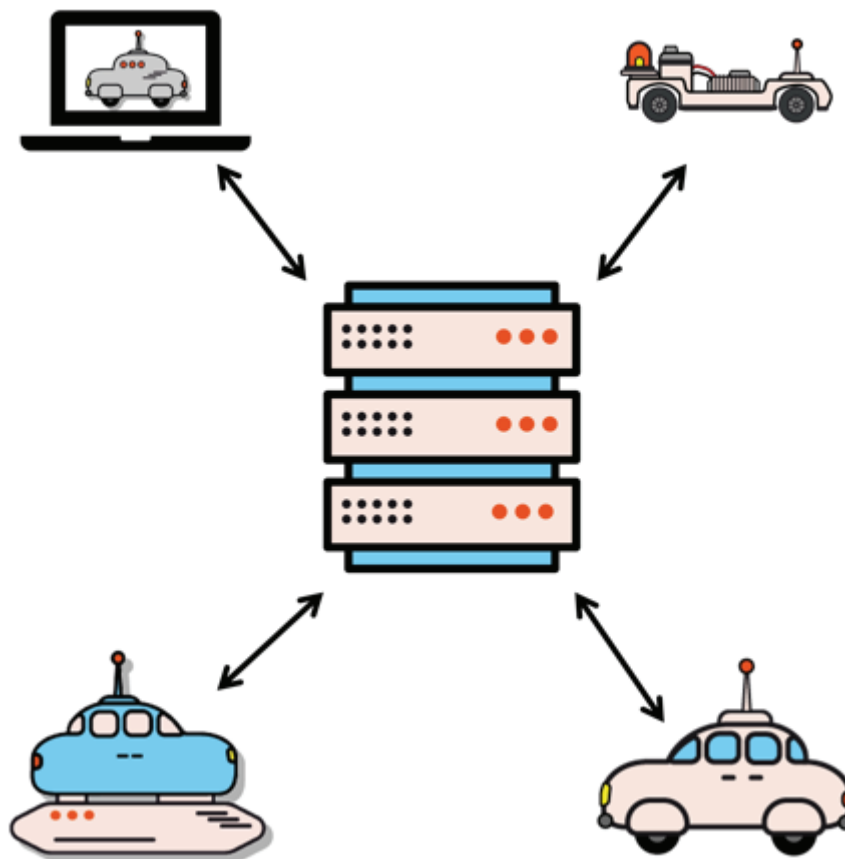


Autonom Testning av Autonoma Testobjekt

Publik rapport



Författare: Viktor Johansson, Projektledare och rapportör
Datum: 30 september 2022
Projekt inom Trafiksäkerhet och automatiserade fordon

FFI Fordonsstrategisk
Forskning och
Innovation

VINNOVA

Energimyndigheten

TRAFIKVERKET

FKG

VOLVO

SCANIA

VOLVO

Innehållsförteckning

1 Sammanfattning	3
2 Executive summary in English.....	3
3 Bakgrund.....	4
3.1 Koppling till AstaZeros strategi.....	5
4 Syfte, forskningsfrågor och metod	5
5 Mål	6
6 Resultat och måluppfyllelse	10
6.1 Arbetspaket 1 – Ökat ISO 22133 stöd	11
6.2 Arbetspaket 2 – Utökat OpenSCENARIO stöd	15
6.3 Arbetspaket 3 – Back-to-Start funktionalitet.....	18
6.4 Arbetspaket 4 – Uthållighetstest	21
6.5 Arbetspaket 5 – Drönarfilmning.....	25
7 Spridning och publicering	29
7.1 Kunskaps- och resultatspridning	29
7.2 Publikationer.....	29
8 Slutsatser och fortsatt forskning	30
9 Deltagande parter och kontaktpersoner	30
10Bibliography	Error! Bookmark not defined.

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.

Läs mer på www.vinnova.se/ffi.

1 Sammanfattning

Projektet Autonom Testning av Autonoma Testobjekt har vidareutvecklat teknik för ökad testkapabilitet i daglig verksamhet på AstaZero, för att stödja övergången till testning av självkörande fordon. Då det självkörande funktionerna i fordon blir alltmer kapabla ställer detta också krav på verktyg för testning och dokumentation. Ett verktyg i form av ett testkontrollsystem har i detta projekt vidareutvecklats och integrerats i verksamheten på AstaZero i syfte att tillgängliggöra verktyget i högre grad för forskare och kunder på AstaZero. Idag kan systemet enkelt appliceras i olika typer av testriggar och inte enbart fysiska test på provbana, något som detta projekt har bidragit till.

Projektet var uppdelat i fem olika arbetspaket med fokus på utveckling av olika delar av testkontrollsystemet. Arbetspaket 1 fokuserade på integration av olika testobjekt mot testkontrollsystemet genom integration av ISO 22133 för att öka AstaZeros förmåga att göra mer komplexa prov med upp till tre olika testplattformar och ett fordon som testas. Arbetspaket 2 fokuserade på övergången mellan simulering och fysisk provning genom OpenSCENARIO. Arbetspaket 3 förbättrade möjligheterna till effektiv provning genom snabbare uppställning av prov. Arbetspaket 4 ökade robustheten på testkontrollsystemet och Arbetspaket 5 förbättrade dokumentationsförmågan av prov genom att automatiskt filma med drönare. Projektet pågick mellan april 2020 och juli 2022.

Vid avslutat projekt har testkontrollsystemet förbättrats så att det nu kan köra prov som pågår upp emot 24 timmar och har dedikerad automatiserad testning som körs vid mjukvaruuppdateringar. Samma system kan även automatiskt köra tillbaka ett testobjekt som stödjer ISO 22133 med möjlighet till manuell styrning om så krävs. OpenSCENARIO kan skapas och läsas in i testkontrollsystemet, dock kvarstår några utmaningar med att exekvera ett fullständigt filbytesscenario i det givna formatet.

Testkontrollsystemet är idag mer integrerat i verksamheten än tidigare och nya funktioner har gjort systemet mer användbart. Trots att projektet inte levererat samtliga förväntade resultat anser AstaZero att projektet ändå fyllt sitt syfte att möjliggöra för med avancerad provning genom ökad integration av testkontrollsystemet i verksamheten. I en framtid förväntas systemet även användas i flera olika testkedjor för olika typer av test.

2 Executive summary in English

The project Autonomous Testing of Autonomous Test Objects has further developed technology for increased test capability in daily operations at AstaZero, to support the transition to testing of self-driving vehicles. As the self-driving functions become increasingly capable, this also places demands on tools for testing and documentation. In this project, a tool in the form of a test control system has been further developed and integrated into the operations at AstaZero with the aim of making the tool more accessible to researchers and customers at AstaZero. Today, the system can be easily applied in different types of test rigs and not only physical tests on a test track, which is something that this project has contributed to.

The project was divided into five different work packages with a focus on development of different parts of the test control system. Work package 1 focused on the integration of different test objects with the test control system through the integration of ISO 22133 to increase AstaZero's ability to do more complex tests with up to three different test platforms and a vehicle under test. Work package 2 focused on the transition between simulation and physical testing through OpenSCENARIO. Work package 3 improved the possibilities for efficient testing through faster set-up of tests. Work Package 4 increased the robustness of the test control system and Work Package 5 improved the documentation capability of

samples by automatically filming with drones. The project ran between April 2020 and July 2022.

Upon completion of the project, the test control system has been enhanced so that it can now run tests lasting up to 24 hours and has dedicated automated testing for software updates. The same system can also automatically or manually drive a test object back to its starting position, if it supports ISO 22133. OpenSCENARIO can be created and loaded into the test control system, however some challenges remain in executing a full file exchange scenario in the given format.

Today, the test control system is more integrated than before, and new functions have made the system more useful. Even though the project did not deliver all the expected results, AstaZero believes that the project still fulfilled its purpose of enabling more complex testing by increasing the level of integration of the test control system within AstaZero. In the future, the system is also expected to be used in several different test chains for different types of tests.

3 Bakgrund

Det autonoma och uppkopplade transportsystemet realiseras alltmer kontinuerligt då nya möjliggörande teknologier introduceras i samhället. Många företag och forskare driver idag utveckling för att bidra till det autonoma transportsystemet, där fordon såsom bilar, bussar och lastbilar blir alltmer självkörande. I takt med att nya teknologier introduceras ökar även kravet på testning av självkörande system och möjliggörande teknik i samhället, där även komplexiteten ökar. Därför finns det idag ett behov av robusta testsystem som i verklig miljö möjliggör testning av komplicerade system genom att iscensätta komplexa scenarier.

I tidigare FFI-projekt som Dnr 2016-02573 "Chronos", Dnr 2017-05501 "Chronos part 2", Dnr 2016-05495 "Simulation Scenarios" och Dnr 2017-05513 "Provteknologi för aktiva säkerhetssystem och automatiserade fordon" har ett testkontrollsystem utvecklats och visat att man kan genomföra komplexa testscenarier genom att styra ett antal mobila plattformar och därmed styra ett scenario. Detta är mycket tack vare det arbete som lagts på att bidra till utvecklandet av ISO 22133 [1], vilken gör det möjligt för mobila testplattformar från olika tillverkare att användas tillsammans med testkontrollsystemet. Trots att fler tillverkare engagerar sig aktivt i utvecklingen av standarden så har inte graden av implementering öka i samma takt, vilket inneburit en reducerad takt av integration av testkontrollsystemet i verksamheten på AstaZero. Det finns därför ett behov av att säkerställa stöd för ISO 22133 i samtlig testutrustning på AstaZero för att klara av dagens och framtidens testbehov.

Parallellt med att fysisk testning blir mer krävande så ökar även den simulerade testningen. Flertalet autonoma funktioner testas rigoröst i olika simuleringsmiljöer virtuellt innan fysisk testning blir relevant. I FFI-projektet "Simulation Scenarios" undersöktes formatet OpenSCENARIO [2] som medel att överföra ett testfall mellan virtuell och fysisk miljö, vilket visade sig lovande då man utförde en enklare demonstration. Numera driver "Association for Standardization of Automation and Measuring Systems" (ASAM) [3] utvecklingen av formatet, där version 1.0 släpptes något år efter projektets start. Det faller sig därför relevant att testsystemets kapacitet att hantera formatet och dess mer komplexa scenarier förbättras.

Då testfallen kontinuerligt blir allt mer komplexa så blir även testperioden längre, det vill säga att testtiden för enskilda test ökar. I framtiden kan man förutspå att ett fordon måste genomgå ett körprov, där hela systemet testas under en längre period. I vissa fall kan ett enda test pågå en hel dag. Hittills så har testsystemet fokuserat på att klara testperioder som sträcker sig till upp mot några minuter, oftast mindre. Därför finns det ett behov av att utveckla testsystemet för att hantera längre testperioder upp till en veckas tid för att försäkra sig om systemets stabilitet.

Testsystemet bidrar även till testeffektivitet. Ett testscenario ska inte bara vara genomförbart och repeterbart utan också tidseffektivt. I ett testscenario där man kör korta testperioder så är uppsättningen av själva testet en stor tidstjuv. Ofta måste en person manuellt köra tillbaka en mobil testplattform till dess ursprungsposition för att kunna köra samma test en gång till. I dessa fall används tillverkarnas egen utrustning för att genomföra detta moment, vilket gör det opraktiskt och ineffektivt när man vill använda många testplattformar med från olika leverantörer tillsammans. För att hantera problemet har projektet undersökt generella lösningar för manuell förflyttning av mobila testplattformar samt automatisk "back-to-start"-funktionalitet, återuppställning av ett test, för senare integration i ISO 22133.

I utförandet av samtliga testscenarier är dokumentation en viktig komponent.

Testkontrollsystemet loggar redan idag dynamisk information för alla testplattformar, såsom tid, position, hastighet och acceleration. Denna data kan sammanfogas med det testade fordonets data för att sedan i efterhand användas för analys och verifiering. Ifall man behöver utökad dokumentation av testscenariot brukar ibland bilarna utrustas med andra loggsystem, till exempel videokameror. Eftersom testscenarier bli alltmer komplexa ökar också behovet att fånga många aspekter av testscenarier samtidigt drastiskt. Drönare kan idag erbjuda bra översiktsdokumentation och används oftast genom att en människa manuellt styr den. Det tenderar att bli dyrt och ineffektivt då man måste avsätta en person för detta, samtidigt som man får problem med att synkronisera det inspelade testscenariot med andra loggar. Projektet har därför utrett möjligheterna med att utnyttja en automatisk drönare för att spela in testscenarier.

3.1 Koppling till AstaZeros strategi

Projektet ämnar tillsammans med projekten Dnr 2019-05899 "V2X och uppkopplad infrastruktur – V2X2", Dnr 2019-05841 "Simulering och AR/VR-visualisering av AstaZero" och Dnr 2019-05836 "EuroNCAP och Internationalisering, AstaZero" öka AstaZeros förmåga i syfte att bättre kunna stötta den svenska industrin och akademien i forskning och olika uppdrag. Detta projekt fokuserar på att bygga upp den digitala biten av testutförandet, där olika typer av mjukvaror utvecklas eller vidareutvecklas. Testkontrollsystemet som nämns i rapporten är en förutsättning för att kunna hantera framtidens testbehov, när testmetodiken kontinuerligt utvecklas. Detta system möjliggör avancerad och komplex provning där inte bara fysiska testobjekt kan användas, utan även virtuella och annars ovanliga testverktyg kan kopplas samman och användas.

Projektet faller under området Testautomation i AstaZeros strategi, där projektet har utgjort en viktig grund för att kunna driva strategin framåt. Planer för förmågor som utvecklas i detta projekt sträcker sig ändra fram till 2027, och intresset för dessa är nu större än någonsin.

4 Syfte, forskningsfrågor och metod

Projektets övergripande syftet är att öka robustheten och integrationen för testsystemet på AstaZero för att möjliggöra för mer avancerad testning för aktörer som använder provbanan. Närmare bestämt blir mer konkreta syften i representation av olika arbetspaket:

1. Fler testobjekt sammankopplade för att möjliggöra komplexa test
2. Tolka och utföra testfall som har genomförts virtuellt
3. Hantera långtgående test upp emot en hel dag
4. Effektivisera testandet genom att underlätta återuppställning av ett fysiskt prov
5. Förbättra filmbaserad testdokumentation utan ökat personalbehov

Eftersom projektet ämnar förbättra existerande teknik på AstaZero, har projektet följt ett iterativt och agilt arbetssätt, där mindre byggstenar kontinuerligt levererats och testats, för att på så sätt ta fram lösningar som är tillämpbara i verkligheten, och endast leverera användbar teknik. Metoder för varje individuellt arbetspaket beskrivs i del 5 – Mål.

5 Mål

Målen och de olika metoderna för projektet är i ansökan angivna i arbetspaketen. För att kunna ge en klar bild av vad målsättningen var, och för att enklare kunna beskriva vad är gjort inom projektets ramar, är varje arbetspaket beskrivet i tabellformat nedan, så som de var angivna i ansökan. En viktig skillnad mellan dessa tabeller och projektansökan är att tabellen visar även milstenarna. I Tabell 1, 2, 3, 4 och 5 återges samtliga arbetspaket så som de är angivna i ansökan.

Tabell 1 – Citering av arbetspaket 1 från ansökan, här innehållandes arbetspaketets milstolpar.

Arbetspaket 1	Ökat ISO 22133 stöd
Beskrivning av innehåll	Arbetspaketet ämnar se till att den testutrustning som finns tillgänglig för dynamisk testning på AstaZero uppgraderas med stöd för ISO 22133. Detta kan innebära att tillverkaren själv implementerar lösningar eller att projektet gör det. Behovet av denna integration är så pass viktigt att det måste göras inom tidsramen för projektet. De tänkta testutrustningarna som ska uppdateras är • ABDs körrobot SR60 Orbit, SR30 och SR35 • ABDs målbärande mobila plattform, GST och launchpad • Humanetics målbärare (UFO) Projektet begränsar sig inte endast till ovanstående då förutsättningarna kan förändras. Det viktiga i sammanhanget är att en stor mängd av testutrustningen på AstaZero får ISO 22133 stöd. Målet i projektet är att minst tre stycken utrustningar ska ha uppdaterats till att stödja ISO 22133.
Metod/angreppssätt (när så är relevant)	Projektet kommer att göra en utredning där man dels för dialog med tillverkarna samtidigt som man tittar på hur man kan genomföra integrering på egen hand. När väl undersökningen är färdigställd tar projektet ställning till ifall man skall göra en egen integration på AstaZero eller om man ska låta tillverkarna själva göra detta. Detta beslut tas med avseende på tid kvar i projekt samt budget.
Leverans	L1.1 Dokument som beskriver arbetet som krävs för att integrera stöd för ISO 22133 i testutrustningen på AstaZero L1.2 Integration i minst tre testutrustningar på AstaZero L1.3 Demonstration av ett testscenario som inkluderar de i arbetspaketet nämnda testutrustningar samt RC-bil på AstaZero.
Milstenar	M1 Genom testsystemet starta och stoppa en bil utrustat med ABD körrobot M2 Genom testsystemet starta och stoppa ABDs målbärande plattform

	M3 Genom testsystemet starta och stoppa Humanetics målbärande plattform M4 Demonstration av samtlig testutrustning tillsammans med testsystemet.
--	--

Tabell 2 – Citering av arbetspaket 2 från ansökan, här innehållandes arbetspaketets milstolpar.

Arbetspaket 2	Utökat OpenSCENARIO stöd
Beskrivning av innehåll	Arbetspaketet kommer fokusera på att främst implementera stöd för att tolka testscenarier beskrivna i formatet OpenSCENARIO. Detta innebär att testsystemet kommer utrustas med ytterligare förmåga att kunna automatiskt sätta upp ett testscenario genom att läsa in en OpenSCENARIO-fil. Detta beräknas öka automationsgraden på testsystemet och dess kompetensnivå. Målet för arbetspaketet blir att försöka utföra ett "cut-in" scenario beskrivet i formatet OpenSCENARIO version 1.0, som beräknas släppas i början av 2020. För att uppnå detta mål kommer även en filbytesfunktion utvecklas, där testsystemet själv kan få ett testobjekt att byta fil.
Metod/angreppssätt (när så är relevant)	Inläsning av formatet OpenSCENARIO kommer att påbörjas efter att den officiella versionen 1.0 släpps. Utveckling av filbytesfunktionen kommer att göras med avseende på den RC-bil¹ som AstaZero har tillgång till. Ett koncept kommer utvecklas och testas på plattformen, innan den till slut verifieras på en av de integrerade testutrustningarna i AP1.
Leverans	L2.1 Ett framtaget filbytesscenario beskrivet i OpenSCENARIO. L2.2 Demonstration av filbytesfunktion med testsystem och RC-bil. L2.3 Demonstration av filbytesfunktion med testsystem och en av de integrerade testutrustningarna i AP1.
Milstenar	M5 Framtagning av en OpenSCENARIO-fil innehållandes ett filbyte M6 Demonstration av filbytesfunktion med RC-bil som är beskrivet enligt den framtagna i M5 M7 Demonstration av filbytesfunktion med testkontrollsystemet och en av de integrerade testutrustningarna i AP1 som är beskrivet enligt filen framtagna i M5

Tabell 3 – Citering av arbetspaket 3 från ansökan, här innehållandes arbetspaketets milstolpar.

Arbetspaket 3	Back-to-Start-funktionalitet
Beskrivning av innehåll	Målet med detta arbetspaket är att definiera och testa fram en lösning för en allmän automatisk "Back-to-Start"-funktionalitet för mobila testutrustningar på AstaZero. Detta beräknas öka

¹ RC-bil är en förkortning innehållandes orden "radio controlled" vilket syftar på en radiostyrd bil

	testeffektiviteten signifikant vid testning av fordon då uppsättningstiden reduceras. Som delmål kommer detta arbetspaket att ta fram ett koncept för manuell fjärrstyrning av mobil testutrustning, något som är tänkt att inkluderas i ISO 22133. Denna uppgift kan ses som ett förarbete och en förutsättning för att göra en automatisk tillbaka till startfunktionalitet. Fjärrstyrningen och "back-to-start" är tänkt att fungera vid låga hastigheter och endast vara tillgänglig innan eller efter ett test har utförts. Vartdera delmålet anses vara uppfyllt när en användare kan göra en omstart av ett test när ett objekt kan köras tillbaka till en startposition efter ett test genom att endast nyttja testsystemet. Parallellt med utveckling av dessa funktionaliteter så kommer arbetet inom detta arbetspaket att inkludera koordinering med grupperingen som hanterar utvecklingen av ISO 22133, en gruppering som AstaZero är med och driver utveckling i.
Metod/angreppssätt (när så är relevant)	Konceptet för en generell fjärrstyrningsfunktion kommer att utvecklas med hjälp av testsystemet, virtuella testobjekt samt en RC-bil. Detta kommer att vara en iterativ process där konceptet kommer att testas med virtuella objekt, följt av testning med RC-bil. Konceptet "Back-to-start" kommer att påbörjas efter att man har lyckats fjärrstyra en RC-bil tillbaka till sin startposition via testsystemet. Här kommer man tillämpa samma iterativa process som innan.
Leverans	L3.1 Demonstration av en generell fjärrstyrning L3.2 Dokument som beskriver det funktionella konceptet fjärrstyrning L3.3 Demonstration av "back-to-start" L3.4 Dokument som beskriver konceptet "back-to-start"
Milstenar	M8 Demonstration av en generell fjärrstyrning med RC-bilen via testkontrollsystemet M9 Demonstration av back-to-start med RC-bil

Tabell 4 – Citering av arbetspaket 4 från ansökan, här innehållandes arbetspaketets milstolpar.

Arbetspaket 4	Uthållighetstest
Beskrivning av innehåll	För att i framtiden kunna säkerställa att automatiserade fordon är robusta nog att fungera i trafik så måste systemen testas under en längre tid. Detta är något som industrin idag inte har kapacitet för att testa, då ett system måste utsättas för normala förhållanden i kontrollerade miljöer med ganska komplexa scenarier. I dagsläget utförs de flesta testfall på hjälpsystem i bilar under en kortare period, ofta mellan 30 sekunder och tre minuter. På grund av detta så har testsystemet sällan opererat under längre perioder, vilket gör att man inte kunna säkerställa systemets robusthet.

	Målet med detta arbetspaket blir därför att anpassa systemet så man kan säkerställa utförandet av uthållighetstester på upp emot 1 veckas period. Detta innebär att systemet ska kunna klara av att avbryta ett test ifall ett testobjekt avviker från sin tänkta rutt eller område.
Metod/angreppssätt (när så är relevant)	Testsystemet kommer att till en början utvärderas genom att utföra testfall med virtuella testobjekt i en veckas tid för att hitta potentiella svagheter. När tillräcklig nivå av robusthet har nåtts skall systemet utvärderas på mer långtgående test med fysiska test. Här tillämpas systemet på en RC-bil som AstaZero har till förfogande där systemet skall klara av att köra test i ett antal timmar.
Leverans	L4.1 Testprotokoll på genomfört virtuellt test L4.2 Testprotokoll på genomfört fysiskt test
Milstenar	M10 Utfört uthållighetstest på 1 vecka utan fel i testsystemet M11 Utfört uthållighetstest på 2 timmar med RC-bil

Tabell 5 – Citering av arbetspaket 5 från ansökan, här innehållandes arbetspaketets milstolpar.

Arbetspaket 5	Drönarfilmning
Beskrivning av innehåll	Ett vanligt verktyg för att dokumentera ett testfall är att filma hela testförloppet. Då ett scenario som man testar kan förflytta sig större sträckor och involvera många olika moment så finns det ett behov av att ha en flyttbar kamera. Eftersom drönare tenderar vara billiga och har förmåga att filma så kan man med relativt små medel spela in ett testfall. Problematiken med filmandet att man inte vill ha en person dedikerad till att filma med drönaren. För att lösa detta så tänker arbetspaketet automatisera filmandet av ett testfall genom att integrera en drönarplattform med testsystemet, där drönare ska följa ett testobjekt och starta filmningen när testet startar. Arbetspaketet kommer att ta fram en drönarplattform med integrationsmöjligheter som kan användas i olika testfall. Drönaren kommer att anpassas så att det följer ISO 22133 och kan användas tillsammans med testsystemet. För att drönaren ska kunna bli användbar så måste följande punkter ses över: • Möjlighet att starta filmning när testet startas • Flyga efter en trajektoria i 3 dimensioner • Undersöka möjlighet att implementera en funktion som följer efter ett specifikt trafikobjekt. Målet är att i slutändan av projektet inneha en drönarplattform som är anpassad för att filma ett testscenario med hjälp av testsystemet.
Metod/angreppssätt (när så är relevant)	I första hand kommer arbetspaketet att ta fram kraven på en drönare, varefter man kommer att försöka investera i en "off-the-shelf"-lösning. Finns det inte en sådan kommer man att titta på att bygga ihop en egen. Slutligen kommer drönaren att integreras mot testsystemet.

Leverans	L5.1 Kravspecifikation på drönarplattform. L5.2 Demonstration av en drönare som följer en tänkt trajektoria, uppkopplad mot testsystemet.
Milstenar	M12 Kravspecifikation på en drönarplattform för drönarfilmning M13 Framtagning av en drönarplattform för drönarfilmning M14 Demonstration av en drönare som följer en tänkt trajektoria och spelar in en film, samtidigt som den är uppkopplad mot testsystemet

6 Resultat och måluppfyllelse

I projektansökan angav åtta olika resultat som skulle uppfyllas vid projektets slut. De angivna resultaten är sammanfattade i tabell 6 och huruvida dessa är uppfyllda är givna per förväntat resultat

Tabell 6 – Sammanfattning av uppnådda resultat jämfört med förväntade resultat i ansökan.

Förväntat resultat i ansökan	Uppnådda resultat
Ett uthållighetstest på 1 vecka kan utföras utan att avbrytas.	24 timmar är den längsta uppnådda testtiden inom projektet
Testsystemet har utökat stöd för formatet OpenSCENARIO version 1.0.	AstaZero kan skapa och testsystemet kan läsa in OpenSCENARIO-filer av version 1.0
Testsystemet kan utföra ett "cut-in"-scenario som är beskrivet i OpenSCENARIO 1.0	Extra funktionalitet i testkontrollsystemet behövs för att utföra angivna scenariot
Testsystemet klarar av att utan extra utrustningar och mjukvaror låta en användare att manuellt köra tillbaka en testutrustning till sin startposition vid låga hastigheter efter att ett test är slutfört	Kommunikationsprotokoll utvecklat och testat med RC-bil samt tillagd i kommunikationsstandarden för ISO22133
Effektiviteten av Testsystemet har drastiskt ökat då testutrustning kan själv köra tillbaka till sin startposition efter avslutat test	Ett koncept "back-to-start" har utvecklats och demonstrerats där man använt redan existerande meddelanden i ISO22133 standarden.
Testutrustning i form av styrrobotar och plattformar som används i daglig verksamhet har stöd kommunikationsprotokollet för ISO 22133	Via samarbete med Humanetics har man utfört demo på provbanan Genom integration via python har man lyckats starta och stoppa ett test med ABDs utrustning
Kapacitet finns för att kunna utföra en mer komplex demonstration innehållandes tre av AstaZeros egna plattformar, samt en bil vars funktioner skall testas	Genom ett antal gemensamma demonstrationer med interna projekt så kan AstaZero genomföra komplex testning. Tack vare egentillverkade plattformar kan AstaZero snart göra ännu mer

Vid start av ett test kan en drönare följa en tänkt färdväg och filma ett testscenario	Drönare som kan följa en trajektoria uppkopplat mot testkontrollsystemet finns numer på AstaZero's provbana
--	---

I texten nedan återges resultat från respektive arbetspaket i mer detalj och hur dessa bidrar till AstaZeros utveckling och FFIs mål.

6.1 Arbetspaket 1 – Ökat ISO 22133-stöd

Att utföra dynamisk provning på AstaZero innebär att ett fordon testas i kontrollerad miljö, tillsammans med olika typer av testobjekt. Detta görs bland annat för att se till att säkerhetsfunktioner opererar inom givna marginaler. Ett testobjekt kan i detta fall vara en mobil plattform, exempelvis en radiostyrd bil med förstärkt stålkonstruktion för att kunna köras över, samtidigt som den kan följa förprogrammerade instruktioner. På AstaZeros provbana finns en rad olika testobjekt med olika testegenskaper, där vissa är inköpta från olika tillverkare och vissa är egentillverkade. Vid uppsättning av testfall innehållandes flera testobjekt uppstår utmaningar, eftersom olika testobjekt från olika tillverkare inte samverkar på samma sätt.

För att lösa detta problem har AstaZero aktivt jobbat med framtagningen av standarden ISO 22133, där olika tillverkare av testobjekt är med och utvecklar en gemensam standard för att olika testobjekt ska kunna samverka i olika testkonstellationer. Under utvecklingsfasen av standarden har implementationsgraden för denna standard varit låg hos vissa leverantörer, vilket har medfört vissa begränsningar i användningen av den hos AstaZero. Detta projekt har försökt påskynda denna integration genom att i dialog med tillverkarna bistå i integrationen på olika sätt.

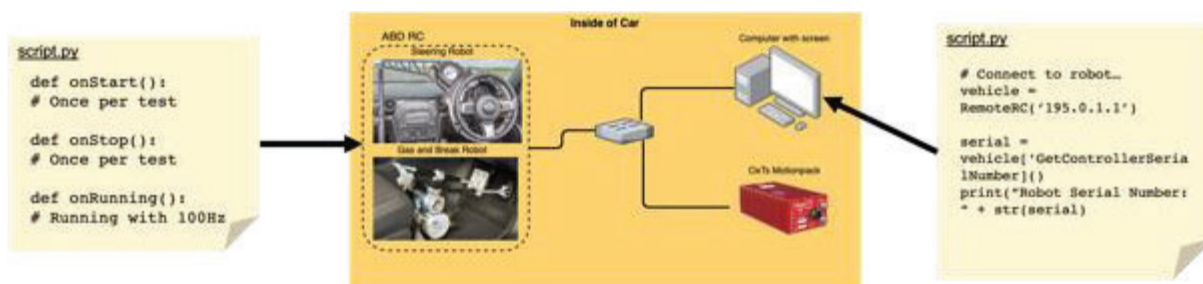
AstaZero identifierade redan i ansökan flera olika testutrustningar som var av intresse för påskyndat ISO 22133 stöd, dessa finns angivna i kapitel 5 Mål. Dessa utrustningar var inköpta antingen från tillverkaren Anthony Best Dynamics (ABD) eller Humanetics och beskrivning av integrationen i dessa finns i del 6.1.1 ABD respektive 6.1.2 Humanetics. Arbetspaketet har även bidragit till utveckling av ISO 22133, här i samverkan med arbetspaket 3, vilket beskrivs i detta kapitels sista del, 6.1.3 Övrig integration i testutrustning.

6.1.1 ABD

Testutrustning från märket ABD är vanligt förekommande på AstaZero, där både målbärande plattformar och robotsystem för eftermontering finns. Dessa utrustningar utnyttjar ABD egna tillvägagångssätt för att sätta upp, köra och analysera tester på provbanan. Robotsystemen som används monteras ovanpå ratt och pedaler i bilden, för att sedan via mjukvara styra fordonet i olika typer av scenarier. På de målbärande plattformarna monteras ofta bilmål, fotgängarmål eller cykelmål, som ofta tillsammans med körroboten ingår i ett testscenario. För att genomföra dessa typer av testscenarier så används främst ABDs egna protokoll och tillvägagångssätt, vilket gör det svårt att lägga till något testobjekt som inte tillhör ABD.

ABD ingår som tidigare nämnt i gruppen som utvecklar ISO 22133 och är en inaktiv deltagare. Dessvärre avser företaget inte implementera protokollet tidigare än när den officiella versionen släpps. AstaZero har i dialog med ABD försökt att motivera en tidigare implementation, dock utan framgång.

Alternativet som presenterats och som detta projekt har arbetat med är att nyttja ett python-API som finns tillgängligt på befintlig testutrustning på banan. Körroboten SR60 kan köra pythonscript på samma hårdvara som styr kringutrustningen, dvs armar och kolvar som monteras på ratt och pedaler. Pythonscriptet kan sedan kommunicera med annan utrustning via ett ethernet-interface i bilen, där ABD har förberedd mall i python som man kan utnyttja. Exempelvis ett python-program. Figur 1 illustrerar denna uppsättning.



Figur 1 – Systemschema över delarna monterade i bilen under användning och var python-scripten körs. Den röda lådan i mitten är en positioneringsenhet Motionpack OxTs RT 3000, ABD Robot Controller är styrenheten som kontrollerar broms, gas och styrning och slutligen datorn som sköter konfigurering och start/stopp av test.

I och med att ISO 22133 är ett nätverksprotokoll, kan ett python-script som körs på robotohårdvaran eller en annan enhet på samma nätverk, anpassas till protokollet och därigenom kunna styra både start och stop från en extern enhet. Detta nyttjades för att göra en prototypimplementation i python.

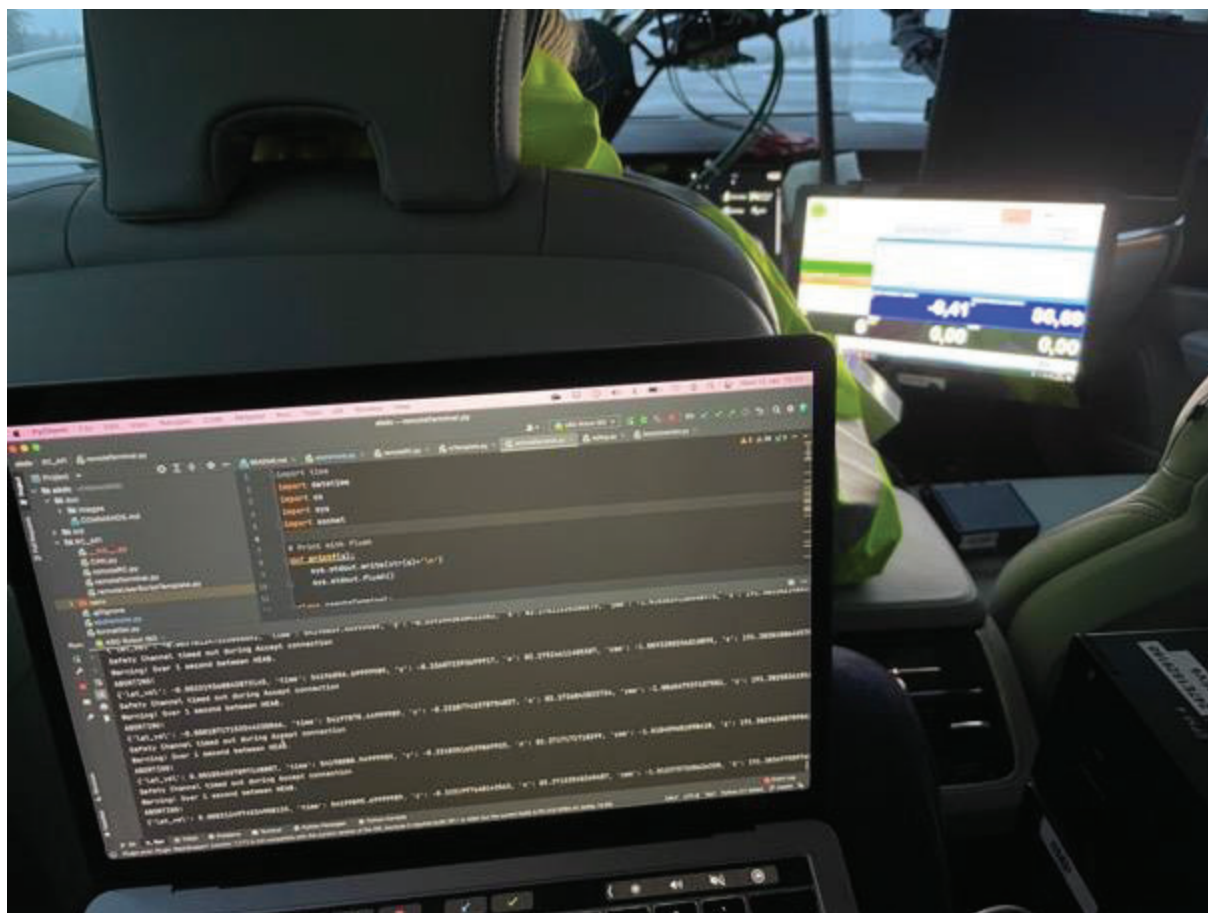
Den första implementationen gjordes på en simuleringshårdvara från ABD, FLEX-SIM. Denna hårdvara emulerar ett riktigt system från ABD, nämligen "ABD Robot Controller" (ABD RC) med tillhörande OxTs RT3000 Motion Pack [4], vilket möjliggör testning av mjukvara i en skrivbordsmiljö. Enheten FLEX-SIM köptes in parallellt med projektet och syns i Figur 2, där enheten endast är kopplad mot en dator med en ethernet-sladd. Med hjälp av denna enhet kan en konfiguration i form av trajektoria, startpunkt, testfallsnamn osv sättas upp, och testet sedan köras tillsammans med python-scripten. Testkontrollsystemet som har ISO 22133-stöd användes sedan för att starta och stoppa testet.



Figur 2. – Simuleringssystemet FLEX-SIM som används för att utveckla och prototypa python-scripting för att möjliggöra stöd för ISO 22133. Agerar på samma sätt som en körrobot som har python-scripting installerat.

Resultatet från den första implementationen är ett python-program som via ett nätverksinterface stödjer ISO 22133-meddelanden. Meddelandena i sin tur tolkas om till det python-API som ABD stödjer i sin plattform, vilket scriptet sedan skickar till ABD RC. Här skickar sedan python-scriptet tillbaka information om vart fordonet befinner sig till testkontrollsystemet. På detta sätt kan testkontrollsystemet styra ABD-plattformen, genom att båda starta och stoppa ett test.

Python-scriptet testades sedan på High Speed Area på AstaZero, där en V90 med tillhörande robotsystem fanns på plats. Modellen på ABD-systemet var en SR60 och är den enda plattformen som vid till testtillfället hade stöd för python-scripting. Figur 3 visar testets uppställning inifrån bilen. Laptopen i förgrunden kör det framtagna python-scriptet, som sedan är uppkopplad till ABD RC samt testkontrollsystemet. Testfallet var redan förprogrammerat i ABDs mjukvara, och startades via testkontrollsystemet på laptoppen i förgrunden. Programmet lyckades genomföra både start och stopp.



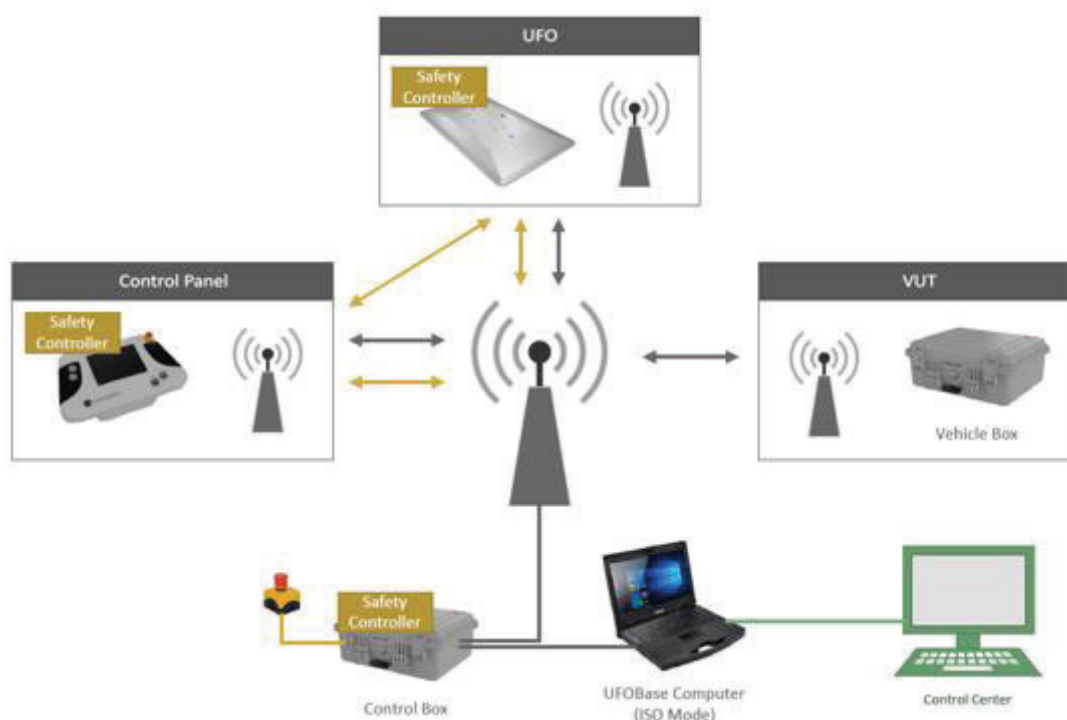
Figur 3 – Demo av python-scripting med körrobot, där en extern dator i förgrunden kommunicerar och styr ABD körrobot SR60 via ett python-API. Interfacet som används är ISO 22133, vilket möjliggör för testkontrollsystemet att göra samma sak.

6.1.2 Humanetics

Humanetics är likt ABD en leverantör av testutrustningar till ADAS- och AD-provning. AstaZero har i skrivande stund en plattform från leverantören, vilket används bland annat för

att utföra testfall specificerade av Euro NCAP. Denna plattform har sitt eget sätt att kommunicera på, och speciell utrustning måste användas för plattformen.

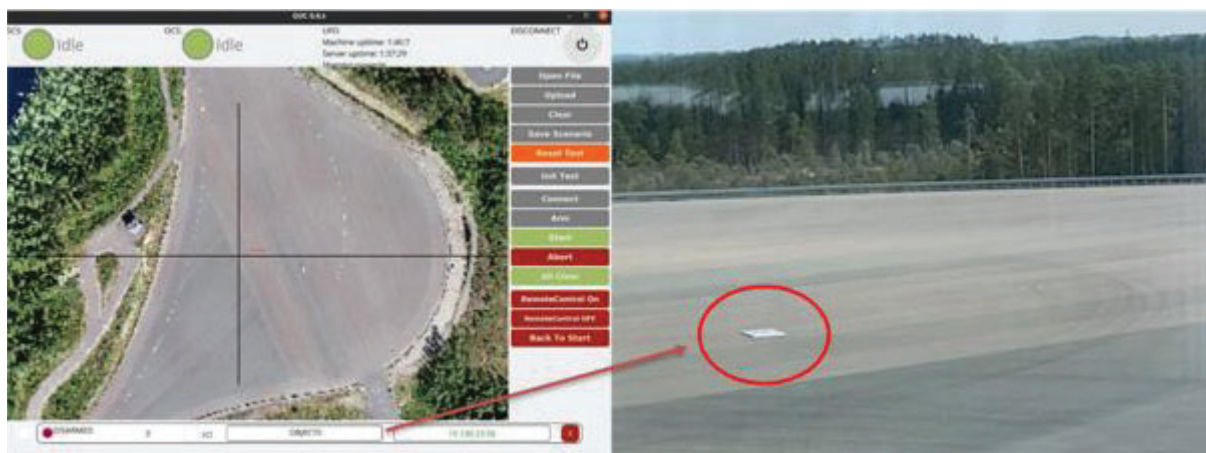
Under projektets gång har AstaZero varit i dialog med leverantören för att möjliggöra att plattformen kan kommunicera via standarden ISO 22133. Humanetics är en aktiv deltagare i standardiseringsarbetet och är inställda på att kunna stödja denna standard när den blir officiell, vilket möjliggjort närmare samarbete. AstaZero har därför mottagit mjukvaruuppdatering till plattformen, som sedan testats för utvärdering på provbanan. Resultatet blev en uppsättning av systembilden i Figur 4, där testkontrollsystemet i grönt kommunicerar med en laptop som sedan är uppkopplad mot leverantörens system.



Figur 4 – Systembild för uppsättning av Humanetics system, där "Control Center" representerar testkontrollsystemet som nämns i detta dokument.

Som del i integrationsarbetet testades uppställningen delvis fjärrstyrt. AstaZero körde testkontrollsystemet i grönt i Figur 4 från Sverige medan Humanetics körde resterande system från sitt säte i Österrike. Demonstrationen blev lyckad. Ett Humanetics Ultra-Flat Overrunable Robot Platform (UFO) [5] startade, stoppade och följde en angiven trajektoria som testkontrollsystemet skickat remote.

Systemet testades sedan på High Speed Area på AstaZero, där en trajektoria från testkontrollsystemet laddades ner till Humanetics plattform. Det grafiska gränssnittet för testkontrollsystemet kan ses till vänster i Figur 5, som sedan via testkontrollsystemet startar scenariot och får plattformen, höger i bild, att röra på sig. Detta demonstrerar stöd för ISO 22133 i Humanetics plattform.



Figur 5 – Demonstration på High Speed Area på AstaZero där Humanetics plattform kör uppkopplat mot testkontrollsystemet.

6.1.3 Övrig integration i testutrustning

Innan projektet startade användes ett av AstaZero konstruerat programmeringsbibliotek, skrivit i språket C. Detta bibliotek används idag som bas för många ISO 22133 integrationer och finns tillgänglig som öppen källkod [6], tack vare insatser i projektet Dnr 2020-02960 "Flexibel Målbärrplattform". Biblioteket används idag för integration i olika plattformar där olika programmeringsspråk används. För att underlätta denna integration har AstaZero använt mjukvaruverktyget Simplified Wrapper and Interface Generator (SWIG) [7], som automatiskt genererar kod från ett språk till ett annat. Projektet har anpassat detta verktyg för att kunna automatisk konvertera C-biblioteket ISO 22133 till både Java och python, där java-koden används i integration med drönaren (beskrivet i kapitel 6.5) och python-koden används i ABD-arbetet (beskrivet i 6.1.1). Detta gör att ISO 22133 enklare kan integreras med nya applikationer.

Samtliga aktiviteter har bidragit till att standarden utvecklats snabbare och integrationsgraden höjts. Tack vare denna ökade konkurrensutsättning ser AstaZero möjligheter att utöka sin produktportfölj och på sikt kunna erbjuda sina kunder tillgång till bättre testutrustningar och därigenom mer pålitlig och effektiv testning.

På grund av begränsad tillgång till testutrustning och antalet plattformar med integrerat ISO 22133-stöd så kunde inte en slutgiltig demonstration med flera objekt utföras. AstaZero har exempelvis endast en ABD-plattform med stöd för python-scripting, vilket begränsar möjligheterna att lägga till flera objekt. Samtidigt medförde ISO 22133-integrationen i Humanetics plattform ännu fler krav på utrustningsuppställning (som kan ses i Figur 4) vilket bidrog till att tillgängligheten minskat. Båda dessa plattformar brukas effektivt av redan pågående daglig verksamhet, vilket också minskat möjligheterna till test.

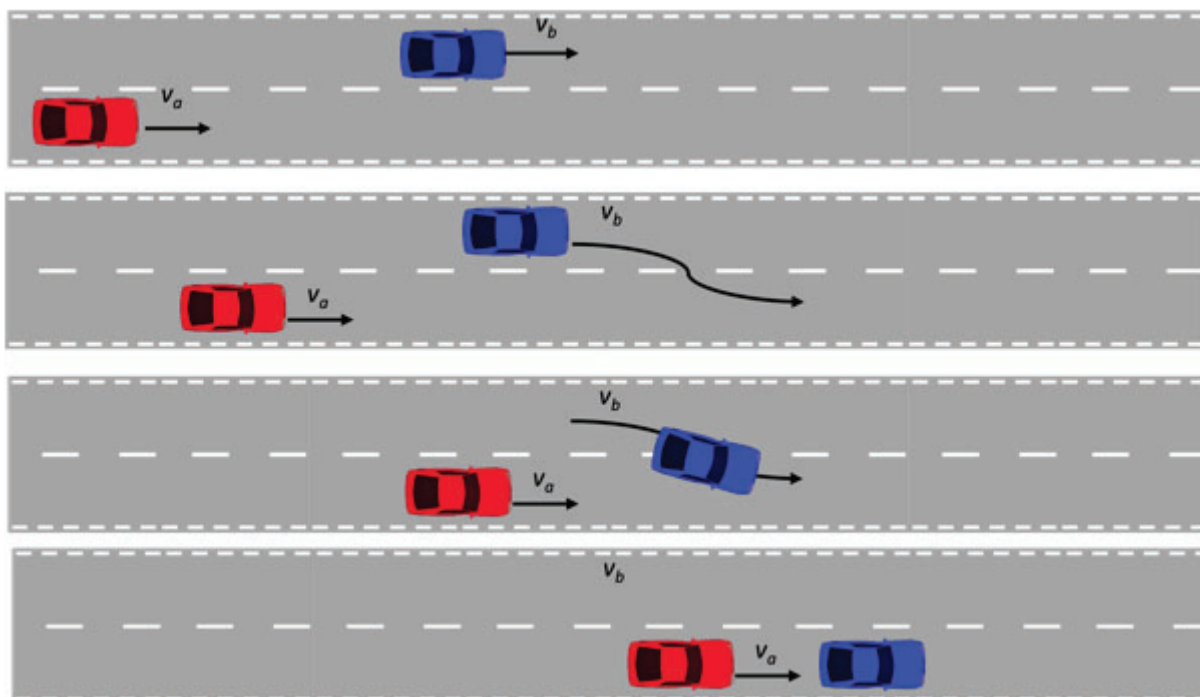
Trots detta anser sig detta arbetspaket att man uppnått syftet att öka integrationsgraden av ISO 22133 på AstaZeros bana, vilket medfört andra positiva effekter, såsom att standarden officiellt kommer att släppas på hösten 2022.

6.2 Arbetspaket 2 – Utökat OpenSCENARIO stöd

Arbetspaketet ämnade att öka stödet för formatet OpenSCENARIO i testkontrollsystemet för att lättare kunna flytta sig från en simulerad miljö till en fysisk. Ett scenario skapades för hand manuellt och testades i simuleringsmjukvarorna Carla och esmini. Samma scenario kunde sedan laddas in i testkontrollsystemet, men visade på begränsningar för exekvering av det givna scenariot. Detta mynnade ut i en rekommendation gällande fortsatta utvecklingssteg för att göra en lyckad integration.

6.2.1 Framtagning av OpenSCENARIO cut-in

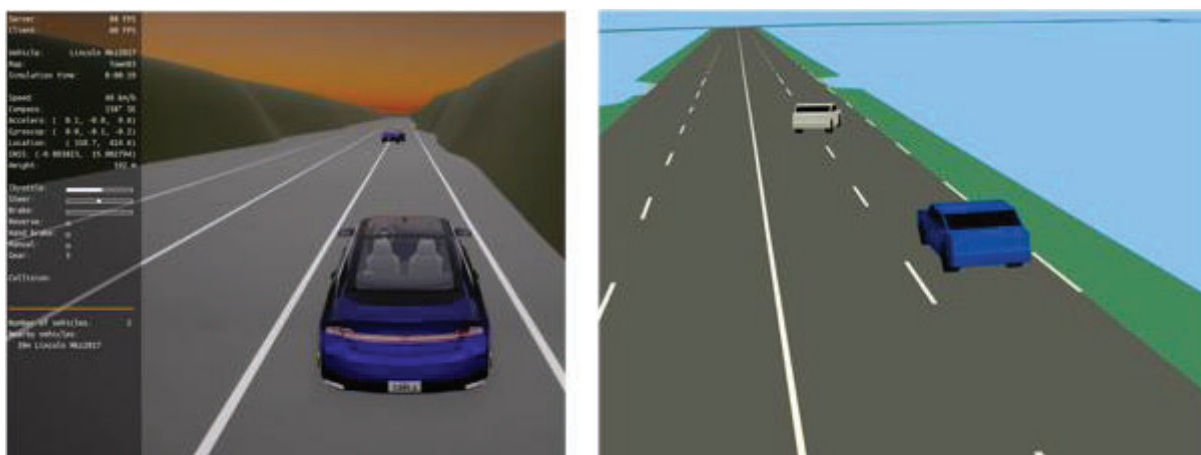
Arbetspaketet inledde med att ta fram en fil som beskriver ett filbyte mellan två fordon i OpenSCENARIO 1.0, där man använde Euro NCAPs "AD grading" protokoll [8] som bas för hur scenariot skulle se ut. Protokollet är ett förslag på hur man ska bedöma nivån på AD funktionerna som biltillverkaren har angett. I protokollet finns en noggrann beskrivning på uppställning och genomförande för ett filbytesscenario där ett främmande fordon kör in i samma fil som fordonet under tests redan kör i, fast med en lägre hastighet. Detta tvingar fordonet under test att bromsa för att inte kollidera. En illustration av scenariot visas i Figur 6.



Figur 6 – Scenariot angivet i Euro NCAP här illustrerat i fyra steg. Det blåa testobjektet gör ett filbyte in i det röda fordonets körfil.

Filen konstruerades därefter genom att en fil på formatet .xml som följer riktlinjerna angivna för OpenSCENARIO manuellt skapades. Denna fil testas och spelas sedan upp i simuleringsmiljöerna CARLA Simulator [9] och esmini [10] för att okulärt verifiera att scenariot sker så som beskrivet i Euro NCAPs protokoll. Båda simuleringsmiljöerna finns tillgängliga som öppen källkod (open source), har stöd för OpenSCENARIO och kan simulera samtliga komponenter i testet. Genom att observera att samma scenario utspelar sig i båda simuleringsmiljöerna kunde arbetspaketet avgöra att filen är tillräckligt bra för att fungera som input till testkontrollsystemet. Fordonet under test kördes i simuleringsmiljön av en enkel förarmodell som endast håller konstant hastighet så som angivet i Euro NCAPs protokoll. I verkligheten ersätts denna med det fordonet som man avser testa.

Stillbilder från simuleringen kan ses i figur 7 där vänster bild visar Carla-miljön precis innan kollision sker på grund av ett filbyte med lägre hastighet, respektive samma situation i esmini till höger.



Figur 7 – Simulering av den manuellt framtagna OpenSCENARIO-filen i simuleringsmiljöerna Carla (till vänster) och esmini (till höger). Bilderna är en stillbild precis innan kollision med ett fordon som med lägre hastighet byter till samma fil som fordonet under test.

6.2.2 Utvärdering av cut-in för implementation i Testkontrollsystemet

Efter att ha verifierat att filen och formatet på OpenSCENARIO-filen fungerar med hjälp av simulering implementerade arbetspaketet en läsare för OpenSCENARIO i testkontrollsystemet. Denna läsare bröt ner OpenSCENARIO-komponenterna i delar som representerar testkontrollsystemets eget sätt att hantera scenarier. Däremot upptäcktes vissa svårigheter med att hantera de förflyttningarna som beskrivs i filen.

Ett av de stora problemen med formatet OpenSCENARIO 1.0 är att det först och främst är anpassat för simuleringar. I en simulerad verklighet kan man exempelvis automatiskt förflytta objekt i olika tidssteg utan att beakta de fysikaliska aspekterna så som massa, friktion dynamisk förflyttning osv. Detta gör att beskrivningar av scenarier tenderar att utelämnar hur vissa manövrar skall göras. Att tolka om detta till rörelser för en plattform på provbanan kräver därför viss anpassning. Ett antal alternativ diskuterades för att kunna komma förbi detta problem.

På provbanan förprogrammeras idag ett scenario i form av olika trajektorier, där varje objekt vet vilken väg den skall ta och när den bör infinna sig på en viss plats. Det gör att varje enskild plattform kan beräkna sina egna styrkommandon för att mest optimalt köra likt den trajektor som plattformen har fått. I fallet med det ovan beskrivna scenariot där ett objekt dynamiskt måste byta fil vid vissa givna förutsättningar, som beror på testfordonets hastighet, position och eventuell acceleration, kräver det att styrkommandon kommer ifrån ett system som bevakar samtliga objekt kontinuerligt. Baserat på dynamiska modeller av testobjekten skulle representativa styrsignaler kunna påverka testobjekten att ändra beteende beroende på vad fordonet som testas gör. Utmaningen ligger i att ta fram noggranna modeller för samtliga testobjekt och samtidigt hantera de fördröjningar som uppstår när direkta styrsignaler skickas trådlöst över luften.

Ett annat förslag som diskuterades var att utnyttja en prototyp som togs fram i projektet Chronos part 2, nämligen dynamiska trajektorier. Detta är ett koncept där trajektorerna uppdateras under testets gång, där man kombinerar systemens egna styrsystem med ett generellt sätt att beskriva förflyttning i den närmsta framtiden. Integration av detta koncept i testkontrollsystemet skulle kunna hjälpa utförandet av scenarier såsom det tidigare beskrivna filbytet och samtidigt möjliggöra mer avancerad provning.

Eftersom det sistnämnda förslaget tack vare sin generalitet är att föredra, utvecklades en plan för en integration av konceptet. På grund av begränsningar och prioriteringar inom projektet beslutades dock att detta inte rymdes inom ramen för projektet. I ett framtida arbete

skulle man kunna realisera denna plan och på så sätt genomföra det beskrivna scenariot och andra mer komplicerade scenarier.

6.3 Arbetspaket 3 – Back-to-Start funktionalitet

Arbetspaket 3 stod för utveckling av teknik som möjliggör effektiv uppställning av ett test, efter att man precis genomfört ett test. Två funktioner utvecklades, Generell fjärrstyrning (Remote Control) och "Back-to-start". Denna del beskriver implementationen av dessa två funktioner och hur dessa integrerats i testkontrollsystemet. Båda dessa har bidragit till framtagandet av ISO 22133, som beräknas släppas hösten 2022.

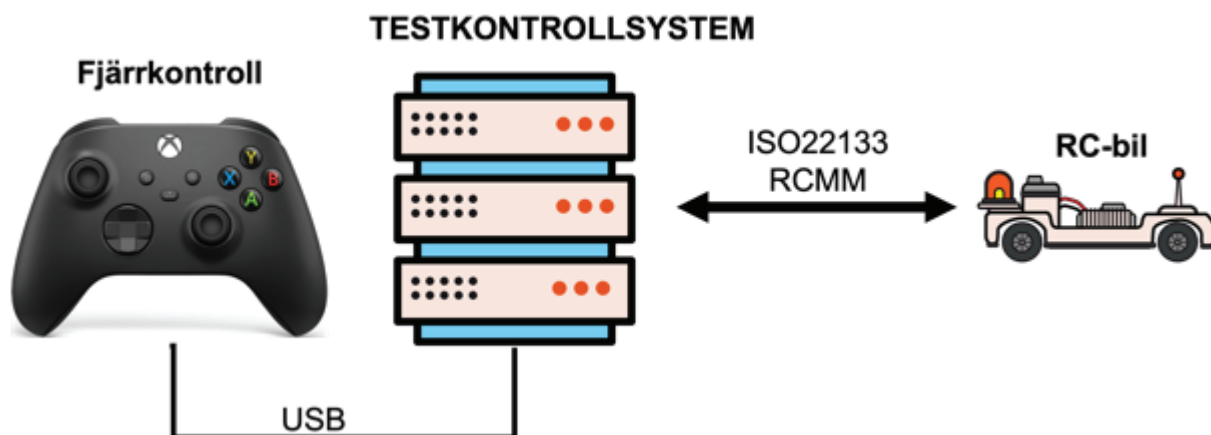
I del 6.3.1 beskrivs Generell fjärrstyrning och i del 6.3.2 beskrivs implementationen av "Back-to-start".

6.3.1 Implementation av generell fjärrstyrning (Remote Control)

Även om Back-to-start är en funktionalitet som i längden gör provning enklare och effektiviserade, finns det tillfällen då manuell återställning krävs. Det kan exempelvis vara när ett testobjekt befinner sig strax utanför provbanan eller behöver köras ut från under ett tak. I fall som dessa brukas testobjektens egna manuella system för att styras. Detta är oftast hanterbart när endast ett system används för att utföra testning. När testobjekten blir flera, och kommer från olika leverantörer blir detta en ohållbar lösning, eftersom flera olika system då måste användas i tur och ordning.

Detta arbetspaket har därför implementerat fjärrstyrning med hjälp av en av AstaZeros radiostyrda bilar, och dokumenterat resultatet i ISO 22133-specifikationen. De radiostyrda (RC) bilar som AstaZero använder sig av är en anpassad plattform baserat på RISE Self-driving Vehicle Platform [11], där all mjukvara finns tillgängligt som öppen källkod. I projektet Chronos part 2 användes denna plattform för att utvärdera prototyper av mjukvarulösningar innan de implementerades på större plattformar såsom målbärare. På samma sätt använde detta arbetspaket plattformen för att iterera fram ett exempel för en generell fjärrstyrning av den radiostyrda bilen.

Integrationen av fjärrstyrning gjordes med hjälp av en fjärrkontroll, testkontrollsystemet samt RC-bilen. Fjärrkontrollen skickar signaler till testkontrollsystemet som sedan formaterar signalerna till ISO 22133-protokollet, som sedan RC-bilen tolkar och utför. Figur 8 illustrerar uppsättningen av systemet. Implementation gjordes i både testkontrollsystemet och RC-bilen. Meddelanden som skickas döptes till Remote Control MM (RCMM) och är den meddelandetyp som skall användas för manuell styrning i protokollet.



Figur 8 – Uppsättning vid test av generell fjärrstyrningsfunktion via protokollet ISO 22133. En fjärrkontroll vänster i bild kommunicerar via USB till testkontrollsystemet, som sedan skickar signaler till en radiostyrd bil.

Uppsättningen i Figur 8 demonstrerades på City Area på AstaZero, där en person med fjärrkontroll via testkontrollsystemet styrde en RC-bil. Stillbilder från denna övning kan ses i Figur 9 där den radiostyrda bilen körs via testkontrollsystemet genom AstaZeros 4G-nät.

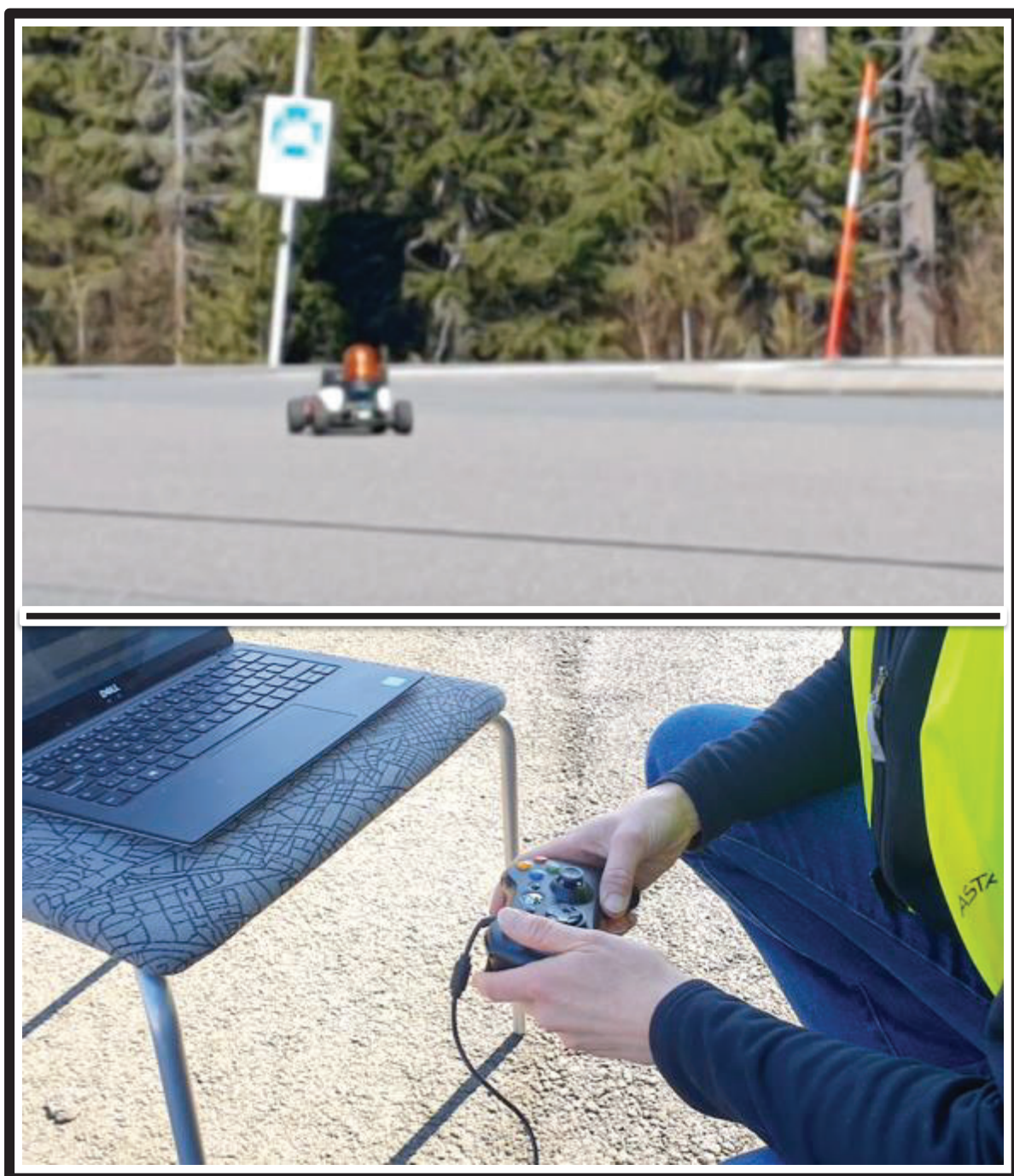


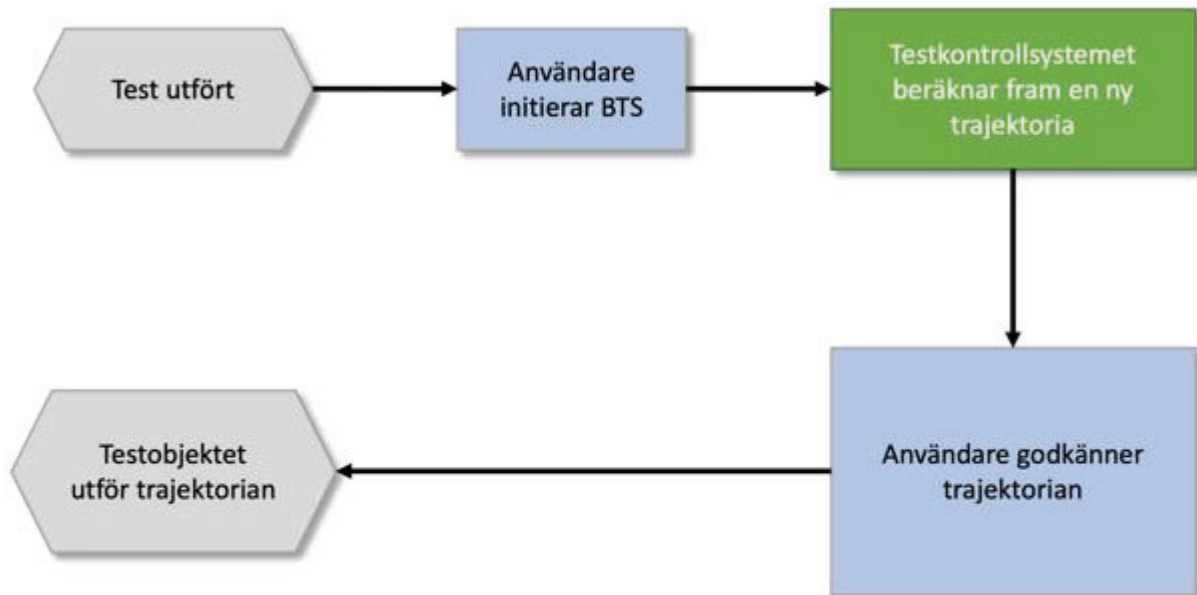
Figure 9 – Demonstration av RCM i City Area på AstaZeros provbana. En fjärrkontroll i nedre bilden är kopplad till en dator som via testkontrollsystemet skickar signaler till en radiostyrd bil, övre bilden.

6.3.2 Back-to-start-implementation

Back-to-start (BTS) är en funktion som tillbyggdes testkontrollsystemet som låter testobjekt autonomt återgå till sina ursprungliga positioner de hade innan ett test utförts. I stället för att

manuellt skicka signaler till själva testobjektet bygger BTS på att skapa en ny trajektoria som testobjektet kör för att återgå till startpositionen för ett testfall. Implementationen utnyttjar redan existerande meddelanden i ISO 22133-specifikationen, vilket gör att testobjekt som använder sig av protokollet kan köras tillbaka automatiskt via funktionen.

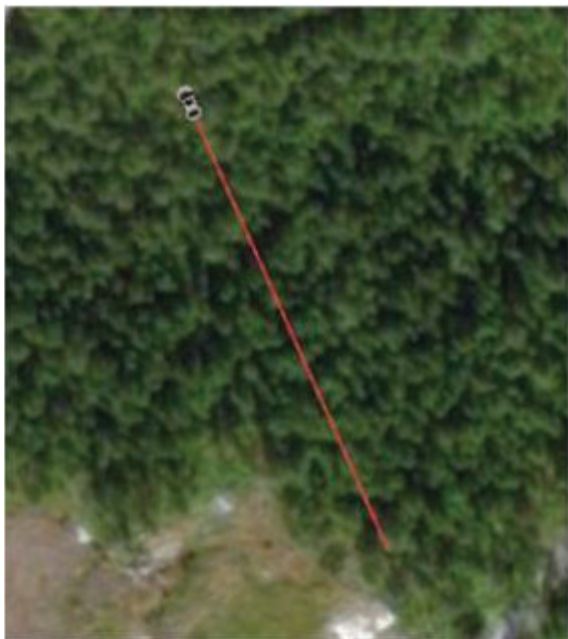
Processen beskrivs i diagrammet i Figur 10, där funktionen initieras av användaren efter att ett test är färdigt. Testkontrollsystemet räknar sedan ut en ny trajektoria som användaren får godkänna, varpå testobjektet börjar köra enligt den framräknade trajektorian.



Figur 10 – Processen som används för att skapa en Back-to-start-trajektoria. De grå rutorna beskriver tillstånd, de blå när användaren interagerar med systemet och den gröna det som testkontrollsystemet gör.

Metoden som används för framberäkning av trajektorian bygger på en manöver inom sjöfarten som kallas för "the Williamson turn" [12]. Denna manöver används framför allt i syfte att rädda någon som ramlat överbord, där skeppet i fråga vänder helt om för att hamna på olyckspositionen. Metoden valdes på grund av sin enkelhet och att den försätter ett testobjekt i helt omvänd riktning i samma position som den var i ursprungligen. Genom att kombinera denna manöver med redan existerande trajektoria kan man enkelt flytta ett testobjekt från sin slutposition till sin startposition med rätt initial riktning.

För användaren av testkontrollsystemet ser processen ut som i Figur 11. Testobjektet i vänstra bilden befinner sig i sin slutposition. Efter att användaren aktiverat BTS-funktionen genereras en ny trajektoria (det gröna steget i Figur 10) och användaren ser och godkänner den, vilket illustreras till höger i Figur 11



Figur 11 – Bilder från det grafiska gränssnittet efter att ett prov har blivit utfört och ska till att köra tillbaka testobjektet. Till vänster visas den trajektoria som precis har körts och till höger visas en trajektoria innehållandes "the Williamson turn" som genererats av testkontrollsystemet för att ta testobjektet tillbaka till sin startposition.

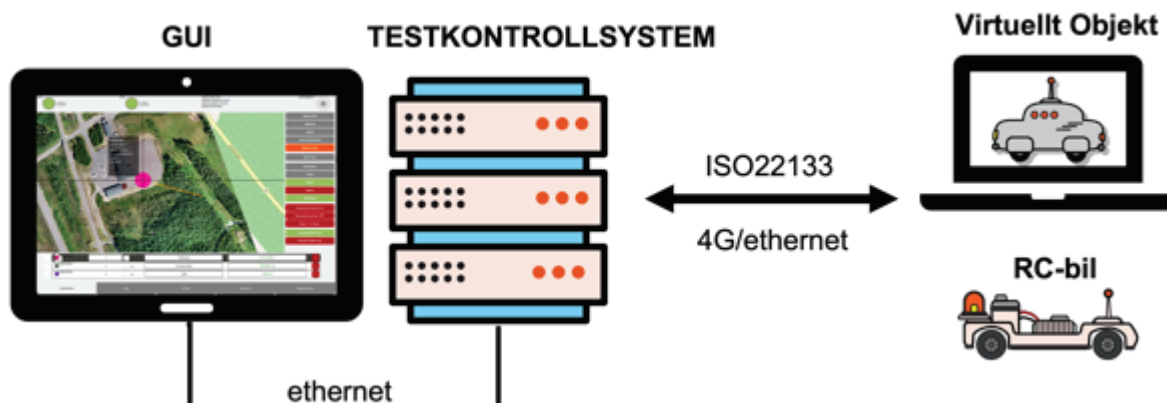
Testning av funktionen gjordes med RC-bilen uppkopplad mot testkontrollsystemet på AstaZeros provbana. På garageplanen körde RC-bilen först en enkel, rak trajektoria, för att sedan få en ny trajektoria genererad av testkontrollsystemet, vilken den följde på vägen tillbaka. För att verifiera funktionen körde RC-bilen till slut samma trajektoria som den initialt körde, vilket visar att BTS fungerar som tänkt.

6.4 Arbetspaket 4 – Uthållighetstest

I detta arbetspaket har testkontrollsystem utsatts för olika uthållighetstest där testtiden och typen av objekt varierats i syfte att se att systemet agerar som förväntat, även när testtiden blir längre än tre minuter. De genomförda uthållighetstesterna beskrivs nedan, där systemuppställningen, testdefinitionen och resultatet redovisas i respektive del.

6.4.1 Systemuppställning

Systemet är uppsatt enligt illustrationen i Figur 12 där testobjekten, typen av testobjekt och 2mediet för ISO 22133 varierats. Testobjekten består av ett virtuellt objekt som är en simulering av ett testobjekt, samt en radiostyrd miniatyrbil som kan styras via ISO 22133-protokollet på provbanan.



Figur 12 – Systembild för uthållighetstesterna i arbetspaket 4. Testkontrollsystemet styrs via ett Graphical User Interface(GUI) som är uppkopplat via ethernetkabel. Testkontrollsystemet styr sedan något testobjekt via gränssnittet ISO 22133, antingen genom ethernet eller 4G, där testobjektet är en simulering av ett testobjekt eller AstaZeros RC-bil.

6.4.2 Testdefinition

Utifrån systemuppställningen definierades tre test vars gemensamma syfte var att testa drift i långgående test. Testen är utformade för att stegvis kunna visa på ökande uthållighet i testkontrollsystemet, samtidigt som viss funktionalitet testas. Det första två testen Förberedelsestest och Uthållighetstest med RC-bil bekräftar att normal, kontinuerlig drift säkerställs när ett enda test tar lång tid. Ett framtida exempel på när detta är av vikt är när man vill köra i olika miljöer i följd, vilket medför långa tester. De tredje testfallet visar att viss funktionalitet bevaras under lång användning, dvs när man kör fler test efter varandra i längre perioder upp emot en vecka. Detaljerad information om dessa test finns beskriven i tabell 6.

Tabell 6 – Testdefinition och detaljerad information kring de testfall som utfördes i projektet.

Testnamn	Förberedelsestest	Uthållighetstest med RC-bil	Långtgående uthållighetstest
Syfte	Säkerställa kontinuerlig drift av testkontrollsystemet i ett långtgående test	Säkerställa kontinuerlig drift av testkontrollsystemet i icke-skrivbordsmiljö i ett långtgående test	Säkerställa funktionalitet i flera test över en lång tid
Testobjekt	Virtuellt Objekt	RC-bil	Virtuellt Objekt
Testlängd	Två timmar	Två timmar	En vecka
Plats	Skrivbordsmiljö	Provbana	Skrivbordsmiljö
Hårdvara	Testkontrollsystem: Dell EMC PowerEdge R540 GUI: Lenovo Laptop Testobjekt: Lenovo Laptop	Testkontrollsystem: Dell EMC PowerEdge R540 GUI: Lenovo Laptop	Testkontrollsystem: Dell EMC PowerEdge R540 GUI: Ersatt med pythonskript Testobjekt: Lenovo Laptop

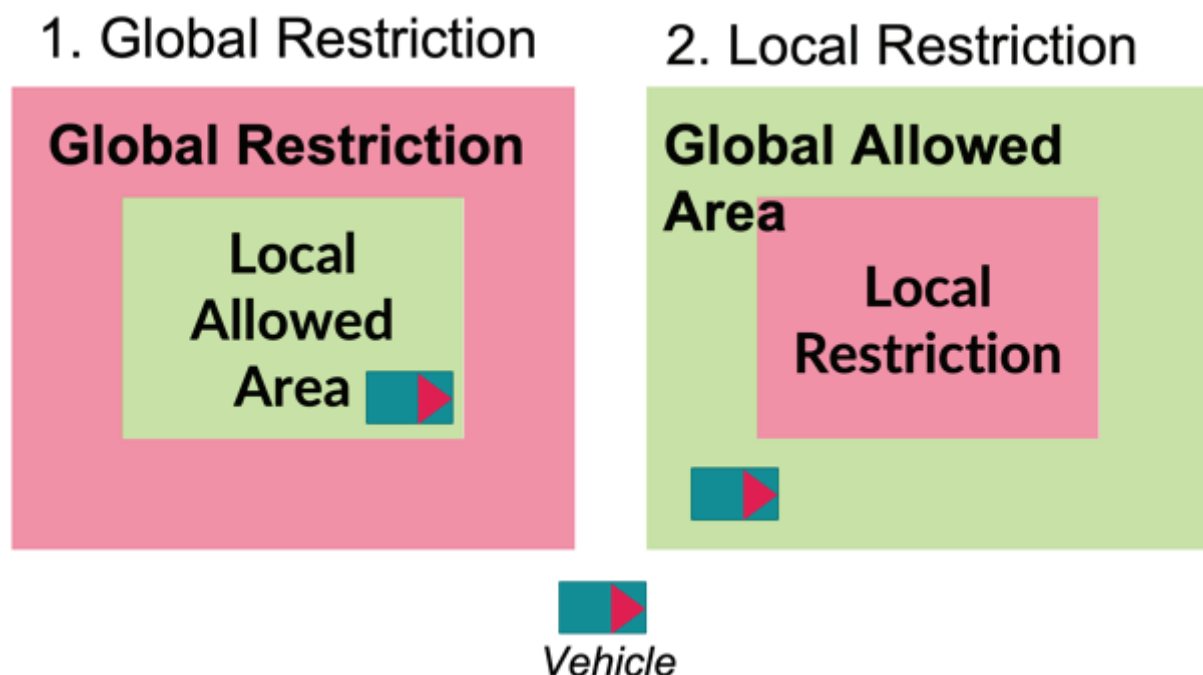
Testobjekt: AstaZero RC-bil



Figur 13 – AstaZeros fjärrstyrda radiobil, även nämnd RC-bil.

I syfte att öka robustheten för testkontrollsystemet gjordes även tester av en av testkontrollsystemets viktiga funktioner, nämligen att testkontrollsystemet avbryter ett test när ett testobjekt lämnar ett geografiskt definierat område. Denna funktion kallas för "Geofence" och utvecklades bland annat i projekten Chronos och bidrar med en viss nivå av testsäkerhet. Varje gång en mjukvaruuppggradering görs måste funktionaliteten verifieras så att den exempelvis inte har av misstag slutat fungera.

I detta projekt definierades ett antal olika testfall för från två olika kategorier som testkontrollsystemet ska klara av, dessa var "Local restriction" och "Global restriction". Den förstnämnda behandlar de gånger där man har en specifik plats som man endast tillåts att köra på, medan det sistnämnda behandlar där man i stället har specifika platser där man inte får köra. En illustration av detta finns i figur 14 där ett fordon har placerats i de tillåtna områdena i både "Local Restriction" och "Global Restriction".



Figur 14 - Illustration av de olika kategorierna av test som gjordes i för att testa funktionen "Geofence" i testkontrollsystemet. Flera testfall för dessa kategorier definierades.

6.4.3 Resultat

Förberedelsestest där ett virtuellt objekt agerade testobjekt gick enligt förväntan. Testet pågick i två timmar där det virtuella testobjektet körde enligt en lång trajektor.

Uthållighetstest med RC-bil pågick i 20 minuter, tills RC-bilens batteri tog slut. AstaZero har inga batterier med högre kapacitet än det som användes. Sänkning av hastigheten diskuterades för att eventuell förlänga testtiden. Efter beräkning bedömdes detta inte vara en rimlig lösning, då testtiden ändå inte kunde nå två timmar. Tack vare att Förberedelsestestet gick enligt förväntan och att uthållighetstest gick felfritt i 20 minuter så bedöms den kontinuerliga driften under långt test klar.



Figur 15 – Fotografi av datorskärm vid testning tillsammans med radiostyrd bil. Till vänster i bild skimras det GUI som testkontrollsystemet använder och till höger syns punkter från den radiostyrda bilens system.

Det långtgående testet på en veckas tid havererade redan efter en dag, på grund av fel i loggningssystemet. Detta åtgärdades, men nya problem uppstod. Efter att under en längre tid försökt åtgärda problemen nåddes budget för arbetspaketet, vilket ledde till att det fortsatta arbetet avbröts, med motiveringen att fortsatt arbete skulle påverka resterande arbetspaket för mycket.

Geofence-testerna utfördes i en automatiserad skrivbordsmiljö med hjälp av Jenkins [13], en mjukvara för att hantera automatisk mjukvarutestning som kan testa system så fort en mjukvaruuppdatering har gjorts. I denna miljö testades testkontrollsystemet automatiskt för att verifiera att testerna avbröts så fort ett testobjekt körde i de otillåtna områdena.

6.4.4 Leverans

Genom att ha arbetat mer med testning av testkontrollsystemet har AstaZero tagit fram en egen grundläggande testkedja för fortsatt utveckling. Detta innebär att automatiska test genomförs på mjukvaran vartefter nya uppdateringar till mjukvaran görs. Denna testning säkerställer att redan existerande funktionalitet fortfarande fungerar, samt att buggar till viss

del fångas innan programvaran används i drift. Idag innehåller testkedjan fler tester än det som gjordes i detta projekt.

6.5 Arbetspaket 5 – Drönarfilmning

Målet med arbetspaketet var att ta fram en drönarplattform som kan användas till att automatiskt filma testscenarier på provbanan. AstaZero har filmat med hjälp av drönare sedan företagets start. På senare år förekommer drönarfilmning alltmer hos privatpersoner, vilket märks på alla miljoner hemmagjorda filmer som visas varje dag på olika strömningsplattformar. Drönarna har därför utrustats för mer och mer teknik som möjliggör mer avancerad automatisk användning, där drönare exempelvis kan följa efter objekt eller köra en förutbestämd rutt. Möjligheterna att investera i en plattform med integrationsmöjlighet till dessa funktioner setts över i arbetspaketet, genom kravställning, inköp och integration av en drönarplattform med existerande testutrustning, i detta fall testkontrollsystemet.

6.5.1 Kravspecifikation för drönare

Arbetspaketet inledde med att ta fram en kravspecifikation, baserat på krav från olika delar av verksamheten. Kraven kategoriserades sedan och summerades i ett dokument.

Kategorierna som togs upp var:

- Drönarklass C0, C1, C2, C3 och C4 [14]
- Radio och datakommunikation
- Batteri och flygtid
- Vädertålighet
- Bärförmåga i kg
- Application programming interface (API) för att kunna styra och övervaka drönaren
- Positionering
- Kamerakvalitet
- Extra monteringsmöjligheter
- Pris

En mall för marknadsundersökning framtogs för att enkelt kunna jämföra olika alternativ och fungera som beslutsunderlag för inköpt. Samtlig information samlades i ett dokument.

6.5.2 Inköp av drönare

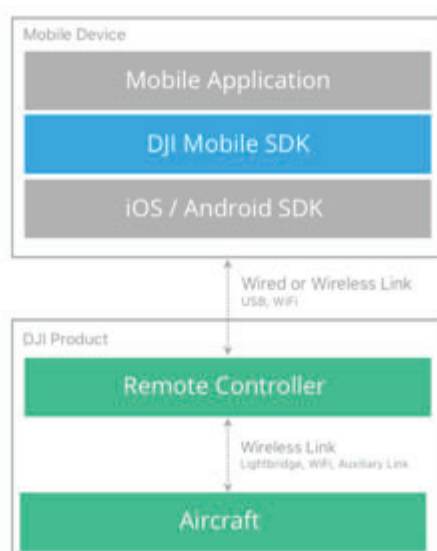
I början av april 2021 gjordes en marknadsanalys av drönare, baserat på kravspecifikationen i syfte att köpa in en drönare. I tabell 7 finns ett utdrag från marknadsanalysen för att visa vilka drönare som utvärderades.

Tabell 7 - Sammanställning av drönare på den svenska marknaden i april 2021 baserat på de tidigare nämnda kraven.

Namn	DJI MATRICE 210 RTK V2	DJI INSPIRE 2	DJI MATRICE 600 PRO	FREEFLY ALTA 8 PRO	RYZE TELLO	DJI MINI 2
Pris (SEK)	114000	60499	63900	152643	990	5352

Funktioner	GPS + RTK Montage av utrustning Waypoints	Bra video Waypoints	6 motorer Tung last 3 GPS-antenn Waypoints	8 motorer Open Source Tung last	Enkelt att programmera Låg kost Ingen GPS	Låg kost Låg vikt Waypoints
------------	---	------------------------	---	---------------------------------------	---	-----------------------------------

Av Tabell 7 kan man utläsa att DJI är en stor aktör på den svenska marknaden, i flera olika prisklasser. DJI tillverkar kompletta lösningar med tillhörande kontroller och system som gör att man enkelt kan börja använda drönaren med enbart sin telefon. Detta samtidigt som DJI har ett etablerat software development kit (SDK) gör att DJI med fördel kan väljas för integreras med testkontrollsystemet. Den stora fördelen med samtliga DJIs drönare är deras "Waypoint"-system, där man via deras SDK kan ange ett antal GPS-koordinater som drönaren sedan kan följa. I Figur 16 visas en illustration av hur DJIs SDK interagerar med mobil enhet och drönaren i sig, vilket visar på en möjlighet att utveckla en app för mobil som enkelt kan få tillgång till många funktioner i DJIs system.



Figur 16 – DJI Mobile SDK som interagerar med en mobil enhets SDK. Kommunikation mellan appen och DJIs fjärrkontroll tillgängliggör styrning och tillgång till drönarens "Waypoint"-system.

RYZE TELLO, som en billig variant utan GPS klarade egentligen inte kraven i kravspecifikationen, men på grund av sin prislapp, samt sitt enkla sätt att programmera den så köptes en sådan in. FREEFLY ATLA 8 PRO var också ett intressant alternativ, dock så saknades mjukvarusupport för något Waypoints-liknande system, vilket gjorde systemet mindre intressant för projektet.

Av samtliga drönare köptes DJI MINI 2 in på grund av sitt stöd för Waypoints samt lägst pris bland DJI-drönarna.

6.5.3 Implementation

För att kunna använda de så kallade Waypoints utvecklades en mobilapp, vars syfte var att använda det öppna API som DJI tillhandahåller. Appens syfte är att ta emot och tolka protokollet ISO22133 och använda tillgängliga funktioner hos DJI för att få drönaren att flyga

enligt en given stäcka. Genom en sådan funktion kan automatisk filmning genomföras, eftersom filmning och rörelse sker synkroniserat med testkontrollsystemet.

Appen utvecklades för Android-smartphones och används tillsammans med den fjärrkontroll som levereras med DJIs drönare. Denna kontroll utgör länken mellan telefonen och drönaren, där en proprietär kommunikationslänk används. Telefonen kan anropa kommandon som sedan skickas till drönaren för att exempelvis ställa in en förprogrammerad rutt med hjälp av Waypoints. Uppställningen visualiseras i Figur 17 där drönaren till vänster kommunicerar med fjärrkontrollen i mitten, som har en telefon ihopkopplad med sig. Telefonen kommunicerar sedan med testkontrollsystemet via ISO 22133 och 4G.



Figur 17 – Drönarkommunikation med testkontrollsystemet

Ett alternativ till den uppställning i Figur 17 som diskuterades i projektet är att skriva programvara direkt för drönaren. DJI har på vissa plattformar stöd för att köra externt utvecklad mjukvara direkt på drönaren, vilket skulle utesluta behovet av en fjärrkontroll och en telefon. Problemet med detta alternativ är att samtliga drönare som har denna möjlighet också har en högre prislapp, dvs på över 100 000 SEK. Då projektet inte såg någon vinst med att köra applikationer direkt på drönaren för det syfte som diskuteras i denna rapport uteslöts detta alternativ.

6.5.4 Testning

När mobilappen färdigställdes testades denna tillsammans med DJI MINI 2 enligt uppställningen i figur 17. Appen testades på en testbänk inomhus, där samtliga propellrar var borttagna för att undvika att drönaren flyger i väg. Vid detta tillfälle testades flera av funktionerna i drönaren, för att se att drönaren reagerade på inskickad input för att säkerställa att funktionalitet fanns. Testet visade att DJI MINI 2, trots tydlig dokumentation online, saknade stöd för Waypoints.

För att lösa detta problem lånade projektet in en annan drönare, en DJI Mavic Air 2 som enligt uppgifter stödjer Waypoints, som denna gång verifierats av olika användare online, på diverse programmeringsforum, bland annat stack overflow [15]. Drönaren testades likt den tidigare på bänk med borttagna propellrar och projektet kunde verifiera att stöd för Waypoints fanns.

Steg två av testandet innebar test utomhus med propellrar på och flygning. I Figur 18 syns en bild där mobilappen tillsammans med fjärrkontrollen styr DJI Mavic Air 2. På bilden nedan har testkontrollsystemet laddat upp en trajektor till drönaren, som på vägen konverterats till Waypoints. Vid startkommando så flyger drönaren, det röda flygplanet i bilden, enligt angivna Waypoints.



Figur 18 – Den utvecklade mobilappen tillsammans med fjärrkontrollen som styr DJI Mavic Air 2 vid testning. Bilden visar ett antal Waypoints i blått som via testkontrollsystemet finns inladdat i drönaren. Vid startkommando från testkontrollsystemet börjar drönaren i rött flyga från sin startposition till samtliga Waypoints i angiven ordning.

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		
Föras vidare till andra avancerade tekniska utvecklingsprojekt	X	EVIDENT, ASCETISM, SAFRAN
Föras vidare till produktutvecklingsprojekt	X	Automatiserad filmning med drönare är av kommersiellt intresse under provning på AstaZero.
Introduceras på marknaden		
Användas i utredningar/regelverk/ tillståndsärenden/ politiska beslut	X	Användes för testutredning i projektet SCAT [16] där ett självkörande fordons system utvärderades. Tack vare testsystemet generalitet kan det enkelt anpassas för morgondagens provning.

I FFI-projektet "EVIDENT" [17] planerar man att validera simuleringsmiljöer som används i olika testkedjor, såsom hårdvarutest, mjukvarutest samt hela fordonstest. Här planeras testkontrollsystemet att vara en del i den öppna testkedja som tas fram i projektet för att kunna valideras på någon av dom nämnda nivåerna

Ett annat FFI-projekt, "ASCETISM" [18], undersöker bland annat hur testkontrollsystemet kan vara ett verktyg för att spela upp framtagna förarmodeller. Här används den radiostyrda bilen som nämns tidigare i rapporten för att demonstrera funktionen.

I FFI-projektet "SAFRAN" [19] kommer AstaZero att arbeta vidare med format såsom OpenSCENARIO för användning inom provning, där testkontrollsystemet bland annat kommer att användas för utvärdering av nya versioner och potentiell utveckling för att kunna utföra dynamiska rörelser.

7.2 Publikationer

Resultat från projektet visades upp i TV-programmet Tomorrow Transformed [20] den 11 januari år 2020 som CNN driver. AstaZeros provbana visades upp samt olika teknologier som AstaZero har utvecklat. Ett exempel var en demo av en applikation som använder "Augmented Reality" som visade virtuella objekt i ett testscenario på en surfplatta, där testkontrollsystemet styrde det virtuella objektet. Tack vare tidigare utveckling i detta projekt kunde denna demo enkelt genomföras.

Detta projekt har också lett till att andra typer av testkedjor kunnat utforskas, till exempel i slutna miljöer likt RISE AWITAR [21] där AstaZero hjälpt till att synkront styra testutrustning kring ett fordon för att fordonet ska tro att det egentligen kör någonstans, trots att fordonet står still i en sluten kammare. Detta test har publicerats via RISE och finns idag för att beskåda på nätet [ref].

I övrigt syftar inte projektet till publicering utan till intern kompetensuppbyggnad. Projektresultaten sätts i kontinuerligt bruk till kunders och forskningens nytta.

8 Slutsatser och fortsatt forskning

Trots att vissa resultat inte uppnåtts, bedömer AstaZero att projektet ändå fyllde sitt syfte. Integration av testkontrollsystemet är betydligt större idag än vad det tidigare varit, tack vare flera initiativ och projekt, men framför allt för att detta projekt har bidragit med viktiga utvecklingssteg som har varit utmanade att ta i samverkansprojekt. Testkontrollsystemet är idag en integral del i AstaZeros verksamhet och planer för vidareutveckling finns internt. Testkontrollsystemet kommer att vara en viktig faktor i framtida virtuella test, där olika typer av testutrustningar kan synkroniseras för att stimulera fordon på provbana och i olika typer av simuleringsmiljöer.

Exekvering av OpenSCENARIO i testning på provbana möjliggörs också framöver, där man tänker sig nyttja den nya plattformen som utvecklas i projektet Flexible Target Carrier tillsammans med konceptet Dynamiska Trajektorier. Det löser de problem som uppstår när scenariobeskrivningar brister i definition av hur en förflyttning ska ske. Vidare kommer även förbättringar av formatet att tas upp i projektet SAFRAN.

Projektet har lagt betydande arbete på att bidra till standarden ISO 22133 som också planeras att släppas officiellt hösten 2022. Det bidrar till nya testmöjligheter för industrin då fler integrerade testobjekt kan användas tillsammans, så länge standarden stöds för testplattformarna. Framöver ser AstaZero en möjlighet att kunna använda samtliga plattformar på provbanan tillsammans på ett smidigare sätt än man tidigare gjort, då tack vare denna standard. Vidare planerar AstaZero att fortsätta driva förbättringar till standarden så att det fortsätter vara relevant och användbar för testning av självkörande fordon.

Användning av drönare har sedan projektets start visat potential inom flera områden. Utrustat med sensorer kan drönare bland annat användas för att spela in digitala kopior av provbanan, ett komplement till fordonsmonterade sensorer, som endast får med ett markperspektiv. Genom att inlett arbetet med att repetitivt kunna följa trajektorier så ser AstaZero en potential att detta kan används inom andra områden, än just inspelning. Troligtvis kommer dessa typer av drönare bli mer vanliga på AstaZero och i framtiden vara en tillgång för alla användare på AstaZero.

9 Deltagande parter och kontaktpersoner

I och med att syftet med detta projekt är att öka AstaZeros kompetens och förmåga finns inga andra parter i projektet. Från AstaZeros sida har Viktor Johansson varit projektledare och arbetspaketsledare för samtliga arbetspaket.

AstaZero

10 Bibliografi

- [1] "ISO22133," [Online]. Available: <https://www.iso.org/standard/78970.html>. [Använd 14 September 2022].
- [2] "OpenSCENARIO 1.2," Association for Standardization of Automation and Measuring Systems (ASAM), [Online]. Available: <https://www.asam.net/standards/detail/openscenario/>. [Använd 14 Septemeber 2022].
- [3] "ASAM," Association for Standardization of Automation Systems, [Online]. Available: <https://www.asam.net>. [Använd 14 September 2022].
- [4] "OxTs," [Online]. Available: <https://www.oxts.com/products/rt3000-v3/>. [Använd 15 September 2022].
- [5] "Humanetics UFO," Humanetics, [Online]. Available: <https://www.humaneticsgroup.com/products/active-safety/ultra-flat-overrunable-ufo-standard-robot-platform/ufomini>. [Använd 16 September 2022].
- [6] AstaZero, "ISO22133 library," [Online]. Available: <https://github.com/RI-SE/iso22133>. [Använd 15 September 2022].
- [7] "SWIG," [Online]. Available: <https://swig.org>. [Använd 15 September 2022].
- [8] E. NCAP, "Euro NCAP AD Test and Assessment," [Online]. Available: <https://cdn.euroncap.com/media/58813/euro-ncap-ad-test-and-assessment-protocol-v10.pdf>. [Använd 17 September 2022].
- [9] "CARLA Simulator," Computer Vision Centre and the Embodied AI Foundation, [Online]. Available: <https://carla.org/>. [Använd 16 September 2022].
- [10] "esmini," [Online]. Available: <https://github.com/esmini/esmini>. [Använd 16 September 2022].
- [11] Benjamin Vedder, Joel Svensson, Marvin Damschen, Emil Knabe, "RISE Self-Driving Vehicle Platform," RISE AB, [Online]. Available: https://github.com/vedderb/rise_sdv. [Använd 20 September 2022].
- [12] A. Ferguson, Seamanship Notes - Second Edition, Livingston: Witherby Publishing Group, 2004.
- [13] "Jenkins, Build great things at any scale," [Online]. Available: <https://www.jenkins.io/>. [Använd 18 September 2022].
- [14] Transportstyrelsen, "Tillverkning och försäljning av drönare," 26 11 2021. [Online]. Available: <https://www.transportstyrelsen.se/sv/luftfart/Luftfartyg-och-luftvardighet/dronare/tillverkning-och-forsaljning-av-dronare/>. [Använd September 2022].
- [15] "Stack Overflow," [Online]. Available: <https://stackoverflow.com/>. [Använd September 2022].
- [16] "SCAT - Safety Case Autonomous Transport," [Online]. Available: <https://www.ri.se/en/what-we-do/projects/safety-case-for-autonomous-trucks>. [Använd 20 September 2022].

- [17] "EVIDENT," [Online]. Available: <https://www.vinnova.se/p/etablera-virtuell-validering-och-verifiering-av-adas--och-ad-funktioner/>. [Använd 22 September 2022].
- [18] "ASCETISM," [Online]. Available: <https://www.vinnova.se/en/p/autonomous-and-connected-vehicle-testing-using-infrastructure-sensor-measurements/>. [Använd 22 September 2022].
- [19] "SAFRAN," [Online]. Available: <https://www.vinnova.se/p/safran---samverkan-for-framtidens-standardiserade-testdoman/>. [Använd 22 September 2022].
- [20] CNN, "YouTube," INRIX, 11 Januari 2021. [Online]. Available: <https://www.youtube.com/watch?v=0a9qNXj3U0E>. [Använd Augusti 2022].
- [21] "Awitar - Automotive Wireless Test and Research Facility," RISE AB, [Online]. Available: <http://awitar.se/en/home/>. [Använd 20 September 2022].