

Vädergenerering på AstaZero

Publik rapport



Författare: Lukas Wikander & Peter Eriksson

Datum: 2020-06-08

Strategisk satsning inom FFI

FFI Fordonsstrategisk
Forskning och
Innovation

VINNOVA

Energimyndigheten

TRAFIKVERKET

FKG

VOLVO

SCANIA

VOLVO

Innehållsförteckning

1 Sammanfattning	3
2 Executive summary in English.....	4
3 Bakgrund.....	5
4 Syfte, forskningsfrågor och metod	5
4.1 Utrustning	6
4.2 Kartlagda sprayparametrar	8
4.3 Bildbehandling.....	9
4.4 Dataanalys	9
4.5 Datainsamling naturlig spray.....	9
4.6 Datainsamling genererad spray	10
5 Mål	10
6 Resultat och måluppfyllelse	11
7 Spridning och publicering	16
7.1 Kunskaps- och resultatspridning	16
7.2 Publikationer.....	16
8 Slutsatser och fortsatt forskning	16
Deltagande parter och kontaktpersoner.....	17

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 drygt 400 Mkr.

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

1 Sammanfattning

Allt eftersom perceptionssystem i fordon går från aktiv säkerhet till autonom körning utökas arbetsområdet de måste kunna hantera. Föreliggande projekt avsåg kartlägga svåra väderfenomens påverkan på fordonssensorer, samt åstadkomma möjligheter för återskapande av dessa väderfenomen på provbanan AstaZero.

Den tänkta arbetsgången var att först etablera en state-of-the-art genom kontakter med experter och en litteraturstudie. Därefter ämnades ett antal referensväder väljas ut och väl kategoriseras (likt hur en referensatmosfär existerar för flygindustrin). Baserat på dessa skulle en experimentuppställning tas fram för att undersöka möjligheterna att på artificiell väg återskapa de valda väderfenomenen. Detta avsågs till sist utmynna i en kravspecifikation för en fullskalig anordning.

Fokus lades initialt på regn och dimma, samt sensorerna radar, LiDAR och kamera, och en litteraturstudie genomfördes. Parallellt fördes som planerat kontakt med experter. Baserat på dessa kontakter framkom att vattenspray bakom fordon var det mest frekventa problem som sensorsystemen utsattes för, och således det mest relevanta att fokusera på. Det föreliggande projektet riktades därför om till att undersöka, karakterisera och återskapa vattenspray.

En mekanisk anordning införskaffades för ändamålet (se rapportens framsida) och användes för att undersöka inverkan av spray på kamera och LiDAR. Mätningar genomfördes även i naturlig spray för att koppla den artificiellt genererade sprayen till verklig spray. Detta arbete utmynnade i ett antal slutsatser kring vilka parametrar som gör en spray svårartad och vilka parametrar som är viktiga att kunna återskapa i en fullskalig rigg.

Sammanfattningsvis är ljusets inverkan den allra största på kontrasten som uppfattas av en kamera, och avståndet till spraykällan inverkar inte särskilt mycket. Exempelvis påverkar solljusets infallsvinkel till mycket större grad än vattenmängden i sprayen. Verklig spray är väldigt dynamisk på så sätt att den exempelvis påverkas mycket av vind, medan en artificiellt genererad spray är mest användbar för sensorutvecklingssyften om den är konsekvent likartad. LiDAR och radar undersöktes inte lika djupt, men LiDAR får uppenbart stora problem med att överhuvudtaget upptäcka objekt bakom en spray.

Nästa steg är en vidareutveckling av den experimentuppställning som gjorts för att bättre fånga effekter i verklig spray och ge större kontroll över omgivningsljuset. Vidare skall kopplingen mellan parametrar hos artificiell spray och naturlig spray kvantifieras noggrant.

2 Executive summary in English

As perception systems in vehicles move from active safety to autonomous driving, the operational domain they must be able to handle is expanded. The present project was intended to map the impact of severe weather phenomena on vehicle sensors, as well as to create means for the reproduction of these weather phenomena on the AstaZero test track.

The intended procedure was to first establish a state-of-the-art through contacts with experts and a literature study. Subsequently, several reference weathers were intended to be selected and well categorized (similar to how a reference atmosphere exists for the aviation industry). Based on these, an experimental setup would be developed to investigate the possibilities of artificially recreating the selected weather phenomena. This was ultimately intended to result in a requirements specification for a full-scale device.

The focus was initially on rain and fog, as well as the sensors radar, LiDAR and camera, and a literature study was conducted. In conclusion, heavy rain does present a problem for all three investigated sensor types however the levels of rainfall required is not common in Sweden nor in Europe. Fog is more common and is problematic for traditional camera vision systems as well as presenting a major obstacle for LiDAR sensors. Radar is mostly unaffected by airborne aerosols but as for all three sensor types, is sensitive to being covered by e.g. ice or similar. Snow was not investigated as it is very difficult to artificially generate realistic snowflakes.

In parallel to the literature study, contact was made with experts as planned. Based on these contacts, insights emerged that water spray behind vehicles was the most frequent problem to which the sensor systems were exposed while simultaneously presenting a problem for perception, and thus the most relevant to focus on. The drop sizes in water spray are similar to those in fog, while spray also involves air flow - thus this problem is to be expected. The present project was therefore realigned to investigate, characterize and recreate water spray.

A mechanical device was procured from Veoneer for the purpose (see front page of the report) and was used to investigate the effect of spray on camera and LiDAR sensors. The device is static and produces spray by injecting atomized water into a laminar air flow generated by a fan. In this way, it becomes possible to test with spray while standing still (meaning less water is necessary). The downside is then that the correlation between parameters of the machine (e.g. speed and water flow) and parameters of real driving (e.g. velocity and amount of water on the road) must be investigated. Therefore, measurements were also performed in natural spray in order to correlate the artificially generated spray to real spray. From this work came a number of conclusions about which parameters make a spray difficult, and which parameters are vital to be able to recreate in a full-scale rig.

In summary, the effect of incident light is greatest on the contrast perceived by a camera, and the distance to the spray source does not have much effect. For example, the angle of incidence of sunlight affects the contrast to a much greater extent than the amount of water in the spray. The centring of the water injection point has some effect as does the fan speed and water flow, but nowhere near the effects of light. Furthermore, real spray is very dynamic in that it is, for example, much affected by wind, while an artificially generated spray is most useful for sensor development purposes if it can be generated in a consistent manner. LiDAR and radar were not examined as deeply, but LiDAR obviously has major problems in detecting objects behind a spray at all.

The next step is a further development of the experimental set-up that has been done to better capture effects in real spray and give greater control over the ambient light. Furthermore, the connection between parameters of artificial spray and natural spray must be carefully quantified. More work can also be done on streamlining the data collection and analysis for purposes of further developing the spray generator machine.

3 Bakgrund

I samma takt som fordon får en ökad förmåga att framföras autonomt minskar behovet av en aktiv och ständigt övervakande förare. Detta innebär att förarens förmåga att se och bedöma vad som händer kring fordonet mer och mer måste överföras till fordonet. Fordonens sensorsystem måste därmed fungera minst lika bra som en förarens sinnen oavsett väder-, vind-, ljus- och trafikförhållanden.

Sensorsystemen som används för att stödja aktiva säkerhetsfunktioner som till exempel autobroms är ofta radar- och kamerasystem, och är anpassade för tillförlitlighet i bra förhållanden. När man går från aktiv säkerhet till automatiserad körning ändras emellertid målbilden: varje olycka som kan undvikas är en framgång för ett aktivt säkerhetssystem till att varje olycka som sker är ett misslyckande för ett självkörande fordon. Sensorsystemen måste i framtiden alltså vara tillförlitliga, ha mycket hög tillgänglighet och det måste gå att lita på att sensorerna uppfattar omgivningen korrekt vid alla väderleksförhållanden. Kvaliteten på sensorernas data får inte påverkas alltför negativt av till exempel regn, spray eller dimma.

Att sensorerna måste ha en hög och tillförlitlig tillgänglighet ger en utmaning för sensor- och fordonstillverkarna som måste kunna verifiera sina teknologier och system i en relevant och kontrollerad miljö under systemens utvecklingsfaser. Det finns idag ett fåtal sådana platser i världen men de har alla väldigt specifika avgränsningar. Föreliggande projekt ämnar således bilda kompetens och ta fram prototyper för utrustning och provmetoder hos AstaZero och därigenom möjliggöra för svensk fordonsindustri att bilda ett tekniskt försprång i att hantera utmanande väderförhållanden.

4 Syfte, forskningsfrågor och metod

AstaZero avser bygga en kompetens kring provning i svåra väderförhållanden. För att veta hur denna provning skall se ut måste en undersökning genomföras kring vad som gör väderförhållanden svåra för fordonssensorer och hur de förhållandena kan återskapas. Med tanke på tid- och personalbegränsningar måste dessutom ett fåtal väderfenomen väljas ut. För att genomföra detta ställs ett antal forskningsfrågor:

- Hur påverkas sensorer av olika väderfenomen?
- Vilket väderfenomen är mest utmanande för fordonssensorer och således värt att fokusera på?
- Vilka parametrar i valt väderfenomen är mest relevanta?
- Är förhållandena möjliga att återskapa på ett repeterbart vis?
- Vilka parametrar i ett genererat väderfenomen överensstämmer med relevanta parametrar i ett naturligt väder?

För att besvara den första, andra och tredje frågan genomfördes en litteraturstudie och ett antal experter inom RISE (samt även Veoneer då det där fanns ett tydligt intresse att undersöka väder) kontaktades. Genom kontakten med experterna framkom att vattenspray bakom fordon är det absolut mest relevanta väderfenomenet att undersöka, varvid projektets fokus ändrades. För att besvara de återstående två frågorna användes en mekanisk anordning för att återskapa sprayförhållanden vid stillastående testning, samtidigt som empiriska undersökningar genomfördes på naturlig spray för att avgöra ifall den statiska anordningen faktiskt återskapade naturliga sprayförhållanden.

Den mekaniska anordningen, nedan kallad sprayriggen, är sammanfattningsvis en stillastående fläktanordning med möjlighet att injicera atomiserat vatten i luftströmmen för att således återskapa spraymolnet som hamnar bakom fordon vid våt vägbanan utan att rörelse krävs. På denna kan exempelvis fläkthastigheten och vattenflödet styras, men det är inte helt tydligt vad dessa motsvarar i verklig körning (även om just dessa två valts för att förhoppningsvis motsvara rörelsehastighet och vattenbelägningsdjup). För att hitta en korrelation med verkliga sprayparametrar genomfördes ett antal körningar på AstaZero vid regnigt väder, och påverkan på sensorer av naturlig spray jämfördes med den från genererad spray.

4.1 Utrustning

Följande kapitel redovisar utrustning som använts under projektets gång, och därigenom metoderna genom vilka väderfenomen återskapats.

4.1.1 Vattensprayrigg

Sprayriggen är en utrustning framtagen och byggd av Veoneer, som AstaZero fått tillgång till under projektets gång. Tack vare denna färdiga utrustning har AstaZero kunnat ta stora kliv framåt och undersökning av spray har kunnat förenklas väsentligt. Mycket arbete har lagts på att kartlägga riggens funktion och prestanda, kunskap som är användbar för kravställning av en uppdaterad och förbättrad version av riggen för användning på AstaZero i framtiden.

Delar:

Chassi 2100x1050x1100 mm [LxBxH]

1. Styrelektronik
2. Högtryckstvättar
3. Fläkt
4. Spraymunstycken
5. Luftkanaler
6. Kontrastmål
7. Kamera 2



Funktion

Riggen ämnar återskapa situationen som uppstår vid körning bakom ett annat fordon vid våt vägbanan, vanligen kallat spray. Fläkten (3) driver luft genom luftkanalerna (5) för att skapa ett laminärt flöde. Vid kanalernas utlopp sprutas vatten in ovanifrån under högt tryck (cirka 7.5 MPa) genom sex spraymunstycken (4) som då blåser en finfördelad vattenspray med vinden mot det stillastående testobjektet och efterliknar därmed att testobjektet rör sig mot sprayen. Fläkthastigheten är tänkt att motsvara testobjektets fart på vägen och mängden vatten som sprutas ut är tänkt att simulera olika vattenbegjutning av vägbanan (och således olika nederbördsmängder).

Högtryckstvättarna (2) är av fabrikatet Kärcher K2 Full Control och de kopplas in med en förgrenad vanlig gardenakoppling. Högtrycksvattnet från tvättarna är sedan kopplat till varsin uppsättning spraymunstycken. Tvättarna matas med vatten direkt från kranen på AstaZeros spolplatta och enligt specifikation förbrukar de maximalt 6 l/min.

Spraymunstyckena (4) som skapar vattensprayen är sprinklermunstycken (931 028, 1643/M17090) från Ultra Fog. Munstyckena är avsedda för brandbekämpning och skapar en finfördelad vattendimma som passar för ändamålet.



4.1.2 Flödesmätare

En flödesmätare monterades vid inloppet till riggen. Sensorn som använts är en OMI-RR1-025 med rotor som mäter flödet induktivt mellan 4–100 l/min med +/-3% noggrannhet. Flödet avläses i realtid på den upplysta displayen och kan även ställas till max/min-avläsning. För mer ingående analys går det även att ansluta sensorn till en extern utrustning via en 5-polig M12x1-kontakt.

4.1.3 Kontrasttavlor

För att kunna mäta kontrasten i videologgarna har två enkla kontrasttavlor tillverkats. De är gjorda av 40x150 cm vita hyllplan i spånskiva. Den ena halvan är klädd med svart vinyl. Vid mätningar med riggen ställs de på högkant på var sida om riggen och vid körning på väg monteras en av tavlorna på ett cykelställ på målfordonets dragkrok.

4.1.4 Videokameror

För att filma kontrasttavlor användes en GoPro Hero 7 med standardlins. En likadan kamera användes vid de senare körningarna med riggen för att filma sprayen ovanifrån mot testobjektet. Detta för att få en bild av hur sprayen varierade i sidled och täthet. Kamerorna synkades då med medföljande fjärrkontroll och körde automatiskt klipp på 15s.

4.1.5 LiDAR

De LiDAR som använts under projektets gång är en Velodyne HDL-32 (32 kanaler) och under det tidiga skedet en Velodyne VLP-16 (16 kanaler). De har ställts in på 180 graders synfält riktat framåt. Rotationshastigheten som använts är 600 rpm.

4.1.6 Vindmätare

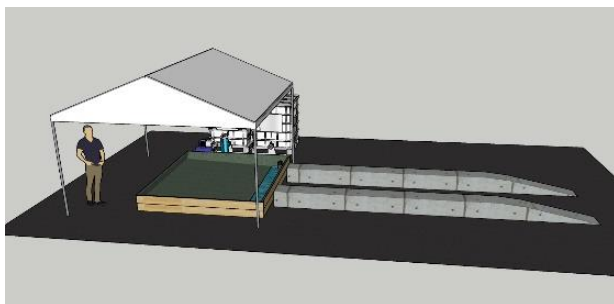
En enklare vindmätare (Biltema, 25–8080) har använts för mätning av fläkthastighet från riggen samt vindförhållanden kring riggen utan fläkt. Då vindhastigheten är tänkt att motsvara hastigheten på testfordonet gjordes mätningarna i km/h istället för m/s.

4.1.7 Disdrometer

En laserdisdrometer av modell OTT Parsivel² har köpts in för att kunna mäta och karakterisera vädret på provbanan. Enheten är kopplad till ett skåp för matning från marknätet eller från en portabel batteristation. Sensorn har monterats på en lastpall för att den enkelt skall kunna placeras vid den bana där mätningar görs för att få en så bra bild som möjligt av vilket väder som råder under testerna.

4.1.8 Regnrigg

Initialt i projektet prioriterades mätningar i och skapande av regn först vilket gjorde att det krävdes utrustning för att laborera med detta. En enklare lösning för arbete med vattenflöden inomhus togs fram. Tanken var sedan att testa olika typer av munstycken för att hitta en uppställning som mest efterliknade verkligt regn. Lösningen är en enkel konstruktion av trä med presenning i botten med en lättare lutning för att samla vattnet längs ena kanten. En pumpstation tillsammans med en tank på 1000 liter förser önskad utrustning med vatten via vanliga ½ tums gardenakopplingar och en läns pump i karet cirkulerar tillbaka vattnet till tanken. Pumpstationen har en kapacitet på 83 l/min, läns pumpen 47 l/min och karet rymmer ca 1000 liter.



Kort efter att regnriggen var klar skiftades dock fokus mot spray istället vilket gjorde att den inte kom att användas. Även om själva karet är feldimensionerat för användning med spray kan åter-cirkuleringslösningen för vatten komma till användning i kommande projekt på spray då den ger en möjlighet att köra sprayriggen på valfri plats utan behov av anslutning till vatten. Pumpanläggningen har dessutom ett avsevärt högre maxflöde än vad den vanliga krananslutningen har.

4.2 Kartlagda sprayparametrar

För att karakterisera spray valdes ett antal parametrar ut att varieras, för att undersöka hur de påverkar kontrasten i en video. Fem intressanta parametrar identifierades och uppmättes under testets gång:

- Fläkthastighet (antagen korrelerad med körhastighet i verkligheten)
- Vattenutloppets centrering i luftströmmen
- Vattenflöde (antagen korrelerad med vattenbegjutning i verkligheten)
- Omgivningsljus
- Avstånd till sprayrigg

Fläkthastigheten varierades i steg mellan två separata lägen sådant att hastigheten på luftmassan vid utloppet var 60 km/h respektive 38 km/h. Centreringen varierades genom att antingen den högra, den vänstra, eller båda uppsättningar spraymunstycken var påslagna. Vattenflödet varierades i steg mellan 0 l/m och 16,2 l/m. Omgivningsljuset uppmättes inte exakt utan gavs ett värde av antingen 1 eller 0 beroende på om direkt solinstrålning fanns eller ej. Att intervallet ter sig godtyckligt specificerat beror på att denna parameter upptäcktes vara en felkälla då inte hänseende togs till den och ingen utrustning fanns till hands för att mäta den exakt. Till sist varierades även distansen till sprayriggen i steg mellan 3 och 15 m.

Kombinationen av alla olika värden dessa parametrar kunde ta gav upphov till en mycket stor mängd data vilken analyserades med datorhjälp enligt nedanstående delkapitel.

4.3 Bildbehandling

För att analysera sprayens inverkan på kontrast skrevs ett program för att extrahera kontrastdata ur en videofil. Kontrasttavlorna markerades manuellt varefter enskilda bildrutor valdes ut precis när vindrutetorkarbladet svept förbi. Skriptet användes också i ett läge där kontrast extraherades för samtliga bildrutor i videofilen. Från en bildruta extraherades intensitetsmedelvärde för den svarta respektive vita kontrasttavlan varefter kontrastvärdet C beräknades enligt

$$C = \frac{I_{max} - I_{min}}{I_{max} + I_{min}}$$

där I_{max} är intensitetsvärdet för den vita delen av kontrasttavlan och I_{min} är intensitetsvärdet för den svarta delen av kontrasttavlan. Motsvarande beräkningar gjordes även för LiDAR-data för en delmängd av mätningarna fast där intensitetsvärden ersatts av reflektivitetsvärden. Bilden nedan visar ett exempel där programmet använts.



4.4 Dataanalys

En minstakvadratanpassning gjordes mot den insamlade datamängden (parametrar v, x, q, j, d och tillhörande kontrastvärden C) enligt

$$V(\alpha^*, \beta^*, \gamma^*, \delta^*, \epsilon^*) = \min_{\alpha, \beta, \gamma, \delta, \epsilon} \sum_{i=0}^N (C_i - \alpha v_i - \beta x_i - \gamma q_i - \delta j_i - \epsilon d_i)^2$$

där N är antalet genomförda experiment. De resulterande värdena (grekiska med stjärna) användes för att dra slutsatser kring de olika parametrarnas inverkan på bildkontrasten.

4.5 Datainsamling naturlig spray

För att samla referensdata från verklig körning gjordes tester på provbanorna Rural Road och Multilane Road på AstaZero. Detta skedde vid fyra olika tillfällen med olika tillvägagångssätt – ett tillfälle i mars, ett i början och ett i slutet av april, samt ett tillfälle i maj. I samtliga fall utom tillfället i maj användes LiDAR monterad 1,19 m ovan mark på motorhuven, och i samtliga fall användes GoPro-kameran som huvudsakligt mätinstrument. Under tillfället i mars var kontrastmålet ett svart fordon till hälften täckt av vit vinyl, och vid de andra användes en kontrastavla monterad på cykelställ.



4.6 Datainsamling genererad spray

Insamlingen skedde vid 6 olika tillfällen (ett i mars, ett i april, och fyra i maj) på två olika platser på AstaZero: under tak på spolplattan samt på garageplanen längs östra kortsidan av Nya Gods. Avsikten var att skapa en datamängd som var jämförbar med den insamlad från verklig körning enligt föregående delkapitel. Första tillfället fick framförallt till att förstå utrustningen. Vid datainsamling på genererad spray användes samma sensorer som vid föregående delkapitel, med undantag för att en andra kamera lades till under de tre sista tillfällena för att sprayen skulle kunna filmas ovanifrån. Inspelningsstarten för kamerorna synkroniserades via en fjärrkontroll.

Vid datainsamlingen varierades de parametrar som beskrevs i kapitel 4.2 för att undersöka deras inverkan på bildkontrasten.

5 Mål

Projektet avsåg sammanfattningsvis att åstadkomma en kompetenshöjning avseende väders påverkan på sensorsystem i fordon för att kunna kravställa en installation för permanent vädergenerering på AstaZero. Initialt låg fokuset här på regn, dimma samt snörök, och att ta fram ett referensväder för dessa, men baserat på starka indikationer från industrin att spray bakom fordon är det absolut mest frekventa och samtidigt mest framträdande problem som sensorsystem utsätts för ändrades fokus på projektet till just spray.

Arbetspaket 1 avsåg leverera en rapport på sensorpåverkan given av vatten i olika former och en state-of-the-art gällande vädergenerering för regn, dimma och snö baserat på en litteraturstudie och kontakt med industrin. Då detta arbetspaket utförts i ett tidigt skede har dess mål inte ändrats utan är snarare orsaken till att målen för de andra arbetspaketen ändrats.

Arbetspaket 2 avsåg leverera ett val av och väl karakteriserat referensväder för urval av regn, vattenrök, dimma och snö. Detta mål har ändrats till att välja och väl karakterisera ett antal referenssprayer.

Arbetspaket 3 avsåg leverera en utvärdering av experimentuppställning för vädergenerering samt att validera alt. uppdatera referensvädren från arbetspaket 2. Detta mål har utökats med att dessutom säkerställa att den genererade sprayen fångar effekter som uppstår i verklig spray, och därmed också att samla referensdata från naturligt förekommande spray.

Det sista arbetspaketet 4 avsåg leverera en kravspecifikation för vädergenerering på AstaZero. Detta mål har ändrats till att endast leverera en kravspecifikation för att generera spray.

6 Resultat och måluppfyllelse

Genom arbetspaket 1 utfördes en litteraturstudie främst avseende påverkan av regn i olika former samt dimma på sensorerna kamera, lidar och radar. Sammanfattningsvis kan luftburet regn avfärdas som ett problem för sensorer på grund av den låga volymandel av luften vattendropparna utgör i även de mest extrema svenska regnovädren. Radar påverkas inte nämnvärt av någon av de undersökta väderfenomenen. Dima utgör ett stort problem när den är närvarande för både kamera och lidar. Här har EU-projektet DENSE visat på lovande angreppsvinklar. Även om dimma är ett problem framkom det genom dialog med industrin att spray är det problem som uppkommer mycket mer frekvent även vid små mängder regn och orsakar avsevärda svårigheter för både kamera och lidar. Efter denna insikt byttes därför fokus på föreliggande projekt till att studera generering av spray.

Dessutom undersöktes i arbetspaket 1 state-of-the-art inom vädergenerering och därigenom framkom metoder och dim/regnparametrar som valts hos ett franskt väderstestcenter för statisk provning av fordon samt motsvarande för en amerikansk provbana med möjlighet till dynamisk provning fast bristande kontroll av och realism hos väderparametrar. Även här finns dokumenterat en litteraturstudie av området. Snögenerering avfärdades på grund av svårigheterna i att generera realistiska snöflingor. Generering av regn, dimma och spray ansågs rimliga men som nämnts ovan är spray det av väderfenomenen som industrin visat störst intresse för varför fokus lades på spray för de återstående arbetspaketen.

Arbetspaket 2 genomfördes parallellt med arbetspaket 3; då data från naturlig spray samlades in under arbetspaket 3 kunde den användas även för detta arbetspaket. Det visade sig svårt att välja ut ett antal referenssprayer som representativa för verkligheten, då variationerna hos naturlig spray visade sig vara stora beroende på exempelvis vindriktning eller solstrålningens infallsvinkel. Istället valdes ett antal parameteruppsättningar ut med avseende på sprayriggens konfiguration och försök gjordes sedan att korrelera dessa mot kända parametrar i verklig körning.

I arbetspaket 3 konstruerades initialt en anordning för generering och återvinning av artificiellt regn för att undersöka påverkan hos luftburna vattendroppar på de tre valda sensorsystemen, för att hantera de stora mängder regn som litteraturundersökningen visat behövdes för att åstadkomma påverkan på sensorer. Baserat på data från SMHI och rådgivning från industrin framkom att de stora regnmängder som krävdes var relativt sällsynta i Sverige och Europa. En testrigg förvärvades då istället från en industripart kapabel att generera laminärt luftflöde blandat med atomiserat vatten för att reproducera det betydligt vanligare fenomenet vattenspray.

Sprayen från ovan nämnda sprayanordning karakteriserades i termer av dess påverkan på bildkontrast hos en kamera och reflektivitet hos lidarmätningar. Tabellen nedan visar resultatet från mätningarna på kamerakontrast:

Datum	Plats	Väder	3m				6m				9m				12m				15m			
			Ref.	Kont.	Effekt	%	Ref.	Kont.	Effekt	%	Ref.	Kont.	Effekt	%	Ref.	Kont.	Effekt	%	Ref.	Kont.	Effekt	%
200312	SP	Mulet	-	0,128	-	-	-	0,162	-	-	-	0,153	-	-	-	0,032	-	-	-	-	-	-
200402	SP	Mulet	0,584	0,142	0,441	76	0,543	0,130	0,413	76	0,510	0,092	0,418	82	0,470	0,071	0,399	85	-	-	-	-
200505	SP	Växlande molnighet	0,389	0,021	0,368	95	0,372	0,014	0,357	96	0,294	0,017	0,277	94	0,319	0,018	0,300	94	0,315	0,016	0,295	94
200506	GP	Övervägande soligt	0,551	0,252	0,299	54	0,533	0,242	0,291	55	0,518	0,268	0,250	48	0,508	0,236	0,271	53	0,496	0,269	0,227	46
200518	SP	Växlande molnighet	0,456	0,065	0,391	86	0,420	0,052	0,369	88	0,411	0,042	0,369	90	0,407	0,040	0,368	90	0,387	0,047	0,340	88
200520	GP	Klar himmel	0,586	0,250	0,336	57	0,561	0,298	0,263	47	0,516	0,278	0,238	46	0,491	0,282	0,209	43	0,476	0,249	0,227	48

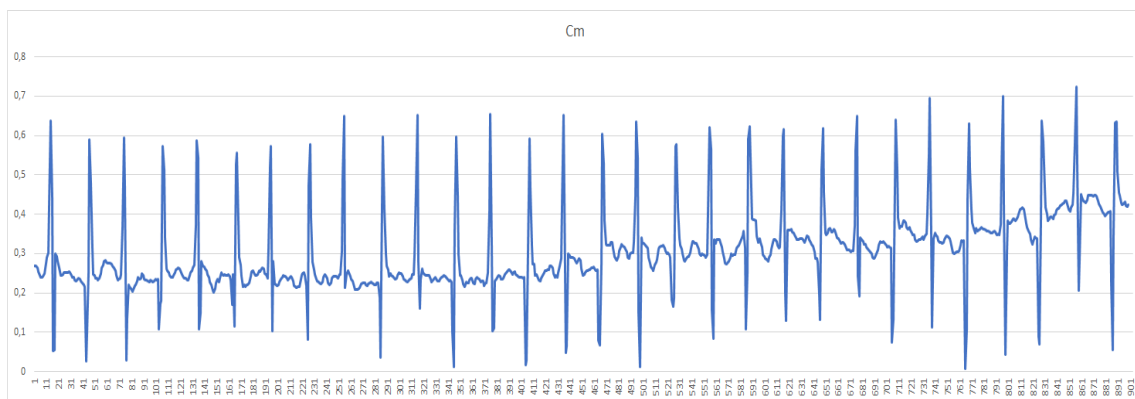
Från de sex tillfällena har data insamlats, och för varje mätning har en referens ("ref." i tabellen) tagits som medelkontrast för två mätningar utan någon spray. Värdet på kontrasten ("kont." i tabellen) är

kontrastmedelvärde från fyra mätningar, på det avstånd som specificerats. Skillnaden som sprayen åstadkommit på kontrasten ("effekt" i tabellen) är då absolutbeloppet på differensen mellan referenskontrasten och kontrasten med spray. Till sist finns listat hur stor andel ("% i tabellen) av kontrasten som försvinner vid spray. För samtliga värden innebär en grön bakgrundsfärg en god kontrast eller liten försämring, medan en röd innebär en dålig kontrast eller en stor försämring.

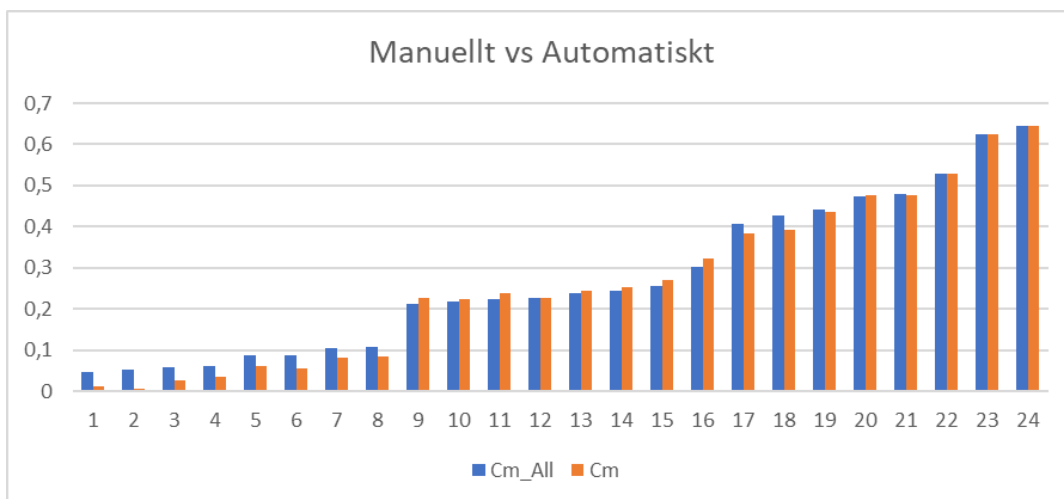
Avståndet till riggen ser inte ut att ha en särskilt stor inverkan på hur mycket sprayen försämrar kontrasten, vilket torde innebära att en liten volym av spray räcker för att försämma kontrasten, och att sprayens inverkan på kontrasten når ett toppvärde vid något visst avstånd. Alternativt kan det innebära att de studerade avstånden är för små för att ett samband mellan avstånd och kontrastförsämring skall kunna upptäckas. Ljussättningens påverkan verkar dock större: det är tydligt att den procentuella försämringen konsekvent är mindre för tillfälle 4 och 6. Detta kan härledas till att kontrasten fortfarande är förhållandevis god då sprayen är påslagen för dessa tillfällen. En olycklig felkälla i detta fall är att platsen för mätningar ändrats precis när molntäcket ändrats, vilket innebär att den mildare kontrastförsämringen antingen beror på att molnen påverkat solinstrålningen eller att väderstrecket riggen ställts i har ändrats. Oavsett vilket är det tydligt att ljusbildens påverkan är stor.

Vad gäller påverkan av fläkthastighet, centrering av injicerat vatten och vattenflöde så var det endast centreringen av injicerat vatten som hade en större inverkan - fläkthastigheten och vattenflödet hade mindre påverkan, vilket skulle kunna förklaras av att vattnet distribueras olika i luftflödet beroende på vattenflödet.

Ett påstående som återkom frekvent från industripartners var att luftburen spray hade en övervägande påverkan jämfört med sprayens vattenbegjutning av vindrutan (och således åstadkom inte spray och kraftigt regn samma påverkan, påstods det). För att verifiera detta påstående undersöktes påverkan på bildkontrast hos vattenbegjutning av vindruta jämfört med påverkan från luftburna vattenpartiklar. Grafen nedan visar en undersökning som gjordes med kontrastplattor skymda av spray, mätta med en kamera bakom en vindruta som begjuts av sprayen med vatten. Spikarna i kontrast kommer av torkarbladens svep förbi den mörkare respektive ljusare kontrastplattan. Hade vattenskiktet på vindrutan haft en stor påverkan skulle kontrasten långsamt försämrats mellan torkarbladens svep, men någon sådan effekt kan inte observeras.

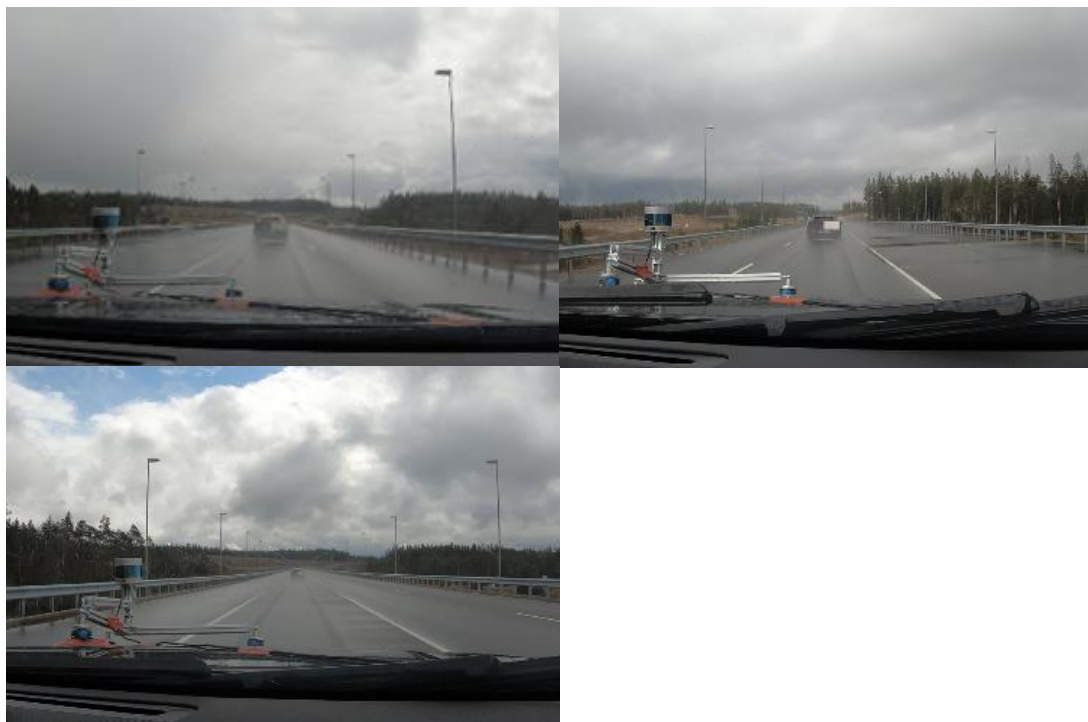


En undersökning genomfördes även för att studera ifall valet av bild för kontrastmätningar påverkade. I mätningar liknande den i grafen ovan extraherades antingen bilden direkt efter torkarbladets svep manuellt, eller så togs samtliga bilder med i kontrastberäkningen ("automatiskt"). Resultatet kan synas i grafen nedan.



De blå staplarna är de fall då samtliga bilder tagits med, medan de orangea är de då endast bilderna efter torkarbladets svep tagits med. Fall 17 till 24 är utan spray. Det är tydligt att torkarbladen vid låg kontrast inverkar mycket på mätningen, medan deras inverkan vid högre kontrast går att bortse från. För att kunna bortse från torkarbladens inverkan vid all körning måste alltså bilderna där torkarbladen finns med på något vis filtreras bort.

Mätningar från naturlig spray genomfördes och det är återigen tydligt att ljusets inverkan på hur mycket spray påverkar kontrasten är stor. På grund av hur dynamisk verklig körning är visade det sig svårt att extrahera kontrastdata automatiskt ur videofilmer – flyttade sig mätfordonet exempelvis några centimeter i sidled påverkades kontrasttavlans placering i bild väldigt mycket. Sammanfattningsvis är det tydligt att avståndet inte har i närheten lika stor inverkan på kontrasten som riktningen på det infallande ljuset. Detta talar för att i liknande framtida mätningar ha mycket god kontroll över och mätning av det infallande solljuset. Valet av material på kontrasttavlor kan också ha påverkat mätningarna, då den svarta ytan blir lätt grå under solljus, vilket påverkar kontrasten.

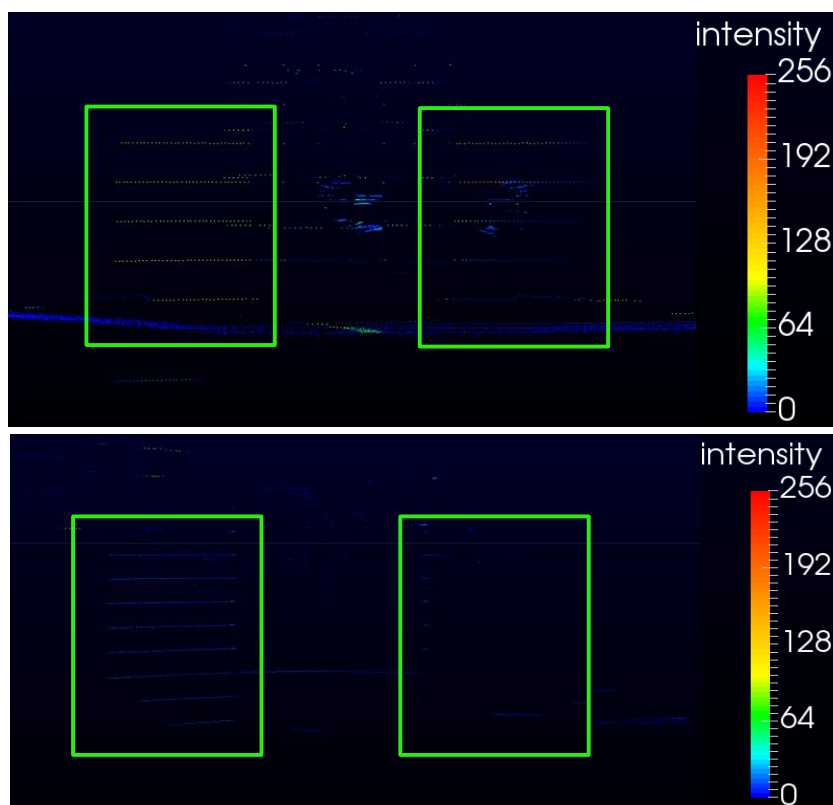


Referensmätningar i soligt väder genomfördes också för ovanstående mätningar, vilka förstärkte insikten att solljusets infallsvinkel har stor inverkan på kontrasten.

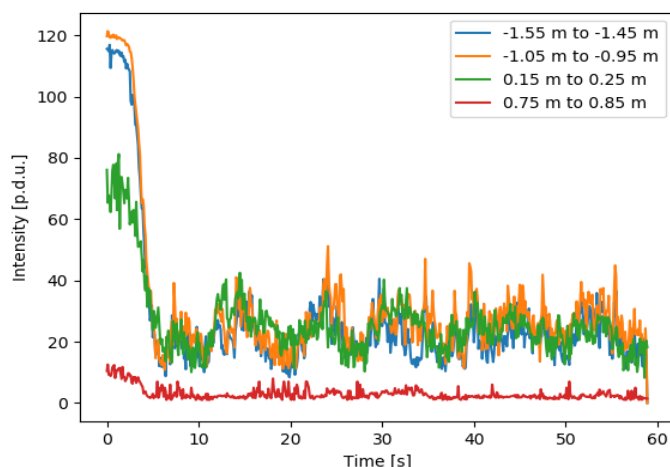


På grund av resursbrist kunde inte ett experiment genomföras för att fastställa korrelationen mellan verklig spray och genererad spray. Några skillnader kunde dock konstateras: artificiellt genererad spray varierar i densitet beroende på fläkthastighet, medan naturlig spray inte varierar i densitet till lika stor grad beroende på fordonets rörelsehastighet. Likaså var ambitionen att jämföra vägens vattenbegjutning med injicerad vattenmängd i riggen men ingen sådan jämförelse gjordes. Med blotta ögat ser de dock ut att åstadkomma liknande effekter.

På grund av resursbrist kunde inte heller en djupgående analys genomföras för LiDAR-data. De enda resultaten kring LiDAR kommer därför från en analys som genomförts på data från ett mindre välplanerat experiment avsett att demonstrera och prova sprayriggen. Sammanfattningsvis kommer inga reflektioner av LiDAR-strålar tillbaka från den svarta delen av kontrasttavlan vid spray och inte heller från asfalten under. Eftersom spray och dimma har liknande droppstorlek (och dimma påverkar LiDAR till stor grad) är detta att förvänta. I bilderna nedan återfinns uppmätt LiDAR-data med kontrasttavlor markerade (en helt svart tavla till höger och en helt vit till vänster, med sprayriggen i mitten). Den första bilden är utan spray och den andra med spray.



Nedan visas hur den uppmätta reflektionsintensiteten för den vänstra kanten på den vita plattan, den högra kanten på den vita plattan, den vänstra kanten på den svarta plattan respektive den högra kanten på den svarta plattan påverkas i en transient mellan avslagen och påslagen spray.



Det är tydligt att spray har en avsevärd påverkan på mätningar med LiDAR, men fler experiment behöver genomföras för att bättre kvantifiera denna påverkan.

Resultatet för arbetspaket 4 är slutsatser kring hur en sprayrigg bör utformas. Dessa är att för en provmetod i spray fokuserande på provning av kamera är det centralt att belysningen kan styras eller åtminstone hållas konstant, alternativt att en metod tas fram för att kompensera för olika inverkan av ljus (ett försök till detta återfinns i tabellen tidigare i kapitlet). Det förefaller inte lika viktigt att kunna variera avståndet till fordonet framför, då kontrasten inte förändras nämnvärt med avstånd. En viktig insikt kring spray är också att det är fullt tillräckligt med statisk provning vilket minskar vattenmängden som krävs enormt. Dessutom finns stora möjligheter till förenkling i handhavandet av riggen, samt effektivisering av mät- och analysmetoden för att karakterisera spray. Vidare finns förbättringsmöjligheter kring var luftströmmen placeras och var vattnet injiceras i den.

De insikter som nåtts under projektets gång används vidare i kommande forskningsprojekt, något som i förlängningen kommer ge svensk fordonsindustri möjligheten att utveckla sina sensorsystem för att hantera spray och således stärka den internationella konkurrenskraften. Detsamma gäller även för AstaZeros förmåga att påvisa förmågan eller oförmågan att hantera dåligt väder hos både svenska fordonstillverkare och deras konkurrenter internationellt. Det är också givet att aktiva säkerhetssystem som utvecklats för att hantera dessa förhållanden, lika väl som de idag ökar säkerheten på våra vägar i gott väder, kan minska antalet skadade och dödade i trafiken på regniga dagar.

7 Spridning och publicering

7.1 Kunskaps- och resultatspridning

Hur har/planeras projektresultatet att användas och spridas?	Markera med X	Kommentar
Öka kunskapen inom området	x	Kartlagt sprayegenskaper och deras påverkan på sensorer. Kvantifierat påverkande faktorer hos spray.
Föras vidare till andra avancerade tekniska utvecklingsprojekt	x	Projektet följs av två projektansökningar: AI-SEE på europeisk nivå samt Sensorprovning i Utmanande Siktförhållanden inom ramen för FFI.
Föras vidare till produktutvecklingsprojekt		
Introduceras på marknaden		
Användas i utredningar/regelverk/tillståndsärenden/ politiska beslut		

Föreliggande projekt följs av två projektansökningar: en för ett större samverkansprojekt på europeisk nivå (AI-SEE) där AstaZero deltar för att utveckla provmetodik och -utrustning, samt en ansökning där AstaZero som ensam part ämnar vidareutveckla utrustningen framtiden genom detta projekt för att bättre efterlikna verklig spray.

7.2 Publikationer

Detta projekt har inte utmynnat i några offentliga publikationer.

8 Slutsatser och fortsatt forskning

Från litteraturstudier samt dialog med industrin har framkommit att spray framför andra väderfenomen är det relevanta att fokusera på då det både är ett av de svåraste förhållandena för kamerasensorer samtidigt som skapande av spray på konstgjord väg verkar vara genomförbart.

Det står utan tvivel att det är svårt att kategorisera någon slags referensspray som kan representera naturligt förekommande spray. Variationerna i sprayen och den stora påverkan från exempelvis vindriktning eller infallsvinkel på solstrålningen blir helt enkelt för stora för våra nu tillgängliga mätmetoder. Ett mer rimligt angreppssätt blir därför att strikt styra konstgjord spray efter utvalda parametrar för att sedan korrelera insamlade data mot verklig spray.

Slutsatser som kan dras av insamlade data från sprayriggen är att avståndet till riggen verkar ha mindre inverkan på kontrasten och att inverkan kanske rent av når ett toppvärde vid något visst avstånd. Det går också tydligt att observera att ljussättningen på kontrastmålet påverkar mer än någon annan parameter. Hastighet på fläkten och vattenflödet verkar ha en mindre påverkan än centreringsen på vatteninjiceringen. Inverkan av målfordonets hastighet vid naturlig spray bör undersökas vidare.

Tester har också kunnat verifiera att påståenden från industripartners om att påverkan från spray i luften överväger påverkan av vattenbegjutningen av rutan från regnet stämmer. Det kan tydligt synas att kontrasten inte påverkas nämnvärt om rutan är vattenbegjuten eller inte; den spray som befinner sig i luften mellan kamera och kontrastmål påverkar mer. Detta blir också tydligt i jämförelser mellan data från bildrutor som tagits ut manuellt precis efter att torkarna svept rutan och genomsnittliga data från alla bildrutor i loggen.

Vid mätningar på naturlig spray krävs ett större arbete kring hur efterbehandlingen av insamlade data ska gå till på grund av mätningarnas dynamiska karaktär vid. På samma sätt som analysverktyg anpassas efter insamlade data måste arbete läggas på att lägga upp mätmetoderna så data går lättare att analysera. Precis som för mätningar med riggen så har det infallande ljuset en stor inverkan på resultatet även vid mätningar på verklig spray, större än vad avståndet mellan kamera och kontrastmål verkar ha. Ett antagande är också att valet av material för själva tavlorna påverkar dess beteende i olika ljusförhållanden, den svarta ytan blir lätt grå i direkt solljus vilket påverkar kontrasten. Vid framtida mätningar kommer större vikt behöva läggas på kontroll och mätning av infallande ljus.

Mer forskning behöver göras på korrelationen mellan verklig och genererad spray men vad vi hittills kan konstatera är att densiteten för genererad spray varierar beroende på fläkthastigheten i större grad än densiteten i den naturliga sprayen varierar med fordonets rörelsehastighet. Korrelationen mellan mängd vatten på vägen och vattenflöde i sprayriggen behöver också undersökas närmare även om observationer med blotta ögat antyder att en koppling finns. Den lilla analys som hunnit göras på den data som samlats in med LiDAR visar på att spray har en avsevärd påverkan även på LiDAR, men här behövs också fler experiment.

Efter arbete med sprayriggen i detta projekt finns nu en bra bild av hur nästa version av riggen skall utformas för att möta de behov som finns med avseende på användarvänlighet och kontrollnivå. Det finns nu också en större kunskap kring hur själva mätmetoderna ska utvecklas för att bland annat kunna kompensera för inverkan av ljus. Med detta projekt har påvisats hur stor del av provning i spray som faktiskt kan ske statistiskt och därmed kan stora resurser sparas gällande utrymme, vatten och energi.

Slutsatserna, lärdomarna och den stora mängden kvarvarande forskningsbehov har för avsikt att behandlas i ett kommande projekt som inlämnat ansökan för till Vinnova. Projektet kallat Sensorprovning i Utmanande Siktförhållanden (SUS – diarienummer: 2020–02961) planerar att ta hjälp av expertis inom flödesdynamik från Chalmers för att mer djupgående analysera och karaktärisera såväl naturlig som artificiell spray. Utvecklad kompetens och utrustning planeras även att användas i ett EU-projekt vid namn AI-SEE som drivs av bland andra Daimler där AstaZero skall bidra med en liten del.

Deltagande parter och kontaktpersoner

AstaZero AB:
Monica Ringvik, CTO
Peter Eriksson, Projektledare
Lukas Wikander, Forskningsingenjör