

SAFRAN

Samverkan för Framtidens Standardiserade Testdomän



Författare: Mari Eriksson, AstaZero; Sebastian Lindholm, AstaZero;
Victor Jarlow, AstaZero; Cecilia Hernqvist, AstaZero
Datum: 2025-06-27
Projekt inom: Elektronik, mjukvara och kommunikation - FFI - december 2021

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.....	6
4.1 Terminologi.....	6
5 Mål	7
5.1 SAFRAN projektets nyttiggörande	8
6 Resultat och måluppfyllelse	9
6.1 AP 1 Nulägesanalys och rekommendationer för framtida standardiseringsinitiativ	10
L1.1 Nulägesanalys av ASAM OpenX	10
L1.2 Beslutsunderlag för arbetsplanering AP2 & AP3	10
L1.3 Rekommendationer för fortsatta standardiseringsinitiativ	10
Avvikelser och lärdomar	11
6.2 AP 2 Samverkan inom ASAM	11
L2.1 Publicering av minst två koncept, utkast eller färdigställda standarder inom ASAM OpenX....	13
L2.2 Presentation vid minst tre tillfällen av leverabler från AP3 & AP4	13
Avvikelser och lärdomar	13
6.3 AP 3 Konceptualisering och Spridning.....	14
System för realisering av användarfall (ATOS).....	14
Demonstrationer av användarfall	15
L3.1 Tre demonstrationer i simulering och/eller fysiskt på provbana	19
L3.2 Dokument beskrivandes genomförandet av demonstrationerna samt utfall och slutsatser	19
L3.3 Mjukvara för realiserande av användarfall tillgängliggjord genom Open Source.	19
Avvikelser och lärdomar	19
6.4 AP 4 Mätbara ODD:er för test och övervakning.....	20
6.4.1 Test planering av ODD	20
6.4.2 Aktiv testobjekts övervakning och för säker testning	22
SAFRAN projektet har uppfyllt arbetspaketets 4 leveranser genom:.....	33
L4.1 Dokument beskrivandes olika matematiska modellens användbarhet för testplanering, -	
uppföljning och -utvärdering utifrån en ODD.....	33
L4.2 Dokument konceptuellt beskrivandes system för ODD övervakning inklusive krav på ett	
sådant system	33
L4.3 Demonstration av ODD övervakning	33
Avvikelser och lärdomar	33
7 Spridning och publicering	34
7.1 Kunskaps- och resultatspridning	34
7.2 Publikationer.....	35
8 Slutsatser och fortsatt forskning	36
9 Deltagande parter och kontaktpersoner.....	36

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

SAFRAN – Samverkan för Framtidens Standardiserade Testdomän är ett FFI-finansierat projekt som syftar till att stärka samverkan och standardisering inom testdomäner för autonoma fordon och aktiva säkerhetssystem. Projektet har drivits av AstaZero och fokuserat på att integrera simulering och fysisk provning genom internationella standarder, särskilt inom ASAM OpenX och ISO 22133.

Projektets mål har varit att:

- Förenkla samverkan mellan industri, akademi och myndigheter.
- Bidra med provbanans perspektiv i standardiseringsarbetet.
- Utveckla tekniska lösningar och tjänster baserade på standardiserade format.
- Utforska och analysera det snabbt växande OpenX-ekosystemet.

SAFRAN har uppnått sina mål genom fyra arbetspaket:

Nulägesanalys och rekommendationer: En omfattande analys av ASAM OpenX-standarder genomfördes, vilket resulterade i ett beslutsunderlag för vidare arbete och rekommendationer för framtida standardiseringsinitiativ.

Samverkan inom ASAM: AstaZero deltog aktivt i utvecklingen av ASAM OpenODD-standarden, inklusive definitioner, taxonomier och mapping-referenser. Arbetet inkluderade även fallstudier i samarbete med projektet EVIDENT.

Konceptualisering och spridning: Två större demonstrationer genomfördes med hjälp av testkontrollsystemet ATOS, som utvecklats inom projektet och gjorts tillgängligt som öppen källkod. Demonstrationerna visade på interoperabilitet mellan fysiska och simulerade testobjekt.

Mätbara ODD:er för test och övervakning: En första arkitektur för testplanering (AstaZero Test Planning Factory) utvecklades, som möjliggör länkning mellan testfall och ODD-koncept, PooC testas i samarbete med MODI. Projektet bidrog även till revideringen av ISO 22133:2025 och utvecklade algoritmer för dynamiska trajektorier.

Projektet har haft stor påverkan på både industri och samhälle genom ökad trafiksäkerhet, effektivare testprocesser, stärkt konkurrenskraft och främjande av innovation. Resultaten har redan börjat nyttiggöras i andra projekt som MODI, EVIDENT och VERDAS, samt i kommersiella testmiljöer.

2 Executive summary in English

SAFRAN – Collaboration for the Future Standardised Test Domain is an FFI-funded project aimed at strengthening collaboration and standardisation within test domains for autonomous vehicles and active safety systems. Led by AstaZero, the project focused on integrating simulation and physical testing through international standards, particularly within ASAM OpenX and ISO 22133.

The project's objectives were to:

- Simplify collaboration between industry, academia, and authorities.
- Contribute the proving ground perspective to standardisation work.
- Develop technical solutions and services based on standardised formats.
- Explore and analyse the rapidly growing OpenX ecosystem.

SAFRAN achieved its goals through four work packages:

Status Analysis and Recommendations: A comprehensive analysis of ASAM OpenX standards was conducted, resulting in a decision-making basis and recommendations for future standardisation initiatives.

Collaboration within ASAM: AstaZero actively participated in the development of the ASAM OpenODD standard, including definitions, taxonomies, and mapping references. Case studies were also carried out in collaboration with the EVIDENT project.

Conceptualisation and Dissemination: Two major demonstrations were conducted using the AV Test Operating System (ATOS), developed within the project and released as open source. These demonstrations showcased interoperability between physical and simulated test objects.

Measurable ODDs for Testing and Monitoring: A first architecture for test planning (AstaZero Test Planning Factory) was developed, enabling linkage between test cases and ODD concepts. PooC are currently tested in collaboration with MODI project. The project also contributed to the revision of ISO 22133:2025 and developed algorithms for dynamic trajectories.

The project has had a significant impact on both industry and society by improving road safety, increasing testing efficiency, strengthening competitiveness, and promoting innovation. Its results are already being utilised in other projects such as MODI, EVIDENT, and VERDAS, as well as in commercial test environments.

3 Bakgrund

Under de senaste åren har mängden kod och systemkomplexitet i vägfordon ökat markant för att kunna realisera de aktiva säkerhetssystem och självkörande funktioner som idag återfinns i både konsumentfordon och kommersiella transporter. För att säkerställa säkerhet och funktion i dagens och framtidens fordon krävs en alltmer omfattande och varierande testflora med dimensioner av simulering, fysisk testning på provbana och utvärdering i riktiga trafikmiljöer.

Projektet SAFRAN (Samverkan för Framtidens Standardiserade Testdomän) syftar till att möta dessa utmaningar genom att främja samverkan och standardisering inom testdomänen för autonoma fordon och aktiva säkerhetssystem. Tidigare och pågående projekt inom FFI, såsom Simulation Scenarios, Autonom Testning av Autonoma Testobjekt, och Digitala AstaZero, har visat på användbarhet och fördelar med standardiserade format för scenarion och digitala miljöer.

För att möta ett växande testbehov till följd av ökande systemkomplexitet och automationsgrad, samt en tilltagande förändringstakt i mjukvaruutveckling och -uppdateringar, behöver framtidens provbana vara sömlöst integrerad med simuleringsmetoder inom verifiering och validering (V&V). Denna värdeskapande integration mellan simulering och fysisk provning kan ske via standardisering av gränssnitt och samverkan inom industrin, ett sådant initiativ drivs idag inom standardiseringsorganet ASAM.

Genom att delta i standardisering och harmonisering inom ASAM kan AstaZero bidra med relevans från fysisk provning, samtidigt som insikter från simuleringsdomänen och kommande standarder tidigt fångas, analyseras och kopplas mot utvecklingsplan och långsiktig förmågeutveckling. Efter projektets avslut förväntas AstaZero ha bidragit till utveckling av standardisering av de format och gränssnitt inom ASAM som överlappar och möjliggör integration mellan simulering och fysisk provning, vilket gynnar fordonsbranschen i stort.

Projektet SAFRAN har också utforskat möjligheterna med ett standardformat för Operational Design Domain (ODD), vilket är avgörande för att definiera de miljöer ett autonomt fordon är designat att verka inom. Standardisering av ODD-format sker parallellt inom flera olika standardiseringsorgan, och projektet har valt att fokusera på ASAM OpenODD. Genom att aktivt delta i standardiseringsarbetet för framtidens testdomän har projektet som målsättning att förenkla samverkan mellan AstaZero, OEM, underleverantörer, akademi samt små och medelstora företag.

En central del av projektet har varit att delta i revisionsarbetet av ISO 22133, en kommunikationsstandard som specificerar hur testutrustning ska kommunicera med ett kontrollcenter för att möjliggöra dynamiska och realistiska trafikscenarier med flera samverkande aktörer. Den första versionen, ISO 22133:2023, publicerades 2023 och har sedan dess vidareutvecklats inom ramen för SAFRAN-projektet. Den uppdaterade versionen, ISO/DIS 22133 släpptes 22 April 2025.

Genom att aktivt delta i utvecklingen och revideringen av ISO-standarder, såsom ISO 22133, säkerställer AstaZero att de tekniska ramverken är anpassade efter de krav som ställs på automatiserade fordon och relaterad testverksamhet. Detta engagemang stärker AstaZeros position som en ledande aktör inom området och bidrar till att forma framtidens standarder för testning och övervakning av autonoma fordon.

4 Syfte, forskningsfrågor och metod

Projektet SAFRAN syftar till att möta utmaningarna med ökande systemkomplexitet och automationsgrad i vägfordon genom att främja samverkan och standardisering inom testdomänen för autonoma fordon och aktiva säkerhetssystem. Genom att delta i standardisering och harmonisering inom ASAM kan AstaZero bidra med relevans från fysisk provning, samtidigt som insikter från simuleringsdomänen och kommande standarder tidigt fångas, analyseras och kopplas mot utvecklingsplan och långsiktig förmågeutveckling. Efter projektets avslut förväntas AstaZero ha bidragit till utveckling av standardisering av de format och gränssnitt inom ASAM som överlappar och möjliggör integration mellan simulering och fysisk provning, vilket gynnar fordonsbranschen i stort.

Forskningsfrågorna som projektet adresserar inkluderar:

1. Hur kan standardiserade format och gränssnitt för testning av autonoma fordon och aktiva säkerhetssystem utvecklas och implementeras för att möjliggöra effektiv integration mellan simulering och fysisk provning?
2. Vilka är de mest relevanta standarderna inom ASAM OpenX för att stödja testning av uppkopplade autonoma fordon, och hur kan dessa standarder vidareutvecklas för att möta framtida behov?
3. Hur kan ett standardiserat format för ODD utvecklas och implementeras för att underlätta kommunikation och samverkan mellan olika aktörer inom fordonsindustrin och myndigheter?
4. Vilka tekniska lösningar och tjänster kan utvecklas baserat på standardiserade format för att förbättra testplanering, övervakning och uppföljning av autonoma fordon?

Genom att besvara dessa forskningsfrågor strävar projektet efter att skapa en värdeskapande integration mellan simulering och fysisk provning, vilket gynnar fordonsbranschen i stort.

4.1 Terminologi

- ISO-standarder: Internationella standarder fastställda av International Organization for Standardization, som fungerar som riktlinjer och ramverk för kvalitet, säkerhet och effektivitet inom olika områden, exempelvis fordonsindustrin.
- ASAM: Association for Standardisation of Automation and Measuring Systems. En organisation som utvecklar globala standarder för fordonsprovning och simulering, särskilt inom domäner som berör autonoma och uppkopplade fordon.
- ASAM OpenX: En samling standarder (t.ex. OpenDRIVE, OpenSCENARIO, OpenODD) som möjliggör utbyte av data och beskrivningar för simulering, testning och utveckling av automatiserade fordon.
- OSI (Open Simulation Interface): ASAM OSI är ett öppet gränssnitt som möjliggör kompatibel datakommunikation mellan olika simuleringsmoduler, såsom sensorer och trafikmiljöer, vilket underlättar utbytet av sensordata och stöder integrationen mellan simulering och fysisk provning.
- ODD (Operational Design Domain): ISO 34503, ODD är det specifika operativa område och de omständigheter där ett automatiserat fordons system är avsett att fungera säkert (hur och vad fordonet är designat att klara av). ODD omfattar faktorer såsom miljö, infrastruktur, trafikförhållanden, väder och andra relevanta parametrar som sätter ramarna för systemets giltighet och funktion.
- TOD (Target Operational Domain): ISO 34503, TOD är det definierade område och de förutsättningar där tester av automatiserade fordonsystem ska genomföras, vilket sätter ramar för giltighet och utvärdering av testresultat.
- COD (Current Operational Domain): ISO 34503, definieras COD som det aktuella operativa domänområde där ett automatiserat fordons system är verksamt vid en given tidpunkt. COD används för att övervaka, analysera och dokumentera systemets faktiska användning och begränsningar i realtid.

- OEM: Original Equipment Manufacturer
- PooC (Proof of Concept): En PooC är en inledande demonstration eller prototyp som syftar till att bevisa att en idé, teknik eller lösning är genomförbar i praktiken.
- Simulering: Virtuella tester och utvärderingar av fordon och system i digitala miljöer, ofta som komplement till fysisk provning.
- Fysisk provning: Tester och utvärderingar som utförs i verklig miljö, till exempel på testbanor, för att verifiera och validera prestanda hos fordon och system.
- Testdomän: Det samlade området för testning, inklusive alla processer, verktyg, metoder och miljöer som används vid utveckling och verifiering av fordon och system.

5 Mål

Målet för projektet SAFRAN var att förenkla samverkan mellan AstaZero, OEM, underleverantörer, akademi samt små och medelstora företag:

- Genom att aktivt delta i standardiseringsarbetet för framtidens testdomän.
- Bidra med provbanans perspektiv vid utformning av relevanta standarder.
- Utveckla tjänster och tekniska lösningar som nyttjar standardiserade format.
- Analysera det snabbt växande ekosystem av standarder som OpenX utgör och utforska deras möjligheter.

Hur projektet har uppfyllt målen genom:

Samverkan inom ASAM:

AstaZero har varit en aktiv part i arbetet med ASAM OpenODD-standarderna, som godkändes och släpptes i april 2025. Detta arbete inkluderar definitioner för ODD och relaterade koncept, samt utveckling av en abstrakt modell för att möjliggöra definition av olika ODD-koncept och villkor.

Bidrag med provbanans perspektiv:

Projektet har bidragit till utvecklingen av standarder som ISO 22133, en kommunikationsstandard för testutrustning och kontrollcenter. Denna standard har reviderats och uppdaterats för att bättre möta framtida krav på test- och övervakningssystem för automatiserade fordon.

Utveckling av tjänster och tekniska lösningar:

ATOS (AV Test Operating System) har utvecklats och används för att återskapa trafikscenarion både fysiskt och simulerat, vilket möjliggörs av standarder som ISO 22133, OpenSCENARIO, OpenDRIVE och Open Simulation Interface (OSI). Detta system har gjorts tillgängligt som öppen källkod och används för att kontrollera testscenarion med flera olika rörliga eller statiska, samt fysiska eller simulerade testobjekt.

Analys av OpenX-ekosystemet:

Projektet har aktivt deltagit i utvecklingen och revideringen av standarder inom OpenX-ekosystemet, vilket har möjliggjort en bättre förståelse för deras potential och hur de kan användas för att förbättra testning och övervakning av autonoma fordon.

Demonstrationer och fallstudier:

Två demonstrationer av användarfall kopplade till standardiserad testning av automatiserade fordon har genomförts under projektets gång. Dessa demonstrationer visar på nyttan med standarder och hur de kan användas för att bygga avancerade och interoperabla system.

Genom dessa aktiviteter har projektet SAFRAN framgångsrikt uppfyllt sina mål och bidragit till att förenkla samverkan mellan olika aktörer inom fordonsindustrin, samt utvecklat och implementerat standardiserade format och tekniska lösningar som gynnar branschen i stort.

5.1 SAFRAN projektets nyttiggörande

För Sveriges samhälle:

1. **Ökad trafiksäkerhet:** Genom standardiserade testmetoder förbättras säkerheten på vägarna, vilket minskar risken för trafikolyckor.
2. **Miljöfördelar:** Effektivare testmetoder minskar behovet av fysiska tester, vilket leder till minskade utsläpp och mindre miljöpåverkan.
3. **Främjande av innovation:** Projektet främjar innovation och teknologisk utveckling genom samarbete med olika aktörer inom fordonsindustrin, akademi och små och medelstora företag.

För Sveriges industri:

1. **Stärkt konkurrenskraft:** Genom standardisering kan svenska företag bli ledande aktörer på den globala marknaden.
2. **Effektivare testprocesser:** Integration mellan simulering och fysisk provning minskar utvecklingstiden och kostnaderna för nya fordon och säkerhetssystem.
3. **Utveckling av nya tjänster och produkter:** Standardiserade format öppnar upp för utveckling av nya tjänster och produkter, vilket skapar nya affärsmöjligheter.
4. **Samarbete och kunskapsutbyte:** Projektet främjar samarbete och kunskapsutbyte mellan olika aktörer inom industrin, akademi och myndigheter.

För AstaZero:

1. **Förbättrad standardisering och harmonisering:** Aktivt deltagande i utvecklingen av ASAM OpenX-standarderna och ISO 22133 har stärkt AstaZeros position som ledande aktör inom testning och övervakning av autonoma fordon.
2. **Effektivare testprocesser:** Utvecklingen av ATOS (AV Test Operating System) har möjliggjort en sömlös integration mellan simulering och fysisk provning, vilket förbättrar testautomation och möjliggör mer realistiska trafikscenarier.
3. **Utveckling av nya tjänster och produkter:** Implementering av standardiserade format för Operational Design Domain (ODD) har öppnat upp för nya affärsmöjligheter och ekonomisk tillväxt.
4. **Stärkt konkurrenskraft:** Genom att bidra med provbanans perspektiv vid utformning av standarder har AstaZero stärkt sin konkurrenskraft på den globala marknaden. En djupare insikt i den pågående utvecklingen inom standardiseringsområdet gör det möjligt för oss att inte bara anpassa vår verksamhet i enlighet med de tekniska kraven, utan också att aktivt påverka industrins utveckling. Genom vår medverkan och engagemang ISO/TC 22/SC 33: och ASAM OPEN ODD har AstaZero stärkt vår position som en ledande aktör inom området och säkerställer att vi ligger i framkant av teknologisk utveckling och innovation.
5. **Främjande av innovation:** Projektet har främjat innovation och teknologisk utveckling genom samarbete med olika aktörer inom fordonsindustrin, akademi och små och medelstora företag.
6. **Kunskapsutbyte och samarbete:** SAFRAN har främjat samarbete och kunskapsutbyte mellan olika aktörer, vilket har lett till gemensam utveckling av teknologier och standarder. Genom detta samarbete har AstaZero ökat sin kapacitet att initiera och utveckla nya standarder när behov identifieras, vilket ger en strategisk fördel. AstaZero kan nu forma tekniska riktlinjer och krav i enlighet med branschens behov och framtida utmaningar. Genom att leda utvecklingen av nya standarder säkerställer AstaZero att de tekniska ramverken är anpassade efter kraven på automatiserade fordon och relaterad testverksamhet.

Genom dessa insatser visar SAFRAN på ett tydligt nyttiggörande för både Sveriges samhälle och industri, vilket bidrar till ökad säkerhet, hållbarhet och konkurrenskraft.

6 Resultat och måluppfyllelse

I takt med den snabba utvecklingen inom autonoma och uppkopplade fordon blir samarbete, standardisering och kunskapsutbyte centrala faktorer för att möjliggöra säkra, effektiva och hållbara innovationer. Detta kapitel belyser hur projektet har främjat samverkan mellan industrin, institut och standardiseringsorgan, och därigenom skapat nya möjligheter för teknisk utveckling, affärsnytta och global konkurrenskraft. Fokus ligger på AstaZeros och SAFRANs roll i utvecklingen och implementeringen av internationella standarder samt hur detta arbete har bidragit till förbättrade testprocesser, ökad innovationskraft och ett tydligt nyttiggörande för både samhälle och näringsliv. Kapitlet inleder med att presentera de övergripande målen och forskningsfrågorna, vilka utgör grunden för de resultat och slutsatser som följer.

Forskningsfråga	Målformulering enligt ansökan	Arbetspaket (AP)	Resultat redovisas i SAFRAN slut rapport
Hur kan standardiserade format och gränssnitt utvecklas för integration mellan simulering och fysisk provning?	“...bidra med provbanans perspektiv vid utformning av relevanta standarder” och “utveckla tekniska lösningar nyttjandes standardiserade format”	AP1, AP2, AP3	6.1, 6.2, 6.3
Vilka är de mest relevanta ASAM OpenX-standarderna för testning av uppkopplade autonoma fordon?	“...delta i utvecklingen och parallellt analysera det snabbt växande ekosystem av standarder som OpenX utgör”	AP1, AP2	6.1, 6.2
Hur kan ett standardiserat format för ODD utvecklas och implementeras?	“...lägga särskild vikt på ODD och utforska möjligheter med ett standardformat för ODD” samt “delta i ASAM OpenODD”	AP2, AP4	6.2, 6.4
Vilka tekniska lösningar och tjänster kan utvecklas för att förbättra testplanering, övervakning och uppföljning?	“...utveckla tjänster och tekniska lösningar nyttjandes standardiserade format” och “demonstration i simulering och fysisk provning”	AP3, AP4	6.3, 6.4

6.1 AP 1 Nulägesanalys och rekommendationer för framtida standardiseringsinitiativ

L1.1 Nulägesanalys av ASAM OpenX

Vid projektets start genomfördes en omfattande nulägesanalys av ASAM OpenX-standarderna i relation till testning på provbana och deras integration till simuleringsdomänen. Analysen fokuserade på att identifiera relevanta standarder och deras nuvarande tillämpning inom industrin. Det framkom att standarder som OpenSCENARIO, OpenDRIVE och Open Simulation Interface (OSI) redan användes i olika sammanhang för att möjliggöra testautomation och integration mellan simulatorer och testkontrollsystem.

Under projektets gång har vi kontinuerligt uppdaterat denna analys för att inkludera nya insikter och utvecklingar inom ASAM OpenX-ekosystemet. Vid projektets avslut har vi en uppdaterad och detaljerad bild av hur dessa standarder kan användas för att skapa en sömlös integration mellan simulering och fysisk provning.

L1.2 Beslutsunderlag för arbetsplanering AP2 & AP3

Baserat på nulägesanalysen utvecklades ett beslutsunderlag för arbetsplaneringen av AP2 och AP3. Detta underlag inkluderade rekommendationer för vilka standardiseringsprojekt och uppdateringar av befintliga standarder som är direkt relevanta för AstaZero. Beslutsunderlaget motiverade också vilka användarfall som skulle utvecklas och demonstreras inom ramen för projektet.

Beslutsunderlaget har varit avgörande för att styra projektets fokus och säkerställa att de aktiviteter som genomförts i AP2 och AP3 har varit i linje med projektets övergripande mål och strategier.

L1.3 Rekommendationer för fortsatta standardiseringsinitiativ

Ett av de viktigaste resultaten från AP1 är rekommendationerna och motiveringarna för framtida standardiseringsinitiativ. Dessa rekommendationer identifierar specifika områden där ytterligare standardisering behövs och föreslår konkreta åtgärder för att driva dessa initiativ framåt.

Rekommendationerna inkluderar:

- Fortsatt utveckling och harmonisering av ASAM OpenX-standarderna för att säkerställa att de möter framtida krav på testning och övervakning av automatiserade fordon.
- Aktivt deltagande i fortsatta revisionsarbetet av ISO 22133, en kommunikationsstandard som specificerar hur testutrustning ska kommunicera med ett kontrollcenter för att möjliggöra dynamiska och realistiska trafikscenarier.
- Titta på standarder för kommunikation mellan myndighetsperson (polis, ambulans, brandkår etc.) och ansvarig driftkontrollant för specifikt AD fordon i ett kontrolltorn.
- Fortsatt utveckling av gemensam terminologi av olika attributs definition och gränsvärden för ODD beskrivningar och taxonomi-begrepp inom både ASAM och ISO.
- Titta på standardiseringsalternativ för materialegenskaper samt miljöförhållanden inom simuleringsdomänen, vilket påverkar utvärderingen av ett fordon ODD.
- Utforskning av möjligheterna med ett standardformat för Target Operational Design (TOD) och dess integration med andra ASAM-standarder. För att möjliggöra effektiv och likvärdig jämförelse mellan fordonets kompetens och samhällets och områdets krav och förväntningar.

Genom att följa dessa rekommendationer kan AstaZero och andra aktörer inom fordonsindustrin säkerställa att de tekniska ramverken är anpassade efter de krav som ställs på framtidens automatiserade fordon och relaterad testverksamhet.

Avvikelser och lärdomar

Avvikelser från plan: Under arbetet med AP1 identifierades att utvecklingen inom ASAM OpenX-ekosystemet gick långsammare än förväntat, vilket innebar att vissa standarder som initialt inte prioriterades i analysen blev mer relevanta. Detta krävde en omprioritering av fokusområden och en tätare återkoppling mellan AP1 och AP2 än vad som ursprungligen planerats.

Lärdomar: Projektgruppen insåg vikten av att ha en flexibel analysmodell som kontinuerligt kan uppdateras i takt med att nya standarder och användningsområden växer fram. Det blev också tydligt att ett nära samarbete med aktörer inom ASAM ger tillgång till insikter som inte alltid är offentligt dokumenterade, vilket stärker kvaliteten i beslutsunderlaget.

Påverkan på projektets riktning: Den ökade dynamiken i standardiseringslandskapet ledde till att beslutsunderlaget (L1.2) uppdaterades oftare än planerat, vilket i sin tur förbättrade relevansen i de användarfall som valdes ut för AP3. Det bidrog också till att AstaZero kunde positionera sig mer strategiskt i ASAM:s arbetsgrupper, särskilt inom OpenODD.

6.2 AP 2 Samverkan inom ASAM

Inom SAFRAN-projektet har AstaZero varit en aktiv part i arbetet med en ny standard inom ASAM, kallad OpenODD. Standarden blev godkänd och släpptes i april 2025. Detta är den första etablerade standarden för definition av Operational Design Domain (ODD) för användning inom simulerad testning eller datadriven analys. Målet med standarden är att förbättra säkerheten för semi-autonoma och autonoma körsystem och underlätta verifiering och certifiering av dessa. För att tydligt definiera ett autonomt fordonets förmågor och begränsningar behöver fordonets ODD definieras. En ODD beskriver miljön ett fordon är designat att verka inom baserat på flertalet olika kriterier, såsom till exempel vägtyp, väderförhållanden och närvaro av andra trafikanter.

Vikten av att ta fram en standard för definition av ODD har flera aspekter. En gemensam standard med tydligt definierade attribut och språk, gör det enklare för fordonstillverkare, partners och leverantörer att dela, jämföra och återanvända ODD definitioner. Detta underlättar även för tillsynsmyndigheter och beslutsfattare att förstå och bedöma autonoma körsystem och de miljöer de ska verka inom. Fokus har varit att skapa ett maskinläsligt format för användning inom både simulerad och verklig testning, vilket möjliggör mätbara data om ett fordonets begränsningar och identifierade risker. Detta ligger sedan till grund för beslutsfattandet gällande situationer där fordonet lämnar ODDn.

AstaZero har varit en aktiv part i i ASAM OpenODD-projektet sedan hösten 2023, och har sedan dess medverkat i samtliga steg av utvecklandet av standarden. Inom projektet så har standardiseringsarbetet bestått av att arbeta fram definitioner för både ODD och relaterade koncept, såsom Current Operational Domain (COD), Operational Domain (OD), Target Operational Domain (TOD), samt beskrivning av taxonomier som ligger till grund för att mäta dessa koncept. Till grund för standarden, ligger en framtagen abstrakt modell som möjliggör definition av olika ODD koncept och villkor, samt om huruvida dessa koncept och villkor är inkluderade eller exkluderade i den specificerade ODDn.

Arbetet har resulterat i flera leverabler, inklusive:

- **Tabular format mapping reference:** Beskriver hur ASAM OpenODD kan representeras i tabellformat, såsom csv, för att underlätta lagring i databaser och göra det mer läsbart för intressenter som ej har teknisk bakgrund.
- **ASAM OpenSCENARIO DSL mapping reference:** Beskriver hur ASAM OpenODD kan representeras med samma språk och syntax som OpenSCENARIO DSL, vilket möjliggör enkel integration mellan dessa standarder.

- **YAML mapping reference:** Beskriver hur ASAM OpenODD kan representeras i YAML-format, vilket korrelerar med OpenSCENARIO 1.0 och möjliggör enkel integration.

Arbetet med ASAM OpenODD-standarden har huvudsakligen bedrivits på distans via Microsoft Teams, med enstaka fysiska träffar, inklusive en tvådagars workshop i Eching, Tyskland i oktober 2023. Inom projektet så delades arbetet med framtagning av "mapping references" upp mellan deltagande partners. AstaZero valde att delta i utvecklingen av ASAM OpenSCENARIO DSL mapping reference. Samtliga ASAM partners inom OpenODD-projektet har därefter varit med i granskning och fortsatta diskussioner av samtliga leverabler.

Inom SAFRAN arbetspaket 2 har även fallstudier utförts, vilket även det var ett delsteg inom utvecklingen av ASAM OpenODD. AstaZero valde att applicera detta i samarbete med ett annat projekt, EVIDENT, för att ha möjlighet att teoretiskt studera användandet av standarden på verkliga testfall, där även ASAM OpenSCENARIO och OpenDRIVE användes och utbyttes i samarbete med EVIDENT partners (Aptiv, Zeekr, Einride, VTI och Chalmers). De definierade testerna utfördes både i simulering och på fysisk testbana.

I slutet av ASAM OpenODD-projektet utfördes, enligt ASAMs process, en public review. Under denna tid bjöd AstaZero in flertalet partners och intressenter, för att presentera standarden och få återkoppling kring hur dessa intressenter ställer sig till innehållet i standarden och för att säkerställa att den uppfyller branschens behov. Under offentlig granskning var det öppet för alla utanför ASAMs organisation att granska standarden och lämna in synpunkter och frågor för att förbättra den, vilka sedan har arbetats igenom av projektgruppen innan standarden slutligen lämnades över till ASAMs beslutsorgan innan version 1.0.0 släpptes till allmänheten.

Sammanfattning av aktiviteter och milstolpar:

- **Definiera krav:** Utvecklingen av standarden började med att definiera krav för ASAM OpenODD.
- **Specificera en abstrakt modell:** En abstrakt modell för ASAM OpenODD med tillhörande UML-representation utvecklades för att beskriva de olika koncepten och deras samband.
- **Utveckling av schematisk struktur:** En schematisk struktur för en databas som länkas till den abstrakta modellen utvecklades.
- **Mapping references:** Utveckling av "Mapping references" för användning av ASAM OpenODD-modellen i olika format, inklusive tabellformat, OpenSCENARIO DSL och YAML.
- **Fallstudier:** Implementering av standarden testades teoretiskt mot verkliga scenarion genom fallstudier.
- **Best practices:** Informativa "best practices" och exempel för användningen av OpenODD-standarden specificerades.
- **Granskning och Presentation:** Granskning av samtliga aktiviteter har skett iterativt under utvecklingen av standarden. Presentationer genomfördes bland annat under offentliga granskningsprocessen för att få återkoppling från partners och intressenter.

SAFRAN projektet har uppfyllt arbetspaketets 2 leveranser genom: L2.1 Publicering av minst två koncept, utkast eller färdigställda standarder inom ASAM OpenX

AstaZero har varit en aktiv part i arbetet med OpenODD-standarderna och utvecklingen av OpenODD och "OpenSCENARIO DSL mapping reference" samt hur standarderna kan användas tillsammans med andra format och standarder inom ASAM. Dessa insatser uppfyller kravet på publicering av minst två koncept eller standarder.

L2.2 Presentation vid minst tre tillfällen av leverabler från AP3 & AP4

Under projektets gång har AstaZero genomfört presentationer av leverabler från AP3 och AP4 vid minst tre tillfällen inom ASAM, EVIDENT projektet och under public review-processen, där vi bjöd in flera partners och intressenter för att presentera standarderna och få återkoppling. Presentationerna har varit avgörande för att säkerställa att standarderna möter branschens behov och för att få synpunkter från personer som inte varit direkt involverade i projektet.

Avvikelser och lärdomar

Avvikelser från plan: En mindre avvikelse uppstod i form av att vissa arbetsgrupper inom ASAM, särskilt relaterade till OpenODD, hade en långsammare utvecklingstakt än förväntat. Detta innebar att AstaZero behövde omfördela resurser för att kunna delta mer aktivt i dessa grupper än vad som initialt planerats. Samtidigt visade det sig att vissa andra standarder som identifierats i AP1 inte utvecklades i samma takt, vilket ledde till att deltagandet där kunde prioriteras ner.

Lärdomar: Projektet lärde sig vikten av att ha en adaptiv strategi för deltagande i standardiseringsarbete. Det blev tydligt att aktivt deltagande i rätt arbetsgrupper inte bara ger möjlighet att påverka standardernas innehåll, utan också ger tidig tillgång till information som kan omsättas i teknisk utveckling och testfall. En annan viktig insikt var att samverka med andra projekt, såsom EVIDENT, möjliggjorde praktisk tillämpning och validering av standarder i ett bredare sammanhang.

Påverkan på projektets riktning: Den ökade närvaron i OpenODD-gruppen ledde till att AstaZero kunde bidra mer konkret till utvecklingen av mapping references och taxonomier, vilket i sin tur stärkte kopplingen till AP4. Det skapade också nya möjligheter för demonstrationer och fallstudier i AP3. Projektet kunde därmed i högre grad än planerat påverka utformningen av standarder som är direkt relevanta för testning av autonoma fordon i både simulerad och fysisk miljö.

6.3 AP 3 Konceptualisering och Spridning

Under projektets gång har två stora öppna demonstrationer av användarfall kopplade till standardiserad testning av automatiserade fordon uppvisats. Användarfallen demonstrerades med hjälp av ett system framtaget av AstaZero, testkontrollsystemet AV Test Operating System (ATOS)¹. Detta system har under projektet gjorts tillgängligt som öppen källkod².

Demonstration och testning av både ATOS och ASAM OpenScenario har utförts i samarbete med EVIDET projektet med EVIDENTS partners med flera representanter från (Asymptotic, Chalmers, Zeekr, Einride, RISE, VTI och Aptiv)

System för realisering av användarfall (ATOS)

ATOS kan återskapa trafikscenarion fysiskt och simulerat, och möjliggörs av standards ISO 22133³, OpenSCENARIO⁴, OpenDRIVE⁵, och Open Simulation Interface⁶.

ATOS kontrollerar flödet i ett testscenario genom att kommunicera med, och påverka de deltagande testobjekten. Testobjekt kan exempelvis vara automatiserade bilar, målbärare, drönare, virtuella objekt, och infrastruktur-element. ATOS exponerar i testsyfte automatiserade fordon för realistiska och komplexa scenarion, med flera olika rörliga eller statiska, samt fysiska eller simulerade testobjekt.

ATOS implementerar de krav som ställs av standarden ISO 22133. Denna standard beskriver funktionskrav samt kommunikationskrav mellan test-servrar och testobjekt. En av ATOS nyckelfunktioner är interoperabilitet i form av stöd för testobjekt från flera olika tillverkare, vilket ISO 22133 möjliggör. Då ATOS finns tillgängligt som open-source utgör det ett öppet alternativ till de vanligtvis proprietära testkontrollsystem som individuella testobjektstillverkare erbjuder för att styra de egna testobjekten.

Utöver detta är ATOS integrerat med en annan open-source mjukvara, esmini, vilket är en OpenSCENARIO/DRIVE simulator utvecklad av Volvo Cars Corporation. Integrationen med esmini ger ATOS en ny kapabilitet att kontrollera testscenarion med dynamiska skeenden, exempelvis är det möjligt att starta vissa testobjekt vid vissa tider, då ett testobjekt befinner sig på en viss position, och mer. I dagsläget finns det utrymme för förbättringar i ATOS, genom att b.l.a. utöka stödet för specifika scenarion som beskrivs i OpenSCENARIO/DRIVE. Då OpenSCENARIO/DRIVE ofta används i simuleringssammanhang, möjliggörs en väg från simulerade till verkliga miljöer, samt i den omvända riktningen. Detta ger en möjlighet att kunna validera sina simuleringssmodeller fysiskt på en testbana, samt att kunna återspela testscenarion utförda på testbanan i simulering och vice versa.

¹ <https://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:ri:diva-78257>

² <https://github.com/RI-SE/ATOS>

³ <https://www.iso.org/standard/78970.html>

⁴ <https://www.asam.net/standards/detail/openscenario/>

⁵ <https://www.asam.net/standards/detail/opendrive/>

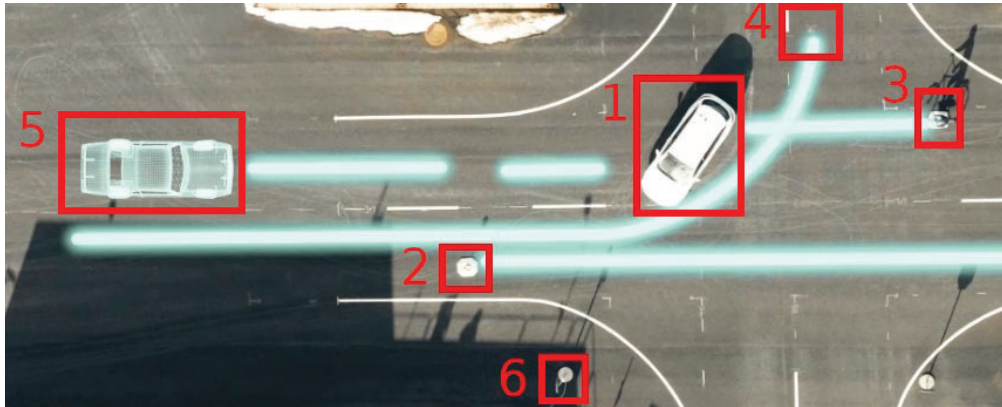
⁶ <https://www.asam.net/standards/detail/osi/>

Demonstrationer av användarfall

Tillfälle 1 – 15 mars 2023, Virtual head on collision

Denna demonstration genomfördes inom SAFRAN för att summera 10 år av projekt som genomförts/finansierats av Vinnova och FFI samt för att visa integration mellan ATOS, OPEN Scenario, ESMINI, ISO TS 22133, för en publik bestående av representanter från FFI, Trafikverket, AB Volvo, Volvo Cars Corporation, Scania Group, Vinnova, FKG, Veroneer, Mobility Sweden, Voi Technology, och Energimyndigheten den 15 mars 2023.

Scenariot som demonstreras är ett korsningsscenario styrt av testkontrollsystemet ATOS.



Figur 1. Drönbild över trafikscenariot tagen ovanifrån.

Genomförande: I scenariot deltar 6 testobjekt (se Figur 1):

1. AstaZero's forskningsfordon, en Ford Mondeo, utrustad med ett Drive-by-wire system från Dataspeed⁷
2. AstaZero's egenutvecklade målbärrplattform, Flexible Target Carrier⁸.
3. Målbärrplattform, Humanetics UFO nano⁹
4. DJI-Drönare av märket Mavic 2 pro¹⁰
5. Virtuellt testobjekt som simuleras i fordonssimulatorens *Carla*¹¹
6. V2X Roadside unit av märket Commsignia¹²

Scenariots syfte är att validera ett fordons självkörandefunktioner genom att utsätta det för en komplex trafiksituation där fara potentiellt sett kan uppstå. Detta utförs med fördel på AstaZeros provbana under säkra förhållanden. Demonstrationens utfall var att ATOS repeterbart kunde orkestrera trafikscenariot 3 gånger. Detta möjliggjordes av, samt visar på nyttan med standarder som t.ex ASAM OpenSCENARIO, OpenDRIVE, samt ISO TS 22133.

Specifikt innefattar scenariot följande steg:

Objekt 1, fordonet under test, kör in i korsningen för att utföra en högersväng. När objekt 1 passerar specifikt utvalda positioner på väg in i korsningen, skickar ATOS en signal som får objekten 2,3,4,5 att röra på sig längs sina fördefinierade trajektorier. *Detta möjliggörs av att ATOS stödjer OpenSCENARIO och OpenDRIVE standarden.*

Objekt 4, en flygande drönare, flyger ovan korsningen och filmar hela scenariot i dokumentationssyfte.

Objekt 3 rör sig bakom Objekt 1 för att vidare utmana fordonet under test.

⁷ <https://www.dataspeedinc.com/adas-by-wire-system/>

⁸ <https://www.vinnova.se/en/p/flexible-target-carrier/>

⁹ <https://www.humaneticsgroup.com/products/active-safety-test-systems/ufonano>

¹⁰ <https://www.dji.com/mavic-2/info>

¹¹ <https://arxiv.org/abs/1711.03938>

¹² <https://www.commsignia.com/products/rsu/>

Objekt 2 rör sig i motsatt fil och agerar störningsmoment.

Objekt 5 är en virtuell bil som kör i fel körfält i hög hastighet.

Objekt 1 upptäcker genom simulerade sensorer Objekt 5 och stannar för denna. Hela scenariot finns även tillgängligt i följande youtube-film ¹³



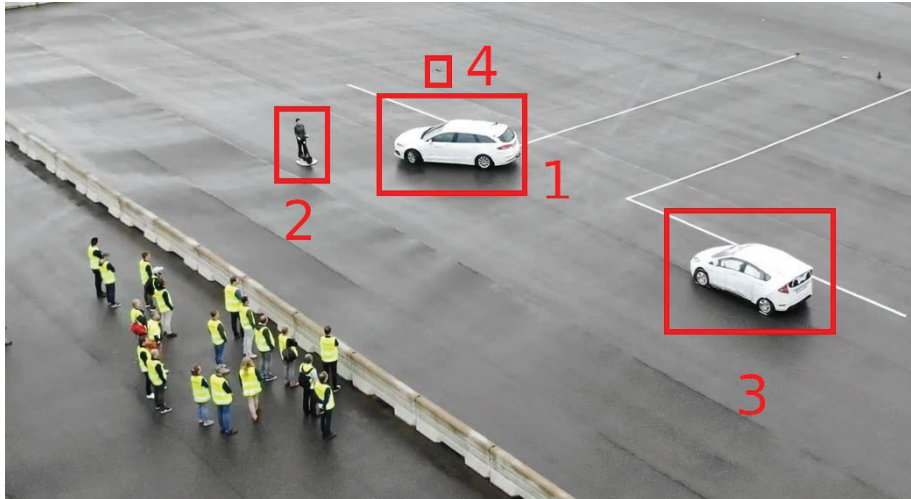
Figur 2. Deltagare vid demotillfälle 1.

Utfall och Slutsatser: Demonstrationen resulterade i ökad förståelse för hur standarder kan användas för att bygga avancerade och interoperabla system. Möjligheter att skapa komplexa situationer med kombination av fysiska och simulerade objekt. Vilket möjliggörs av ASAM OPEN Scenario, ISO/DIS 22133

○ ¹³ <https://www.youtube.com/watch?v=-LyiroRW7yQ>

Tillfälle 2 – 21 juni 2023, Automatiserad ADAS-testning

Denna demonstration genomfördes för en publik bestående av representanter från French Standardization Association, American National Standards Institute, ASI, DIN, Anthony Best Dynamics, Messring, Svenska Institutet för Standarder, Japanese Industrial Standards Committee, Nissan, Humanetics, och Volvo Cars Corporation den 21 juni 2023.



Figur 3. Drönar bild Testscenario.

I scenariot deltar 4 testobjekt (se Figur 1):

1. AstaZero's forskningsfordon, en Ford Mondeo, utrustad med ett Drive-by-wire system från Dataspeed
2. AstaZero's egenutvecklade målbärarplattform, Flexible Target Carrier utrustad med en e-scooter docka från 4ASystems¹⁴.
3. Målbärarplattform, Humanetics UFO nano som bar på en Soft Car 360 från ABDynamics¹⁵
4. DJI-Drönare av märket Mavic 2 pro

Scenariot representerar en T-korsning, där ett fordon skall upptäcka en förbikörande e-scooter med en docka av en utsatt trafikant.

Objekten i scenariot rör sig enligt samma fördefinierade trajektorier som i tillfälle 1, dvs:

objekt 1, fordonet under test, kör in i korsningen för att utföra en högersväng. När objekt 1 passerar specifikt utvalda positioner på väg in i korsningen, skickar ATOS en signal som får objekten 2,3,4 att röra på sig längs sina fördefinierade trajektorier.

Objekt 4, en flygande drönare, flyger ovan korsningen och filmar hela scenariot i dokumentationssyfte.

Objekt 3 rör sig bakom objekt 1 för att vidare utmana fordonet under test.

Objekt 4 rör sig i motsatt fil och agerar störningsmoment.

¹⁴ <https://www.4activesystems.at/4activeek>

¹⁵ <https://www.abdynamics.com/track-testing/adas-targets/soft-car-360/>



Figur 4. Deltagare vid demotillfälle 2.

Utfall och Slutsatser: Demonstrationen resulterade i ökad förståelse för hur standarder kan användas för att bygga avancerade och interoperabla system.

SAFRAN projektet har uppfyllt arbetspaketets 3 leveranser genom:

L3.1 Tre demonstrationer i simulering och/eller fysiskt på provbana

Har utfört två fysiska demonstrationer vilka presenterats ovan samt en presentation och workshop angående OPEN ODD under public review.

L3.2 Dokument beskrivandes genomförandet av demonstrationerna samt utfall och slutsatser

I denna slutrapport presenterar vi demonstrationernas utförande och utfall och slutsatser.

L3.3 Mjukvara för realiserande av användarfall tillgängliggjord genom Open Source.

ATOS finns tillgängligt som open source. Kontakta RISE proving ground AstaZero för mer information och stöd för användning.

Avvikelser och lärdomar

Avvikelser från plan: En mindre avvikelse uppstod i samband med planeringen av den tredje demonstrationen. Ursprungligen var målet att genomföra tre fysiska demonstrationer, men på grund av resursomfördelning och samordning med externa projekt (bl.a. EVIDENT och MODI) valdes en hybridlösning där en av demonstrationerna genomfördes som workshop och presentation snarare än fullskalig fysisk test. Detta visade sig dock vara ett effektivt sätt att nå fler intressenter och samla in återkoppling.

Lärdomar: Projektet lärde sig att flexibilitet i demonstrationsformat kan öka spridning och påverkan. Genom att kombinera fysiska tester med simulerade scenarier och öppna presentationer kunde fler aktörer engageras, inklusive internationella standardiseringsorgan.

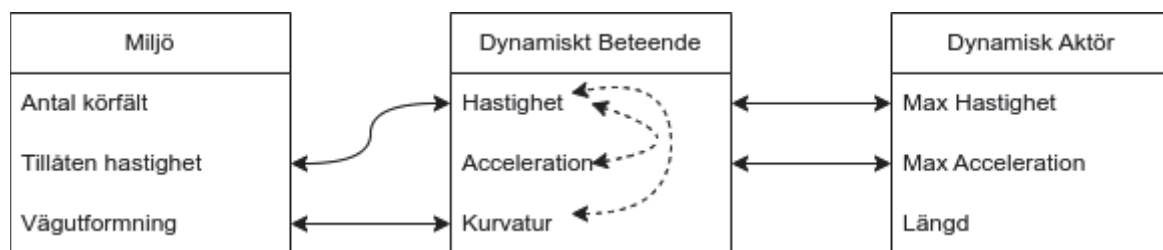
Påverkan på projektets riktning: Denna erfarenhet ledde till att projektet lade större vikt vid tillgängliggörande av mjukvara och resultat i relaterade projekt, snarare än att strikt fokusera på antalet fysiska tester. Det stärkte också kopplingen mellan AP3 och AP4, då insikter från demonstrationerna användes för att vidareutveckla koncept för ODD-övervakning och testplanering. Resultatet lede till högre TRL nivå än förväntat och direkta kundprojekt.

6.4 AP 4 Mätbara ODD:er för test och övervakning

6.4.1 Test planering av ODD

För att möjliggöra ODD-integrerad testfallsplanering har en ny arkitektur "AstaZero test planing factory" tagits fram som länkar ett testfalls attribut till koncept i en gemensam taxonomi, ISO34503 & ASAM. Detta motsvarar, i princip, "Taxonomy Concept Values" i ASAM OpenODD¹⁶, där värdet på attributen inte måste vara konstant utan kan bestå av en lista alternativ eller vara definierat som ett kontinuerligt intervall. Genom detta blir det möjligt att både flexibelt välja komponenter under planeringsfasen samt dynamiskt länka och begränsa attribut-värden eller utvidga testfallsbeskrivningar med fler attribut beroende på behov och tillämpning.

I den initiala versionen består testfallens grundstruktur av tre obligatoriska komponenter: miljö, dynamiskt beteende samt dynamiska aktörer. Dessa utgår från grundläggande koncept i den underliggande taxonomin och alla attribut, både valbara och konstanta, är hierarkiskt länkade till respektive koncept. Gränssnittet mellan ett testfalls komponenter (grupper av attribut) – både de nuvarande obligatoriska och framtida icke-obligatoriska som exempelvis väderförhållanden eller uppkoppling – hanteras genom att länka attribut som pekar på samma koncept i taxonomin.



Figur 5: Illustration av länkade attribut.

Detta innebär att alla interaktioner, såsom hur ett visst dynamiskt beteende påverkas av vägutformning eller begränsas av attribut hos en viss aktör, modelleras genom länkning och därmed begränsas av de mest restriktiva referenserna. Exempelvis blir accelerationen hos en viss aktör under ett visst dynamiskt beteende begränsat av maximalt tillåtna acceleration hos den aktören, såtillvida inte framtida länningar har ännu mer restriktiva begränsningar. Varje komponent ansvarar för länningar inom sitt grundläggande koncept, och även till synes enkla begränsningar kan snabbt resultera i relativt komplexa strukturer, detta är illustrerat i en förenklad modell nedan.

Denna arkitektur möjliggör att en ODD (exempelvis definierad i ett ASAM OpenODD-format) kan länkas till specifika testfall för ett fordon. Stödet att dynamiskt länka vissa eller alla referenser öppnar upp ett flertal möjliga sätt att integrera ODD(er) med testfall, exempelvis:

- Begränsa ett parametriskt testfall så att samtliga möjliga permutationer faller inom ODD:ns gränser.
- Konkretisering av ett testfall så att det motsvarar ett scenario i ODD:ns ytterkant.
- Filtrering av testfall som ligger utanför den aktuella ODD:n.

Tack vare den dynamiskt länkingsbara strukturen är detta möjligt att genomföra i olika faser, både under planering och efter testgenomförande.

Det är även möjligt att fritt välja i vilken ordning länkning (och därmed begränsning) sker, beroende på användningsområde eller detaljrikedom i respektive steg. Exempelvis kan en specifik delmängd av en ODD länkas direkt till ett visst dynamiskt beteende och dynamiska aktörer, och därefter användas för att filtrera fram alla de miljöer där kombinationen kan inträffa.

¹⁶ 7.3 COD/OD :: ASAM OpenODD®

Arkitekturen stödjer även (framtida) strategier för att generera en empirisk TOD-beskrivning baserat på en uppsättning testfall. Dessa kan antingen vara parametriska (där attributvärden representeras av intervall) eller konkreta testfall där alla attribut är konstanta.

Det arbete som hittills genomförts utgör ett initialt koncept, och flera potentiella utvecklingsområden har identifierats för vidare fördjupning:

- Utökning av tillgängliga attribut, exempelvis väderförhållanden, infrastruktur eller uppkoppling, vilket ökar detaljrikedomen i beskrivningen av testfallen och potentiellt förbättrar simuleringskvaliteten.
- Stöd för flexibel och explicit taxonomilänkning, vilket underlättar integration med externa datakällor och andra ASAM-standarder.
- Utökad variation av attribut – exempelvis olika typer av vägmiljöer, trafikanter (fordon, fotgängare, djur), olika typer av dynamiskt beteende samt miljöförhållanden. Detta krävs för att spegla de varierade förutsättningar ett fordon kan möta inom ett typiskt ODD.
- Verktyg för storskalig generering, utvärdering och övervakning av testfall, vilket är särskilt viktigt vid verifiering eller utvärdering av verkliga ODDer.
- Insamling/kartläggning av testfall i detta strukturerade format hade möjliggjort semantisk sökbarhet via koncept. Det innebär att man exempelvis kan använda en ODD-definition eller en platsbeskrivning för att identifiera alla överlappande testfall, så länge dessa är beskrivna inom samma taxonomi.

6.4.2 Aktiv testobjekts övervakning och för säker testning

AstaZero innehar ordförandeskapet för *ISO/SC33: Vehicle dynamics, chassis components and driving automation systems testing, arbetsgrupp WG16: Active Safety Test Equipment*. WG16 utvecklar internationella standarder för testutrustning som bland annat används inom Euro NCAP och ADAS-tester.

AstaZero är även projektledare och huvudansvarig för utvecklingen av standarden ISO 22133. Denna standard är en kommunikationsstandard som specificerar hur testutrustning ska kommunicera med ett kontrollcenter för att möjliggöra dynamiska och realistiska trafikscenarier med flera samverkande aktörer.

Den första versionen, ISO 22133:2023 - Road vehicles — Test object monitoring and control for active safety and automated/autonomous vehicle testing — Functional requirements, specifications and communication protocol, publicerades 2023.

Inom ramen för projektet SAFRAN har standarden vidareutvecklats och reviderats. Den uppdaterade versionen, ISO 22133:2025, publicerades april 2025.

Sammanfattning av förändringar i ISO22133:2025

Dokumentet har genomgått en omfattande teknisk revidering för att bättre möta de krav och behov som ställs på framtida test- och övervakningssystem för automatiserade fordon. Några av de viktigaste förändringarna inkluderar:

- Förbättrad och tydligare beskrivning av testkoordinatsystemet
- Justeringar och utökningar av beskrivningen för både lokala testobjekt och den globala geofencen
- Översyn och omarbetning av tillståndsdigram för både testobjekt och kontrollcenter, vilket ger en mer logisk och tydlig processhantering
- Utökad struktur i MONR-meddelandet, där nya parametrar såsom StopTrigger och ObjectAction har tillkommit för ökad funktionalitet
- Kraven på positionsnoggrannhet har skärpts, vilket gäller både MONR, TRAJ och GEOF-meddelanden
- Ett nytt övervakningsläge (Monitoring mode) har införts för att möjliggöra bättre realtidsövervakning av testobjekt
- DRES-meddelandet har utökats med stöd för fler driftlägen
- Diagrammen för exempelvis EmergencyStop och NormalStop har uppdaterats för att bättre spegla aktuella processer
- En ny funktion har införts som gör det möjligt för testobjekt att själva initiera ett normal stopp
- En funktion för upptäckt av objektidentifiering i nätverket har lagts till, vilket förbättrar systemets kapacitet att hantera nya objekt i testmiljön
- Ett nytt dynamiskt positionsmeddelande har introducerats för att hantera dynamisk positionering av testobjekt
- Beskrivning av en algoritm över hur man kan skapa dynamiska trajektorier, se stycke ??? för beskrivning

Sammanfattningsvis innebär dessa förändringar en mer robust, flexibel och framtidssäkrad standard som bättre stödjer både regulatoriska krav och teknisk utveckling inom området automatiserade fordon.

Inom ISO arbetet har en algoritm tagit fram för att beräkna testobjektens position.

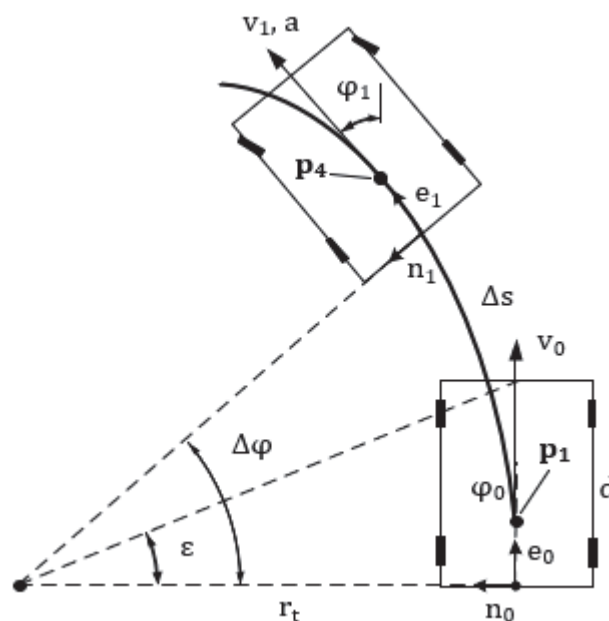
Algoritm: Omkörning av ett testobjekt med dynamiska positionspunkter (DPP)

Teori

Trafikscenarier kan vara komplexa på grund av de många sätt som aktörerna rör sig på, både vad gäller riktning, hastighet och acceleration. För att hantera denna komplexitet kan konceptet med dynamiska trajektorier och dynamiska positionspunkter användas. Detta möjliggör generering av rörelsemönster för ett testobjekt under testets genomförande utan att trajektorian behöver vara känd i förväg. Kontrollcentret eller testobjektet genererar kontinuerligt trajektorier efter att startsignalen har givits.

Detta kapitel förklarar teorin och algoritmen för att generera en dynamisk trajektoria med antingen en given sluttid eller en slutposition genom dynamiska positionspunkter med en initial och en slutlig girvinkel från en position till en annan. Denna metod är en av många möjliga metoder.

Två huvudsakliga byggstenar används i denna lösning: en mekanisk modell och Bézier-kurvor. Den mekaniska modellen inkluderar parametrar såsom styrvinkel, acceleration och svängradie (se Figur 6 och Tabell 1 för detaljer). Bézier-processen används för att anpassa färdvägen så att testobjektet kan följa den, samtidigt som både den initiala och slutliga önskade gir-vinkeln tas i



Figur 6: Illustration av beteckningar

Symbol	Mekanisk modellvariabel	Symbol	Mekanisk modellvariabel
ε	Vinkelsteg [Grader]	$\Delta\varphi$	Bågvinkel [Grader]
a	Objektets acceleration [m/s^2]	d	Hjulbas [m]
r_t	Svängradie [m]	p_1	Initial position före Δs ([m], [m])
Δs	Båglängd av tillryggalagd sträcka [m]	p_4	Ny position efter Δs ([m], [m])
e_x	Tangentriktning	n_x	Normalriktning
φ_0	Initial orienteringsvinkel [Grader]	φ_1	Ny orienteringsvinkel [Grader]
v_0	Initial hastighet [m/s]	v_1	Ny hastighet [m/s]

Figur 6, illustrerar ett testobjekt med en hjulbas d , en initialhastighet v_0 och en acceleration a , som rör sig från punkt $\mathbf{p}_1(x,y)$ till punkt $\mathbf{p}_4(x,y)$. Genom att tillämpa ekvationerna 1 till 10 från Tabell 1, kan en böjd rörelse beräknas med hjälp av tidssteget Δt . Dessa ekvationer utgör den grundläggande basen för den mekaniska modellen med konstant acceleration.

Även om det inte illustreras, kan den enkla linjära rörelsen bestämmas med ekvationerna 11 till 13 från Tabell 1. För att förenkla förklaringen av algoritmen antar vi att resultaten från den mekaniska modellen lagras i en tillfällig array, `TrajData[]`, som kommer att refereras till senare i texten.

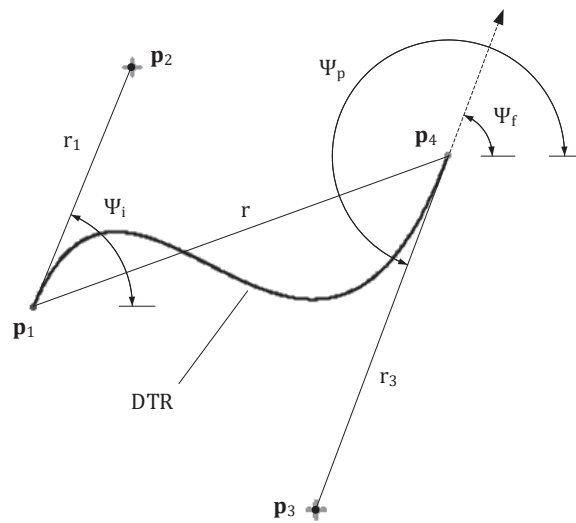
Ekvationer för böjd rörelse, 1 till 10	
(ek1)	Svängradie $r_t = d/\tan(\epsilon)$ [m]
(ek2)	Hastighetsändring $\Delta v = a \cdot \Delta t$ [m/s] where Δt is time step [s]
(ek3)	Avståndsändring $\Delta s = v_0 \cdot \Delta t + \frac{1}{2} \cdot a \cdot \Delta t^2$ [m]
(ek4)	Vinkelförändring $\Delta \phi = \Delta s / r_t$
(ek5)	Ny vinkel $\phi_1 = \phi_0 + \Delta \phi$
(ek6)	Initial normalriktning $\mathbf{n}_0 = (-\sin(\phi_0), \cos(\phi_0))$
(ek7)	Slutgiltig normalriktning $\mathbf{n}_1 = (-\sin(\phi_1), \cos(\phi_1))$
(ek8)	Positionsändring $\Delta \mathbf{p} = r_t \cdot (\mathbf{n}_0 - \mathbf{n}_1)$
(ek9)	Ny position $\mathbf{p}_1 = \mathbf{p}_0 + \Delta \mathbf{p}$
(ek10)	Ny hastighet $v_1 = v_0 + \Delta v$
Ekvationer för linjär rörelse, 11 till 13	
(ek11)	Acceleration $a = \Delta v / \Delta t$ [m/s ²]
(ek12)	Avstånd $s = v_0 \cdot \Delta t + \frac{1}{2} \cdot a \cdot \Delta t^2$ [m]
(ek13)	Hastighet $v = (v_0^2 + 2 \cdot a \cdot s)^{1/2}$ [m/s]
Linjär interpolering mellan punkt $\mathbf{a}(x, y)$ och $\mathbf{b}(x, y)$, ekvation 14 till 15	
(ek14)	Ny position $x_n = a_x + (b_x - a_x) \cdot t_n$, t_n är interpoleringssteget $0 \leq t_n \leq 1$
(ek15)	Ny position $y_n = b_y + (b_y - a_y) \cdot t_n$
Polär positioneringsavvikelse, ekvation 16 till 17	
(ek16)	Ny position $x_n = x_i + r \cdot \cos(\alpha)$
(ek17)	Ny position $y_n = y_i + r \cdot \sin(\alpha)$

Tabell 1, Ekvationsbeskrivningar

Den mekaniska modellen används tillsammans med en kubisk Bézier-kurva definierad med fyra punkter $[\mathbf{p}_1, \mathbf{p}_2, \mathbf{p}_3, \mathbf{p}_4]$ (se Figur 6). En Bézier-kurva är en parametrisk kurva som formas och positioneras med hjälp av ett antal kontrollpunkter. Kontrollpunkterna \mathbf{p}_2 och \mathbf{p}_3 används för att forma kurvan så att den slutliga girvinkeln Ψ_f vid \mathbf{p}_4 uppnås. Bézier-kurvan beskriver en realistisk rörelse som ett fordon måste göra för att nå en slutgiltig på med rätt riktning.

Riktningen för \mathbf{p}_2 motsvarar den initiala girvinkeln Ψ_i vid \mathbf{p}_1 , och riktningen för \mathbf{p}_3 är 180 grader motsatt den slutliga girvinkeln Ψ_f vid \mathbf{p}_4 . Längderna r_1 och r_2 kan vara lika eller olika, som illustreras i Figur 6.

För att förenkla förklaringen av algoritmen antar vi att resultatet från Bézier-beräkningen lagras i en tillfällig array, BezierData[], som kommer att refereras till senare i texten.

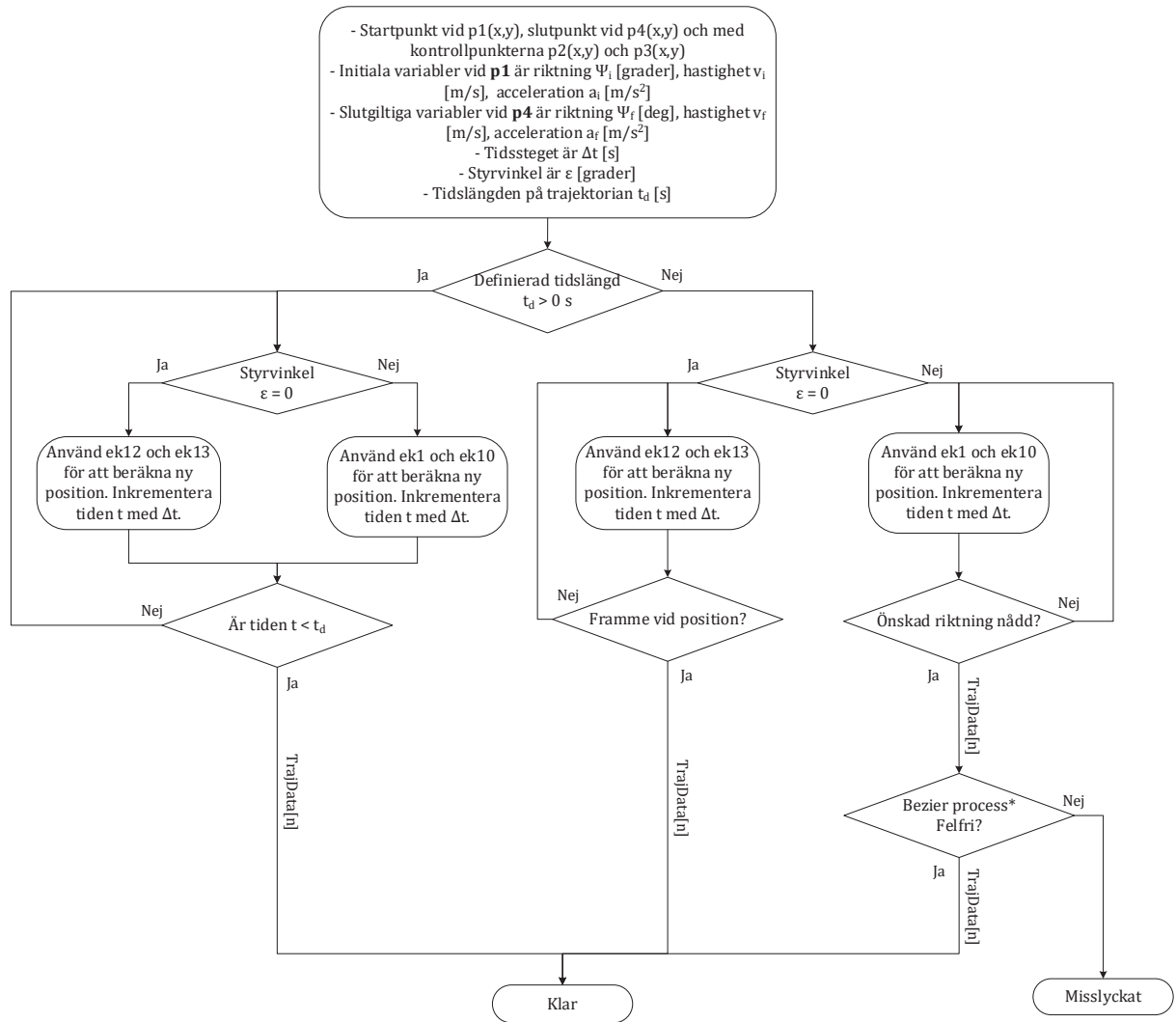


Figur 6, Dynamisk trajektoria DTR med Bézier-kontrollpunkterna p2 och p3

Symbol	Bezierparameter	Symbol	Bezierparameter
p_1	Startposition för trajektorian (x_1, y_1) [m]	r	Skalärt avstånd mellan startposition p_1 och slutposition p_4 [m]
p_2	Kontrollpunkt i riktning Ψ_i från p_1	DTR	Dynamisk trajektoria
p_3	Kontrollpunkt i riktning Ψ_p from p_4	Ψ_f	Slutgiltig riktning [Deg]
p_4	Slutposition av trajektorian (x_4, y_4) [m]	Ψ_p	Riktningen för kontrollpunkt p_4 , $\Psi_p = \Psi_f - 180$ [Grader]
Ψ_i	Initial riktning [Degrees]	r_3	Skalärt avstånd mellan kontrollpunkt p_3 och p_4 [m]
r_1	Skalärt avstånd mellan kontrollpunkt p_2 och p_1 [m]		

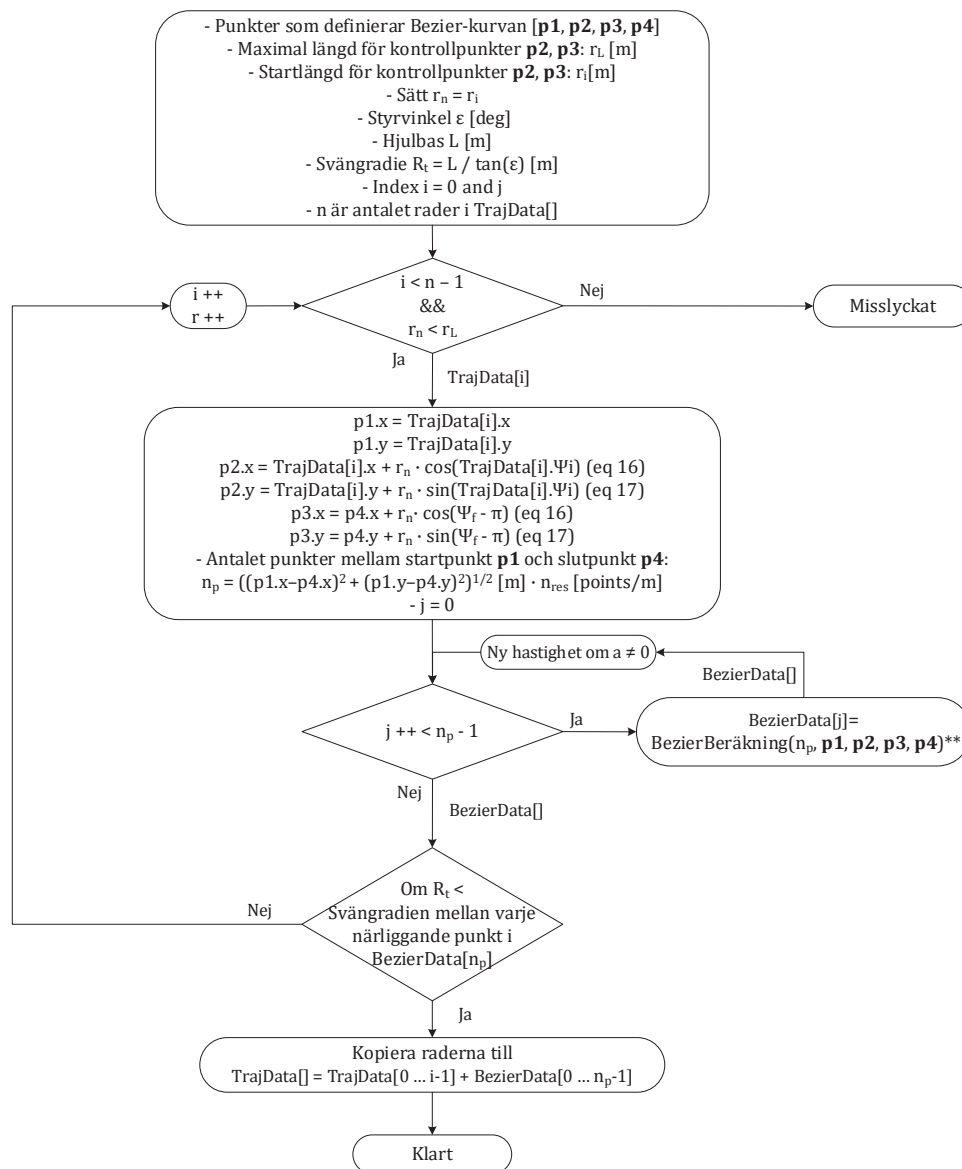
Sammanfattningsvis kan algoritmen beskrivas enligt följande (se Figur 7):

1. Använd den mekaniska modellen och beräkna positionerna, lagra resultatet i TrajData[].
2. Om endast positionerna och girvinklarna är kända, bearbeta resultaten från den mekaniska modellen från den första och eventuellt den sista positionen i TrajData[]. Justera punkterna med Bézier-processen (se Figur E.4) tills alla punkter kan navigeras med den maximala svängvinkeln. Lagra resultatet i BezierData[]. Om det lyckas, sammanfoga TrajData[] med BezierData[] och returnera det slutliga resultatet i TrajData[].



Figur 7, Algoritmens huvudsakliga flödesschema

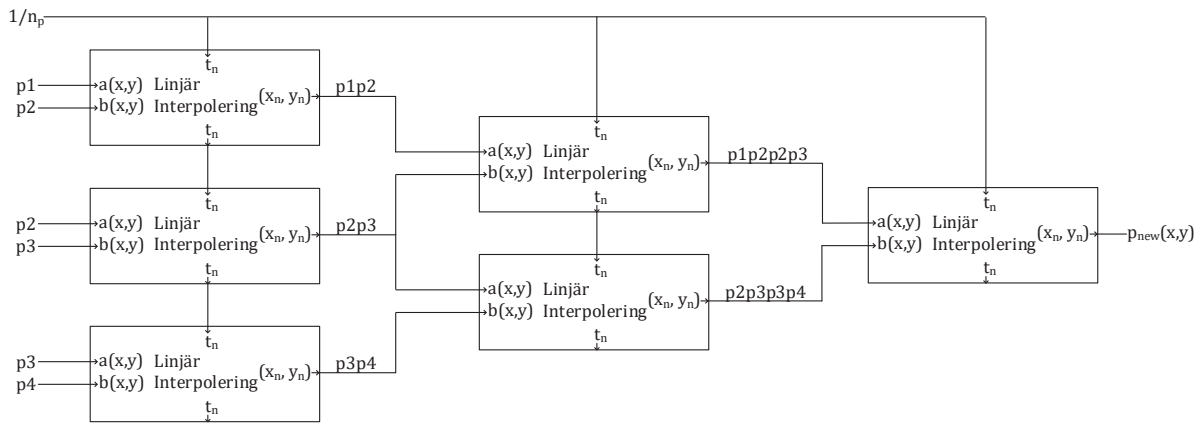
Figur 7, visar ett flödesschema som illustrerar en steg-för-steg-process för att beräkna en trajektoria från en startpunkt till en slutpunkt med hjälp av en Bézier-kurva om den initiala riktningen inte är lika med den slutliga riktningen. Flödesschemat börjar med att definiera viktiga parametrar, såsom initial och slutlig position, hastighet och styrvinkel, med mera. Därefter kontrolleras om den definierade tidsperioden är större än noll. Beroende på de initiala och slutliga riktningarna samt om målpositionen har uppnåtts, används olika ekvationer (ekv1 till ekv10 eller ekv12 till ekv13) för att beräkna nya positioner och öka tiden i varje steg. Om villkoren för slutlig riktning och position är uppfyllda anses trajektorieskapandet vara framgångsrikt och trajektorian är färdigställd. Om inte, avslutas processen som misslyckad. Bézier-processen som refereras till i Figur 8, (Bézierprocess*) beskrivs nedan.



Figur 8, Bezier process

Figur 8, är ett flödesschema som beskriver proceduren för att generera en trajektoria med hjälp av Bézier-kurvberäkningar. Processen börjar med att definiera nyckelpunkterna **p1, p2, p3** och **p4** samt parametrar såsom styrvinkel, hjulbas och svängradie. Algoritmen itererar genom trajektorias datapunkter, uppdaterar positionskoordinaterna med hjälp av ekvationerna (eq16 och eq17), beräknar nya hastigheter vid behov och verifierar om styrvinkeln är korrekt. Den genererar också Bézier-kurvdata baserat på intermediära kontrollpunkter för att säkerställa mjuka övergångar mellan punkterna. Om alla villkor är uppfyllda sammanfogas raderna med `TrajData[]` från beräkningsindexet med `Bezier[]`-data, och trajektorian är därmed slutförd. Om något villkor misslyckas avslutas processen utan framgång.

Den linjära interpolationen som refereras till i figur 8 (BezierBeräkning(n_p , p_1 , p_2 , p_3 , p_4)**) beskrivs nedan.



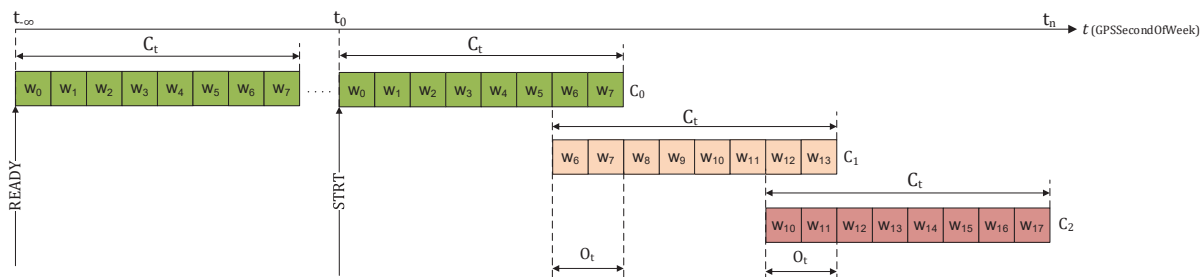
Figur 9, BezierBeräkning**

Diagrammet i figur 9, illustrerar processen för att generera en Bézier-kurva genom linjär interpolation mellan kontrollpunkter. Processen börjar med par av punkter, såsom p_1 , p_2 och p_2 , p_3 , där linjär interpolation utförs för att beräkna nya intermediära punkter på en kurva som innehåller n_p punkter med steglängden t_n . Resultaten från dessa interpolationer, märkta som p_1p_2 , p_2p_3 och så vidare, används rekursivt i ytterligare interpolationssteg, vilket skapar alltmer förfinade intermediära punkter. Det slutliga resultatet efter alla interpolationssteg leder till genereringen av en ny punkt $p_{new}(x, y)$ på Bézier-kurvan. Denna hierarkiska metod kombinerar successivt interpolationer för att bilda jämna kurvsegment.

Sändning av dynamiska trajektorier

Resultatet från algoritmen är en trajektoria som beskriver en rörelse i tid och rum, även kallad en dynamisk trajektoria. Vid användning av dessa trajektorier måste enheten som genererar dem, ofta kallad kontrollcenter (CC), skicka dem till ett testobjekt som ska följa rörelsen.

När dynamiska trajektorier skickas från kontrollcentret (CC) till ett testobjekt ska den initiala dynamiska trajektorien (C_0 , se Figur E.6) skickas innan CC har startat ett test vilket betyder att CC är i ett så kallat READY-läge. När testobjektet tar emot ett startmeddelande (STRT) ska det börja röra sig enligt den initiala dynamiska trajektorien. Testobjektet ska därefter ta emot ett nytt datasegment innan den sista punkten i den redan mottagna trajektorien har nåtts. Den sista punkten i en dynamisk trajektoria ska alltid ha hastigheten noll.



Symbol

C_t	Dynamiska trajektorians tidslängd [t]
O_t	Dynamiska trajektorians överlapp i tid [t] (innehåller punkter från den tidigare genererade dynamiska trajektorian)
C_0	Dynamiska trajektoriechunk 0
C_1	Dynamiska trajektoriechunk 1
C_2	Dynamiska trajektoriechunk 2
w_n	Antal punkter n i en dynamiska trajektoriechunk

Figur 10: Sändning av dynamiska trajektorier

Simulering

De simulerade resultaten visas i Figur 11, och illustrerar olika fordonsbanor som genererats av Bézier-kurvans algoritm. Figur 11, visar också en omkörning som utförs av ett testobjekt (jägare) när det passerar ett annat testobjekt (mål), från vilket den dynamiska positionen är relaterad. Varje sekvens (märkta A till F) representerar olika färdvägar vid given tidpunkt och visar de olika manövrar som testobjekten utför medan de navigerar mellan olika positioner. Nedan följer en detaljerad beskrivning av varje sekvens:

A-serien (A1 till A10) – Initiala positioner

Denna sekvens visar en böjd bana där jaktfordonet (A1) ska följa en jämn Bézier-kurva från sin nuvarande position till (A2) till den dynamiska positionspunkten (A6) för att linjera upp sig bakom målet (A7). Fordonet ska starta vid A2, röra sig genom mellanliggande kontrollpunkter (A2 till A6) och nå en skarp sväng vid A5, vilket indikerar en betydande förändring i styrvinkeln.

B-serien (B1 till B3) – Jaktfordonet är uppradat

B-serien visar när jaktfordonet har rört sig och linjerat upp sig bakom målet, är positionerat vid den dynamiska positionspunkten (B2) och är redo för start.

C-serien (C1 till C8) – Målet och jaktfordonet rör sig

I denna sekvens har både målet och jaktfordonet börjat röra sig. Den senast genererade dynamiska banan (C3) till den dynamiska positionspunkten (C5) visas. C3 kommer att tvinga jaktfordonet att placera sig på vänster sida om målet i färdriktningen.

D-serien (D1 till D5) – Jaktfordonet är till vänster om målet

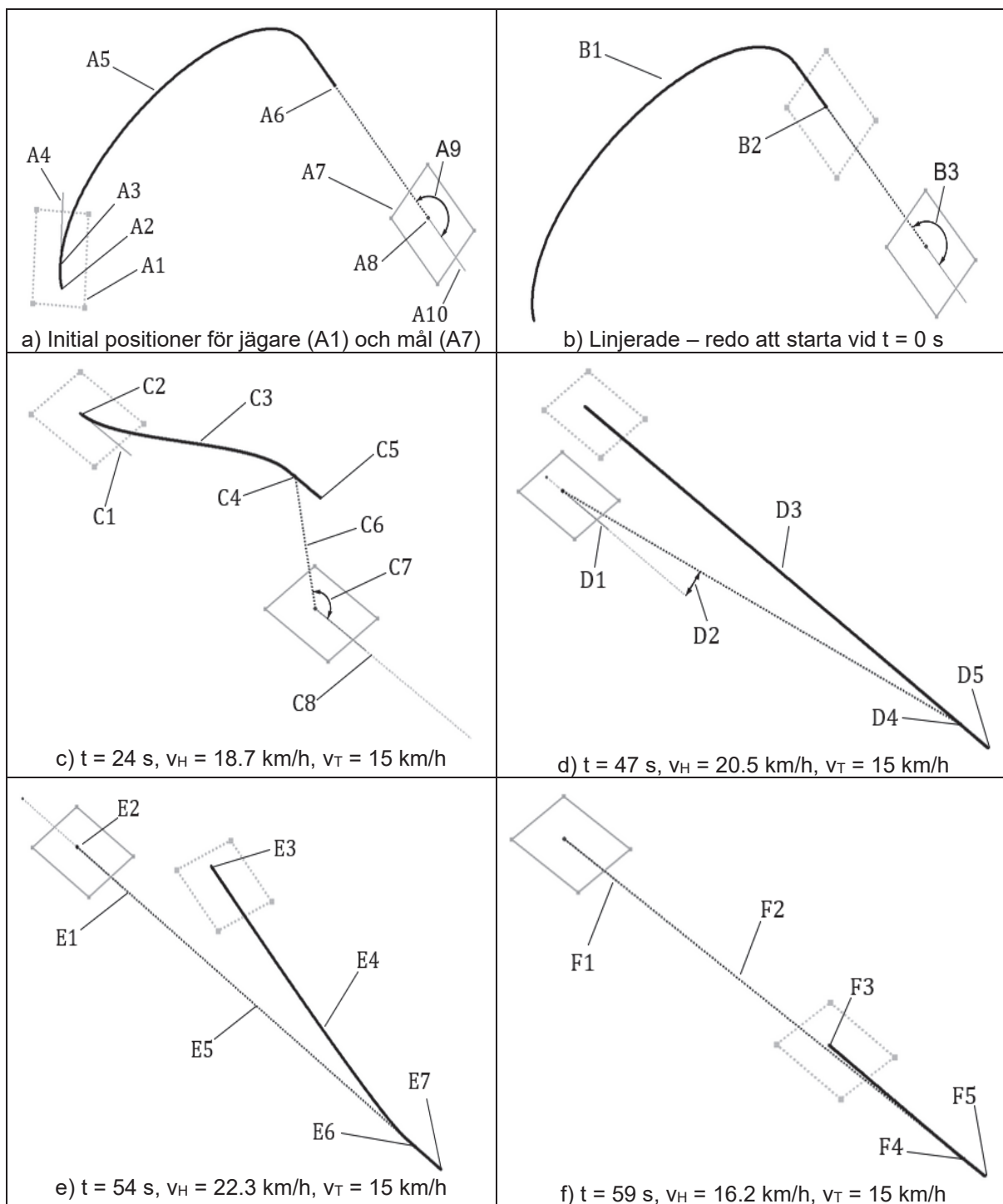
D-serien visar en i stort sett linjär bana från D1 till D5. Fordonet håller en nästan rak kurs, med endast små avvikelser längs vägen. Denna sekvens verifierar sannolikt hur algoritmen beräknar positioner med minimal kurvatur eller styrförändringar, vilket är användbart för navigering i rätlinjiga scenarier. Den minimala kurvaturen i denna sekvens testar algoritmens prestanda i enkla scenarier för att säkerställa att fordonet kan hålla en konsekvent kurs.

E-serien (E1 till E7) – Omkörning är nästan avslutad

I denna sekvens har jaktfordonet nästan avslutat omkörningen med en nästan diagonal bana (mild kurvatur) i den dynamiska banan (E4).

F-serien (F1 till F5) – Omkörning avslutad och jaktfordonet saktar ner

Jaktfordonets girvinkel är nästan densamma som målets, och omkörningen är avslutad. Fordonet följer en rak linje, med mycket små avvikelser mellan kontrollpunkterna.



Figur 11, Simulering av en omkörning med hjälp av DPP

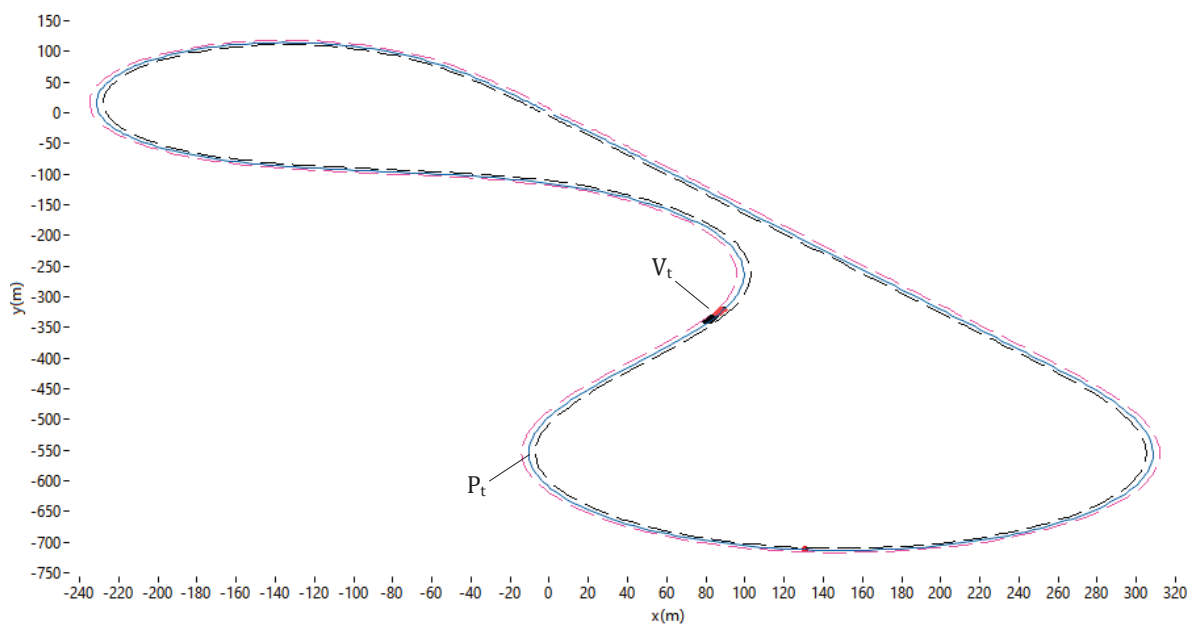
Symbol	A. Initial position för jägare och mål	Symbol	B. Jägare uppradad och redo för start t = 0
A1	Jägarobjekt	B1	Dynamisk bana som jägaren har färdats längs
A2	Startposition i den dynamiska banan	B2	Slutpunkt för dynamisk bana / Dynamisk positioneringspunkt från mål – DPP-radie 10 m
A3	Positioneringscenter för jägaren	B3	Dynamisk positioneringspunkt, roterad moturs med 180° från målets riktning
A4	Jägarens riktning		C. Jägaren närmar sig målet, t = 24 s
A5	Dynamisk bana	C1	Jägarens hastighet $v_H = 18.7$ km/h
A6	10 m DPP-radie från målets centrum, roterad 180 grader moturs från målets riktning	C2	Startposition i den dynamiska banan
A7	Målobjekt	C3	Dynamisk bana
A8	DPP moturs rotation från målets	C4	DPP-radie från målets centrum roterad C7 grader moturs från målets riktning
A9	DPP moturs rotation från målets riktning	C5	Slutpunkt för den dynamiska banan från den senast genererade dynamiska banan
A10	Målets riktning	C6	DPP-radie 8,9 m
	D. Jägaren har nästan genomfört omkörningen, t = 47 s	C7	DPP moturs rotation från målets riktning
D1	Målets yaw och hastighet $v_T = 15.0$ km/h	C8	Målets riktning och önskad målhastighet $v_T = 15.0$ km/h uppnådd
D2	Vinkel för dynamisk positioneringspunkt roterad moturs från målets riktning		E. Jägaren är på väg mot samma körfält som målet, t = 54 s
D3	Dynamisk bana som jägaren ska färdas längs	E1	Målets riktning
D4	Dynamisk positioneringspunkt	E2	Målets hastighet $v_T = 15.0$ km/h
D5	Slutpunkt för dynamisk bana	E3	Startposition i den dynamiska banan, aktuell hastighet $v_H = 22.3$ km/h
	F. Mål och jägare saktar ner, t = 59 s	E4	Dynamisk bana som jägaren ska färdas längs
F1	Målets riktning	E5	DPP-radie 30 m
F2	DPP-radie 30 m	E6	DPP
F3	Startposition i den dynamiska banan, aktuell hastighet $v_H = 16.2$ km/h	E7	Slutpunkt för dynamisk bana
F4	DPP		
F5	Slutpunkt för dynamisk bana		

Tabell 2, Beskrivning av figur 11

Analys

Simuleringsresultaten visar upp en stor variation av banor, från mjuka kurvor till raka sträckor. Denna mångfald understryker algoritmens robusthet i att hantera ett brett spektrum av manövrar för testobjekt. Förmågan att generera både gradvisa kurvor och skarpa riktningsändringar bekräftar ytterligare algoritmens effektivitet i att skapa realistiska banor för testobjekt.

Dessutom testades de dynamiska banor som genererades av den beskrivna algoritmen för att styra ett fysiskt testobjekt — en lastbil med släp som körde upp till 50 km/h när dynamiska banor genererades med en frekvens mellan 4–13 Hz. Eftersom testobjektet endast kunde styras via styrvinkel och accelerationssignaler (utan att direkt tolka hela banan), beräknades styrvinkeln baserat på krökningen av den genererade dynamiska banan. Detta gjorde det möjligt för det fysiska systemet att följa den avsedda banan och bekräftade algoritmens praktiska tillämpbarhet i verkliga scenarier. Figur 12 visar banan där lastbilen styrdes med hjälp av genererade dynamiska banor.



Symbol

- V_t Lastbil med släp
- P_t Lastbilens färdväg (heldragen linje)

Figur 12, Lastbil med släp kör längs en trajektor (linjen mellan de sträckade linjerna)

SAFRAN projektet har uppfyllt arbetspaketets 4 leveranser genom:

L4.1 Dokument beskrivandes olika matematiska modellers användbarhet för testplanering, -uppföljning och -utvärdering utifrån en ODD

I kapitel 6.4.1 har ett nytt system utvecklats för att skapa testplanering och beskrivning av en ODD. Systemet har testats inom Horizon EU MODI-projektet, där verkliga scenarier kunde genereras utifrån DAF-beskrivningen. Information om detta system kan inte offentliggöras här eftersom det ännu inte är officiellt publicerat inom MODI-projektet. En presentation av systemet planeras till "RISE Proving Ground AstaZero Safety Focus Day" den 20 oktober 2025.

L4.2 Dokument konceptuellt beskrivandes system för ODD övervakning inklusive krav på ett sådant system

Kapitel 6.3 och 6.4.2 behandlar övervakning och styrning av objekt med territoriella algoritmer samt enligt ISO/DIS 22133. Den nya ISO-standarden, ATOS-artikeln och presentationer på IEEE- och VECS-konferenser har bidragit till arbetets spridning. ODD-övervakningen har även lett till kunduppdrag (ej offentliga p.g.a. NDA), och rullande tester utförs nu på AstaZero med redundanta basfordon.

L4.3 Demonstration av ODD övervakning

De demonstrationer som nämndes tidigare i kapitel 6.3, samt den kommande presentationen och demonstrationen den 20 oktober, tillsammans med pågående uppdrag mot kund, innebär att vi bedömer att denna leverans är uppfylld.

Avvikelse och lärdomar

Avvikelse från plan: En viss förskjutning skedde i utvecklingen av det konceptuella systemet för ODD-övervakning, då integrationen med externa projekt (bl.a. EVIDENT, PreMat och MODI) tog längre tid än förväntat. Detta påverkade tidpunkten för vissa demonstrationer och innebär att vissa resultat inte kan offentliggöras inom projektets ordinarie tidsram, utan först efter planerad slutrapportering.

Lärdomar: Projektet insåg vikten av att samordna utveckling av ODD-relaterade verktyg med pågående internationella standardiseringsinsatser, särskilt inom ISO och ASAM. Det blev också tydligt att det finns ett stort behov av gemensamma taxonomier och semantiska kopplingar mellan testfall och ODD-definitioner. Arbetet med att länka testfall till ODD-koncept visade sig vara mycket komplext och en stegvis integration behövs, men samtidigt avgörande för framtida automatiserad testplanering.

Påverkan på projektets riktning: Dessa insikter ledde till att projektet lade större vikt vid att utveckla en flexibel och skalbar arkitektur för testplanering (AstaZero Test Planning Factory), som kan vidareutvecklas i framtida projekt. Det stärkte också kopplingen mellan AP4 och AP1, då behovet av harmonisering mellan taxonomier och standarder blev en central del i rekommendationerna för fortsatt standardiseringsarbete. Projektet valde också att prioritera dokumentation och spridning av konceptuella modeller, vilket ökar möjligheten till återanvändning och vidareutveckling i andra sammanhang.

7 Spridning och publicering

7.1 Kunskaps- och resultatsspridning

Hur har/planeras projektresultatet att användas och spridas?	Markera med X	Kommentar
Öka kunskapen inom området	x	AZ betraktar sig som mycket kunniga i OPEN Scenario och OPEN ODD för simulering och testplanering utifrån nuvarande definitioner. Utveckling pågår fortsatt inom både uppkoppling och sensorfusion. Kunskapen om process och omfattning på att skapa en ny standard är nu känd.
Föras vidare till andra avancerade tekniska utvecklingsprojekt	x	AZ Test Planning Factory har under pågående projekt kopplats samman med EVIDEN, VERDAS 1&2 samt MODI. Arbetet fortsätter med målet att uppnå en högre TRL-nivå och i framtiden kunna utveckla en kundprodukt som förbättrar både simulerad och fysisk testning.
Föras vidare till produktutvecklingsprojekt	x	SAFRANs ISO / DIS 22133 har i kombination med PreMAT 2021-05052 Geofencing utvecklat ett system för säker testning av L4-L5 redundanta basfordon med teststyrning och testövervakning som just nu överförs till produktutvecklings Project för att klara CE märkning eller uppfylla ISO26262.
Introduceras på marknaden	x	Systemet för säker testning av redundanta basfordon har redan börjat användas tillsammans med kund fast med säkerhetsförare då det ännu inte nått CE märknings nivå.
Användas i utredningar/regelverk/ tillståndsärenden/ politiska beslut	x	Kunskapen om OPEN ODD och OPEN Scenario kommer vidare att användas vid fortsatt arbete mot teknisk tjänst för 2022/1426 och/eller UNECE kommande lagkrav för L4 fordon.

Användning av ATOS av externa aktörer

ATOS (AV Test Operating System), som delvis utvecklats inom SAFRAN och tillgängliggjorts som öppen källkod, har redan börjat användas av externa aktörer. Systemet har integrerats i testmiljöer hos flera industripartners inom ramen för projekt som EVIDENT, VERDAS och MODI men även direkta kunder Zenseact och Aptiv. Där ATOS används för att orkestrera komplexa testscenarier med både fysiska och simulerade objekt. ATOS interoperabilitet med standarder som OpenSCENARIO, OpenDRIVE och ISO 22133 har gjort det möjligt för externa användare att återanvända och anpassa testfall i sina egna miljöer, vilket har ökat spridningen och nyttan av projektets resultat.

Påverkan på andra projekt

SAFRAN:s resultat har haft direkt påverkan på flera pågående och efterföljande projekt:

- I **MODI** har arkitekturen för testplanering och ODD-integrering vidareutvecklats och testats i verkliga scenarier, vilket bekräftar konceptets praktiska tillämpbarhet.
- I **EVIDENT** har SAFRAN:s arbete med OpenODD och ATOS använts för att skapa gemensamma testfall och utvärdera interoperabilitet mellan olika aktörers system.
- Projektets resultat har även återanvänts i VERDAS 1 & 2, där OPEN ODD och OPEN Scenario samt testplaneringsverktyg och taxonomier från SAFRAN integrerats i för användning i simulerade och fysiska tester.

Användning av standarder i industrin

SAFRAN har bidragit till att etablera och sprida användningen av flera viktiga standarder:

- AstaZero har varit en aktiv part i utvecklingen av ASAM OpenODD, inklusive definitioner, taxonomier och mapping references. Dessa används nu av flera fordonstillverkare och testanläggningar för att beskriva och jämföra ODD:er.
- ISO 22133:2025, som vidareutvecklats inom projektet, används som grund för kommunikation mellan testobjekt och kontrollcenter i flera testmiljöer. Standarden har redan börjat implementeras i kommersiella testplattformar och används i kunduppdrag på AstaZero.
- Genom SAFRAN:s arbete har dessa standarder inte bara blivit tekniskt tillgängliga, utan också praktiskt tillämpbara i verkliga testmiljöer, vilket påskyndar industrins förmåga att verifiera och validera autonoma system.

Sammanfattning

SAFRAN har inte bara levererat tekniska resultat, utan också skapat konkret påverkan i form av:

- Verktyg som används av externa aktörer
- Standarder som implementeras i industrin
- Projektöverskridande synergier som stärker svensk och europeisk fordonsforskning

7.2 Publikationer

Projektet har bidragit till framtagande och publicering av forskningsartikeln *ATOS: An Open-Source Platform for Testing AI-Based Automated Vehicle Systems in Integrated Simulated and Physical Scenarios*¹⁷. Artikeln presenterades i Santa Clara, Kalifornien 5 Maj och publicerades i 2025 års upplaga av IEEE Conference on Artificial Intelligence (CAI). Artikeln beskriver ATOS, samt ger en utvärdering av dess repeterbarhet när det kommer till att återskapa trafikscenarion med fysiska och/eller simulerade miljöer och trafikanter. I artikeln beskrivs ATOS kopplingar till standarder som ASAM OpenScenario, OpenDRIVE, och ISO TS 22133.

¹⁷ <https://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:ri:diva-78257>

8 Slutsatser och fortsatt forskning

Projektet SAFRAN har framgångsrikt uppfyllt sina mål att stärka samverkan och standardisering inom testdomäner för autonoma fordon och aktiva säkerhetssystem. Genom ett aktivt deltagande i ASAM:s standardiseringsarbete, särskilt inom OpenODD och OpenSCENARIO, har AstaZero bidragit till att forma framtidens testformat och gränssnitt. Projektet har också utvecklat och demonstrerat tekniska lösningar som möjliggör sömlös integration mellan simulering och fysisk provning, vilket är avgörande för effektiv verifiering och validering av automatiserade system.

En av de mest betydelsefulla leveranserna är ATOS – ett öppet testkontrollsystem som möjliggör interoperabilitet mellan olika testobjekt och testmiljöer. Systemet har redan börjat användas av externa aktörer och har visat sig vara ett kraftfullt verktyg för att realisera standardiserade testscenarier i både simulerade och fysiska miljöer. Vidare har projektet bidragit till utvecklingen och revideringen av ISO 22133, vilket stärker AstaZeros roll som ledande aktör inom testning av automatiserade fordon.

Projektet har också visat på behovet av fortsatt forskning inom flera områden:

- **Semantisk koppling mellan ODD och testfall:** Det finns ett stort behov av att vidareutveckla metoder för att länka ODD-definitioner till konkreta testfall, inklusive verktyg för filtrering, planering och övervakning.
- **Taxonomisk harmonisering:** För att möjliggöra bredare användning av ODD- och scenariobeskrivningar krävs fortsatt arbete med att harmonisera begrepp och attribut mellan olika standarder och domäner.
- **Automatiserad testgenerering:** Nästa steg är att utveckla verktyg som automatiskt kan generera testfall baserat på ODD och andra systemkrav, vilket skulle effektivisera testprocessen ytterligare.
- **Regulatorisk tillämpning:** Projektets resultat kan bidra till framtida tekniska tjänster och regelverk, exempelvis inom ramen för UNECE och EU-förordningar för nivå 4-fordon. Här krävs fortsatt dialog med myndigheter och standardiseringsorgan.

Genom SAFRAN har AstaZero etablerat en stark grund för fortsatt arbete med att forma och tillämpa internationella standarder för testning av automatiserade fordon. Projektets resultat har redan börjat nyttiggöras i andra forsknings- och utvecklingsinitiativ, och potentialen för vidare spridning och påverkan är stor. Nästa steg blir att fördjupa integrationen mellan standarder, verktyg och testmiljöer – och därigenom ytterligare stärka Sveriges och Europas position inom framtidens mobilitet.

9 Deltagande parter och kontaktpersoner

Detta projekt har utförts endast av AstaZero men i relation till ISO/SC33, WG16: Active Safety Test Equipment och ASAM OPEN ODD standard utvecklings team.

För mer information kontakta projektledare:

Mari Eriksson, mari.eriksson@ri.se, + 46 739 35 99 96