellt ingrepp i kartservermjukvaran kan slås ihop med den ursprungliga kartan, se figur 11.

Inspelning av nya rutter sker på samma vis, d.v.s. först försäkras sig fordonet om att den senaste versionen av kartan finns lagrad. Därefter kan nya rutter spelas in och laddas upp till databasen.

### Lagring och distribuering av karta och rutter

Kartor och rutter lagras enligt samma princip som i ett versionshanteringssystem, men något förenklat. Figur 11 beskriver flödet när kartinformation adderas till kartdatabasen.



Figur 11: kartserver

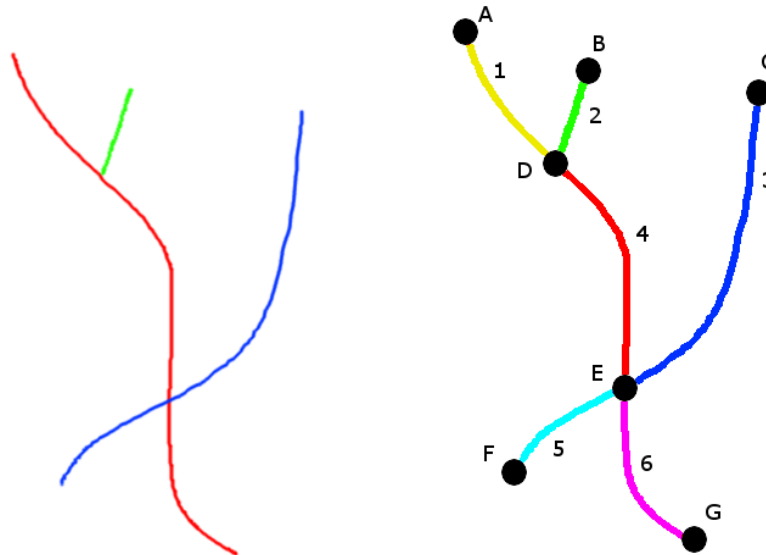
Varje karta i kartservern identifieras med en GUID (Globally Unique Identifier). Alla rutter som hör till kartan har denna GUID som metadata för att visa vilken karta de tillhör.

Om en helt ny karta laddas upp till kartdatabasen, till exempel om ledningscentralen skall användas för flera gruvor, får denna en ny GUID och blir därmed en egen huvudgren i databasen.

### Topologisk karta

När metriska rutter spelas in lagras de som långa oavbrutna vägar som inte används direkt för navigering. De används istället för att beräkna en topologisk karta som består av en uppsättning topologiska noder och topologiska segment som förbinder noderna. En nod skapas för varje korsning och varje slutpunkt i det inspelade

vägnätet. De metriska rutterna delas sedan in i segment som kallas metriska ruttsegment, där varje sådant segment är kopplat till en topologisk väg med ett gemensamt id. Således kan fordonet ladda ner den detaljerade metriska datan som behövs för navigering en gång i förväg och sedan få uppdateringar om vilket metriska segment som ska följas genom att endast ta emot den mycket mindre topologiska datan via uppdragsmeddelanden. Se figur xx för en illustration av de metriska vägarna i motsats till den topologiska kartan och de metriska bananssegmenten. När metriska banor registreras bör deras slutpunkter märkas med en topologisk nodtyp (se tabell 1) och eventuellt också ett namn.



Figur 12: Topologisk representation av metrisk ruttinformation.

Nodtyp	Beskrivning
<b>Övergång</b>	Noden är inte avsedd för stopp, men är snarare en intersektion eller en korsning i vägnätet. Vanligtvis inte namngivna under inspelning men beräknas när den topologiska kartan byggs.
<b>Paus</b>	En ficka vid sidan av vägen där ett fordon kan stanna, till exempel för att släppa fram mötande trafik.
<b>Terminal</b>	En nod som kan vara en destination för fordonet och där uppgifterna vanligtvis utförs, till exempel en malmfyndighet, en soptunna, en verkstad etc.
<b>Parkering</b>	En parkeringsplats där det autonoma fordonet får parkera. Varje autonomt fordon har en parkeringsplats allokerad dit fordonet kör när det inte har några uppdrag.
<b>Prioriterad</b>	Liknande Terminalnod, men med högre prioritet. Om två fordon kommer att mötas på en smal väg, skulle den med en prioriterad nod som sitt uppdragsmål gå först medan den andra skulle vänta i en pausnod.

Tabell 1: Nodtyper

### *Kommunikationsinterface SAFE - Fordon*

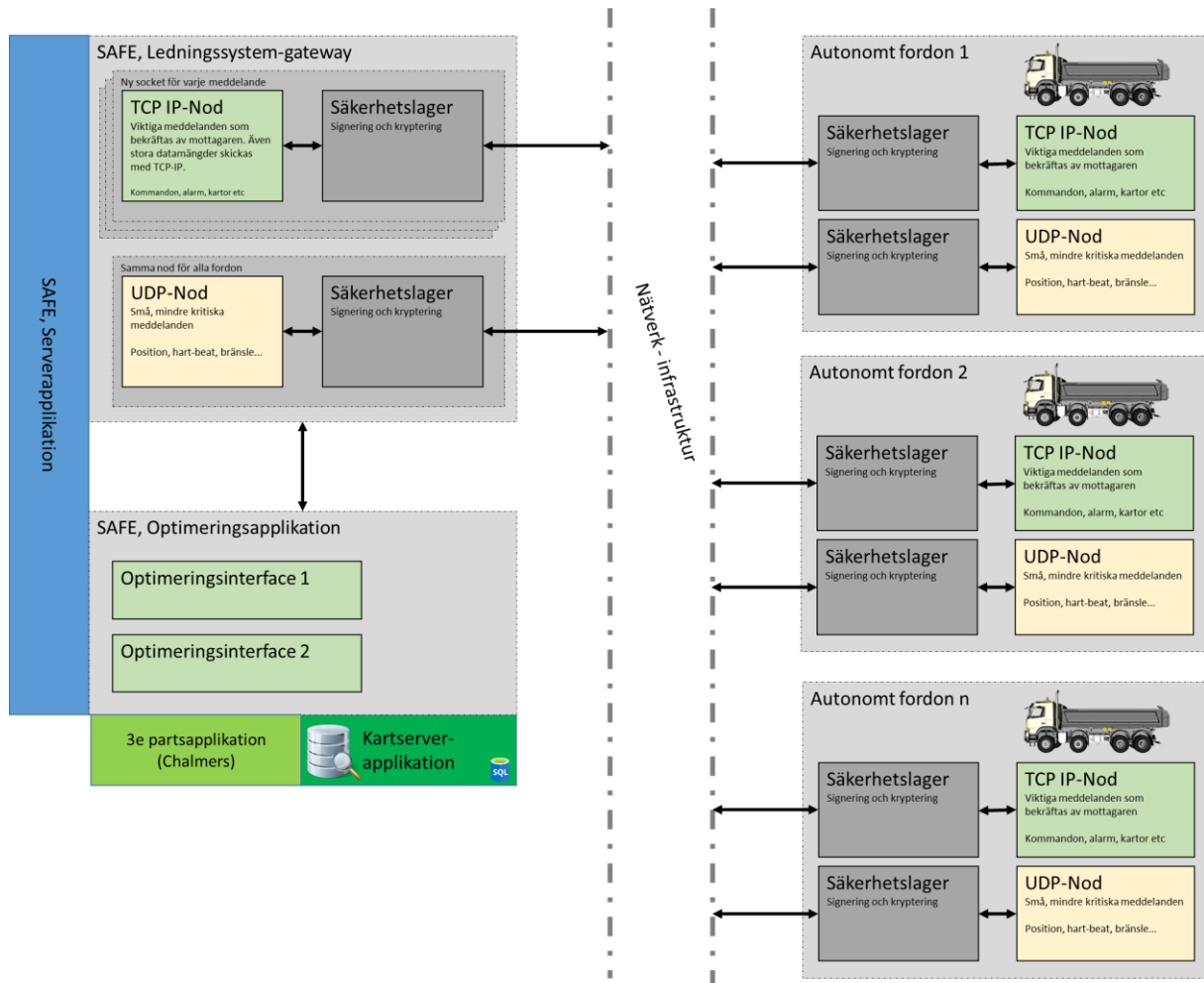
Under projektet har stor vikt lagts vid att systemet skall fungera utan krav på att fordonen har ständig uppkoppling, något som skiljer sig mot många andra system av autonoma fordon. Att ha ständig uppkoppling har visat sig mycket svårt, i synnerhet i miljöer som en gruva med ojämna stenväggar.

Interfacet mot fordonen är skapat på ett väldigt generellt sätt så att många olika fordonstyper skall kunna kopplas upp och kontrolleras av ledningssystemet. Samma interface används för såväl gruvlastbilarna som för sopbilarna, men i praktiken kan i princip vilket autonomt fordon som helst kopplas upp som implementerat interfacet.

För att maximera robusthet används en kombination av UDP-protokoll och TCP IP-protokoll i överföringen av data mellan fordon och SAFE och vice versa. Viktig information som måste komma fram till mottagaren skickas med

TCP IP-protokollet. Exempel på sådan data är körkommandon till fordonen, och larm-signaler från fordonen. Dessa meddelanden får alltid ett svar som bekräftar att de kommit fram och lästs av mottagaren. TCP IP-protokollet används även när stora mängder data skall överföras, t.ex. när en karta spelats in och överförs till kartservern. Detta görs i första hand när fordonen är stillastående.

Mindre kritiska meddelanden såsom positionsuppdateringar, bränslenivå, lastmängd etc. skickas med hjälp av UDP-protokollet utan garanti för att meddelandet kommer fram. Dessa meddelanden skickas relativt ofta, och genom att använda UDP-protokollet får vi aldrig några situationer där meddelanden köas i en buffert.



Figur 13: Kommunikationsinterface mellan fordon och SAFE

Varje meddelande som skickas via TCP-IP eller via UDP går först igenom ett säkerhetslager där de krypteras och signeras för att minimera risken att någon utomstående skall kunna läsa informationen, och dessutom är en lång rad åtgärder vidtagna för att informationen ej skall kunna förvanskas.

### Meddelandestruktur

Protokollet är byggt med Googles "protocol buffers", ofta kallad protobuf, programvara som delvis är ett enkelt språk för att definiera starkt typdefinierade meddelanden på ett enkelt och tydligt sätt, delvis en effektiv och hårt optimerad kodnings- och avkodningsalgoritm och delvis ett verktyg för autogenerera tolkningskod för meddelanden på ett stort antal olika programspråk. Protokollets övergripande struktur är en platt hierarki med alla meddelanden på samma nivå i tolkningsstrukturen.

De meddelanden som definierats för dataöverföringen är såpass generella att i praktiken vilket autonomt fordon som helst skall kunna knytas till ledningssystemet. De viktigaste meddelanden som skickas är listade i tabell xx.

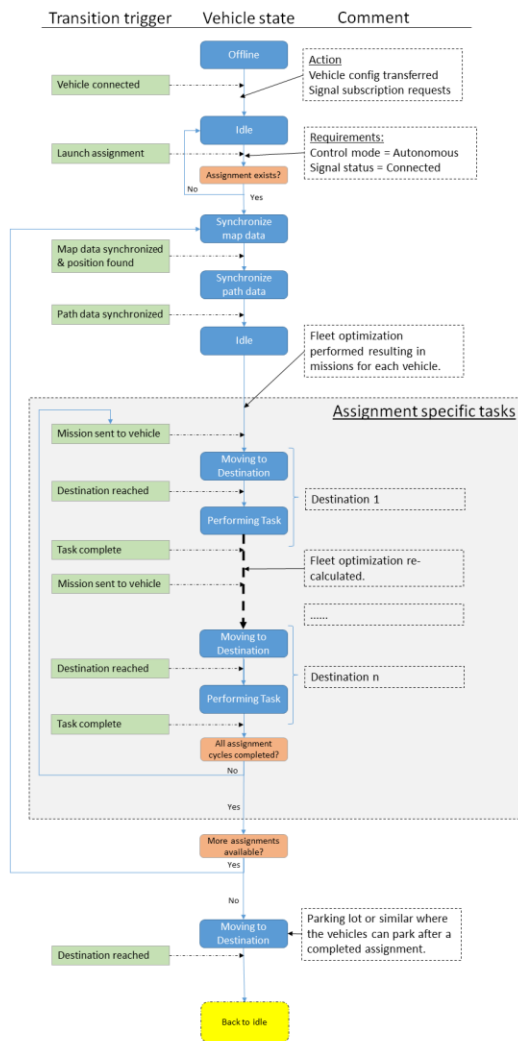
Meddelande	Riktning	Protokoll	Beskrivning
<b>Connect</b>	Fordon → SAFE	TCP-IP	Begäran att ansluta fordonet till transportledningssystemet.
<b>Disconnect</b>	Fordon → SAFE	TCP-IP	Frånkoppling av ett fordon från transportledningssystemet (när ett fordon stängs av exempelvis).
<b>ConfigGet</b>	SAFE → Fordon	TCP-IP	Hämtar fordonskonfiguration, t.ex. fordonstyp och hur mycket last det kan ta.
<b>Subscribe</b>	Båda riktningar	TCP-IP	Begäran att prenumerera på ett meddelande med en given frekvens. T.ex. bränslenivå eller lastmängd.
<b>ControlModeSet</b>	SAFE → Fordon	TCP-IP	Begäran att ändra operationsläge på fordonet: manuellt för manuell körning, autonomt för autonom körning, etc.
<b>Heartbeat</b>	Båda riktningar	UDP	Litet meddelande vars enda syfte är att bekräfta signalen mellan fordonet och ledningssystemet.
<b>PoseMotion</b>	Fordon → SAFE	UDP	Fordonets position, rotation samt hastighet. Meddelandet kan antingen skickas som lat/long för public road och som kartesiska koordinater för angränsade områden under mark.
<b>Alarm</b>	Fordon → SAFE	TCP-IP	Indikerar att något är fel, antingen på fordonet eller att något blockerar fordonet. Se avsnittet Larm för mer detaljer.
<b>StopVehicle</b>	SAFE → Fordon	TCP-IP	Begäran om att fordonet skall stanna. Inte att betrakta som ett nödstopp eftersom vi inte garanterar ständig uppkoppling.
<b>TaskExecute</b>	SAFE → Fordon	TCP-IP	Begäran om att fordonet skall utföra en uppgift, exempelvis lastning eller avlastning.
<b>TaskStatus</b>	Fordon → SAFE	TCP-IP	Används för att tala om när en uppgift utförts av fordonet, till exempel lasta eller lasta av.
<b>Mission</b>	SAFE → Fordon	TCP-IP	Innehåller en fordonsrutt som fordonet skall följa. Dessa meddelanden kan skickas under tiden som fordonet kör till följd av exekverad ruttoptimering i Chalmers ruttoptimerare.
<b>MapTransfer</b>	Båda riktningar	TCP-IP	Används för att skicka kartinformation till kartservern efter inspelning, och för att distribuera kartinformation från servern till fordon.
<b>PathTransfer</b>	Båda riktningar	TCP-IP	Används för att skicka ruttinformation till kartservern efter inspelning, och för att distribuera ruttinformation från servern till fordon.

Tabell 2: Signalmeddelanden mellan SAFE och fordon

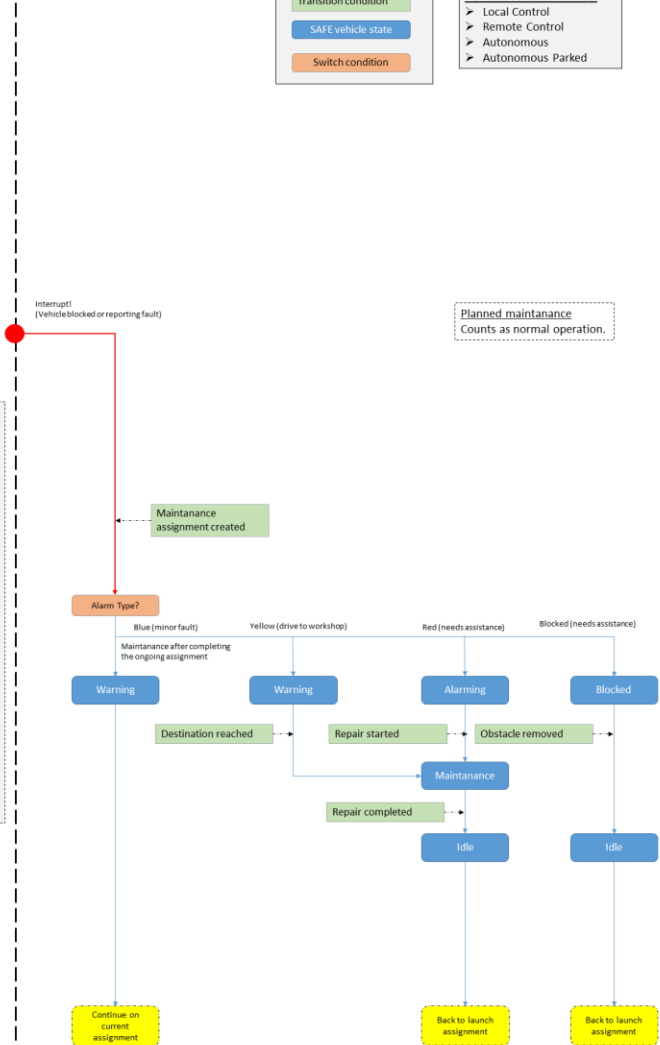
Figur 14 visar flödet av meddelanden mellan SAFE och fordon under normal drift, och även vad som händer vid störningar som uppkommer vid larm.



## Normal Operation



## Maintenance



Figur 14: Flöde av meddelanden vid normalfallet och vid avvikelser.

Även om projektet handlar om lastbilar för malmtransport i gruva och om avfallshantering med sopbilar är det inga nätverksmeddelanden som är hårt knutna till dessa fordonstyper. Syftet med det är att kunna knyta i stort sett vilket autonomt fordon som helst till applikationen.

### 7.3 Fordonets rörelsekontroll

Den grundläggande funktionaliteten för kontroll av lastbilens rörelse i detta projekt är att fordonet ska följa en given rutt genom gruvan. Rutten dikterar fordonets önskade placering i både position och tid, och benämns härifrån som fordonets trajektoria. Den önskade trajektorian representeras av punkter med x- och y-koordinater, samt en fordons hastighet kopplad till varje punkt. Upplösningen på positionsinformationen är i dagsläget 1 dm, och de styrlagar som kontrollerar fordonets rörelse får information om den önskade trajektorian från den ruttplaneringsfunktionalitet som hanterar och planerar trajektorier. När fordonet kör längs rutten klipper rutthanteraren ut ett fönster ur den fullständiga trajektorian som sedan skickas till trajektoriaföljaren. Det utklippta fönstret innehåller information om trajektorian inom ett visst avstånd framför fordonet, samt ett mindre avstånd bakom fordonet. För att följa den önskade trajektorian används flera styrlagar som kontrollerar bilens styrdon för att få bilen att följa den önskade rutten med ett så litet fel som möjligt. Dessa styrlagar kan delas upp i två huvudsakliga komponenter: en regulator som använder fordonets styrsystem för att lateralt placera lastbilen längs den önskade trajektorian, samt en regulator som använder fordonets drivlina och bromsar för hastighetsreglering och longitudinell styrning.

#### *Krav på longitudinell och lateral reglering*

Förhållandena i tunnlarna i Kristinebergsgruvan är tuffa, med backar som lutar +-25% med varierande vägförhållanden där friktionen varierar kraftigt. Kraven på den longitudinella kontrollern var att kunna starta och framföra fordonet på alla ställen där dagens produktion körs. Vid stopp krävdes decimeterprecision för att klara av alla körfall. Det ställdes även krav på att användandet av färdbröms skulle minimeras. Vidare är gångarna i gruvan trånga, och säkerhetsmarginalerna mellan lastbil och gruvans väggar är små. På samma sätt som för den longitudinella regleringen krävdes även decimeterprecision för den laterala regleringen.

#### *Lateral reglering*

Vid körning framåt används fordonets framaxel som referens för banföljningen. Den laterala regleringen av fordonet består av två regulatorer som tillsammans verkar för att diktera fordonets styrvinkel. Den första regulatorn använder en matematisk modell av fordonet för att styra in mot den önskade trajektorian över en given tidshorisont, och tar som insignal en punkt längre fram på trajektorian och beräknar den styrvinkel som behövs för att fordonet ska nå den givna punkten. Denna typ av reglering resulterar i en mycket stabil banföljning utan häftiga rörelser eller tendenser till självsvängningar, men har brister sett till den laterala precisionen och är därför inte tillräcklig för att nå de krav som ställts på banföljningen. För att förbättra den laterala precisionen används en regulator som använder återkoppling av fordonets position relativt trajektorian för att på kort sikt minimera det laterala felet. Som ensamstående komponent kan denna typ regulator orsaka överdrivna rattörelser, självsvängningar och ostabil körning, men i kombination med den modellbaserade regulatorn åstadkoms en lateral styrning som både är stabil samt uppfyller de krav som framkommit under projektets gång.

#### *Lateral reglering vid backning*

Den laterala regulatorn hanterar även backning. Vid backning används bakaxeln på bilen som referens och på samma sätt som för körning framåt används en kombination av två regulatorer för att minimera felet till den inspelade banan för denna axel. Vid backning finns alltid en risk att framaxeln ska göra stora rörelser med en sådan typ av reglering men med den valda backningsalgoritmen är dessa rörelser förutsägbara och överdrivna rörelser av fordonets framvagn har inte varit något problem under projektet.

#### *Utmaningar för den laterala regleringen*

På grund av de höga precisionskraven som ställts på banföljningen måste en relativt aggressiv parametersättning användas. Detta får till följd att små oscillationer i positioneringen kan få stora utslag på banföljningen. Likaså måste den önskade trajektorian vara genererad på så sätt att små svängningar i x- och y-informationen inte kan få genomslag på banföljningens prestanda. Det finns således en avvägning mellan banföljningens önskade precision, positioneringens respons och trajektorians körbarhet.

Gruvans vägar består mestadels av grus. Storleken på gruset varierar kraftigt, från stora stenar på ca 40 mm till sand/damm med partiklar på mindre än 1 mm. Detta medför att vägunderlaget kan variera stort beroende på var i gruvan fordonet framförs. Framför allt varierar vägbanans friktion, speciellt om det kommer ut vatten på vägen, vilket är vanligt förekommande på grund av spolning, läckage från gruvväggarna, samt väderomslag ovan jord. Vid låg friktion understyr bilen kraftigt, vilket medför stora utmaningar för den laterala regleringen. För att kunna

hantera detta körfall måste återkopplingen till banföljaren vara mycket responsiv och helst vara baserad på annan dynamik än det laterala felet, vilket tar tid att bygga upp.

### *Longitudinell reglering*

I den longitudinella regleringen användes fordonets drivaxelhastighet som referens. För att styra drivaxelhastigheten beräknades en resulterande kraft på hjulen utifrån det aktuella hastighetsfelet som sedan allokterades på de olika aktuatorerna (färdbröms, motor, retarder).

Nära stopp övergår hastighetsregleringen till en positionsreglering för att kunna uppnå den höga precision som krävs.

### *Utmaningar för den longitudinell reglering*

Den longitudinella regleringen är beroende av att massan som används i regleringen är korrekt. Eftersom det inte fanns några tillförlitliga givare för att mäta massan hos fordonet skapade detta mycket stora problem. Även den varierande friktionen skapade en hel del utmaningar då det var enkelt att låsa upp drivhjulena vid för mycket motorbröms/retarder.

De professionella chaufförerna, som normalt framför fordonen i gruvan, kör alltid med växellådan i manuellt läge. Detta på grund av att automatläget inte hanterar de extrema förhållandena med snabbt skiftande lutning som är i gruvgångarna. Detta medförde att förhandsdata var tvunget att användas för att få en tillförlitlig växelstartegi.

### *Lärdomar från testverksamhet*

Bolidens gruva har besökts i flera omgångar för olika typer av testverksamhet. Dessa testperioder har föregåtts av omfattande utvecklingsarbete på Volvos kontor, samt testkörningar på olika provbanor runt om Göteborg. Då faktiska tester i gruvan är mycket tidskrävande så har tillgång till provanläggningar som liknar gruvmiljön varit avgörande för att kunna bedriva effektiv utveckling av funktionalitet. Utöver utvecklingsverksamhet har även mycket säkerhetsarbete genomförts, för att säkerställa att testerna på plats i gruvan genomförts på ett kontrollerat och säkert sätt.

Testperioderna i gruvan har präglats av tidsbegränsningar då mycket arbete ska hinnas med på kort tid, och har således varit krävande. Vidare är arbete i gruvan mentalt påfrestande, då arbetet sker i smala gruvgångar där körningarna kräver hög koncentration från säkerhetsförarens sida för att säkerställa att testerna snabbt kunde avbrytas om något gick fel. Testerna sker även långt under jordytan, samt mestadels i totalt mörker. Mörkret medför svårigheter vid hantering av lastbil i gruvan, främst vid backning, och testerna har generellt tagit längre tid än förutspått. Mest komplicerat var att utföra tester under pågående produktion i gruvan, vilket oftast fick schemaläggas i skiftbyten. Mycket trafik i gruvans huvudramp medförde att testerna då fick utföras i omgångar och avbrytas för att släppa fram transportfordon.

## 7.4 Positionering

### *Positionering i gruvan*

Grunden för positionering i gruvan är sensor fusion, i detta fall att använda många olika sensorer för att sammanställa en position som är mer noggrann än någon av sensorerna var för sig. Detta gäller inte bara spatialt, d.v.s. positionen som sådan, utan även temporalt, d.v.s. för alla relevanta tidsintervall. Eftersom en del sensorer är snabba, men driver över tid (t.ex. gyro), medan andra är långsamma och noggranna (t.ex. konturnavigation och GNSS), kan en sammanslagning av dem bli både snabb och noggrann. För att åstadkomma detta finns ett Kalmanfilter, som tar in samtliga sensorsignaler med beräknad eller estimerad osäkerhet/varians och beräknar position och samtliga vinklar på fordonet, s.k. pose, med varians. Det går således att spåra osäkerheten genom filtret till resultatet. De sensorer som används framgår av tabell 3 och hur de bidrar till position och vinklar i figur 1. Utsignaler finns redovisade i tabell 2.

Tabell 3. Sensorer som används för positionering i gruva.

Sensortyp	Enhet	Varianstyp
Accelerometer	m/s <sup>2</sup>	Konstant
Gyro	deg/s	Konstant
Magnetometer	gauss	Konstant
Hjulhastighet	rpm	Konstant
Konturnavigation	x,y	Beräknad
GNSS	lat,long	Beräknad
Mobilaris	x,y	Konstant

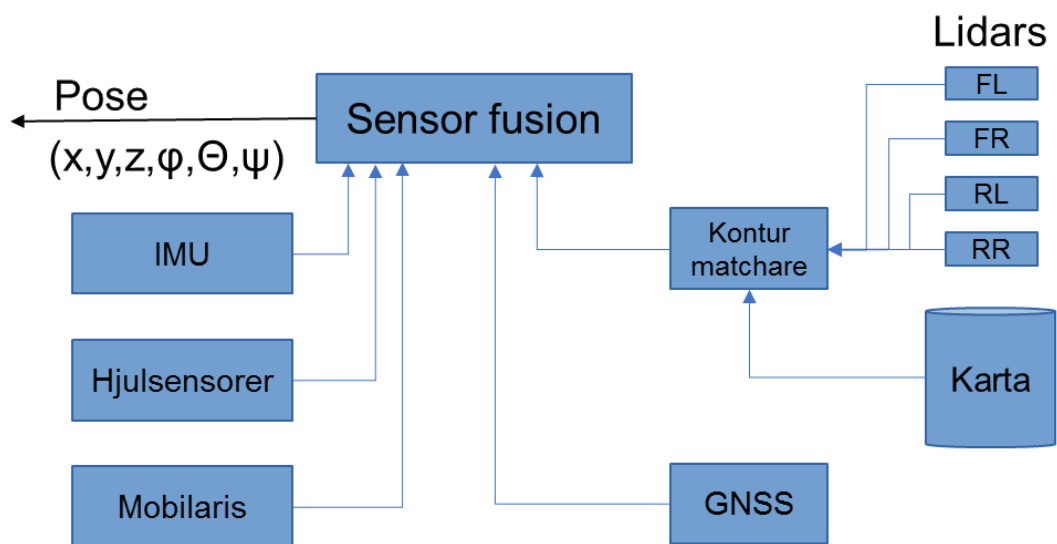
För att fastställa position används främst konturnavigation under mark och en kombination med GNSS ovan mark. Konturnavigationen utnyttjar de skillnader som finns för varje svept plan, vilket registreras med fyra laserscannern (LiDAR), vilka är positionerade i hörnen på gruvbilen, se figur 2. Genom att först köra manuellt i alla delar av gruvan som är av intresse och logga data i form av svepta plan kan en karta byggas över totala konturen. I denna karta kan sedan ett koordinatsystem sättas, med origo och principalaxlar enligt Bolidens gruvkartor, I samband med detta kan även andra typer av post-processing förekomma, t.ex. manuell korrektion av uppenbara fel.

För att fastställa positionen matchas sedan konturen från befintligt svept plan med konturer i kartan. För de fall som normalt uppstår då den nya konturen att fastställa position för är nära den föregående är matchningen relativt enkel och tar inte mycket processorkraft i anspråk. I andra fall, t.ex. vid uppstart, behövs ofta en initial position med tillräcklig noggrannhet. Den maximala hastighet som gruvlastbilarna framförs i är 30km/h, under vilken förflyttningen mellan varje scanning med LiDARn bara är en bråkdel av en meter, vilket är väl under gränsen. Även det faktum att LiDARn är en mekanisk konstruktion som 'sveper' ett plan med en viss frekvens gör att bilden som erhålls blir förvrängd vid förflyttning. För att få en rättvisande bild behöver rådata därför kompenseras med avseende på hastigheten och uppdateringsfrekvensen. Även ett lokalt positioneringssystem, Mobilaris, har använts. Detta ger en relativt grov position, men kan ändå användas effektivt i positionsfiltret då detta väger samman alla bidrag ur statistiskt perspektiv.

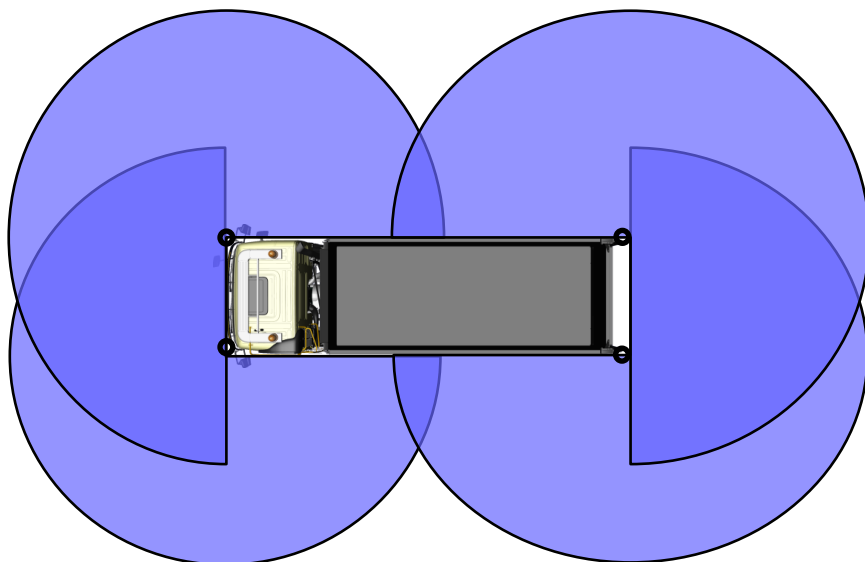
I den autonoma sopbilen, som används ovan mark, har både konturnavigation och GNSS används för att erhålla en säker position.

Tabell 4. Utsignaler från sammanslagningsfiltret.

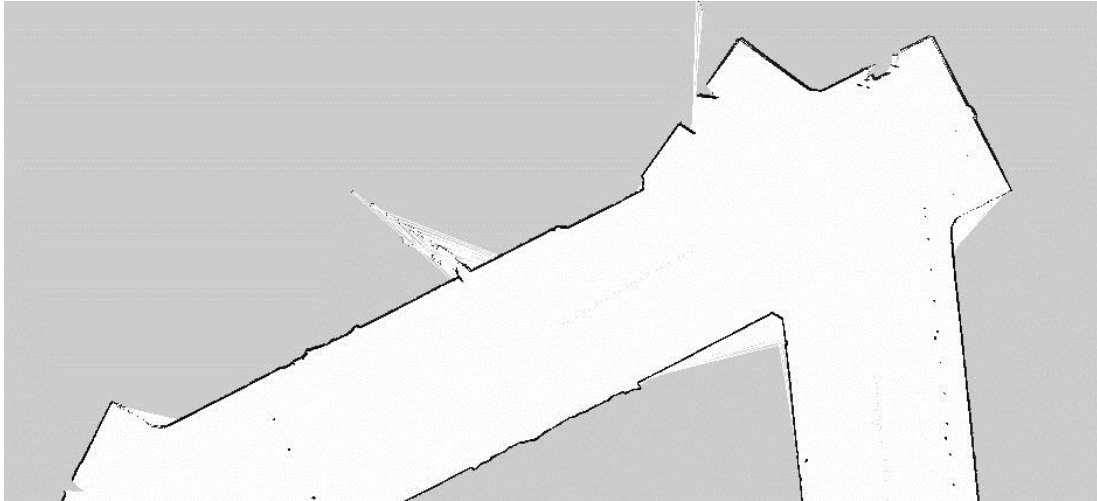
Symbol	Namn	Enhet
x	Longitudinell position i globala koordinatsystemet	m
y	Lateral position i globala koordinatsystemet	m
z	Höjdposition i globala koordinatsystemet	m
$\varphi$	Sidolutning relativt horisonten (Roll)	rad
$\theta$	Framåtlutning relativt horisonten (Pitch)	rad
$\psi$	Vridning relativt axlarna på globalt koordinatsystem (Yaw)	rad



Figur 15. Schematisk bild av sensorer, konturnavigation samt sensorfusion.



Figur 16. Positionering och svept yta av LiDARs på gruvbilen



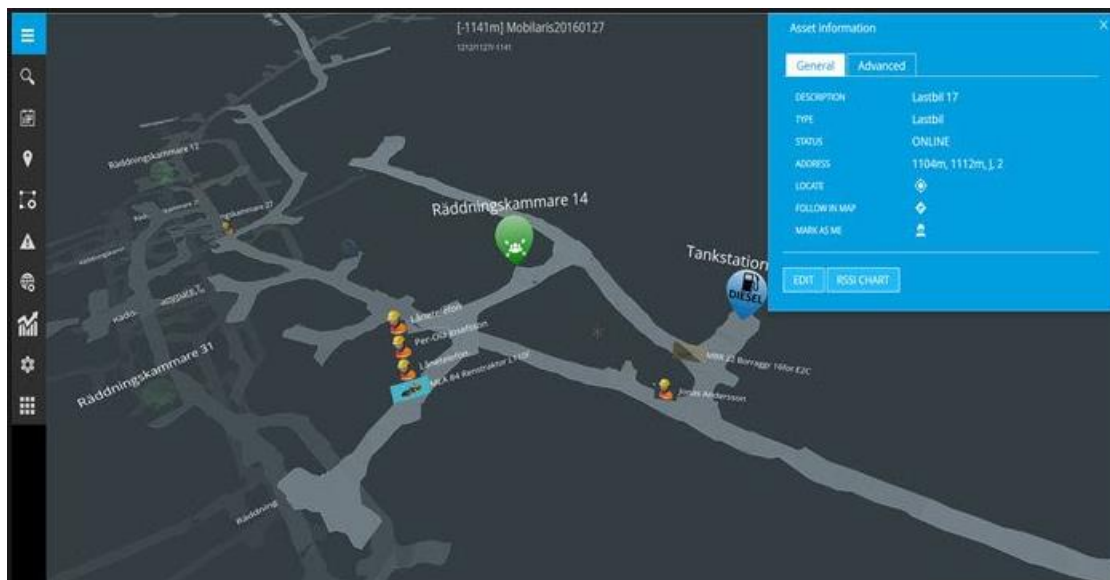
Figur 17. Exempel på del av färdigbyggd konturkarta. Vitt är fri yta, svart blockerad (t.ex. vägg) och grått okänt.

### *Global positionering av personal, fordon och utrustning i gruva*

I de flesta av Bolidens gruvor finns idag ett system realtidspositionering, MMI – Mobilaris Mining Intelligence. MMI systemet används i flera syften där den viktigaste funktionen är som en del i gruvans nödsystem. MMI systemet används vid en nödsituation för att rädda och utrymma personal. MMI systemet används även för att söka efter personal, fordon, platser eller utrustning. Systemet kan även fungera som navigator där en rekommenderad körväg ges. Externa system, som SAFE systemet, kan läsa information från systemet för att t.ex. använda för trafikstyrning.

Positioneringen baseras på det trådlösa WiFi nätverket som finns installerat. I Kristinebergsgruvan finns mer än 400 accesspunkter (AP) installerade. Det trådlösa nätet används för IP telefoni och annan datatrafik. I varje fordon sitter en s.k. WiFi-tag installerad. WiFi-taggen skickar ett meddelande var 5:e sekund vilket gör att positionen hos fordonet kan registreras. Personal i gruvan har en IP-telefon vilken i sig fungerar som en WiFi-tag. Personer, ex. besökare, utan IP telefon utrustas med en särskild WiFi-tag. För att uppnå full täckning sitter det en AP monterad ungefär var 100:ade meter i gruvan vilket gör att upplösningen på positioneringen blir ca 50-100 meter med en uppdateringstid var 5:e sekund.

En viktig del i att få MMI systemet att fungera tillfredställande och säkert är att det underhålls och uppdateras då gruvan hela tiden byggs. Kartorna uppdateras regelbundet av gruvingenjören. EI- och systemavdelningen på gruvan ansvarar för att underhålla och bygga ut det trådlösa nätverket samt har ett övergripande ansvar för MMI systemets funktioner. Det finns väl utbyggda rutiner och systemstöd för att övervaka att positioneringen fungerar som den ska.



## 7.5 Produktivitet

För användningsfallet Boliden och Renova har projektet beräknat en möjlig ökning i vehicle lifetime produktivet upp till 15-40% och under mycket mindre fleet operation kostnaderna.

Vehicle lifetime produktivitet definieras här genom t.ex. följande parametrarna

- Fleet Operation kostnaderna
- Antal avslutade transporter
- Last per avslutade transport

Som parameter för beräkningen av fleet operation kostnaderna har vi använt oss av t.ex.

- Fordonskostnaderna (Pris för lastbilen, bränslekostnader) för alla fordon i en flotta
- Underhållskostnader
- Förarkostnader

En generell formel kan se ut såhär:

$$(1) \text{ Fleet Operation Kostnaderna (FOC)} = \text{kostnader}_{\text{förare}} + \sum_{vi=1\dots} \text{kostnader}_{\text{fordon}}(vi) + \text{kostnader}_{\text{bränsle}}(vi)$$

$$(2) \text{ Vehicle Lifetime Productivity (VLP)} = \frac{FOC}{\sum_{vi=1\dots} N_{\text{avslutadeTransporter}}(vi) \cdot N_{\text{LastPerTransport}}(vi) \text{ per day}}$$

Antaganden

- Pris för autonoma fordon är högre än vanliga fordon av samma klass
- Bränslekostnader för fordon med mänskliga förare varierar med förare. Bränslekostnader för autonoma fordon är däremot mer stabilt över alla autonoma fordon med möjlighet att centralt optimera fordonsprogrammet och därmed bränslekostnaderna
- Kostnader för mänskliga förare kan anses som overhead kostnad
- Kostnader för anpassning/kalibrering av autonoma fordon kan anses som overhead kostnad
- Autonoma fordon behöver betydligt färre operatörer och något lägre underhållskostnad samt viss minskad bränsleförbrukning.
- Tiden där lastbilarna kan utnyttjas per dygn ökar vilket leder till att högre produktion per dygn.
- Vi antar att de autonoma lastbilarna inte kan hålla samma hastighet i alla situationer som lastbilar med mänskliga förare och därmed har lite lägre prestanda per tidsenhet än lastbilar med mänskliga förare.

Projektets slutsatser angående produktivitet: det behövs fler tester för att både träna autonoma lastbilarna, kalibrera systemet och för att mer noggrant kunna beräkna produktivitetsökningen och fleet operation kostnaderna.

## 7.6 Boliden

Boliden har en övergripande strategi att ligga i framkant av teknik för att på detta sätt kunna konkurrera genom hög produktivitet, god arbetsmiljö och säkra arbetsplatser. Bolidens vision gällande underjordsgruvor är att hela processen ska kunna bedrivas 24/7 och utan eller med ett minimum av personal under jord. Strategiskt arbetar Boliden för att automatisera, fjärrstyra och fjärrövervaka processer där det finns tydliga vinster i säkerhet och/eller produktionseffektivitet. Inom lastning har gruvindustrin och Boliden arbetat länge med semi-autonoma lastmaskiner för vissa storskaliga brytmetoder. Transportprocessen är en delprocess som Boliden ser goda potentialer i att automatisera och där självkörande lastbilar är en kritisk del. Ett system med självkörande lastbilar tillsammans med fjärrstyrd lastning, öppnar för att utnyttja alla dygnets timmar, även de timmar då det idag ej är möjligt att vara i gruvan pga. sprängning och behov av utvädring. Dessutom åtgår idag mycket tid vid skiftbyten att flytta förare till och från lastbilarna vilket innebär att utnyttjandegraden av självkörande lastbilar kommer att kunna öka.

Bolidens gruvor blir allt djupare och djupare vilket förstärker problemen som beskrivs ovan. Med automatiserad lastning och transport kommer det att vara möjligt att bryta mer malm på stora djup med lönsamhet. Det öppnar för ökad livslängd hos nuvarande gruvor men även för att bryta nya fyndigheter som ligger på stora djup och som idag inte är lönsamma att bryta.

## 7.7 Renova

Renovas uppdrag är att leverera affärsmässig samhällsnytta till ägarna. Vi ska bidra till att nå de politiska mål som leder mot en hållbar utveckling i ägarkommunerna, på ett kostnadseffektivt sätt och med de lönsamhetsmål ägarna beslutar.

### Hållbara transporter

För att minska vår klimatpåverkan arbetar vi ständigt med fordonsutveckling och miljövänliga bränslen. För vår del handlar det om att ligga i framkant när det gäller säkerhet, miljö och teknisk utveckling. På det sättet minskar vi vår klimatpåverkan och bidrar till kretsloppssamhället. Renova har genom åren, i ett nära samarbete med ägarkommuner, fordons- och bränsleleverantörer och universitet/högskola ofta varit först ut med att testa nya tekniska lösningar för en bättre miljö. Renova var även först ut med en fossilfri tung fordonsflotta 2015.

### Självkörande sopbil

För Renovas del handlar utveckling av självkörande fordon om att ligga i framkant när det gäller säkerhet, miljö och teknisk utveckling. En självkörande bil förbättrar chaufförernas arbetsmiljö på flera sätt. Att ständigt kliva i och ur hytten sliter på lederna. Med den självkörande bilen kan chauffören gå efter bilen och förflytta den mellan hämtningsställena med fjärrkontroll. Att dessutom kunna ha total uppsikt när bilen backar minskar stressen och innebär också ökad säkerhet för dem som rör sig i närheten. Den självkörande bilen ger även stora miljömässiga fördelar: Växling, styrning och hastighet optimeras för att ge lägre bränsleförbrukning och därmed lägre utsläpp. Att inte behöva kliva i och ur bilen ökar dessutom effektiviteten. I dagsläget är det brist på chaufförer med C-körkort och giltigt YKB. Med ny teknologi och nya fordonstyper hoppas vi kunna attrahera utbildade chaufförer.

Tekniken i den självkörande sopsbilen är till stor del samma som Volvokoncernen testat för lastbilar i gruvor i Kristinebergsgruvan utanför Lycksele. Med en knapptryckning kan föraren få bilen att köra nästa sträcka och sensorer läser sedan av omgivningen, upptäcker olika hinder och manövrerar fordonet runt dem. Föraren kan både starta och stanna fordonet och behöver inte hoppa in och ut ur hytten vid alla de korta förflyttningar som normalt görs t.ex. i ett villakvarter. Därmed förbättras chaufförernas arbetsmiljö, och arbetet underlättas även på trånga gator. Att utifrån kunna ha uppsikt när bilen backar ökar också säkerheten för omgivningen.

Fordonen är hela tiden uppkopplade mot ett system, och på skärmar går det att följa till exempel bränsleförbrukning och slitage på bilarna. Växling, styrning och hastighet optimeras till lägsta bränsleförbrukning och ger därmed också miljömässiga fördelar - lägre utsläpp.

För Renovas del handlar utveckling av självkörande fordon om att ligga i framkant när det gäller säkerhet, miljö och teknisk utveckling. En självkörande bil förbättrar chaufförernas arbetsmiljö på flera sätt. Att ständigt kliva i och



ur hytten sliter på lederna. Att dessutom kunna ha total uppsikt när bilen backar minskar stressen och innebär också ökad säkerhet för dem som rör sig i närheten. Den självkörande bilen ger även stora miljömässiga fördelar: Växling, styrning och hastighet optimeras för att ge lägre bränsleförbrukning och därmed lägre utsläpp.

### **Nyutvecklad elsopbil**

Tystare och inga avgaser - det är resultatet av en nyutvecklad elsopbil. Som helt och hållet drivs och lastar med el. Renova och Volvo Lastvagnar har samarbetat för att sopbilen ska bli verklighet. För göteborgarna innebär eldriften bättre luftkvalitet vilket är en viktig fråga i de centrala delarna. Elsopbilen släpper varken ut partiklar eller avgaser. Eldriften är också tyst vilket förbättrar livskvaliteten för de som bor i området. För dem som kör sopbilen blir arbetsmiljön bättre.

Den eldrivna sopbilen börjar köra i centrala Göteborg under hösten.

Eldrift gör det möjligt att planera för bebyggelse och infrastruktur på ett friare sätt än idag. Samtidigt kan transportererna effektiviseras.

## 8 Spridning och publicering

### 8.1 Kunskaps- och resultatsspridning

Hur har/planeras projektresultatet att användas och spridas?	Markera med X	Kommentar
Öka kunskapen inom området	X	ASETS projektet och dess resultat har haft ett enormt genomslag och kommunicerats på demonstrationer runt hela världen. ASETS projektet har på det sättet hos projektparters och dess kunder lett till en ökat kunskap och medvetenhet.
Föras vidare till produktutvecklingsprojekt	X	Projektparter jobbar vidare med teknologin och slutsatser från det här forskningsprojektet mot en produkt som kan introduceras kommersiellt på marknaden.
Introduceras på marknaden	X	Projektparter jobbar vidare med teknologin och slutsatser från det här forskningsprojektet mot en produkt som kan introduceras kommersiellt på marknaden.

## 8.2 Projektet i social media

# EVALUATION OF VOLVO GROUP INNOVATION COMMUNICATION; APRIL 2016 – MAY 2018



## FACTS & FIGURES – MEDIA BREAK THROUGH

	2015 (Jan – Dec)	2016 (Jan – Dec)	2017 (Jan – Dec)	2018 (Jan – May)
Articles	765	2245	3103 (local China exposure from VGIS Beijing not included)	<u>2591</u>
Reach	431 M	1372 M	1636 M	1269 M
Topic	Autoautomation 42% Connectivity 32% Electromobility 26%	Automation 60% Connectivity 24% Electromobility 16%	Automation 60% Electromobility 27% Connectivity 13%	Electromobility 61% Automation 32% Connectivity 7%
Top article in terms of reach				
Share of voice	Daimler 75% Volvo Group 15% Scania 10%	Daimler 50% Volvo Group 28% Scania 22%	Daimler 51% Volvo Group 38% Scania 11%	Daimler 25% Volvo Group 62% Scania 13%

## VOLVO GROUP INNOVATION SUMMITS 2017

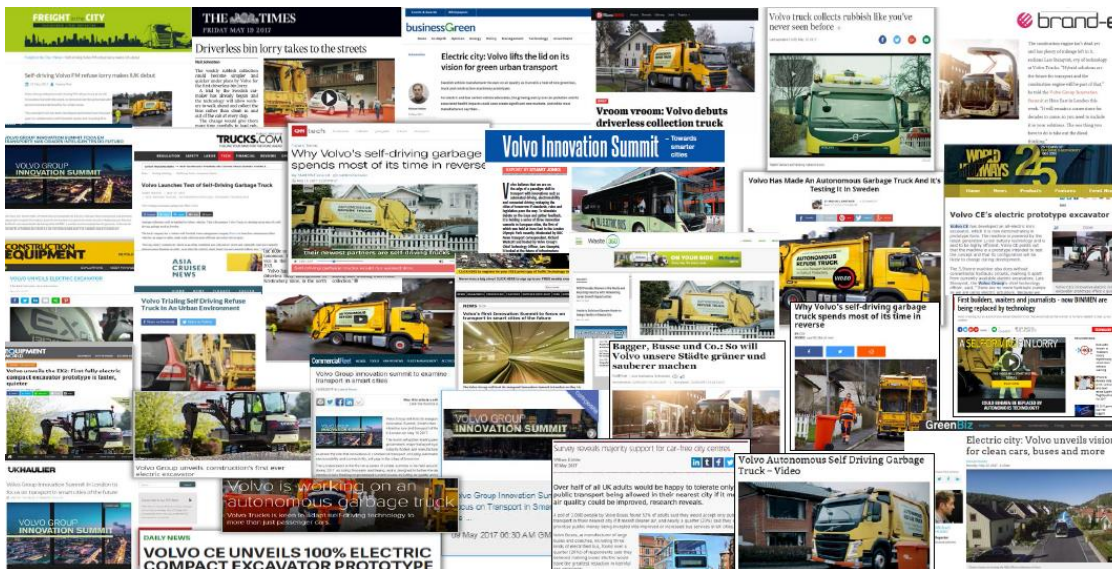
Three Volvo Group Summits designed to position Volvo Group as a thought leader at the forefront of global conversation and to retain credibility among media, industry and the general public

- Target audience: Policymakers, Authorities, NGOs and local & international media
- London May 16, Brussels Sep 7, Beijing Nov 15



# VOLVO GROUP INNOVATION SUMMIT 2017

Objectives	Target audience	Outcome 2017
Volvo Group, to be perceived as the thought leader and the leading voice in the subject of new technology innovations that serve our society, customers and the environment in terms of productivity, energy & fuel efficiency and safety	<ul style="list-style-type: none"> <li>Policy makers, Authorities, NGOs</li> <li>Local &amp; international media</li> <li>VIP Customers interested in technology innovations</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Improved perception on the Group brand/product offer.</li> <li>Improved perception and interest among our customers and partners towards the Volvo brands.</li> <li>Strengthen the relations with key customers and guests as they could see that the BA – as a member of the Volvo Group – is part of an innovation powerhouse                             <ul style="list-style-type: none"> <li>Manoëlla WILBAUT, DHL Customer Solutions &amp; Innovation: "Last week I had the pleasure to attend the Volvo Innovation Summit in Brussels. For time management reason, I carefully select the activities to participate to, or not. The Volvo Innovation Summit was a <b>total positive experience!</b> High quality speakers, good conference speed, well prepared moderator etc. The live demonstrations add a plus. And having a speech in a bus is for sure an original idea 😊"</li> <li>VCE UK: "Following the Innovation Summit in London last month, Skanska has invited Volvo to participate in a supply chain collaboration looking at the environmental impact of their on-highway and off-highway fleet with representatives from Volvo CE and Volvo Trucks UK."</li> </ul> </li> <li>An <b>international media break-through</b>.</li> <li>Significant increase in share of voice in Europe, Sweden and China.</li> <li>Strengthened Volvo Group position on the public affairs arena.</li> <li>Internal pride and engagement</li> <li>Strengthen the internal cooperation between Volvo Group and BA to act as one voice</li> <li>Strong push from Volvo Trucks, Volvo Buses and Volvo CE to continue with the Volvo Group Innovation Summits during 2018.</li> </ul>



## VOLVO GROUP INNOVATION SUMMITS 2017

### Media coverage & SoMe:

- Substantially higher number of articles compared only any separate press release from BA or Volvo Group with totally over 2200 articles related the VGIS events (TV broadcasting excluded)
- Reach far wider than the usual range of media (general and trade) e.g. Technology, Innovation, Consumer, Industry and Organisations
- Prompted significant follow on media interest (on-going)
- International break-through with wide geographic spread of exposure
- Significant increase in share of voice (SoV) in Europe, Sweden and China
- Long term effect on SoV in markets where the VGIS been conducted
- Volvo Trucks reach 1,8 million people and got 676,931 video views on the video with the automated refuse truck
- Attendees at the VGIS London & Brussels high engagement on Twitter with over 300 tweets using the hashtag #VolvoGlobalSummit
- To maintain the high result, important to keep the noise going in the news flow

## 8.3 Publikationer

Wahde, M., Bellone, M, and Torabi, S.:

**A method for real-time dynamic multivehicle trajectory planning for autonomous mining, inskickat till Autonomous agents and multi-agent systems (2018)**

## 9 Slutsatser och fortsatt forskning

ASETS projektet har demonstrerat att det är möjligt att köra autonoma lastbilar i gruvan (Boliden) och på gatan (Renova sopbilar). En teknisk lösning har skapats för att kunna använda samma lösning i de olika användningsområden. Både lösningar har fått väldigt mycket uppmärksamhet i pressen och sociala medier.

Safety caset är en central del i att skapa säkra autonoma transportlösningar som vägledde hela detta projekt. Projektet har skapat ett Safety Case för forskningsprojektets skull. Detta forskningsprojektsresultat får dock inte ses som att målet har nåtts för säkra autonoma transporter på allmänna vägar och begränsade områden, men har varit ett viktigt steg i rätt riktning.

Projektet har dessutom beräknat en möjlig produktivitetsökning av 15-40% för de 2 forskningsområden autonoma sopbilar och autonoma transportlösningar för gruvan.

ASP projektet (Autopilot Site to Plant 2017-01944) kommer fortsätta jobba med frågor angående hur autonoma transportlösningar kan förbättra säkerhet och effektivitet.

## 10 Ansvarsfriskrivning (Disclaimer)

Detta forskningsprojekt inom autonom körning av gruvlastbil och sopbil siktar mot att designa och utveckla effektiva och säkra transporter. Detta forskningsprojektsresultat ska inte ses som att målet har nåtts för säkra autonoma transporter men har varit ett viktigt steg i rätt riktning.

## 11 Deltagande parter och kontaktpersoner

Part	Kontaktperson
Volvo Group Trucks Technology	Johan Tofeldt Carsten Lindgren
Boliden Group	Patrik Westerlund
Renova AB	Hans Zackrisson
Combitech	Martin Hedvall Fogelkvist
Chalmers University of Technology	Mattias Wahde

## 12 Nomenklatur

**AGA** Automotive Grade Android

**ASETS** Automated Safe and Efficient Transport System

**LiDAR** Light detection and ranging device, även kallad laserscanner är en mkt noggrann avståndsmätare som kan mäta i flera punkter utmed ett plan och även i flera plan.

**GNSS** Global navigation satellit system, tex GPS och GLONASS.