

Förstudie kring verktyg och metoder för integration mellan testbäddar och testplattformer

Publik rapport

Författare: Albin Nykvist
Datum: 2022-08-31
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	4
3 Bakgrund.....	6
4 Syfte, forskningsfrågor och metod	7
5 Mål	8
6 Resultat och måluppfyllelse	8
6.1 AP1: Metoder för verifiering av radarmål i HIL/VIL miljöer.....	9
6.2 AP2: Öppna gränssnitt för integration av testbäddar och testplattformar	11
6.3 AP3: KPI:er och metodik för korrelation av simulering och fysisk provning	15
6.4 FFI måluppfyllelse	20
7 Spridning och publicering	20
7.1 Kunskaps- och resultatspridning	21
8 Slutsatser och fortsatt forskning.....	21
8.1 Fortsatt forskning.....	22
9 Deltagande parter och kontaktpersoner	22
10 Referenser.....	23

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

Behovet av att hitta effektivare tillvägagångssätt för verifiering och validering av avancerade säkerhetssystem och autonoma körfunktioner (ADAS/AD) har blivit alltmer märkbar. Testbehovet stiger explosionsartat med graden av automation på grund av den ökade komplexiteten i mjukvaran [1]. Som en potentiell lösning går marknaden mot att använda sig av simulering i olika grad under utvecklingsfasen. Detta både för att ha tillräcklig mängd data att lita sig på och för att kunna utnyttja dess potential i olika "in-the-loop" miljöer. Denna förstudie ämnar sig åt att tillämpa och utforska utvalda verktyg och koncept för att ta fram metoder och tillvägagångssätt för integration av olika testbäddar och plattformar som lämpar sig för olika "in-the-loop" miljöer inom ramarna för hybridtestning med fysiska och virtuella element. Studien har delats in i tre arbetspaket med frågeställningar som tidigare identifierats som viktiga möjliggörare för att kunna styrka tillförlitligheten av provresultat från hybridtestning. Dessa var:

AP1 – Metoder för verifiering av radarmål i HIL/VIL miljöer,

AP2 – Öppna gränssnitt för integration av testbäddar och testplattformar,

AP3 – KPI:er och metodik för korrelation av simulering och fysisk provning.

Studien kom bland annat fram till att nödvändigheten av att fysiskt stimulera radarsensorer under hybridtestning kan ifrågasättas baserat på huruvida testskopet är av funktionell karaktär, perceptionsmässig eller på helsystemnivå. Vidare fastställdes organisationen ASAM's öppna gränssnitt som goda möjliggörare för integration av testbäddar genom implementation och Proof-of-concept (PoC). Sista arbetspaketet fastställde att framarbetade sensorspecifika KPI:er för ett ADAS system med kamera och radar kan användas för att korrelera testresultat. Detta genom att utvärdera och korrelera testresultat ifrån ett parallellt samverkansprojekt med RISE's EMC kammare AWITAR där nödbromsprov utfördes i en "Vehicle-in-the-loop" (VIL) miljö. Slutligen lyfts begränsningar och möjligheter för vidare forskning och utveckling på utvalda områden i arbetspaketen.

2 Executive summary in English

The need to find more efficient approaches for verifying and validating advanced driver assistance systems and autonomous drive functionality (ADAS/AD) has become noticeable. The demand for testing is explosively growing as the level of automation and complexity of the software is increasing. One of the potential solutions is to start using simulations to a greater extent during the development phase. This to have more data to lean on and be able to use its potential in different “in-the-loop” environments. This pre-study aims to explore and implement tools and concepts to develop methodologies for integration of different testbeds and platforms which are suitable for “in-the-loop” environments within the framework of hybrid testing with physical and virtual elements. The study was split into three work packages with individual subjects that has been identified as important enablers to strengthen the reliability of hybrid testing. These were:

WP1 – Methods for verification of radar targets in HIL/VIL environments,
WP2 – Open interfaces for integration of testbeds and test platforms,
WP3 – KPI's and methodologies for correlation of simulation and real-world testing.

The first work package aimed to find suitable methods and tools for verifying and profiling radar targets during ADAS/AD testing in HIL/VIL environments. For this purpose, three methods were investigated.

1. Radar stimulation using front-end hardware.
2. Raw data injection into the radar signal processing unit.
3. Object list injection into the ECU after the radar signal processing unit.

The result of the investigation of the alternatives above was that depending on the level of fidelity needed and the purpose of the test the methods can all be suitable. Radar stimulation, as a high-fidelity option, would be most suitable for a complete system validation. Whereas object list injection, which would be a low-fidelity option, could be just as suitable for verifying actuation of braking and potential collision in a AEB testcase. The conclusion could be made that the need for an actual radar target while testing in a HIL/VIL environment could be questioned and the perception part can be replaced with a virtual target injected in the system and thus increase the test efficiency.

The second work package explored the different interfaces developed by the organisation ASAM. A deeper analysis and implementation were made with Open Simulation Interface (OSI) and a Proof-of-Concept (PoC) was presented. The PoC showcased OSI as an enabler for hybrid testing by using the interface to connect sensor models with models or software with ADAS functionality in a simulated environment. Thus, giving the possibility to swap physical elements, such as the sensor itself, with a model or software based “black box” version of it.

The last work package investigated the possibility to develop and use KPI's for comparison and correlation of test results from traditional testing and hybrid testing. This was done by gathering data and results from a collaborative project with RISE EMC chamber AWITAR. In this parallel project a AEB test scenario was set up in a VIL environment with virtual elements. The vehicle under test had a radar and camera based ADAS system in which a list of KPIs was developed and measured from both the VIL environment and from traditional proving ground. The resulting outcome was a methodology for comparing and correlating the results which showcased some limitations of the VIL environment. Such an example is the impact of vehicle dynamic properties.

In conclusion the project has established that further development and research need to be done in multiple areas. The third work package could not conclude the reliability of hybrid testing performed in a VIL environment, merely a methodology for correlating its results. Such a conclusion needs extensive analysis which would be required to be backed by a vehicle or system

supplier. Furthermore, stimulating sensors with synthetic data from virtual sources needs to be further researched to be able to draw conclusions about its reliability during hybrid testing. Finally, a deep dive in the suggested method to skip the perception part of a sensor while performing hybrid testing in a “in-the-loop” environment needs to be done to distinguish the potential limitations and impact on the test results.

3 Bakgrund

En av de största utmaningarna med att utveckla avancerade säkerhetssystem och autonoma körfunktioner (ADAS/AD) till framtidens fordon är att mängden verifiering och validering stiger explosionsartat desto högre upp på SAE's skala för nivå av automation [2]. De flesta nya bilmodeller som biltillverkarna säljer idag innehåller oftast funktionalitet som befinner sig på nivå 1 eller 2. Detta är bland annat ett resultat av att test- och certifieringsorganisationen Euro NCAP kräver den typ av system för att kunna ge bilmodellen maximalt betyg som både främjar säkrare fordon och ett försäljningsargument för tillverkaren. Något som också driver på utvecklingen av aktiva säkerhetssystem är nya lagkrav som införts på flera marknader. Utfärdarna av dessa lagkrav kräver därmed att fordon måste utrustas med viss funktionalitet för att få typgodkännande. Men den första stora utmaningen med SAE's skala är att ta sig ifrån nivå 2 till nivå 3. Detta då det är först då föraren skall kunna släppa ifrån sig köransvaret till fordonet självt under specifika scenarion. Nivå 2 systemen har funnits på marknaden under en relativt lång tid och traditionellt testas dessa till störst del genom endast fysisk provning på testbana och i allmän trafik. Men i och med den kraftigt växande verifieringsvolymen som krävs för att kunna ta det steget så börjar testmetodiken inom industrin gå mot att i större utsträckning använda sig av simulering under utvecklingens gång.

Föregångaren av denna förstudie, FFI – Förstudie – Verifiering av aktiva säkerhetssystem i chassidynamometer [3], drog slutsatsen att "Vehicle-in-the-loop" (VIL) kan användas till fördel inom verifiering och validering av ADAS/AD system. En testplattform för VIL kan utformas på många olika sätt beroende på de element av simulering och stimulering man väljer att använda. Förstudien argumenterade framförallt för potentialen för en VIL-plattform och dess flexibilitet samt belyste hur man skulle kunna använda sig av hybridtestning, vilket innebär en mix av antingen "Model-/Software-/Hardware- eller Vehicle-in-the-loop", (MIL/SIL/HIL/VIL) med virtuella och fysiska komponenter.

AstaZero är i grund och botten ett företag som startats för att utföra traditionell banprovning av aktiva säkerhetssystem. Men för att vara med under utvecklingen av framtidens testmetoder och mer avancerade system för självkörande fordon så tillkännages det faktum att virtuella metoder måste integreras med den traditionella provningen. På senare tid har dessa typer av metoder både börjats utforskas av myndigheter och test-organisationer. Det är inte en nyhet att asiatiska bolag gärna använder sig av alla typer av genvägar för att konkurrera med västerländska bolag [4]. För att hänga med i denna resa krävs dock att både myndigheter och de traditionella tillverkarna lägger både resurser och tid på att skapa förutsättningarna som krävs för att komma i mål.

Men för att över huvud taget realisera VIL och bygga förtroende för konceptet krävs flera möjliggörare. Den tidigare förstudien [3] klargjorde att mer forskning krävs på området och de punkter som berörs i denna förstudie lyftes fram som en startpunkt. Man kom fram till att en stor utmaning ligger kring att stimulera eller simulera realistisk karaktäristik för radarmål för nyttjande i en HIL/VIL plattform. Då nästan alla nivå 2 system innehåller någon typ av radar för lång- och medeldistans, kräver en plattform möjligheter för emulering vilket har stora fysiska begränsningar. Föregående forskning har genomförts på detta tema av andra FFI projekt, både Hifi Radar Target [5], Radar Target Simulator [6], men också Conviction [7]. Dessa projekt har pekat ut begränsningar och slutsatser av att återskapa realistiska radarprofiler med simulering och stimulering.

Utöver det kom man även fram till att generiska och öppna gränssnitt för de olika beståndsdelarna i en "in-the-loop" miljö behöver utforskas för att konceptet skall kunna slå igenom och nyttjas av dels olika parter, beroende på komponent, dels för att man skall kunna integrera olika testbäddar och testplattformar med varandra. En bra utgångspunkt som lämpar sig för djupdykning är

standardiseringsorganisationen ASAM's [8] utvecklade gränssnitt som är "Open-source". Men den kanske viktigaste slutsatsen var att mer kraft behöver läggas på att skapa mätvärden och nyckeltal, på engelska beskrivet "Key Performance Index" (KPI) för att göra relevanta korrelationer mellan simulering och fysisk provning.

Denna förstudie ämnar bygga vidare på koncepten och frågorna som ställts i föregående förstudie och vidare utveckla AstaZero's kompetens inom ämnet på ett mer praktiskt plan. Resultaten från denna förstudie kommer kunna bidra med kompetens och implementationer på ämnet virtuella metoder till bland annat FFI-projekten "EVIDENT" [9], "Simulering och AR/VR-visualisering av AstaZero" [10] och interna projekt inom RISE. En ambition har också varit att kunskapen och koncepten som utvecklats inom denna förstudie skall kunna nyttjas eller leda till samverkansprojekt med industrin, vilket också var föregångna förstudiens mål, vilket dock ej ännu fulländats.

4 Syfte, forskningsfrågor och metod

I denna förstudie är syftet att vidare studera tre områden som är möjliggörare för att kunna använda VIL som ett accepterat koncept inom ADAS/AD provning. Dessa tre punkter kan konkretiseras till följande med tillhörande frågeställningar:

1. Undersöka metoder för att validera radarmål i en HIL/VIL miljö genom att vidare utforska möjligheter och begränsningar med radarsensorstimulering samt simulering.
 - Hur skall verifiering av radarprofiler för målobjekt gå till?
2. Undersöka alternativ för öppna och generiska gränssnitt som kan utnyttjas för att möjliggöra hybridtestning mellan olika plattformar där man blandar fysisk och virtuell testning.
 - Vilka gränssnitt som stödjer testning av och via modeller finns, och hur långt går de att nyttja befintliga open-source modeller för utveckling av VIL-miljö?
3. Utforska möjligheter att skapa KPI:er och metodik för att korrelera simulering och fysisk provning.
 - Vilka (sensorspecifika) mätvärden/KPI:er är av intresse för att avgöra om ett AEB prov i en "in-the-loop" miljö ger likvärdigt resultat som på en testbana?

Projektet har inte utfört någon storskalig litteraturstudie för att komma fram till resultat. Projektet har istället använt sig av resultatet från den litteraturstudie som genomförts tidigare [3] och praktiskt testat koncept för att komma fram till resultat och dra slutsatser.

Projektet delades upp utefter de tre punkterna ovan, i var sitt arbetspaket enligt följande:

AP1 – Metoder för verifiering av radarmål i HIL/VIL miljöer,

AP2 – Öppna gränssnitt för integration av testbäddar och testplattformar,

AP3 – KPI:er och metodik för korrelation av simulering och fysisk provning.

Innan påbörjat arbetspaket genomfördes en kortare litteraturstudie samt samtal med experter inom RISE och AstaZero för att identifiera koncept som kunde tänkas vara kandidater för en djupdykning och lämpliga för praktisk implementation. Exempelvis identifierades open-source

metoder för radarsimulering till första arbetspaketet samt kandidater för öppna och generiska gränssnitt för andra arbetspaketet under denna inledande fas av projektet.

Koncepten har sedan både utnyttjats inom ett internt RISE projekt, vars resultat publicerats som en video [11], samt ett PoC med co-simulation av MIL/SIL karaktär. Det genererade resultatet och datan från både internprojektet och PoC'en extraherades och kunde sedan användas för att stå till grund för en KPI analys som ämnade sig för projektets 3:e arbetspaket och forskningsområde.

Slutligen har resultaten kommunicerats internt för att bidra till kunskapsspridning inom bolaget och som input för potentiella kommande projekt och samarbeten.

5 Mål

Målet med denna förstudie är att höja AstaZero's kunskaps och duglighetsnivå inom hybrid testning på olika nivåer (MIL/SIL/HIL/VIL) samt hur det kan jämföras med traditionell testning på provbana.

Målet har i sin tur brutits ner till ett antal punkter som är de förväntade resultat som skall ligga till grund för sömlös testintegration mellan olika testbäddar.

- Förhöjd duglighet och kunskapsnivå på AstaZero inom simulering och stimulering av radarer, öppna gränssnitt för mångsidig simulering, metodik för utvärdering av testmetoder via KPI:er, samt nyttjandet av KPI:er för verifiering på generell testplattform.
- Implementerad metodik för radarkaraktäristik i simulering och verifiering, baserad på projektresultat från FFI-projekt som HiFi radar target [5]. Metodiken appliceras för radarmål och dess karakteristik genom aktivt testutförande.
- Implementation av öppna gränssnitt för integrationen mellan Simulator, Sensor-modeller samt fysiska testobjekt, alltså skapa förutsättningar för så kallad hybridtestning.
- Utvärdering av open source modeller som stöd i utveckling och nyttjande av öppna gränssnitt för att realisera en flexibel testplattform.
- Förslag på metoder för utvärdering av testresultat mellan testplattformar i olika varianter via identifierade KPI:er.

6 Resultat och måluppfyllelse

I följande kapitel kommer leverabler och resultaten från respektive arbetspaket beskrivas utförligt. AP1 resulterade i en identifiering av tre metoder för att verifiera radarmål i en HIL/VIL miljö. Begränsningar och möjligheter med dessa utforskades varav en av metoderna implementerades i form av skapandet av en ideal radarsensormodell. AP2 tog fram ett PoC för hur gränssnittet "Open Simulation Interface" kan användas med fördel i "in-the-loop" miljöer och knöts ihop med radarsensormodellen ifrån AP1. AP3 levererade identifiering av KPI:er relevanta för ett ADAS system under AEB provning samt analys utav dessa med data ifrån ett internt samverkansprojekt med RISE kallat "Effektiv och samordnad testinfrastruktur och automatiserade transporter" som bland annat ämnade att utföra VIL provning i RISE's EMC kammare AWITAR [11]. Slutligen avslutas kapitlet med hur projektet har knutit an med FFI's mål och färdplan.

6.1 AP1: Metoder för verifiering av radarmål i HIL/VIL miljöer

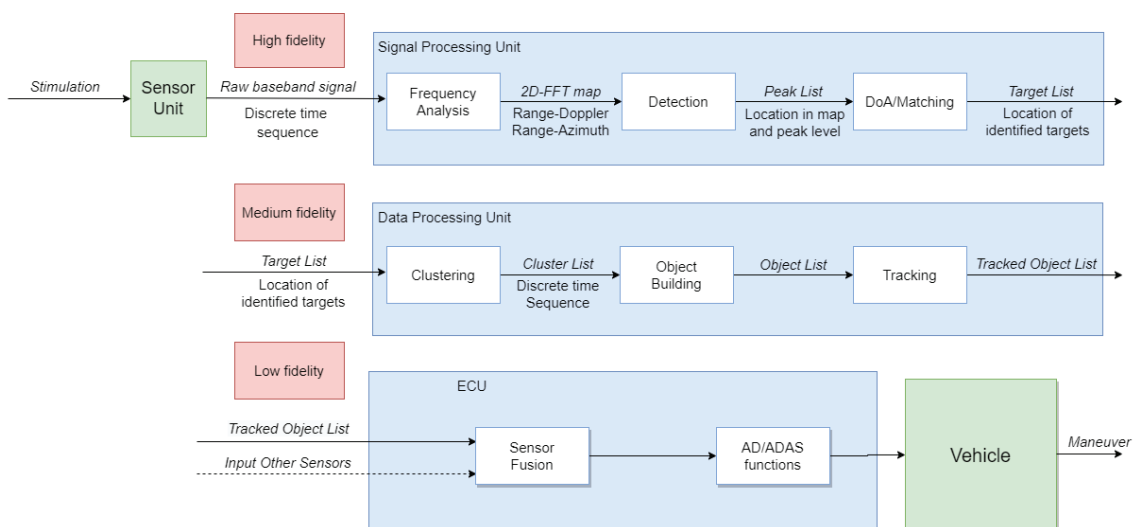
I föregående förstudien kartlagdes tre alternativ som mer eller mindre är mest lämpliga spår att utforska för att kunna verifiera radarmål i en HIL/VIL miljö. Dessa alternativ var,

1. Radarstimulering genom att med hårdvara såsom ASGAARD [12], DARTS [13] eller liknande produkter stimulera den fysiska radarn med radarekon.
2. Rådata injicering direkt in i radarns back-end eller in i elektroniska kontrollenheten (ECU) som utför radarns signalbehandling.
3. Injicering av radarobjektlistan till ECU'n som behandlar och prioriterar radarmål.

6.1.1 Studie av metoder för verifiering av radarmål

Metoderna presenterade ovan lämpar sig olika beroende på möjligheterna till testobjekt/komponent. För att kunna använda sig av de två sistnämnda på en fysisk radar eller bil krävs gränssnitt till lämplig ECU, dess interna kommunikation eller back-end lager. Värt att nämna är också att samtliga metoder tas med beaktningen att informationen om radarmålens positioner, rörelser och hastigheter skall i realtid kunna komma från en virtuell simuleringsmiljö såsom Carla [14], dSpace MotionDesk [15], IPG Carmaker [16], Siemens Simcenter Prescan [17] etc. Datat ut från virtuella miljön kan i sin tur också vara av olika fidelitetsnivåer. Med fidelitet menas alltså nivån av "exakthet" i återskapandet av datan i relation till verkliga radarekon från objekt ute i världen [18]. För att återskapa data som återspeglar en verklig radar behövs alltså en radarmodell uppföras. En studie kring sensormodeller av denna typ samt dess begränsningar och svårigheter genomfördes för att hämta inspiration. Svårigheter i att modellera radarsensorer av hög fidelitet beskrivs i [19]. Artikeln illustrerar tydligt stegen som används i en generell fordonsradar, något som återskapas i Figur 1.

Figur 1 nedan visas var de tre fidelitetsnivåerna går in i signalflödet för en typisk radarenhet där ju högre upp i flödet, dvs. närmare sensor enheten, desto lägre fidelitet. Fysisk sensorstimulering är längst ner i kedjan och har därmed högst fidelitet av alternativen. Däremot kan alternativ två göras på olika steg och därmed få olika fidelitet. Som exempel skulle man kunna bibehålla hög fidelitet genom att injicera rå basbandsdata. Medel fidelitet skulle kunna vara att injicera punktmoln med distanser och hastigheter till alla objekt som träffats. Det sista alternativet, med injicering av objektlistan är en låg fidelitet metod i och med att hela signalbehandlingen hoppas över. Rent konkret innebär dessa alternativ att man väljer vilken nivå av verifiering/validering som man är intresserad av. Detta är något som återkopplar till V-modellen som beskrevs i föregående förstudie [3] och i [18].



Figur 1. Beståndsdelar i typisk fordonsradar [19].

För AstaZero skulle radarstimulering kunna lämpa sig för att kunna utföra HIL/VIL provning då man sällan har kännedom om interna gränssnitt. Men denna metod kommer dessvärre med en del begränsningar. Detta är något som klargjorts både i FFI HiFi Radar Target [5] och uppföljningsprojektet FFI Conviction [7]. I dessa projekt klargjordes att radarstimulering och profilering av radarmål kommer med många svårigheter. Stor svårighet ligger i att realisera omvärlden med flera radarmål. Projekten har visat på att ett objekts radarkarakteristik inte bara består av RCS (mått på hur mycket energi som reflekteras tillbaka till radarn), utan också på hur reflektionspunkterna är distribuerade över objektet. Varje objekt kan sägas bestå av flera spridningspunkter. Flervägs signaler kan också skapa falska signaler som av radarn identifieras som objekt. Det går inte att säkert verifiera ett system utan att ta hänsyn till detta. Vidare anses den stimuli hårdvaran som finns på marknaden inte nödvändigtvis är framtagen för ADAS utveckling utan snarare "end-of-line" testning och kalibrering med singulära mål. Utöver detta togs beslut tidigt i denna förstudie att, på grund av otillgänglighet av den typ av hårdvara som krävs, att ingen tid kunde läggas på att utforska det alternativet i praktiken i en "in-the-loop" miljö. Därmed lades större fokus på att försöka identifiera metoder för de två alternativen av data injektion genom praktiskt utförande och utvärdering.

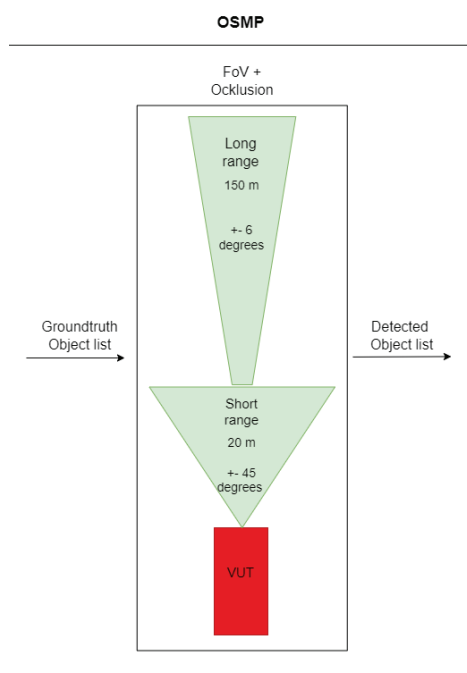
För injicering av rådata krävs en realistisk (beroende på fidelitet) radarsimuleringsmodell som utifrån objektmål och dess relativa orientering, position och hastighet kan producera data som liknar dess verkliga radarsvar. Då dessa typer av simuleringsmodeller sällan finns att tillgå genom open-source var utbudet ytterst begränsat. Men ett "open-source" projekt som hade potential var RadarSimPy [20]. Med hjälp av RadarSimPy kan man modellera sin egen "Frequency-modulated Continuous-wave" (FMCW) radar, som är allmänt använd inom fordonsbranschen, och göra både Radar cross-section (RCS) mätningar samt Range- och Dopplerprocessering av 3D-objekt. Som input till modellen krävdes en statisk 3D-modell av objektet/en som man vill simulera data på samt dess position, hastighet och rotation för att producera en Range Doppler karta utifrån objektets RCS karta. I figur 1 kan vi se vart i signalprocesserings flödet detta sker. Men en stor begränsning med denna modell var att det är väldigt beräkningstungt att utföra RCS mätningar i realtid. Ambitionen var att använda Carla som virtuell simuleringsmiljö och mata RadarSimPy med dynamiska objekt för att simulera ett "verkligt" test. Vad man hade behövt göra för att kunna åstadkomma detta är att man hårdkodar varje objekts RCS karta utifrån mätningar av varje individuellt objekts 3D-modell och kör sedan modellen i realtid med en allokerad processeringsenhet för att klara av den signalbehandling som krävs för att ge ut en objektlista. Om större budget hade funnits hade detta alternativ kunnat bli verklighet men beslutet togs att inte gå vidare med den typen av implementation för att inte övertrassera projektet. Forskningsvärdet i att utföra denna typ av implementation i Carla kan dock ifrågasättas då etablerade mjukvaror på marknaden från aktörer som IPG, Dspace och Siemens redan erbjudit sina kunder detta under längre tid. Hade tillgång funnits till mjukvara alternativt implementation utförts i Carla hade AP1 kunnat utforska metoder med högre fidelitet.

Utöver RadarSimPy så utforskades även Carlas egen radarmodell som endast producerar ett punktmoln utifrån förbestämda parametrar. Här fanns även ambitionen att utföra clustering algoritmer för att generera en objektlista men samma beslut som för RadarSimPy togs även här i mån av budget och önskvärd framfart på övriga arbetspaket.

6.1.2 Implementation av låg-fidelitets radarsensormodell

Utifrån inläsning av publicerade artiklar på ämnet kring skapandet av sensor modeller av olika fidelitet samt dess svårigheter [18] [19] skapades en bild av vad som krävs för att implementera olika typer av sensor modeller för radar. Därav, istället för att utforska vidare RadarSimPy och Carlas radarmodell gjordes begränsningen att (i samband med framsteg av AP2) skriva egen kod för en ideal radarsensormodell av låg fidelitet som paketerades som en Functional Mock-up unit

(FMU) [21] med ASAM standarden "Open Simulation Interface" (OSI) [22], som gränssnitt. Denna kombination kallar ASAM för "Open Simulation Model Packaging" (OSMP) [23], vilket denna model vidare kommer refereras som. Modellen togs fram utifrån generella parametrar för en medel- till långdistansradar som syns i Figur 2. Modellen implementerades genom att införa ett Field of View (FoV) och ocklusionsfilter som utifrån parametrarna utgör en kort- och långdistans radar. Detta visualiseras i Figur 2 där alla objekt som inte befinner sig innanför synfältet filtreras bort. Input till modellen är en objektlista av alla objekt i en befolkad virtuell miljö med deras "groundtruth" positioner, hastighet och riktning. Output från modellen är således en objektlista av de relevanta radarmålen.



Figur 2. Ideal radarsensormodell av låg fidelitet.

Avsnitt 6.2 går djupare in på hur och varför OSI och OSMP lämpade för sig för detta ändamål och blev en beståndsdel för ett "Proof of Concept" (PoC) som togs fram som ett gemensamt resultat för AP1 och AP2.

6.2 AP2: Öppna gränssnitt för integration av testbäddar och testplattformar

I arbetspaket två lades kraft på att försöka identifiera och testa lämpliga öppna gränssnitt för att kunna möjliggöra hybridtestning. ASAM's två standarder "X-in-the-loop" (XIL) [24] och OSI [22] valdes ut som kandidater att undersöka vidare.

6.2.1. ASAM XIL

ASAM XIL har tagits fram med syftet att enklare knyta testmjukvara med hårdvara (typiskt HIL hårdvara). Motivet till detta är att det finns flera olika typer av HIL tillverkare som alla används med olika mjukvaror för bland annat testautomation. XIL standarden skapades därmed som ett standardiserat API för den typen av ändamål. Dock är inte allt i standarden framtaget för att supportera HIL. XIL har även kapabiliteten att knyta an till simuleringsmiljöer vilket främjar möjligheten att låta utvecklare använda samma testramverk tidigt under utvecklingen när man vill börja med MIL, SIL och i senare skede testa samma fall i HIL. Även om det inte benämns i standarden så finns även potential att använda gränssnittet även för VIL vilket är gör att XIL är, som namnet indikerar, menat att passa in under alla nivåer, "X" in the loop. Utöver på läsning av XIL

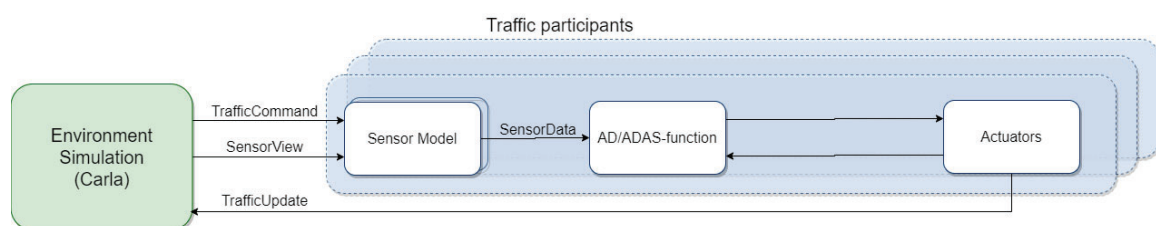
gjordes dock inga konkreta praktiska implementationer av XIL under projektet. Men i och med att XIL framförallt lämpar sig för testramverk med HIL hårdvara togs beslutet att inte göra några egna praktiska implementationer med gränssnittet då projektet ej hade den tillgängligheten.

6.2.2. ASAM OSI

Istället för XIL lades kraft på att vidare utforska Open Simulation Interface (OSI) som är, likt föregående förstudie identifierat som, ett gränssnitt för att kommunicera mellan sensormodell och simuleringsmiljö. OSI är baserat på Google protocol buffer och är utvecklat för att stödja sensorperception för autonoma funktioner i virtuella miljöer och scenarion. OSI definierar flera nivåer av meddelanden för att kunna utbyta information mellan modeller och simulering. Beroende på syfte kan OSI användas för att modellera flera olika lager av en sensormodell, som presenterades i kapitel 6.1.1 i Figur 1, eller ADAS/AD funktioner men också för att knyta an dessa modeller genom "co-simulation" med en simuleringsmiljö likt Carla. Figur 3 illustrerar hur denna kedja skulle kunna se ut. Pilarna i figuren namnges av de fyra toppnivåer av meddelanden som OSI stödjer. Nedan följer en kort beskrivning av vad för information som meddelanden utgör.

- **SensorView.** Sensor input som till exempel "groundtruth" information om objekten (position, hastighet och dylikt) eller rå sensorinformation som kamerabilder (pixlar).
- **SensorData.** Processerad sensorinput som till exempel en objektlista på detekterade objekt eller detektioner av rå karaktär.
- **TrafficCommand.** Typiska kommandon för testobjekt eller målobjekt i en virtuell simuleringsmiljö. Däribland, följ trajektoria, filbyte, eller teleportera till position X.
- **TrafficUpdate.** Uppdaterad information om trafikdeltagaren i simuleringen. Exempel är information om inbromsning eller ny position som ett resultat av att en aktuator har gjort ett utfall på fordonet.

Värt att notera är att meddelanden har XML struktur med många valfria undernivåer. Detta för att gränssnitten skall vara så generiskt som möjligt och stödja modeller från låg- till hög fidelitet. OSI stödjer de fyra vanligaste sensorerna inom fordonsbranschen, Radar, Kamera, Lidar samt Ultraljud, och som kort beskrevs ovan finns stöd för att modellera dessa beroende på fidelitetsnivå.



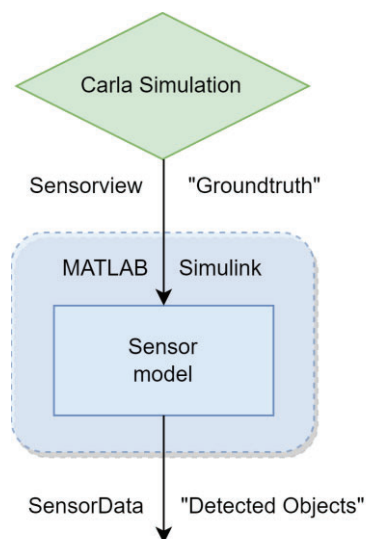
Figur 3. Co-simulation kedja för en trafikdeltagare med OSI som gränssnitt [27].

Som kort beskrevs i föregående kapitel implementerades OSI på en ideal radarsensormodell. Denna modell blev ett första steg i att utforska flexibiliteten med OSI och dess potential i en VIL plattform. Modellen implementerades med C++ och paketerades som en FMU genom OSMP. OSMP modellen hade I/O definierat av SensorView/SensorData. I och med att modellen var av låg fidelitet användes endast "Groundtruth" som undernivå av SensorView. I groundtruth förses modellen med en objektlista med relevanta objekt, dess positioner och hastighet. Som beskrivet i 6.1.2 och Figur 2 utför modellen sedan en filtrering av objekten baserat på sensorns FoV. Output på modellen är således en objektlista av "Detected object", vilket är en undernivå i SensorData, med information om deras positioner och hastigheter.

6.2.3. Co-simulation med Carla simulator och sensormodell

För att illustrera metodik för verifiering av radarsensormodellens output behövde modellen få kontinuerlig input från en simuleringsmiljö. För detta ändamål användes Carla. I och med att Carla är ett open-source projekt utan stöd för OSI krävdes att ett implementeringsjobb i Carlas API. Stöd för Groundtruth (SensorView) och TrafficUpdate meddelanden implementerades i Carla för att i slutändan kunna sluta loopen som illustreras i Figur 4. Implementeringen utfördes på ett sådant sätt att OSI meddelanden kunde skickas via TCP eller UDP och informationen översattes till kommandon i Carlas eget API. Carla kunde sedan strömma SensorView meddelanden med groundtruth information om samtliga virtuella fordonsobjekt samt ta emot TrafficUpdate meddelanden.

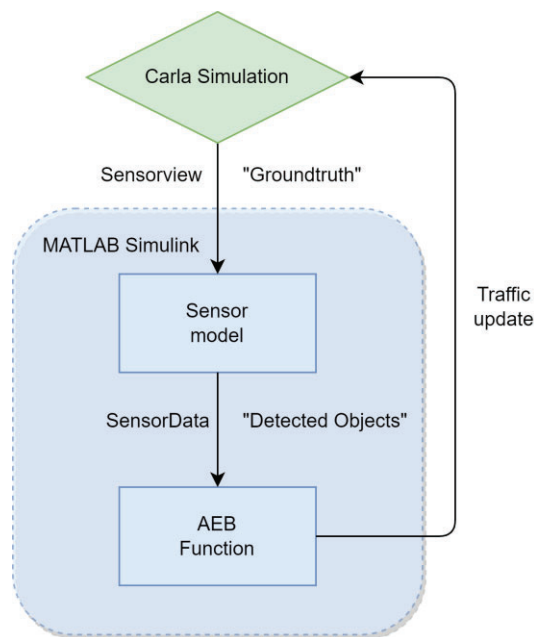
Som ett första steg kopplades Carla's SensorView ström ihop med radarsensormodellen genom att använda MATLAB Simulink. I och med att modellen är paketerat med OSMP som en FMU behövs en miljö som kan exekvera modellen synkroniserat. Simulink har stöd för FMU import vilket gjorde att verktyget valdes som verktyg för att förverkliga co-simulation med vår sensormodell. Därmed kunde validering av radarsensormodellen utföras genom att verifiera att SensorData outputen indikerade att endast relevanta objekt innanför dess FoV detekterades av sensorn.



Figur 4. Co-simulation kedja med Carla och sensormodell.

6.2.4. PoC: Sluten co-simulation med Carla simulator, sensormodell och AEB funktion

För att sluta loopen och testa fler element i en funktionell kedja så utvecklades en AEB-funktion i C++ med OSMP, på samma sätt som radarsensormodellen, som konsumerade SensorData och skickade ut TrafficUpdate med information om att objekt skall utföra inbromsning med statiska värden för retardation. I Carla implementerades även stöd för att tolka den informationen och bromsa virtuella objektet med samma retardation.



Figur 5. Slutna co-simulation med Carla, sensormodell och AEB funktion.

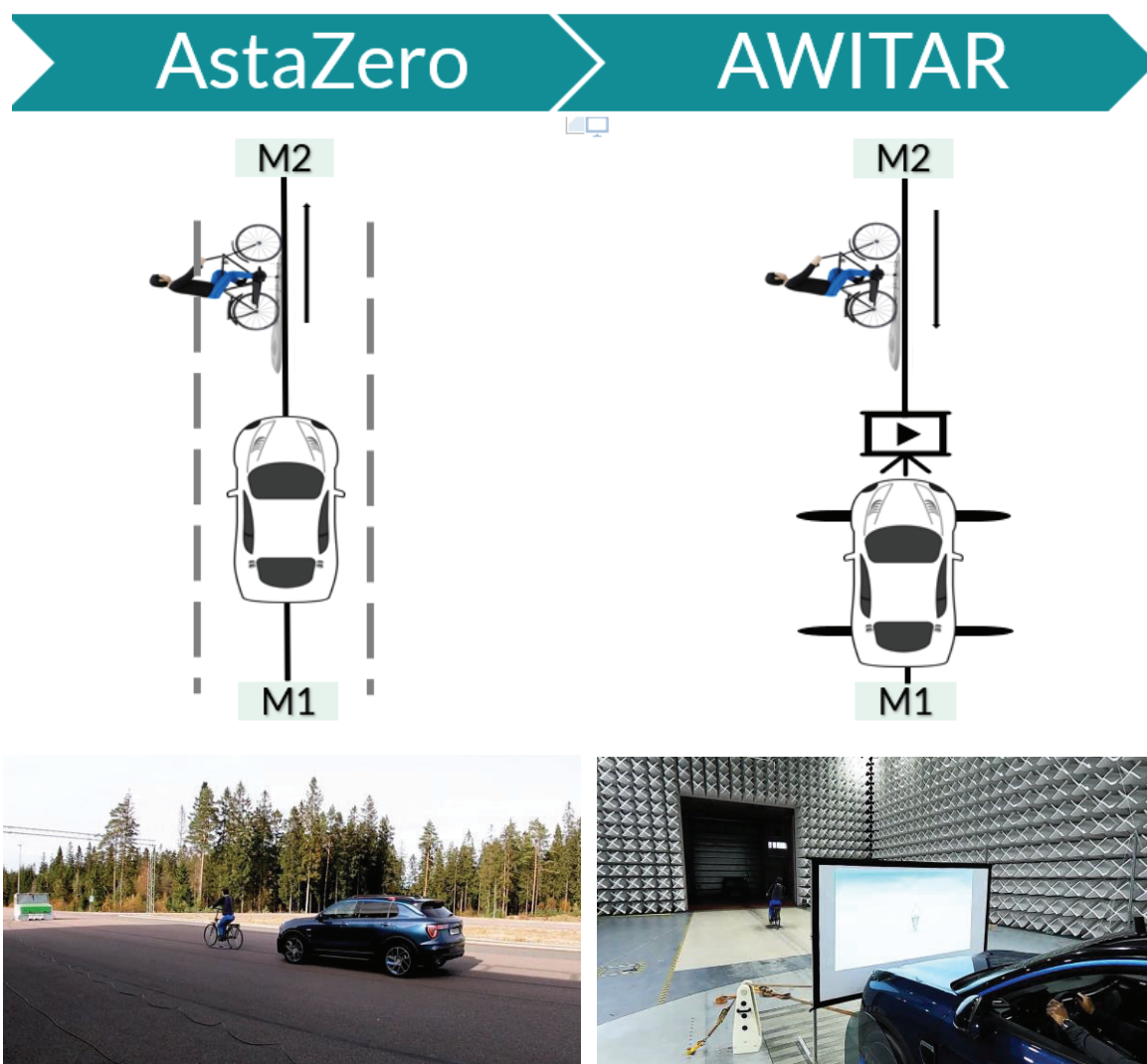
När systemet är slutet kan ett virtuellt fordon adapteras till omvärlden i Carla. I Figur 5 visas hur kedjan ser ut när systemet är slutet och kan nu klassas som en "in-the-loop" miljö. AEB funktionen designades på liknande sätt som en "verklig" AEB funktion där funktionen räknar ut ett värde på tiden till eventuell kollision (TTC) med framförvarande objekt och triggerar en inbromsning vid valda värden. Inbromsningen brukar ske i två steg där vid ett första tröskelvärde endast lägger på en "pre-brake" och kort därefter en "fullbrake" om inte föraren själv hunnit reagera.

Genom att binda ihop kedjan med hjälp av det öppna gränssnittet OSI så skapar man sig stora möjligheter att testa olika delar av ett ADAS system där varje del kan ses som ett utbytbar block som egentligen kan vara en "svart låda". Detta tankesätt gav visionen om ett PoC där en oberoende part, såsom AstaZero, skulle kunna utföra verifiering genom att nyttja ett liknande testförfarande. Konceptet som bevisas är hur en sensormodell och/eller funktionsmodeller kan paketeras med OSMP och utnyttjas i en testkedja, där vi i detta fall endast simulerat samtliga delar av systemet, vilket man skulle hänvisa som MIL eller möjligen SIL (beroende på komplexiteten av blocken). Men i teorin skulle dessa block kunna exekveras i fysisk hårdvara, HIL, eller till och med ett riktigt testobjekt och bli byggstenar i ett VIL förfarande. I det sistnämnda skulle funktionsmodellens output behöva knytas med ett fordonens faktiska aktuatorer givet att man har tillgång att kommunicera med dessa.

Projektet hade som ambition att göra ett testutförande med ett fordon som AstaZero innehar, där man har möjlighet att kommunicera med dess aktuatorer. Detta hade krävt att en koppling mellan fordonets interna kommunikation som sker via CAN och OSI output från det simulerade funktionsblocket. På grund av projektets budget och omfattning nöjde man sig med att utföra ett virtuellt AEB prov som följer ett testfall ur testprotokollet Euro NCAP AEB VRU systems [25] helt simulerat med det slutna co-simulation systemet. Testfallet som valdes var CBLA, vilket innebär fordon mot cyklist i longitudinell riktning. Anledningen till detta var att samma prov utfördes i ett internt samverkansprojekt som ville utforska konceptet VIL i praktiken. Därav kunde resultaten från båda projekten användas som input för det sista delprojektet av denna förstudie som berör korrelation av simulering och fysisk provning. Mer om detta i nästkommande kapitel.

6.3 AP3: KPI:er och metodik för korrelation av simulering och fysisk provning

Parallellt med denna förstudie utfördes ett internt samverkansprojekt ihop med RISE som ville inkorporera konceptet VIL inuti RISE's EMC kammare AWITAR [11]. Projektet "Effektiv och samordnad testinfrastruktur och automatiserade transporter" vidare benämnt som ESTAT, vars pilotprojekt ämnade att utföra ett ADAS prov inuti AWITAR med ett komplett fordon stående på chassidynamometrar. ESTAT tog inspiration från denna förstudie och föregående och ville utforska just hybridtestning av virtuella och fysiska element vilket gjorde att synergier mellan projekten uppstod.



Figur 6. ESTAT testuppsättning på AstaZero och i AWITAR.

Pilotprojektet hade flera delmål och arbetspaket men slutmålet var att lyckas utföra ett prov med avsikt verifiera ett fordonets inbyggda AEB funktion när fordonet kördes på kammarens chassidynamometrar. Tanken var sedan att samma testförförande, CBLA, också skulle utföras på AstaZero för att i slutändan kunna göra en jämförelse av resultatet från AWITAR och göra en analys av provets tillförlitlighet. Då fordonets AEB system bestod sensormässigt av kamera och radar behövdes dessa stimuleras. Kameran stimulerades genom att ett virtuellt fordonets vy i Carla simulatorn visades på en projektorduk framför fordonet. Det virtuella fordonets rörelser bestämdes av det fysiska fordonets rörelser på dynamometern genom att mata in i Carla hastigheten från dynamometern i realtid. För att stimulera radarn så användes en målbärrrobot som drog ett

cyklistmål. För att skapa en realistisk situation slöts även en loop mellan robotens rörelse och ett virtuellt cykelmål i Carla så att radarmålets rörelse även reflekterades i realtid för kameran på projektorduken. Fordonets inläsning av GNSS position ändrades med GPS "spoofing" och ändrades även i realtid med testutförandet vilket gjorde att fordonets navigationssystem uppfattade att det befann sig på AstaZeros provbana. Detta för att efterlikna det fysiska provet så mycket som möjligt.

6.3.1 Identifiering av KPI:er

I samband med ESTAT projektets framfart så identifierades, inom ramarna för denna förstudie, vilka KPI:er eller mätvärden som är av relevans för ett kamera- och radarbaserat AEB system. Dessa skulle användas för att kunna jämföra resultat från ESTAT, dels från prov i AWITAR, dels från test på AstaZero provbana, samt från helt simulerade prov såsom co-simulation med sensor och funktionsmodeller som påvisades i AP2. KPI:erna identifierades genom en kort litteraturstudie samt intervjuer med experter inom AstaZero och RISE med erfarenhet av Euro NCAP provning och ADAS system. De identifierade KPI:erna presenteras i Tabell 1.

De flesta mätvärdena är identifierade med perspektivet av att det finns möjlighet att ta reda på det faktiska värdet, dess "groundtruth", med extern mätutrustning. Rent konkret skulle man kunna hävda ur ett högnivåperspektiv att om man skulle uppmäta samma eller liknande värden vid fysisk provning på provbana som på i den VIL uppsättning som testades i AWITAR kammaren med eller utan simulerade element så skulle dess resultat vara jämförelsebart. Det finns självklart fler sensorspecifika mätvärden som kan vara av intresse för att använda när man vill jämföra eller korrelera simulering och fysisk provning men dessa är inte helt enkla att mäta på. Det man behöver göra i det fallet är att göra en djupdykning i respektive sensor och utvärdera på lägre nivå dess karaktäristik, något som genomförts för radar i HiFi Radar Target [5] och Conviction [7]. De KPI:erna som identifierades för denna förstudie begränsades till dem som gick att mäta på. Avgränsningen gjordes utifrån den insyn man hade i kommunikationen i fordonet samt dess sensorer som användes inuti kammaren. Navigationssystemets påverkan på testresultatet har inte tagits hänsyn till under denna förstudie då ADAS-systemet under test inte tar hänsyn till fordonets position under ett AEB-prov.

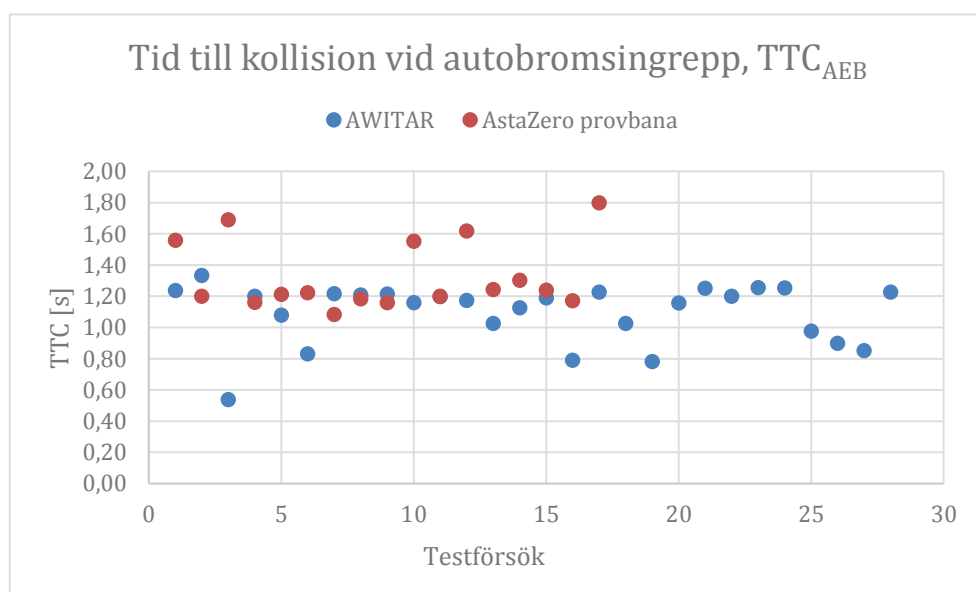
Tabell 1. Identifierade KPI:er med relevans för AEB prov med ADAS system bestående av kamera- och radarsensorer.

KPI [unit]	Description (what to measure)	Responsible Unit	With reference to	Data analysed in ESTAT
ACC _D [%]	1. Distance accuracy	Radar	Target	X
ACC _V [%]	2. Velocity accuracy	Radar	Target	X
ACC _{TTC} [%]	3. TTC accuracy (function of 1&2)	Radar	Target	X
ACC _{Pos,target} [%]	4. Positional accuracy	Radar, Camera	Target	
ACC _{Pos,ego} [%]	5. Positional accuracy (ego)	Camera, GPS/GNSS	VUT	
ACC _{Heading} [%]	6. Heading accuracy	IMU/PSCM	VUT	
ACC _{obj_class} (d _{obj_class} , B _{obj_class} , C _{obj_class}) [%]	7. Object classification accuracy a. Distance of classification b. Correctness of classification c. Confidence of classification	Camera, radar	Target	X (7.b)
N _{false_det} [No.]	8. False detections (ghosts etc)	Camera, radar	Target(s)	
SNR _{radar} [%]	9. SNR (Signal/Noise ratio)	Radar	Noise	
C _{target} [Scale from manufacturer]	10. General target confidence (How confident is the system the target exists)	Camera, radar	Target	
ACC _{Brake} (Br _{req} , Br _{out} , T) [% over time]	11. Braking accuracy (Deceleration outcome/deceleration request)	ECU that calculates deceleration request, ECU that calculates brake effect from request	VUT/Dynamometer friction	X
T _{reac} [ms]	12. Reaction time	Internal communication, ECU that calculates request	VUT	
TTC _{AEB} [s]	13. Time to collision with target when AEB activation	ECU that issues AEB activation	Target	X

6.3.2 Jämförelse och korrelation av testresultat från ESTAT

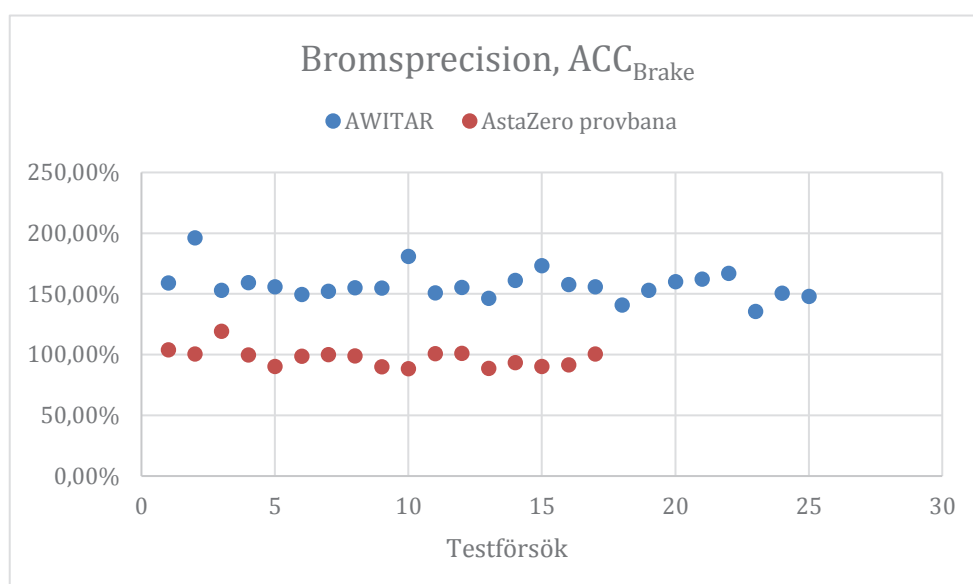
När data från ESTAT sedan kunde analyseras kunde man tydligt se skillnader och korrelation. I och med att fysiskt målobjekt nyttjades sågs inga större skillnader på radarns precision ACC_D , och ACC_V inuti AWITAR. Kamerans precision av målobjekts (virtuella cykeln) position och distans var däremot bättre än när test på provbana genomfördes. Detta bör förklaras av att bilden som visualiserades för kameran ställdes in för att stämma överens så mycket som möjligt med verkligheten. Men kontentan är att utformandet var så pass bra att sensorsystemets fusion kunde utan problem avgöra att det fysiska radarmålet och det virtuella cykelmålet var samma målobjekt som triggade en AEB inbromsning vid varje testutförande. Något som också visade skillnad var sensorernas klassifikation av målobjekten. Med det virtuella cykelmålet inuti kammaren gjorde sensorsystemet bedömningen att objektet faktiskt var en cykel/motorcykel majoriteten av testförsöken. Medan vid test på provbana varierade bedömningen kring olika klasser. Slutsatsen kan dras att det virtuella cykelmålet, som utgjordes av en realistisk cyklist, ser för ADAS-systemet på testobjektet ut mer ut som en verklig cyklist än den typ av docka som används vid Euro NCAP provning.

Miljömässiga faktorer såsom kammarens utformning, radarabsorberade egenskaper samt friktionsunderlaget (chassidynamometern), hade stor påverkan på testresultaten. Även om ingen djupgående analys av miljöns påverkan kunde genomföras så var det tydligt att systemet hade svårt att behärska det faktum att fordonet stod still "fysiskt" men får information från hjulsensorerna att fordonet rör på sig. I och med att radarsystem genomför filtrering av statiska objekt så blir resultatet av att stå still på en dynamometer att nästintill ingenting filtreras bort då systemet förväntar sig att statiska objekt rör sig, relativt fordonet, i samma hastighet fast i motsatt riktning. Förhoppningen var att kammarens absorberer skulle lösa det problemet men då dessa endast fungerar upp mot 20 GHz och radarn på fordonet använder sig av en 77 GHz radar (typiskt frekvensintervall för automotive radarer). Konsekvensen av detta blev alltså att radarn upplevde omgivningen som en mängd av olika objekt, falskdetektioner eller "spökmål", som rör sig i samma hastighet som fordonet själv. Detta hindrade inte systemet från att ingripa när det faktiska målobjektet närmade sig fordonet men potentiella konsekvenser hade behövt bli studerat. Det kan konstateras att tiden till kollision, TTC_{AEB} , vid autobromsaktivering skiljer sig vid jämförelse av testresultaten mellan AWITAR och AstaZero provbana. Resultaten från AWITAR har i genomsnitt en lägre TTC vid aktivering av funktionen, se Figur 7. Slutsatsen kan dras att systemet har viss svårighet att uppfatta målobjektet som ett hot på grund av störningarna som skapas i AWITAR. Därmed aktiveras bromssystemet för sent i en delmängd av testfallen.



Figur 7. Tid till kollision vid autobromsaktivering under AEB testförsök i VIL miljö inuti AWITAR jämfört med vanligt prov på AstaZero.

Utöver de miljömässiga faktorerna som påverkade radarsystemet så fanns även skillnader i fordonets inbromsning, med andra ord "bromseffekt", som var en av de parametrar som identifierades som en av KPI:er i Tabell 1. På grund av att fordonet framfördes på chassidynamometer i kammaren så gjordes antagandet att dess friktion vid en hastig inbromsning skulle ha en påverkan på denna KPI. Antagandet visade sig vara korrekt. Under test på AstaZero's provbana kunde en bromseffekt, i detta fall, den deceleration som ADAS-systemet begär av fordonet satt i relation till den faktiska decelerationen, uppmätas till nästan likvärdig vid varje testutfall. Antagandet kunde därmed göras att fordonets bromseffekt vid perfekta friktionsförhållanden på torr asfalt bör ligga runt 100%. Spridningen på testutfallen kan ses i Figur 8. I samma figur är även samma mätning genomförd från testfallen inuti AWITAR. Vid de testfallen kan en tydlig skillnad ses att resultatet låg 150% i genomsnitt. Med andra ord så vid de AEB inbromsningar inuti kammaren så skedde det alltid en viss "överkorrektin", alltså att den faktiska decelerationen var i genomsnitt 1.5 ggr högre än den begärda decelerationen. Slutsatsen kunde dras att dynamometerns tröghet och friktion begränsar fordonets inbromsning vilket gör att inbromsningen på fordonet inte återspeglar ett test på provbana.



Figur 8. Utkomsten av inbromsning under AEB testförsök i VIL miljö inuti AWITAR jämfört med vanligt prov på AstaZero.

De analyser som beskrivits är de som var möjliga att utföra givet den tillgång av gränssnitt, kunskap kring fordonet och dess sensorer som användes i ESTAT. En bredare analys mot samtliga KPI:er i Tabell 1 hade kunnat ge information men givet denna förstudies omfång ansågs det räcka för att kunna dra slutsatser kring resultatens korrelation.

6.3.3 Jämförelse och korrelation av testresultat från simulering

Som tidigare beskrivet i AP2 utformades ett PoC där en co-simulation i Carla sattes upp för att påvisa ett av användningsområdena för OSI. I och med att detta koncept närmast kan beskrivas som MIL eller SIL med helt virtuella element var ambitionen att även här kunna använda dess resultat för att jämföra och korrelera med verklig provning. För att göra detta återanvändes scenariot från ESTAT med hjälp av OpenScenario [26] och därmed kunde exakt samma testscenario utföras helt simulerat. I och med att samtliga delar av simuleringen med sensormodell, AEB funktionsmodell och virtuellt fordon i Carla med tillhörande aktuatorer, inte var tillräckligt överensstämmande med det fysiska fordonet och dess system är resultaten ej jämförelsebara rakt av. Däremot om en fordonsdynamiks modell som stämt överens med fordonet

som användes i ESTAT hade integrerats på Carlas virtuella fordon hade korrelation kunnat vara mer märkbar. Detta då åtminstone den AEB funktionen som utvecklades i AP2 anpassades till att vara utformad likt den AEB funktionalitet som det verkliga fordonet innehar.

Den viktiga leverabeln utav detta blev snarare det faktum att en metodik utformats för att kunna jämföra och korrelera simulerade resultat med verklig provning. Detta med hjälp av det PoC som tagits fram där samtliga funktionella block och modeller i kedjan kan bytas ut mot block med högre fidelitet givet att de stödjer OSI. AstaZero har således byggt upp kunskap och möjligheter kring simulerade prov och skulle med hjälp av fordonsleverantörer och/eller sensortillverkare ha kapabiliteten att utforma dessa mer verklighetstroget.

6.4 FFI måluppfyllelse

Huvudsakliga målet med denna förstudie har varit att höja AstaZero's kompetens och kunskap inom ADAS/AD provning genom att utforska de olika "in the loop" nivåerna i samband med hybridtestning. Vidare kan denna kompetensuppbyggnad och utökade duglighetsnivå användas för att bidra till provning som främjar framfarten av autonoma funktioner. Det är något som i sin tur skulle kunna förbättra trafiksäkerheten och minska skador och dödsfall i trafikolyckor. Detta både genom att utöva mer effektiv testning och genom att bidra till metoder och tillvägagångssätt för en bättre testinfrastruktur som kan integrera olika testbäddar och testplattformar.

7 Spridning och publicering

Projektet har ej presenterats externt. Däremot har intern kunskapsspridning skett parallellt under projektets gång. Projekt som gynnats av projektets framfart är bland annat FFI projektet "Simulering och AR/VR-visualisering av AstaZero" nyttjat koncept, metoder och resultat som input för dess utförande. Kunskapsöverföring har även skett med FFI projektet Conviction där slutsatser har diskuterats med projektmedlemmar. Som beskrivet i utförligare detalj i tidigare kapitel har projektet haft stora synergier med det interna samverkansprojektet ESTAT där data och resultat har delats mellan projekten. Utöver dessa projekt kommer FFI projektet EVIDENT ta lärdom av slutsatserna i detta projekt och kunna återanvända en delmängd av de metoder som utvecklats.

Ambitionen har varit att projektet även skall leda till ev. uppföljning i form av bredare kompetensprojekt alternativt samverkansprojekt med industrin. Dock är detta något som ej har blivit realiserat under projektets gång.

Inga andra publiceringar utöver denna rapport har skett från projektet.

7.1 Kunskaps- och resultatspridning

Hur har/planeras projektresultatet användas och spridas?	Markera med X	Kommentar
Öka kunskapen inom området	X	Projektet har ökat AstaZero's kompetens kring "in-the-loop" testning och utvalda verktyg och metoder för integration mellan olika testbäddar genom praktiskt utförande och analys av testresultat.
Föras vidare till andra avancerade tekniska utvecklingsprojekt	X	Resultat och metoder har använts inom andra FFI projekt. Data och analys har även delats med samverkansprojektet ESTAT ihop med RISE. Återanvändning och vidareutveckling av koncept är tänkt att genomföras inom FFI projektet EVIDENT.
Föras vidare till produktutvecklingsprojekt	X	Projektet har påvisat ett koncept som kan användas eller byggas vidare på för att skapa en simuleringskedja som kan användas för testning.
Introduceras på marknaden		
Användas i utredningar/regelverk/tillståndsärenden/ politiska beslut		

8 Slutsatser och fortsatt forskning

Projektet har kommit fram till slutsatserna nedan:

- Perceptions delen av en radarkomponent i ett ADAS system lämpar sig nödvändigtvis inte för VIL provning. Genom att injicera radarmål högre upp i signalbehandlingskedjan kan man utesluta delar i kedjan som inte är intressant ur en funktionsprovningssynpunkt.
- ASAM's gränssnitt OSI kan med fördel användas som en möjliggörare för att knyta an simulerade element i VIL provning. Ett PoC har genomförts för att påvisa dess potential vilket redogjorts i kapitel 6.2.4.
- Sensorspecifika mätvärden (KPI:er) kan användas för att identifiera skillnader och tecken på korrelation för jämförelse mellan testresultat från simulering, VIL-provning och traditionellt prov på testbana.
- Utförande av Euro NCAP CLBA testfall, tillfredsställande provresultat och metodik för att påvisa korrelation går att uppmäta i en VIL uppsättning som redogörs för i kapitel 6.3.
- Fordonsdynamiska effekter på en VIL plattform har stor betydelse för ett AEB prov. Dess påverkan på ADAS-systemet behöver genomföras i djupare analys.
- Miljömässiga effekter på sensorsystemet i en VIL plattform såsom radarbrus och falskdetektioner vid rullande fast stillastående prov har potentiell påverkan på testresultatet. En grundläggande analys behöver genomföras för att säkerställa graden av dess påverkan.

- Ett samverkansprojekt med godtycklig OEM kan utformas för att besvara huruvida testresultat från en VIL-plattform, likt den som beskrivs i kapitel 6.3., kan godtas. Detta då OEM specifik information om testfordonets fordonsdynamiska modeller behöver kunna tas i beaktning när man blandar in simulerade element i sin provmetod. Detta utvecklas vidare i kapitel 8.1 *Fortsatt forskning*.

8.1 Fortsatt forskning

Flertalet områden har identifierats för fortsatt forskning och vidareutveckling. Vad som fortfarande är väldigt intressant ur forskningssynpunkt är hur simulering och prov utförda med simulerade element, så kallat hybridtestning, korrelerar med fysisk provning. Denna fråga kan ej besvaras på utan att göra en djupdykning, förslagsvis ihop med en OEM eller leverantör av ADAS-system, i testresultat av båda typer. Frågan skulle kunna tacklas genom att i första hand förse sin simuleringsmiljö en fordonsdynamiks modell så att det simulerade fordonet förflyttar sig på samma sätt som ett verkligt fordon. När den biten är på plats finns alla möjligheter att koppla samman den kedja som påvisades i AP2 och utföra VIL eller HIL provning med högre fidelitet.

Denna förstudie har endast skrapat ytan på ämnet men har lyckats att identifiera KPI:er som är av intresse ur ett sensorperspektiv och bevisat att dessa kan användas för att jämföra och korrelera provresultat mellan olika testplattformar. Vidare forskning och förståelse kring resultatet av att stimulera sensorer med virtuella data ifrån simulering behöver åstadkommas för att kunna dra generella slutsatser kring tillförlitligheten av användandet under hybridtest. En metodik för hur man kan testa sina sensormodeller och väva in dess funktionalitet i en simuleringskedja har identifierats under projektets gång men en utförligare analys behöver genomgå, gärna ihop med en sensortillverkare, för att kunna urskilja all dess potential och brister.

Slutligen har förstudien konstaterat att mycket kan vinnas på att använda metoder där man hoppar över perceptionsdelen av ett ADAS-system, genom att antingen injicera objekt eller rådata som i sin tur översätts till en objektlista, när en funktion eller system skall testas i en "in the loop" miljö. Denna metod behöver testas i ett bredare sammanhang för att kunna konstatera hur effektivt det skulle vara att testa perception och funktionsbaserade ingrepp separat.

9 Deltagande parter och kontaktpersoner

AstaZero har varit ensam part i projektet, kontaktpersoner från AstaZero är:

Fredrik Åkeson
CTO
fredrik.akeson@astazero.com

Albin Nykvist
Projektledare/Forsknings &
utvecklingsingenjör
albin.nykvist@astazero.com

AstaZero

10 Referenser

- [1] R. Fletcher, M. Abhijit, N. Santhanam och A. Tschiesner, "The case for an end-to-end automotive-software platform," 2020.
- [2] O.-R. A. D. (ORAD), "SEA Mobilus," April 2021. [Online]. Available: https://www.sae.org/standards/content/j3016_202104. [Använd 20 Augusti 2022].
- [3] J. Jakobsson och T. Hoang, "Förstudie - Verifiering av aktiva säkerhetssystem i chassidynamometer," FFI - Fordonsstrategisk Forskning och Innovation, 2020.
- [4] Q. Jindai, "FAW Hongqi: Is it okay, Ph(v)il?," dSpace, [Online]. Available: <https://www.dspace.com/en/pub/home/applicationfields/stories/faw-hongqi-is-it-okay-phvil.cfm>. [Använd 29 Augusti 2022].
- [5] K. Karlsson, H. Toss, J. Lang, F. Costagliola, T. Zheng och E. Marel, "HiFI Radar Target," FFI - Fordonsstrategisk Forskning och Innovation, 2018.
- [6] L. Pettersson, "Radar Target Simulator," FFI - Fordonsstrategisk Forskning och Innovation, 2018.
- [7] Vinnova, "Conviction," FFI - Fordonsstrategisk Forskning och Innovation, [Online]. Available: <https://www.vinnova.se/p/conviction/>. [Använd 30 Augusti 2022].
- [8] Association for Standardization of Automation and Measuring systems, "ASAM," [Online]. Available: <https://www.asam.net/>. [Använd 25 Augusti 2022].
- [9] Vinnova, "Etablera Virtuell Validering och Verifiering av ADAS- och AD-funktioner," FFI - Fordonsstrategisk Forskning och Innovation, [Online]. Available: <https://www.vinnova.se/p/etablera-virtuell-validering-och-verifiering-av-adas--och-ad-funktioner/>. [Använd 30 Augusti 2022].
- [10] Vinnova, "Simulering och AR/VR-visualisering av AstaZero," FFI - Fordonsstrategisk Forskning och Innovation, [Online]. Available: <https://www.vinnova.se/p/simulering-och-arvr-visualisering-av-astazero/>. [Använd 30 Augusti 2022].
- [11] RISE, "Virtualiserade fordonstester i kontrollerad miljö," RISE; AstaZero, [Online]. Available: <https://www.ri.se/sv/erbjudande/virtualiserade-fordonstester-i-kontrollerad-miljo>. [Använd 29 Augusti 2022].
- [12] UniqueSec AB, "Automated Scenario Generator for Automotive Radar Verification," [Online]. Available: <https://www.uniquesec.com/products/asgard1/>. [Använd 27 Augusti 2022].
- [13] dSPACE, "dSPACE Automotive Radar Test Systems (DARTS)," [Online]. Available: <https://www.dspace.com/en/inc/home/products/systems/darts.cfm>. [Använd 22 Augusti 2022].
- [14] A. Dosovitskiy, G. Ros, F. Codevilla, A. Lopez och V. Koltun, "CARLA: An Open Urban Driving Simulator," i *Proceedings of the 1st Annual Conference on Robot Learning*, 2017.
- [15] dSPACE, "MotionDesk; 3-D Online Animation of Simulated Mechanical Systems in Real Time," [Online]. Available: <https://www.dspace.com/en/pub/home/products/sw/experimentandvisualization/motiondesk.cfm>. [Använd 21 Augusti 2022].
- [16] IPG Automotive, "CarMaker," IPG Automotive, [Online]. Available: <https://ipg-automotive.com/en/products-solutions/software/carmaker/>. [Använd 30 Augusti 2022].
- [17] Siemens, "Simcenter Prescan; Develop more reliable and safer automated vehicle functionalities," Siemens, [Online]. Available: <https://www.plm.automation.siemens.com/global/en/products/simcenter/prescan.html?stc=sedi100003>. [Använd 30 Augusti 2022].
- [18] B. e. a. Schlager, "State-of-the-Art Sensor Models for Virtual Testing of Advanced Driver Assistance Systems/Autonomous Driving Functions," *SAE International Journal of Connected and Automated Vehicles*, vol. 3, pp. 233-261, 2020.
- [19] M. e. a. Holder, "Measurements revealing Challenges in Radar Sensor Modeling for Virtual Validation of Autonomous Driving," i *2018 21st International Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC)*, 2018.

- [20] Z. Peng, "RadarSimPy," [Online]. Available: <https://github.com/rookiepeng/radarsimpy>. [Använd 27 Augusti 2022].
- [21] Modelica Association, "Functional Mock-up Interface," [Online]. Available: <https://fmi-standard.org/>. [Använd 24 augusti 2022].
- [22] Association for Standardization of Automation and Measuring systems, "ASAM OSI," [Online]. Available: <https://www.asam.net/standards/detail/osi/>. [Använd 24 Augusti 2022].
- [23] Association for Standardization of Automation and Measuring systems, "OSI Sensor Model Packaging," [Online]. Available: <https://github.com/OpenSimulationInterface/osi-sensor-model-packaging>. [Använd 26 Augusti 2022].
- [24] Association for Standardization of Automation and Measuring systems, "ASAM XIL," [Online]. Available: <https://www.asam.net/standards/detail/xil/wiki/>. [Använd 24 Augusti 2022].
- [25] Euro NCAP, "Vulnerable Road User (VRU) Protection," Euro NCAP, [Online]. Available: <https://www.euroncap.com/en/for-engineers/protocols/vulnerable-road-user-vru-protection/>. [Använd 27 Augusti 2022].
- [26] Association for Standardization of Automation and Measuring systems, "ASAM OpenSCENARIO," [Online]. Available: <https://www.asam.net/standards/detail/openscenario/v200/>. [Använd 26 Augusti 2022].
- [27] Association for Standardization of Automation and Measuring systems, "ASAM OSI; Open Simulation Interface," [Online]. Available: https://opensimulationinterface.github.io/osi-documentation/#_the_basic_design_of_osi. [Använd 24 Augusti 2022].