

Förstudie – Verifiering av aktiva säkerhetssystem i chassidynamometer

Publik Rapport

Författare: Jerry Jakobsson, Thang Hoang
Datum: 2020-11-30
Projekt inom Trafiksäkerhet och automatiserade fordon

FFI Fordonsstrategisk
Forskning och
Innovation

VINNOVA

Energimyndigheten

TRAFIKVERKET

FKG

VOLVO

SCANIA

VOLVO

Innehållsförteckning

1 Sammanfattning	4
2 Executive summary in English	5
3 Bakgrund.....	7
4 Syfte, forskningsfrågor och metod	8
5 Mål	9
6 Resultat och måluppfyllelse	9
6.1 Litteraturstudier.....	9
6.2 Derivat av testmetoder	11
6.3 Komponenter i VIL setup.....	14
6.4 Kravspecifikation för testbänk.....	15
6.5 Unik konkurrensfördel.....	15
6.6 Utformning och förankring av vidtagande projekt	16
6.7 FFI måluppfyllelse	17
7 Spridning och publicering	17
7.1 Kunskaps- och resultatsspridning	17
8 Slutsatser och fortsatt forskning.....	18
8.1 Fortsatt forskning.....	18
9 Deltagande parter och kontaktpersoner	19
10 Referenser.....	20
11 Bilagor	22
11.1 Kravspecifikation Testfall 1 och Testfall 2.....	22
11.2 Kravspecifikation Testfall 3.....	23
11.3 Kravspecifikation Testfall 4.....	26

Kort om FFI

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

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

1 Sammanfattning

Utveckling av avancerade säkerhetssystem och självkörande teknik i dagens fordon ställer allt högre krav på verifiering och validering. Utvecklingen av testmetodik tenderar att i allt större utsträckning förlita sig på simulering i alla utvecklingsfaser för att kunna nå en adekvat mängd testdata. Testbehovet ökar exponentiellt, vilket ställer högre krav på effektivt nyttjande av testobjekt och testbanor, samt skapar utrymme för innovativa testmetoder. Både effektivitet och innovationsutrymme uppfylls till viss grad av Vehicle-In-the-Loop-testning, en testplattform som tagit stora utvecklingssteg de senaste åren, i samband med utveckling av simulatorer och sensorstimulatorer. Denna förstudie baseras på en litteraturstudie som ligger till grund för analys av lämpliga testmetoder för VIL-plattformar samt hur en generisk VIL-testbänk kan konfigureras och vilka krav som ställs på komponenter och simulerad omgivning i en kontext för verifiering av ADAS och ADS. Förstudien belyser vidare potentialen i VIL-plattformens flexibilitet, och föreslår så kallad hybridtestning som ett potent verktyg i framtida verifieringskedjor. Att förstå syftet med ett föreliggande test visar sig vara av yttersta betydelse för vilka krav som ställs på testutrustningen, men också för träffsäker testallokering, detta visar sig inte minst då VIL-plattformens unika konkurrensfördel analyseras i förhållande till andra testplattformar. Slutligen föreslås flera områden för vidare forskning, både utvärdering av olika verifieringsmetoder och plattformar och utveckling av nya verktyg och standardiserade gränssnitt för resurseffektiv testning.

2 Executive summary in English

The development of Advanced Driver-Assistance Systems and Autonomous Driving technology in today's vehicles increases the requirements for verification and validation. Current trend in the development of test methods is moving towards leaning on simulation in all the development stages in order to meet the requirement of an adequate amount of test data. The requirement of the amount of test is increasing exponentially, demanding more efficient utilization of the test objects and test tracks, thus opens the way for innovative test methods. The Vehicle-In-the-Loop (VIL) testing fulfils to some extent the need of efficiency and innovation. VIL is a test platform which has made great development stages in recent years due to the development of simulators and sensor stimulation.

A literature study was performed during the project with the purpose of gaining deeper knowledge in the increasing topic of test and verification of ADAS and AD, particularly test and verification in VIL platform. Test methods, tools, applications, interfaces and components that enables VIL testing were studied. An analysis of possible competitive advantages of VIL in comparison with other test platforms was also part of the pre-study. An objective of the project was to develop a requirement specification of a proposed VIL test setup, including requirements for all the components that the setup is composed of.

A result of the project is the highlighting of the potential of the VIL-platform's flexibility. It is argued that the VIL test method should be applied throughout all stages in a development process according to the V-model. The VIL concept contains a wide range of different test methods including different setups of components. Instead proposition is made that a method called "Hybrid testing", a mixture of MIL, SIL, HIL and VIL, should be a tool in future verification processes. The project concludes that the test purpose, scope of use and technical limitations dictate which test methods should be applied and the building blocks of the test setup. As a part of the result, a VIL setup is proposed consisting of following technical blocks:

- Environment simulator
- Simulation controller/synchronizer
- Chassis dynamometer
- Camera
- Radar
- GNSS
- IMU

All the technical blocks should be compatible with standardized formats such as OpenSCENARIO, OpenDRIVE and Open Simulation Interface in order to facilitate a modular and flexible VIL test platform. A requirement specification is developed including requirements for each block of the setup for four different use cases: GNSS spoofing, Radar interferences from other radars, Euro NCAP CCRs and Euro NCAP CCFtap.

An advantage of using VIL compared to traditional verification methods on test track is the efficiency due to that time-consuming activities, such as configuration and setup of target objects, can be eliminated. Such standardized dummy objects also require extensive manufacturing processes compared to modelling sensor data. Using modelled sensor data for simulation and stimulation allow sensor testing against unique, not yet standardized target objects such as wild animals. Another advantage is the ability of different weather and road conditions, these conditions can be simulated in VIL testing. And regarding high-risk test cases that are risky or too risky to perform on test track, the risk factor can be ignored.

Comparing VIL against higher simulation focused methods e.g. HIL gives VIL an advantage in the possibility to perform integration test including surrounding system and actuators. This also enables complete vehicle robustness test in anechoic chambers, which is becoming more common worldwide. An advantage of performing test on a test platform in a complete controlled

environment such as anechoic chambers is that specific aspects, e.g. functional safety can be isolated and validated. Connectivity is an area that is expected to be developed significantly in the automotive industry in coming years, and safety validation of such functionality requires well-defined and controlled environment. A last advantage of VIL compared to higher simulation focused test methods is the decreased dependence on models, which may not be available, when performing stimulation of vehicle sensors and actuators.

The project has identified several areas for future research. The first topic is that how well different degrees of simulation and use of models correlate with physical testing on test track or public road. One idea to investigate this topic is to compare test methods using standardized dummy object and methods for dynamic sensor stimulation. Another idea for this topic is to compare the confidence and efficiency of different test platforms utilizing relevant KPI's. System interfaces is also an area for future research. It is more common than unusual that interfaces against for instance sensors are closed, which complicates the verification process. A standardized interface making it possible to utilize data injection to sensors and communication buses would ease the testing on independent testbeds when performing rating-, certification- and development tests.

3 Bakgrund

I samband med att utveckling av ADAS (Advanced Driver Assistance Systems) och ADS (Autonomous Driving System) går framåt, predikteras mängden insamlade data och tester nödvändiga för att påvisa säkerhet i dessa system öka exponentiellt. En uppskattning gjord av RAND institutet visar att det skulle krävas insamlade data över 8 miljarder kilometer för att statistiskt kunna påvisa att ett autonomt fordon minskar antalet dödsfall, givet att det autonoma systemet presterar 20 % bättre än mänskliga förare [1]. Utöver behovet av mängden data tillförskaffad av testflottor på allmänna vägar, ökar även mängden ratingtester, certifieringstester och framförallt olika utvecklingstester för respektive sensor, subsystem, mjukvara och integration som möjliggör ADAS/ADS:et. Mängden nödvändiga test för fordon med ADAS och ADS kan inte tillgodoses enkom genom nyttjande av fysiska fordon, inte minst sett ur ett hållbarhetsperspektiv, varav ett simuleringsbehov skapats i utvecklingsarbetet och verifieringen av dessa system. Genom simulering av olika situationer och miljöer möjliggörs insamling av en mycket stor mängd data som kan agera underlag i argumentation för funktionssäkerhet, samt minska behovet av prototypfordon för testaktiviteter, varför simulering är allt mer frekvent förekommande framför allt i tidiga utvecklingsfaser.

Test genom simulering kan ske via olika kombinationer av modeller, mjukvara och hårdvara. Beroende på syftet med testet och mognadsgraden i systemutvecklingen används traditionellt X-In-the-Loop-testning, där X ersätts med; modell (MIL), software (SIL) eller hardware (HIL). En avgörande skillnad i steget från modell och mjukvara till hårdvara är att testexekveringen kan ske snabbare än realtid fram tills den punkt i tiden då hårdvaran är ämne för test, vilket är speciellt fördelaktigt när syftet är att utforska en stor mängd olika scenarier. Allt eftersom utvecklingen av ett autonomt system går framåt ökar behovet av konfidens i testresultaten, varav mängden modeller först minskar via HIL, och till sist upphör när prototypfordon testas på testbanor eller allmänna vägar. En högre konfidens i testresultaten nås till ett pris av minskad effektivitet, kontroll och variation, en icke önskvärd men nödvändig konsekvens för att validera det förväntade resultatet. Förfarandet som beskrivs ovan är typiskt förekommande i utvecklingsprojekt som sker enligt den beständiga V-modellen, och effekterna spås förstärkas över tid då tillverkare strävar att minska kostnaderna för dyra prototyper och samtidigt är i behov av att öka mängden test i takt med att funktioner och system växer i antalet.

Mot denna bakgrund har Vehicle In the Loop (VIL) testning blivit allt mer omskrivet de senaste åren [2] [3]. Testmetoden har använts i olika applikationer och mot olika syften, men gemensamt är att komplettfordonsprov genomförts i en helt eller delvis simulerad omgivning. Fördelar som belysts med att använda VIL istället för eller som komplement till andra testplattformar är bland annat den högre effektiviteten i förhållande till traditionell banprovning, och den högre konfidensen i systemintegration och robusthet i förhållande till HIL. Andra fördelar med tekniken är även att den möjliggör generella, fysiska gränssnitt mot vanligt förekommande sensorer på fordonen, så kallad Over The Air (OTA) stimulering. Att genom trådlös stimulering av exempelvis radar och kameran sensorer kunna iscensätta scenarier för ett fordon ger testingenjörer ett kraftfullt verktyg som kan återanvändas oberoende av sensorleverantör och systemarkitektur, faktorer som annars brukar resultera i stora kostnader även för utveckling av testutrustning.

Förstudien ämnar studera det arbete som hittills producerats och publicerats inom området VIL-testning. Ambitionen är att identifiera både generella och specifika egenskaper i de verktygskedjor som använts för ändamålet, samt vilka format och gränssnitt som förekommer i de omskrivna testarkitekturerna. Öppna standarder för beskrivning av scenarier, miljöer och även informationsutbyte mellan modeller är på stark frammarsch, varför dessa är intressanta att observera och analysera för vilken nytta de kan medföra i en denna specifika applikation. En bredare metodanalys ska även kompletteras i förstudien med specifik analys av respektive komponent i en nedbruten sammanställning av testbänken. Föraren som del av ett fordon är också ett ämne för test i flera fall, inte minst i interaktionen med tekniken. Skillnaderna mellan en

traditionell fordonssimulator och en testbänk för komplettfordon är inte dramatisk, bortsett från påverkan av det vestibulära systemet, d v s simulatorns manipulering av balanssinnet för att simulera fordonets kraftverkan på föraren, varför en eventuell överlapp mellan dessa tekniker ska analyseras i den visualisering som möjliggör dessa tester.

4 Syfte, forskningsfrågor och metod

Syftet med förstudien är att studera ett växande område inom test och verifiering av aktiva säkerhetssystem och autonoma fordon, för att sedan kunna nyttja kunskaperna i ett vidtagande projekt. Vidare kan detta konkretiseras i tre punkter nedan med motsvarande frågeställningar:

1. Fördjupa kunskaper kring metoder, verktyg och gränssnitt som möjliggör en VIL-testning och förståelse för när denna testplattform kan användas i förhållande till andra testplattformar.
 - Hur kan VIL som testplattform användas i verifierings- och valideringssyfte för aktiva säkerhetsfunktioner och autonoma fordon?
 - Vilka, om några, unika konkurrensfördelar innehar VIL-plattformen i förhållande till andra testplattformar?
 - Vilka komponenter utgör testbänken i en VIL-plattform? Finns det generiska verktyg för test av olika fordonstyper eller fordon och system från olika tillverkare?
2. Härleda krav på testutrustning till nyttjandet i ett avgränsat användningsområde för att kunna identifiera kritiska egenskaper övergripande och på komponentnivå i testbänken.
 - Hur kan krav på specifika komponenter samt övergripande krav på den kompletta testbänken härledas från standardiserade provmetoder?
3. Skapa förutsättningar för samverkan i form av ett vidtagande projekt.
 - Hur kan ett samverkansprojekt utformas inom området och vilka frågeställningar ska det besvara?

En litteraturstudie skapade kunskapsgrund och översikt av området, samt placerade in VIL i en bredare kontext av metoder för verifiering och validering. Genom att studera specifika applikationer av VIL samt processer för scenariobaserad testning av ADAS och ADS kunde litteraturstudien ge stöd i analys av lämpliga testmetoder samt besvara vilka verktyg och gränssnitt som är nödvändiga i sammansättningen av en VIL-testbänk. Litteraturstudien skedde delvis iterativt genom förstudien, allt eftersom det generella kunskapsläget förbättrades kunde specifika områden identifieras där ytterligare information var nödvändigt att förskaffa. Exempel på sådana områden var stimulering av kamera och radar, öppna gränssnitt för simulering användandes sensormodeller, samsimuleringsplattformar (*co-simulation platforms*) och validering av modeller.

Efter analys av testmetoder och testbänkens sammansättning utfördes en syntes av en framarbetad testbänkskonfiguration och ett känt testscenario som används vid ratingtester. Kombinationen av en generisk konfiguration och ett avgränsat scenario gav på så vis möjlighet att härleda krav på komponentnivå för att tillgodose testets utförande.

Slutligen fördes en dialog med olika parter inom industrin för att formulera och förankra vidtagande projekt.

5 Mål

Målet för förstudien är dels att bygga och sprida kunskap kring Vehicle-In-the-Loop testning, specifikt i chassidynamometer, vilket uppnås genom att ge svar på de frågeställningar som beskrivs i föregående kapitel. Utöver det övergripande målet i kunskapsförvärvandet, är ytterligare en målsättning att förankra en projekttidé med industrin för att kunna lämna in en gemensam ansökan för vidtagande projekt inom FFI.

Målen kan vidare brytas ned i följande punkter och motsvarande aktiviteter samt förväntat resultat:

1. Fördjupad kunskap kring metoder, verktyg och gränssnitt för att förverkliga VIL-testning.
 - Analys av testmetoder ska resultera i ett derivat av lämpliga testmetoder härledda till syftet för det specifika testet.
 - Analys av verktygskedjor, gränssnitt och digitala informationsformat ska resultera i en sammanställning av delkomponenter och en konfiguration vilken realiserar VIL-plattformen.
 - Analys av unik konkurrensfördel ska resultera i en sammanställning av för och nackdelar i nyttjandet av VIL-plattformen i förhållande till andra plattformar.
2. Kravställning av testbänk för ett givet användningsområde.
 - Syntes av kända provmetoder och analysen från (1). Givet ett känt och avgränsat provförfarande kan krav på specifika delar av testbänken sammanställas i en kravspecifikation.
3. Utformning och förankring av ett vidtagande projekt.
 - Dialog och spridning via kontakt med OEM:er och leverantörer. Resultatet av denna aktivitet bör vara en projektansökan för ett samverkansprojekt inom området.

6 Resultat och måluppfyllelse

6.1 Litteraturstudier

Förstudien inleddes med en litteraturstudie inom såväl området VIL som angränsande områden med fokus på ADAS- och AD-provning. Under förstudiens gång studerades cirka 50 artiklar om Vehicle In the Loop, sensorstimulering, simulering och X In the Loop samt produktblad från bland annat Keysight Technologies, Konrad Technologies och Rohde & Schwarz utvärderades. Dessutom studerades internationella samarbetsprojekt som PEGASUS och ENABLE-S3.

6.1.1 Sensorstimulering

Virtual reality for automotive radars, 2018 [4]

I artikeln presenteras lösningen för radarmålssimulering i AVL Driving Cube, en VIL-testbädd som togs fram i projektet ENABLE-S3. Även en generell testmetodik för radarmålsstimulering med tillhörande krav presenteras.

Den tekniska lösningen består av både en analog och digital del för att hantera stimuleringen av radarmål på olika avstånd. Fastän lösningen uppfyller de framtagna kraven är den begränsad i förhållande till vad som kan förväntas av en realistiskt återskapad radarsimulering. Det är inte möjligt att återskapa reflektioner från den statiska omgivningen i den virtuella miljön och de simulerade målen kan bara stimuleras i en riktning eller vinkel. Dessutom opererar den digitala delen av stimulatorlösningen i tidsdomänen vilket begränsar det minimala avståndet som kan simuleras och därför hanteras stimulering av mål på kortare avstånd av den optiska delen. Nackdelen med detta system bestående av både en optisk och en digital stimulator är att det är ett överlämningsavstånd på 30 m mellan den optiska och digitala delen.

Environment perception simulation for radar stimulation in automated driving function testing, 2018 [5]

Detta projekt har delvis genomförts i samarbete med ENABLE-S3 och presenterar ytterligare en radarstimuleringsprincip för VIL-testbädd. Begränsningar som tas upp med lösningen i detta projekt är att det inte är möjligt att representera ett målobjekt som ett punktmolnkluster som de utgörs av i en verklig process av reflektion och mottagning av radiovågor från radar. Istället representeras den stimulerade målobjektet av en enda punkt med motsvarande RCS-värde.

Radar Target Simulator, 2018 [6]

En utmaning för radarmålssimulering är att beräkna angle of arrival (AoA) och därför har analys och teoretiska beräkningar gjorts för att utröna hur denna problematik kan lösas. Projektet visar på en lösning som använder sig av avancerad MIMO-teknik kombinerat med radarstimulatorn ASGARD1 från Uniquesec.

Målsättningen var att kunna generera oändligt antal radarmål samt överträffa befintlig utrustning vad gäller prestanda, flexibilitet och pris. Även i detta projekt identifierades en kravlista på radarstimulering. En kravlista som den befintliga utrustningen, ASGARD1 som opererar i frekvensdomänen, redan innan projektets gång uppfyllde. Den föreslagna arkitekturen ska kunna tillgodose både generering av AoA, hastighet och RCS för radarmål.

Test Methodology for Vision-Based ADAS Algorithms with an Automotive Camera-in-the-Loop, 2018 [7]

En testmetod för validering av kamerabaserad objekt-detektering på en Camera-in-the-Loop testrigg utvärderas. Kamerasystemet består i den virtuella simulerade världen av tre kameror monterade på det virtuella fordonet och motsvarande tre kameror stimuleras i verkligheten. De fysiska kamerorna tillsammans med skärmar är placerade i varsin låda för att exkludera ljus från omgivningen. Kamerorna är placerade i förhållande till skärmarna så att endast skärmytan fångades upp av kamerorna och att fokus låg på densamma. På skärmarna spelades det sedan upp bilden av vad motsvarande kamera ser i den simulerade 3D-miljön. Resultaten överensstämde med kameratillverkarens specifikation och därmed ansågs testmetodiken vara adekvat.

6.1.2 Testmetodik Vehicle-in-the-Loop

EMC Validation of Multiple Sensor systems - eVAMS, 2017-09-30 [8]

I projektet stimuleras de sensorer som utnyttjas av fordonets ADAS-system i syfte att möjliggöra realistisk EMC-provning av dessa sensorer. Sensorerna är designade att upptäcka om de befinner sig i orealistisk miljö och stänger då av ADAS-funktionerna alternativt försätts de i ett inaktivt tillstånd. Awitars ekofria EMC-kammare är en sådan orealistisk miljö, därör för att hindra ADAS-

funktionerna från att stängas av eller inaktiveras, emuleras en realistisk sensormiljö. De sensorer som stimuleras är:

- Kamera - Takmonterad projektor som spelade upp testscenariot på en duk framför vindrutan.
- Radar - Radarmål stimuleras med en hörnreflektor
- GNSS - Stimulerades genom att sända en syntetisk GNSS signal in i kammaren.
- Fordonets aktuatorer – Stimuleras av chassidynamometer

Vehicle-In-the-Loop (VIL) and Scenario-In-the-Loop (ScIL) Automotive Simulation Concepts from the Perspectives of Traffic Simulation and Traffic Control, 2019 [9]

Som en konsekvens av att autonoma fordon blir mer och mer utbredd ändras dynamiken i trafiken och för trafikstyrningssystemen. En ändring i testmetod är därför nödvändig jämfört med tidigare traditionell provning i trafik eller ren simulering. I denna artikel jämförs VIL som etablerad testplattform och den nyligen utvecklade metoden Scenario In the Loop (ScIL). De huvudsakliga syftena och villkoren relaterade till implementering av VIL- och ScIL-koncept från perspektivet av trafiksimulering och trafikstyrning definieras.

Vehicle In the Loop - Definieras som ett riktigt fordon som befinner sig antingen på testbana eller testbänk där en komplett omgivning är simulerad. Den simulerade omgivningen realiseras i regel genom så kallad sensor spoofing.

Scenario In the Loop - Beskrivs som ett steg närmare verklighet än VIL. Fordonet befinner sig på testbana men har en delvis simulerad omgivning och delvis reella närvarande objekt och infrastruktur. Sensorerna används här både aktivt för att förstå sin omvärld men stimuleras även via en parallellt simulerad verklighet.

A Novel Testbench for Development, Calibration and Functional Testing of ADAS/AD Functions, 2019 [2]

I denna artikel utvärderas en testbänk med en styrbar chassidynamometer och motsvarande testmetod för utveckling och test av ADAS- och AD-system. Två testscenarion kördes enligt den beskrivna testmetoden på två olika funktioner, ACC (Active Cruise Control) och LKA (Lane-Keeping Assistant). Resultatet visade att denna lösning kan replikera och emulera prov på riktig väg på ett tillförlitligt sätt.

I artikeln lyfts konceptet hybridtestning fram, en mix mellan MIL/SIL/HIL/VIL där komponenterna i en testrigg både kan vara virtuella och fysiska. Testriggen som används är uppbyggt av ett testfordon från Virtual Vehicle Research Center utrustat med bland annat kamera och en öppen ADAS/AD plattform placerat på en styrbar chassidynamometer, Vires VTD virtuell miljösimulator som är kopplad till en skärm som spelar upp kameravyn för fordonets kamera samt AVL-VSM för fordonsdynamikssimulering tillsammans med samsimuleringsmiljön model.CONNECT.

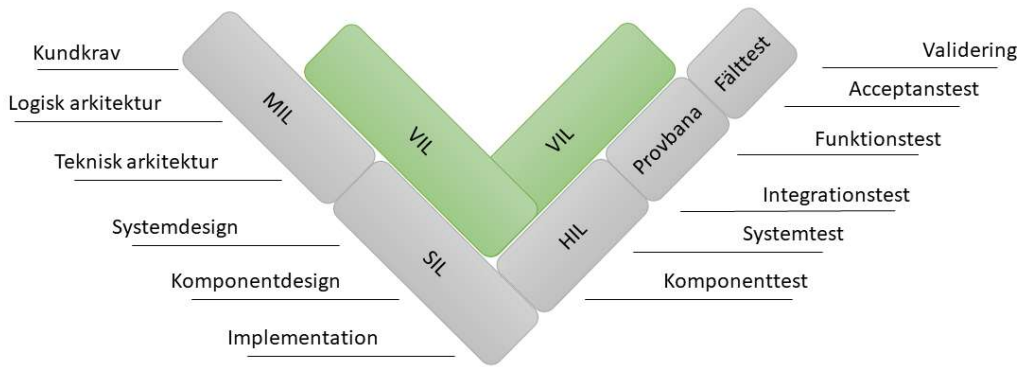
6.2 Derivat av testmetoder

6.2.1 VIL genom hela utvecklingskedjan

Baserat på komponenten under test samt syfte och mognadsgrad i mjukvaru-/produktutvecklingen tillämpas testmetoderna MIL, SIL, HIL och VIL. I en utvecklingsprocess enligt V-modellen följer det sig traditionellt sätt att applicera testmetoderna i den nämnda ordningen. VIL appliceras efter komponent- och systemtester i HIL, oftast på leverantörsnivå, innan komplett fordonstest på provbana, det vill säga innan simulerad miljö övergår till verklig.

Argument finns för att VIL bör appliceras i tidigare skeden i utvecklingskedjan. Ett resultat av V-modellen är att integrering av olika system samt verifiering och validering koncentreras till de sena utvecklingsstadierna vilket leder till att en stor mängd fel upptäcks sent i utvecklingen. Att använda

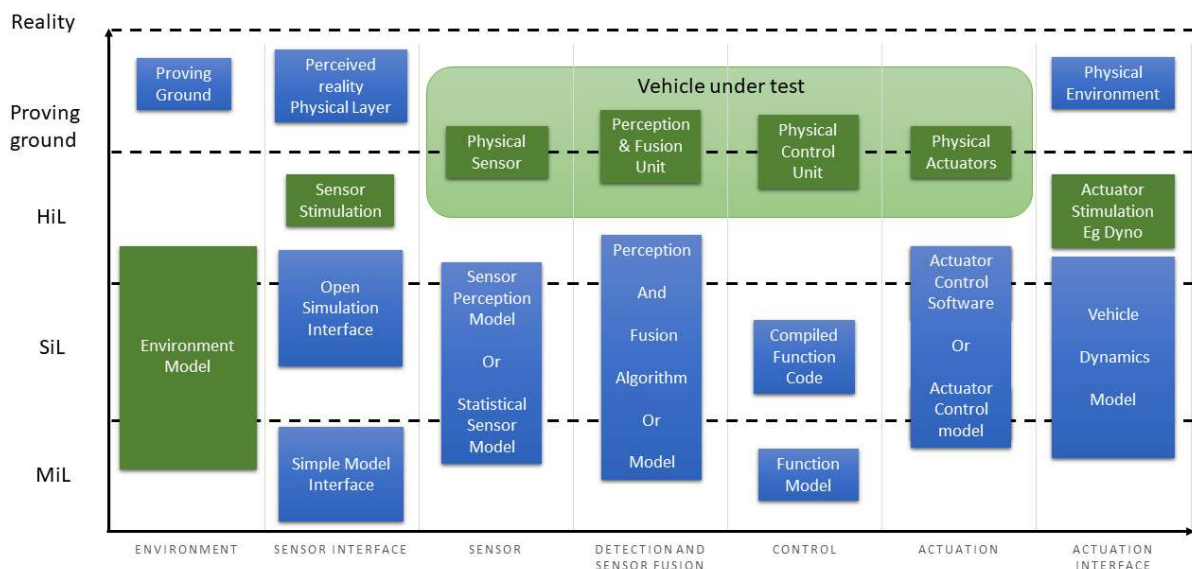
sig av VIL i hela utvecklingsprocessen, se Figur 1, öppnar upp möjligheten att dessa fel uppdagas i ett tidigare skede vilket i sin tur leder till att det blir billigare att åtgärda felen. ADAS- och AD-funktioner blir mer och mer komplexa vilket ökar behovet av integrationstester med övriga system i fordonet. En potential med VIL är möjligheten till högre konfidens i systemintegration och robusthet genom hela utvecklingsprocessen. Test och verifiering är en betydande del av mjukvaru-/produktutveckling och att ha en god teststrategi för att möjliggöra effektivare testprocesser är därför fördelaktigt.



Figur 1. VIL i hela utvecklingskedjan.

6.2.2 Testsyfte dikterar testmetod

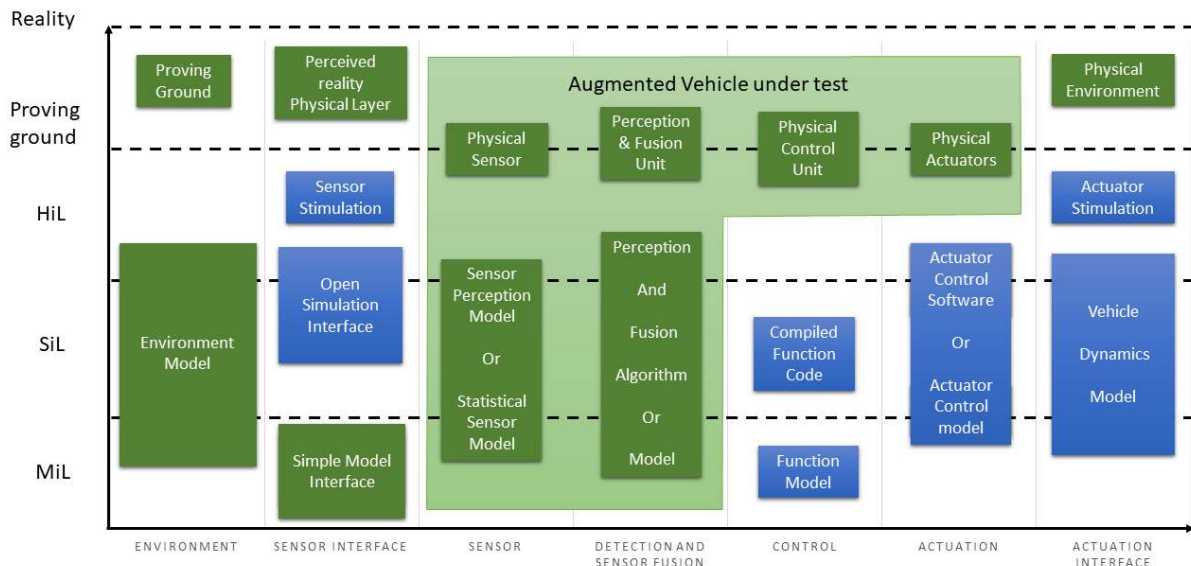
Vehicle-In-the-Loop är ett brett begrepp i testmetodskontext. Det som definierar och är gemensamt för alla VIL-testmetoder är att det kompletta fordonet är en del av testplattformen. I enlighet med HIL-konceptet kan VIL ses som att fordonet är "hårdvaran" i simuleringsloopen. VIL kan realiseras och nyttjas på flera olika sätt kopplat till test av ADAS/AD beroende på testsyfte. Där användningsområdet och tekniska begränsningar sätter ramar för vilken testsetup som bör användas. Syfte och användningsområde styr också formen på beståndsdelarna i setupen, med andra ord om det ska vara fysiska komponenter eller om de kan ersättas av modeller samt om sensorer ska simuleras eller stimuleras.



Figur 2. Beskrivning av test-setup i projektet eVAMS.

Projektet eVAMS [8] syftar till att testa ADAS/AD-sensorers robusthet i en svåråterskapad omgivning, i detta fall en elektromagnetisk omgivning. Det kompletta fordonet inklusive det fysiska ADAS/AD-systemet och alla dess delkomponenter är under test i en test-setup där omgivningen är modellerad och simulerad. Stimulatorerna agerar gränssnitt mellan den virtuella miljön och fordonets sensorer och aktuatorer. Test-setupen i projektet, där beståndsdelarna är markerade i grönt, kan ses i Figur 2. I figuren visas också de olika formerna för en test-setupens beståndsdelar, notera att ADAS/AD-systemet delas upp i tre komponenter. Syftet med testningen kräver att funktionerna ska kunna aktiveras och förbli aktiva och därmed var ingen sluten loop nödvändig i test-setupen.

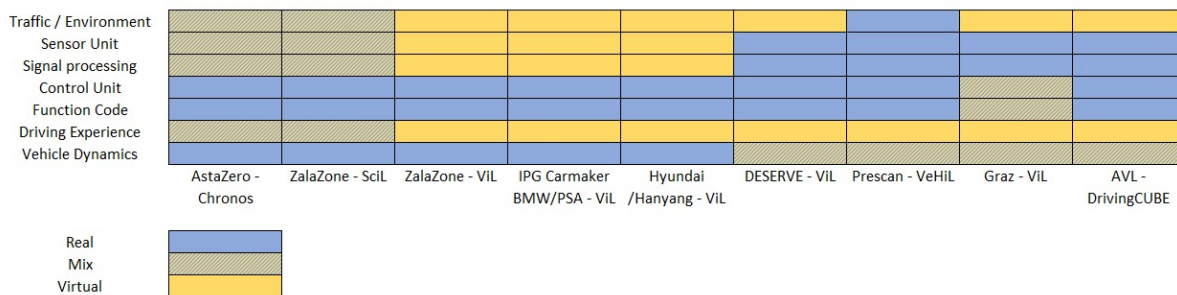
Testmetoden Scenario-In-the-Loop som presenteras i [9] kombinerar virtuell simulerad miljö med den verkliga världen. Det kompletta fordonet befinner sig på Smart City Area på provbanan ZalaZONE i Ungern. Testbanan och dess vägnät är implementerad i trafiksimuleringsmjukvaran SUMO. Det verkliga fordonet utsätts både för virtuella trafikobjekt genom datainjektion via fordonets CAN-nätverk och fysiska målobjekt. ScIL ger ett mervärde jämfört med VIL eftersom fordonet testas i verkliga förhållanden med verkliga sensorrespons från infrastruktur och fysiska målobjekt. Därtill har ScIL vinning i att det går att utföra många variationer och typer av testscenarion med endast små justeringar, om än inte i samma grad som VIL men en stor vinning jämfört med test i endast verklig miljö.



Figur 3. Beskrivning av test-setup i trafiksimuleringsprojektet utfört på ZalaZONE.

6.2.3 Hybridtestning

I Figur 3 visas test-setupen som användes i projektet [9]. Där är det tydligt att det fysiska fordonet inklusive det fysiska ADAS/AD-systemet och alla dess delkomponenter testas i en verklig miljö, representerat av den övre grönmarkerade raden, det vill säga alla beståndsdelar i setupen är fysiska. Den kombinerade testmiljön samt de virtuella injicerade målobjekten resulterar i att även sensormodeller och miljömodeller är en del av test-setupen. ScIL är således en mix av MIL, SiL och VIL, ett koncept som inkluderat HiL lyfts fram som "Hybridtestning" i [2]. Figur 4 presenterar en sammanställning av test-setupar i olika projekt och dess komponenter. I alla projekt arbetas det med både virtuella och fysiska komponenter och i vissa projekt används både virtuella och fysiska komponenter för samma beståndsdel. Med tekniska framsteg bör test-setupen optimeras efter ändamålet och aktuell mognadsgrad. Som ett resultat av detta blir avgränsningar mellan X-In-the-Loop-metoderna mer diffusa och många använder sig istället av så kallad "Hybridtestning".



Figur 4. Sammanställning av olika projekts test-setup och dess beståndsdelar.

6.3 Komponenter i VIL setup

6.2.1 Modulära block över olika domäner

En VIL-setup byggs upp en mängd olika komponenter såsom verktyg, applikationer och modeller med olika kommunikationsmedier, gränssnitt och plattformar. Dessa byggstenar härstammar osannolikt från samma leverantör vilket ur en integreringssynpunkt blir utmanande. Vid en komposition av en VIL setup bör därför stor vikt läggas på beståndsdelar som har öppna gränssnitt och inte är leverantörslåsta/beroende. Beståndsdelarna bör i största möjliga mån även vara modulära, beståndsdelarna ska sålunda kunna varieras. I en optimal VIL setup ska fordonet under test kunna varieras utan att ändringar ska behöva göras på setupen.

För att underlätta en modulär och flexibel VIL setup ska beståndsdelarna vara kompatibla med standardiserade format såsom OpenSCENARIO för scenariobeskrivning, OpenDRIVE för vägnätsbeskrivning samt Open Simulation Interface som kommunikationsgränssnitt mellan miljö och sensormodell.

6.2.2 Föreslagen VIL-plattform

Syftet med den föreslagna VIL-plattformen är att testa ADAS/AD-funktioner som använder en sensorconfiguration bestående av kamera, radar, GNSS (Global Navigation Satellite System) och IMU (Inertial Measurement Unit). Plattformens komponenter presenteras nedan tillsammans med funktionsbeskrivning av varje komponent.

Miljösimulator

- Skapa och simulera den virtuella miljö som fordonet under test befinner sig i.

Simuleringshjärna/ledning

- Styra och hantera det testscenario som ska utföras samt synkronisera stimulering och simulering av sensorer (kamera, radar, GNSS, IMU) samt chassidynamometer.

Chassidynamometer

- Gränssnitt mellan den virtuella världen och omvärlden. Synkronisera det virtuella fordonets rörelse i simuleringen med det faktiska fordonets rörelse genom att emulera omvärldsresponsen för fordonets aktuatorer.

Kamera

- Stimulator
 - Stimulera kameran som finns i fordonet genom att återspegla det som kameran i den virtuella bilen ser.
- Simulering - Kräver gränssnitt till ECU eller fordon
 - Kameran/ECU'n injiceras med rådata från kameran i den virtuella miljön.
 - Objektdata injiceras i fordonets kommunikationsnätverk.

Radar

- Stimulator
 - Stimulera radarn som finns i fordonet med samma radarreflektioner som mottages av radarn i den virtuella miljön.
- Simulering - Kräver gränssnitt till ECU eller fordon
 - Radarn/ECU'n injiceras med rådata från radarn i den virtuella miljön.
 - Objektdata injiceras i fordonets kommunikationsnätverk.

GNSS

- Stimulator
 - Stimulera fordonets GNSS-mottagare med en RF-antenn med GNSS-data från det virtuella fordonet.
- Simulering - Kräver gränssnitt till ECU eller fordon
 - GNSS-mottagaren/ECU'n injiceras med GNSS-data från det virtuella fordonet.
 - GNSS-data injiceras i fordonets kommunikationsnätverk

IMU

- IMU/ECU'n eller fordonets kommunikationsnätverk injiceras med IMU-data från det virtuella fordonet. Detta kräver gränssnitt till ECU eller fordon.

Det finns självfallet fler sensorer och aktuatorer att ta hänsyn till om testplattformen ska kunna appliceras till godtyckligt fordon. I förstudien har vi valt att avgränsa testbänken och inte inkludera V2X kommunikation eller LiDAR exempelvis. Både V2X och LiDAR spås bidra starkt till utvecklingen av ADAS och ADS i framtiden, men teknikerna är ännu inte homogena i samma utsträckning som sensorerna ovan, varför de inte är inkluderade i en generisk plattform.

6.2.3 Visualisering

Utöver testbänken som placerar fordonet under test i test-loopen kan också föraren inkluderas via visualisering. Omvärldssimulering presenteras förslagsvis till föraren via antingen skärmar monterade vid vindrutan eller HMD-googles (Head Mounted Display). Beroende på hur interaktionen mellan förare och teknik ska studeras kan de olika teknikerna vägas mot varandra. Det är också värt att notera ett par fördelar med en stationär testbänk jämfört med visualisering på fysisk provbana. Tidigare projekt har noterat utmaningar i att synkronisera virtuella objekt i fysisk miljö, samt att få ner latency i visualiseringen och undvika simulatorsjuka [10] [11].

6.4 Kravspecifikation för testbänk

Utifrån den föreslagna VIL setupen sätts krav på de komponenter och teknikblock som bygger upp testplattformen. Testsyftet och användningsområdet sätter ramar för test-setupen och ställer även kraven på dess komponenter. Således har framtagningen av kravspecifikation begränsats till fyra testfall:

1. GNSS Spoofing
2. Radarstörningar från andra radarer
3. EuroNCAP CCRS
4. EuroNCAP CCFtap

Två testfall där standardiserade och kända provmetoder redan förekommer och två utan kända provmetoder. Kravspecifikationerna i sin helhet är bifogade som bilagor.

6.5 Unik konkurrensfördel

Under rubrik 6.2 *Derivat av testmetoder* förklaras varför VIL som testplattform inte bör begränsas till ett mellansteg i verifieringskedjan, från systemtest i bänk till komplettfordonstest på provbana. Potentialen i en flexibel testplattform där hårdvara, mjukvara och modeller kan testas i samma kringliggande simuleringsmiljö gör den också svårdefinierad. Det är just flexibiliteten i plattformen

som är den största fördelen jämfört med andra testplattformar, att modulärt kunna substituera modeller och hårdvara men behålla önskvärd integration med kringliggande system och aktuatorer ger flera av effektivitetsfördelarna i simuleringsdomänen samtidigt som konfidens i testfallen och systemen blir högre.

En hypotes som utforskades under projektet var huruvida en aktiv säkerhetsfunktion i godtyckligt fordon kan testas utan öppna gränssnitt till fordonets sensorer eller interna kommunikationsbussar i VIL-plattform med hjälp av enbart sensorstimulering. Merparten av de externa sensorer som idag används i dagens säkerhetssystem är möjliga att tillförlitligt stimulera med olika metoder, sensorteknikerna är tillräckligt homogena för att tillverkare av olika sensorstimulatorer kan utveckla verktyg för ett brett användningsområde [12] [13]. En tröskel som kvarstår är interna sensorer, exempelvis IMU som inte kan stimuleras utan invasiva ingrepp, varför datainjektion är en mer lämplig metod som dock kräver ett känt gränssnitt till fordonets interna kommunikation i någon utsträckning. För att fordonet under test ska kunna testas med enbart sensorstimulering får alltså inte funktionen eller systemet som är ämne för test vara beroende av data från IMU i det specifika testfallet, vilket är en begränsning i testmetoden.

För att konkret kunna jämföra VIL med andra plattformar trots den mångfacetterade framställningen presenteras specifika nyttor med mer eller mindre grad av simulering. För att identifiera en lämplig testplattform för ett specifikt scenario eller metod bör fördelar och motsvarande nackdelar vägas i förhållande till syftet med testet.

Exempel på fördelar med VIL-testning kontra traditionell banprovning är förstas effektiviteten ökar då tidsödande aktiviteter kan elimineras, exempelvis setup av målobjekt mellan testutföranden. En annan begränsning i traditionell provning nyttjandes surrogatmål är att dessa kräver en omfattande tillverkningsprocess i förhållande till modellering av sensordata som kan stimulera sensorerna eller användas vid sensorsimulering. Att använda stimulering eller simulering istället för att förlita sig på surrogatmål enkom öppnar upp möjligheter till att testa sensorerna mot unika målobjekt som inte standardiseras, exempelvis unika förekomster av vilda djur. En annan fördel att använda testbänk istället för provbana är att väder och vägförhållanden blir mer lättåtkomligt, förutsatt att simulering av dessa förhållanden kan valideras vid någon tidpunkt i utvecklingsarbetet. En sista fördel är att testfall som på testbana karaktäriseras av hög risk för utrustning eller personal kan testas riskfritt, eller riskbedömas innan skarp testning, på så vis blir också testningen säkrare utan betydande påverkan på konfidens i testresultaten [14].

Exempel på fördelar med VIL-testning kontra högre grad av simulering, exempelvis HIL, är givetvis att integrationstest kan utföras i högre utsträckning då kringliggande system såväl som aktuatorer kan inkluderas i testutförandet. En annan fördel är att robusthetsprover kan ske i komplettfordon vilket är önskvärt då fordonet behöver verifieras i produktionsutförande, denna typ av tester blir allt mer vanligt förekommande i anekoiska kammare världen över [8] [15]. En stor fördel i att testa med testbänk i en fullständigt kontrollerad miljö likt en anekoisk kammare är att specifika aspekter bland annat funktionssäkerhet kan isoleras. Ett område inom fordonsindustrin som spås utvecklas kraftigt kommande år är uppkoppling, för vilket den typ av test som behöver utföras i en väldefinierad och kontrollerad miljö är en viktig del i just funktionssäkerheten. En tredje fördel är att via sensorstimulering och stimulering av aktuatorer minskar beroendet av modeller, vilka inte alltid finns tillgängliga, och då är stimulering ett värdefullt komplement för att möjliggöra testning.

6.6 Utformning och förankring av vidtagande projekt

Förstudien har inte lyckats förankra en projektidé kring komplett VIL testning för vidtagande samverkansprojekt inom FFI. Intressanta forskningsfrågor och projektidéer lyfts i samtal med olika tillverkare av testutrustning samt experter inom specifika testmetoder, men en fordons- eller sensortillverkare har ännu inte visat konkret intresse för ett samverkansprojekt, detta till trots kvarstår ambitionen att ansöka om ett samverkansprojekt inom området vid nästa utlysning.

Projektresultatet används dock vidare i andra projekt, både interna utvecklingsprojekt och i andra FFI projekt som behandlar överlappande områden inom simulering och visualisering.

6.7 FFI måluppfyllelse

Förstudien har i första hand varit kunskapsbyggande för AstaZero som med hjälp av projektresultatet bättre kan precisera och planera utveckling och forskning inom områdena; simulering, sensorstimulering, testmetodik och visualisering. Genom kompetensuppbyggnad och resultatspridning till industrin stärks den internationella konkurrenskraften och skapar möjlighet för att fortsatt forskning inom området kan bedrivas i Sverige och på AstaZero. Avlägsna effektmål behöver utvärderas över tid som går bortom denna förstudie, förhoppningsvis kan kunskaperna förvärvade i denna förstudie leda till att effektivare och mer noggranna testmetoder för ADAS och ADS utvecklas som både kan reducera antal olyckor i trafiken och minska testverksamhetens klimatpåverkan.

7 Spridning och publicering

Projektet har presenterat resultatet för fordonsindustrin i en strategidialog under 2020 där Volvo Cars, AB Volvo, Veoneer och Scania medverkade. Projektet har också presenterat resultatet för den referensgrupp som tilldelats AstaZero inom FFI. Utöver presentation mot industrin har dialog förts med olika verktygstillverkare och experter med ambitionen att involvera dessa i ett samverkansprojekt.

Kunskapsspridning har skett internt på AstaZero, framförallt till FFI-projektet ”*Simulering och AR/VR-visualisering av AstaZero*” som tagit del av resultaten löpande och använder detta som stöd i den agila framdrivningen av projektet.

Utöver denna rapport har inga publiceringar 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 varit ökat kunskapen kring metoder och verktyg som möjliggör VIL-testning, samt relativa fördelar och nackdelar med testplattformen.
Föras vidare till andra avancerade tekniska utvecklingsprojekt	X	Resultatet används i samverkansprojekt inom RISE, ett samarbete med AWITAR. Dialog med industrin förs i syfte att formulera en projektansökan för kommande utlysning inom FFI.
Föras vidare till produktutvecklingsprojekt	X	Resultatet används som referensmaterial för utveckling av en modulär simuleringskedja, vilken kan användas i olika grad av simulerad testning.
Introduceras på marknaden		
Användas i utredningar/regelverk/tillståndsärenden/ politiska beslut		

8 Slutsatser och fortsatt forskning

Följande slutsatser har projektet kommit fram till:

- VIL kan användas på många olika sätt för olika syften inom verifiering och validering. Den tidigare uppmålade bilden av VIL som ett mellansteg från HIL till banprovning beskriver endast en del i potentialen i denna testplattform.
- VIL-plattformen har utöver sin flexibilitet unika konkurrensfördelar i gentemot andra testplattformar som redogjorts för i kapitel 6.5 *Unik konkurrensfördel*. Kombinationen av komplettfordon som testobjekt i en virtuell omvärld ger möjlighet till effektiv integrationstestning under specifika och repeterbara förhållanden.
- En testbänk utformad för VIL-testning kan se ut på olika sätt beroende på beslut att använda simulering eller stimulering samt vilka sensorer och system som är ämne för test. Projektet har skapat en schematisk testbänk som behandlar testningen utifrån ett generiskt perspektiv, här är öppna format och gränssnitt att föredra för att förstärka flexibiliteten i plattformen.
- Övergripande krav på plattformen och specifika komponenter kan härledas i stor utsträckning från standardiserade testscenarier, exempelvis Euro NCAP. Kravställning för mindre avgränsade och preciserade testutföranden är svårare att precisera, då dessa krav baseras på systemegenskaper.
- Ett samverkansprojekt kan utformas för att besvara både frågeställningar för specifika komponenter i testplattformen såväl som övergripande metodik. Dessa områden utvecklas vidare i kapitel 8.1 *Fortsatt forskning*.

8.1 Fortsatt forskning

Projektet har identifierat ett antal områden för fortsatt forskning och som möjliga områden för standardisering. Övergripande forskningsfråga är hur väl olika grad av simulering och nyttjande av modeller korrelerar med fysisk provning på provbana och allmän väg. Frågan kan angripas från olika vinklar och inom olika specifika områden, ett exempel är utvärdering av test nyttjandes surrogatmål jämfört med metoder för dynamisk sensorstimulering, ett annat är att med hjälp av relevanta KPI:er jämföra olika testplattformar i konfidens och effektivitet för att få ett objektiva mått som kan användas vid testallokering.

Stora framsteg kring simulering och sensorstimulering har skett i närtid, det behöver fortsatt undersökas hur de tekniska lösningarna kan implementeras i verifierings och valideringsprocesser och vilka mervärden eller tillkortakommanden de medför i förhållande till andra testmetoder och verktyg. Konsensus verkar råda att ökad grad av simulering medför ökad effektivitet på bekostnad av konfidens, en kvarstående fråga är hur stark korrelationen är för dessa samband. Projektet föreslår att vidare forskning bör ske för att ge klarhet i denna fråga.

Kvarstående utmaning i att testa fordon är att gränssnitten mot bland annat sensorer är stängda. Ett standardiserat testgränssnitt för att kunna injicera data till sensorer och kommunikationsbussar av olika slag skulle underlätta testning från oberoende testbäddar i samband med rating, certifiering och utvecklingsprov, något som projektet föreslår för vidare forskningsinitiativ.

Slutligen har projektet identifierat ett stort gap mellan passiva radarstimulatorer och de högteknologiska radarstimulatorer som finns på marknaden. För att möjliggöra enkel och resurseffektiv testning behöver enklare och billigare tekniker utvärderas för att fylla gapet på marknaden.

9 Deltagande parter och kontaktpersoner

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

Monica Ringvik
CTO
monica.ringvik@astazero.com



Jerry Jakobsson
Testmetodutvecklare
jerry.jakobsson@astazero.com

Thang Hoang
Testingenjör
thang.hoang@astazero.com

10 Referenser

- [1] K. Nidhi och M. P. Susan, "RAND Corporation," 2016. [Online]. Available: https://www.rand.org/pubs/research_reports/RR1478.html. [Använd 14 Maj 2019].
- [2] S. Solmaz och F. Holzinger, "A Novel Testbench for Development, Calibration and Functional Testing of ADAS/AD Functions," i *IEEE International Conference on Connected Vehicles and Expo (ICCVE)*, Graz, Austria, 2019.
- [3] T. Tettamanti, M. Szalay, S. Vass och V. Tihanyi, "Vehicle-In-the-Loop Test Environment for Autonomous Driving with Microscopic Traffic Simulation," i *IEEE International Conference on Vehicular Electronics and Safety (ICVES)*, Madrid, Spain, 2018.
- [4] M. E. Gadringer, H. Schreiber, A. Gruber, M. Vorderderfler, D. Amschl, W. Bösch, S. Metzner, H. Pflügl och M. Paulweber, "Virtual reality for automotive radars," nr 135, p. 335–343, 2018.
- [5] F. M. Maier, V. P. Makkapati och M. Horn, "Environment perception simulation for radar stimulation in automated driving function testing," *Elektrotech. Inftech.*, nr 135, p. 309–315, 2018.
- [6] L. Pettersson, "Ragar Target Simulator," FFI - Fordonsstrategisk Forskning och Innovation, 2018.
- [7] F. Reway, W. Huber och E. Ribeiro, "Test Methodology for Vision-Based ADAS Algorithms with an Automotive Camera-in-the-Loop," i *IEEE International Conference on Vehicular Electronics and Safety (ICVES)*, Madrid, Spain, 2018.
- [8] H. Toss, B. Bergqvist, T. Persson, A. Westlund och J. Carlsson, "EMC VALIDATION of Multiple Sensor systems - eVAMS," FFI - Fordonsstrategisk Forskning och Innovation, 2017.
- [9] M. T. Horváth, Q. Lu, T. Tettamanti och Á. Török, "Vehicle-In-The-Loop (VIL) and Scenario-In-The-Loop (SCIL) Automotive Simulation Concepts from the Perspectives of Traffic Simulation and Traffic Control," *Transport and Telecommunication Journal*, vol. 20, nr 2, pp. 153-161, 2019.
- [10] M. Ljung Aust, "FAARV – Feasibility of testing relevant ADAS and AD scenarios in an Augmented Reality Vehicle," FFI, 2017.
- [11] G. Berg, V. Nitsch och B. Färber, "Vehicle in the Loop," i *Handbook of Driver Assistance Systems*, Springer, 2015, pp. 1-9.
- [12] K. Haghighi och F. Rafienia, "TESTING METHOD WITH VIRTUAL RADAR SIGNATURES FOR AN AUTOMOTIVE SAFETY RADAR SYSTEM". Sweden Patent WO2017069695, 27 04 2017.
- [13] Z. Shuai, Z. Lu, S. Yongwang och Z. Yang, "Research on Benchmarking of Smart Camera Based on Hardware-in-Loop (HiL)," i *2020 IEEE 4th Information Technology, Networking, Electronic and Automation Control Conference (ITNEC)*, Chongqing, China, 2020.
- [14] "Pegasus Project: Pegasus Method," [Online]. Available: <https://www.pegasusprojekt.de/en/pegasus-method>. [Använd 24 11 2020].
- [15] L. Jianmei, H. Qingwen, X. Yang, L. Fengxi, C. Rui och C. Lidong, "Semi-virtual Test for ICVs in Automotive EMC Laboratory," i *2018 IEEE Intelligent Vehicles Symposium (IV)*, Changshu, China, 2018.
- [16] S. Nord, "HiFi Visual Target," FFI - Fordonsstrategisk Forskning och Innovation, 2018.

- [17] "Euro NCAP - Supporting Information," 05 2018. [Online]. Available: <https://cdn.euroncap.com/media/39159/tb-025-global-vehicle-target-specification-for-euro-ncap-v10.pdf>. [Använd 11 11 2020].
- [18] "Dimensioner," Transportstyrelsen, 04 06 2020. [Online]. Available: <https://www.transportstyrelsen.se/sv/vagtrafik/Yrkestrafik/Gods-och-buss/Matt-och-vikt/Dimensioner/>. [Använd 03 11 2020].
- [19] "AutonomouStuff," 2018. [Online]. Available: <https://autonomoustuff.com/wp-content/uploads/2018/02/RADAR-Comp-Chart-2018.pdf>. [Använd 03 11 2020].
- [20] "OxTS - RT300 v3," 15 05 2020. [Online]. Available: https://www.oxts.com/software/navsuite/documentation/datasheets/RT300v3_ds.pdf. [Använd 09 11 2020].

11 Bilagor

11.1 Kravspecifikation Testfall 1 och Testfall 2

Syfte med test

Testet syftar att testa icke-funktionella aspekter av ett fordon utrustat med ett automatiserat förarstödsystem enligt SAE nivå 2, d v s longitudinell och lateral styrning av fordonet. Aspekter av intresse i den här kontexten kan ex vara robusthet när fordonet utsätts för störningar av olika slag så som elektromagnetiska fält eller mikrovågor i sensorernas frekvensband.

Test setup och sensorkonfiguration

Test setupen är definierad i VIL-setup, och är baserad på antagandet att funktionen i fråga använder en sensorkonfiguration bestående av radar, kamera, GNSS och IMU. Utöver funktionsspecifika sensorer så realiseras funktionen av styrning av den främre hjulaxeln och framdrivning av ett eller båda hjulparen.

Kravställning VIL-setup

Nedan kravställs varje delkomponent av testsetupen utifrån förutsättningarna som beskrivs ovan. Kravställningen kan ses som en beskrivning av den lägsta nivå som kan realisera ett robusthetsprov av olika karaktär, däremot kravställs inte metoden för introduktion av störningar eftersom det inte är del i projektscopet.

Environment Simulator

Då syftet med testet inte är att undersöka funktionella aspekter av automationssystemet behöver inte simulatoren nödvändigtvis vara del i en closed-loop test setup. Tillräckligt i sammanhanget är att nå ett steady state förlopp där positionen i filen och avstånd till ett potentiellt framförvarande fordon hålls konstant, detta kan realiserats utan återkoppling. Att implementera en closed-loop setup kan dock underlätta när väl dynamiska förlopp ska implementeras och gör setupen mångfacetterad.

Givet en closed-loop setup behöver simulatoren ta emot data från chassidynamometern för att synkronisera positionen i den virtuella miljön, dock är kraven på noggrannhet i positionen låg i förhållande till funktionella tester. Simulatoren behöver förse data för respektive sensorstimulator som kräver det, alternativt realisera simulering via integrering av en sensormodell förslagsvis via OSI där rätt nivå av datainjicering kan tillämpas.

För ett steady state förfarande krävs ingen scenariobeskrivning, förutom grundförutsättningarna för att nå funktionens ODD. Om testförloppet är dynamiskt krävs en scenariobeskrivning förslagsvis i OpenSCENARIO och OpenDRIVE format.

Synkronisering

Synkronisering för ett icke funktionellt test är givetvis viktigt, men kan inte jämföras med funktionella tester av dynamiska förlopp. Tidssynkronisering behöver inte tillämpas i någon större utsträckning om steady state testning ska tillämpas, om dynamiska förlopp ska utspelas behöver dock sensorerna förse med information simultant från simulatoren, i praktiken bör differensen inte vara större än XX ms.

Chassidynamometer

Chassidynamometern kan vara antingen en traditionell modell som realiserats av rullar under golvet eller en nav-monterad modell. För att nå steady state eller för att realisera dynamiska förlopp i longitudinell riktning behövs ingen lateral återkoppling från chassidynamometern. Andra aspekter så som väglast i form av applicerat vridmoment kan hållas konstant under hela testförloppet så länge en motsvarande nivå för det önskade virtuella underlaget kan återskapas.

Gränssnittet mellan chassidynamometern och simulatören bör vara öppet i avseendet att kommunikationen där emellan kan tolkas av alla aktörer och att både chassidynamometer och simulator ersätts av olika tillverkare och modeller.

Kamera

Kamerasensorn har förenklat två funktioner för automationssystemet, en är att identifiera dynamiska objekt så som andra fordon eller fotgängare, den andra är att övervaka och tolka information i vägnätet t ex linjer och kurvor. Eftersom syftet med testet i det här fallet är ett robusthetsprov är det viktigt att kamerasensorn är fysiskt närvarande i bilen d v s ej är ersatt av en sensormodell, dock kan informationen till sensorn ske via antingen det fysiska lagret eller via en dataström som injiceras i lämpligt lager i sensorn. För testet i fråga förespråkar vi en enkel setup med fysisk stimulering via uppspelad bild som genereras av simulatören på antingen en projektorduk eller skärm beroende på placering av sensorerna i fordonet.

Setupen för kamerastimulering ska matcha monteringen av kameran i fordonet under test. Det projicerade mediet ska överensstämja med kamerans FoV, pitch, yaw och roll med inom de toleranser som finns för det aktuella systemet. Färgåtergivning, upplösning och uppspelningsfrekvens ställs också i paritet mot kameran under test, där frekvensen blir ämne för Nyquist teoremet.

Radar

För det givna scenariot kan en enkel setup med hörnreflektor användas för radarstimulering. Hörnreflektorn ska återge ett RCS värde som motsvarar önskat objekt och placeras på ett avstånd där den aktiva funktionen kan bibehålla konstant avstånd utan att aktivt accelerera eller retardera, detta avstånd varierar mellan olika fordon. Begränsande i sammanhanget kan vara lokalens storlek för test setupen, en nivå 2 funktion kan kräva 5-10 m för att kunna operera i steady state, rymmer inte detta avstånd så kan en aktiv radarmålsimulering användas istället.

GNSS

Flera nivå 2 system använder positionering för att planera hastigheten i olika kurvaturer eller för att aktivera hastighetsrestriktioner i funktionen för att inte överträda lagstadgade gränser. Då use case kan utföras i konstant hastighet på rak väg bör den positioneringsdata som tillföres matcha dessa premisser. Antingen kan inspelad data spelas upp från ett lämpligt scenario som kan synkroniseras med chassidynamometern, eller simulera motsvarande signaler som förses från simulatören.

IMU

Fördelen med test i steady state är att IMU inte behöver förses med någon extern stimulering eller simulerad data när väl önskad hastighet är uppnådd i chassidynamometern. Det finns en risk att fordonet under test kan skapa interna felkoder i en setup där IMU inte stimuleras, huruvida detta påverkar testet och testresultatet är svårt att förutspå.

11.2 Kravspecifikation Testfall 3

Environment Simulator

Simulera den virtuella miljön och all sensor- och chassidynamodata i minst 100Hz.
(Krav enligt testprotokoll att all dynamisk data ska samplas och loggas med en frekvens på minst 100Hz. CAN-meddelanden från FLC och FRM skickas med en frekvens på omkring 100Hz)

Closed-loop setup: Datan från chassidynamometern måste återkopplas till miljösimulatören för att göra det möjligt att synkronisera positionen och annan data från fordonsmodellen för VUT.

Kompatibelt med OpenSCENARIO och OpenDRIVE för scenario- och vägnätsbeskrivning.

Kompatibelt med OSI för gränssnitt mellan miljö och sensormodeller beroende vilken del av sensorn som stimuleras eller simuleras.

Controller/Synkronisering

Synkronisera och leverera data till alla sensorer samt den återkopplade datan från chassidynamometern. Tidsdifferensen bör inte vara större än 10 ms (100 Hz, lägsta frekvensen för genereringen av sensor- och dynamodata)

Chassidynamometer

Closed-loop setup: Datan från chassidynamometern måste återkopplas till miljösimulatorens för att göra det möjligt att synkronisera positionen och annan data från fordonsmodellen för VUT.

Noggrannhet i stimulering av VUTs aktuatorer:

- Position: +/- 0.03 m (Mättnoggrannhet)
- Hastighet: +/- 0.1 km/h (Mättnoggrannhet)
- Longitudinell acceleration: +/- 0.1 m/s² (Mättnoggrannhet)
- Heading angle: +/- 0.1 deg (Mättnoggrannhet)
- Yaw rate: +/- 0.1 deg/s (Mättnoggrannhet)

Prestanda:

- Möjligt att simulera lutning upp till 1%.
- Möjlighet att simulera en PBC (Peak Braking Coefficient) på minst 0.9.
- Styrning av framaxel/hjulvinkel: Inget krav då VUT ska köras rakt fram (0 deg).

Prestanda Pre-test:

- Simulera retardation i 0.5-0.6g.
- Simulera responsen vid ABS-ingrepp.

Kamera

Kamerablocket kan bestå av den fysiska kameran eller av en sensormodell. Vid en setup inklusive den fysiska kameran spelas den simulerade miljön/bilden upp på antingen en projektorduk eller skärm beroende på placering av sensorerna i fordonet.

Setupen för kamerastimulering ska matcha monteringen av kameran i VUT. Det projicerade mediet ska överensstämma med kamerans FoV, pitch, yaw och roll med inom de toleranser som finns för det aktuella systemet. Färgåtergivning, upplösning och uppspelningsfrekvens ställs också i paritet mot kameran under test, där frekvensen blir ämne för Nyquist teoremet.

Uppspelningsfrekvensen dubbelt så snabbt som samplingsfrekvensen/frame rate.

- Fram rate på exempelkamera: 16.6 fps
 - Uppspelnings-/uppdateringsfrekvens: > 33.2 Hz

Omgivande belysningen/ljuset ska vara homogent och överstiga 2000 lux. Inget direkt riktat ljus (som kan likna solljus) mot eller från sensorn. Vid behov, inkludera kameraboxar likt [7] i setupen.

Reflektivitet våglängdsintervallet 400-800 nm (synligt ljus): Reflektiviteten på den simulerade/stimulerade målet ska efterlikna de uppmätta värdena på DRI Soft Car 360 som används som GVT i Euro NCAP 2018, genomförda i projektet HiFi Visual Target [16].

- Medelvärde reflektivitet fördelat på sex olika mätpunkter på målets baksida: 66.8 %

Färgåtergivning: Färgåtergivningen på den simulerade/stimulerade målet ska efterlikna de uppmätta värdena på DRI Soft Car 360 som används som GVT i Euro NCAP 2018, genomförda i projektet HiFi Visual Target [16].

- Medelvärde RGB fördelat på sex olika mätpunkter på målets baksida: 0.6546

- Medelvärde RGB fördelat på sex olika mätpunkter på målets baksida: 0.6546
- Medelvärde Kromaticitet fördelat på sex olika mätpunkter på målets baksida:
 - u' : 0.2668
 - v' : 0.5291

Dimensionerna på simulerade/stimulerade målet ska följa måtten i Tabell 1 och Tabell 2 i Global Vehicle Target Specifikation [17].

Radar

Radarblocket kan bestå av den fysiska radarn eller av en sensormodell.

Minsta antal simulerade radarmål: 1 st

Generera radiovågor i frekvensbandet 77-81 GHz vis stimulering.

Simulera dynamiska RCS-värden. RCS-värdet för ett radarmål ska kunna ändras beroende avståndet mellan VUT och målet i scenariot.

Vid stimulering ska radarstimulatore dämpa alla radiovågor som sänds ut av radarn.

Longitudinell range för radarmål:

- 0 m - >174 m [2]
- 0 m - 89 m (Test börjar vid TTC 4s + maxhastighet 80 km/h)
- Dynamiskt

Lateral range/asimut för radarmål:

- +/- 1.3 m [18]
- +/- 50 deg [19]
- Dynamiskt

Noggrannhet/Upplösning:

- Position: +/- 0.18 m (VUT path avvikelse 0.05m + GVT path avvikelse 0.10m + Mätnoggrannhet 0.03m)
- Hastighet: $- 1.1 \text{ km/h} < x < 2.1 \text{ km/h}$ (VUT avvikelse 1.0 km/h + GVT avvikelse 1.0 km/h + Mätnoggrannhet 0.1 km/h)
- Longitudinell acceleration: +/- 0.1 m/s^2 (Mätnoggrannhet)
- Heading angle: +/- 0.1 deg (Mätnoggrannhet)
- Yaw rate: +/- 2.1 deg/s (VUT avvikelse 1.0 deg/s + GVT avvikelse 1.0 deg/s + Mätnoggrannhet 0.1 deg/s)

GNSS

All nödvändig GNSS-data i miljösimulatore ska överföras till VUTs GNSS-sensor antingen via injicering av datan direkt till sensorn/ECUn eller via stimulering av GNSS-mottagaren med en RF-antenn.

Vid stimulering av GNSS-mottagaren ska noggrannheten på positionen vara +/- 1.8 m, motsvarande RT3000 (SPS) från OxTS. [20]

IMU

IMU/ECUn i VUT injiceras med IMU-data från fordonsmodellen i miljösimulatore/chassidynamometern.

11.3 Kravspecifikation Testfall 4

Environment Simulator

Simulera den virtuella miljön och all sensor- och chassidynamodata i minst 100Hz.
(Krav enligt testprotokoll att all dynamisk data ska samplas och loggas med en frekvens på minst 100Hz. CAN-meddelanden från FLC och FRM skickas med en frekvens på omkring 100Hz)

Closed-loop setup: Datan från chassidynamometern måste återkopplas till miljösimulatorn för att göra det möjligt att synkronisera positionen och annan data från fordonmodellen för VUT.

Kompatibelt med OpenSCENARIO och OpenDRIVE för scenario- och vägnätsbeskrivning.

Kompatibelt med OSI för gränssnitt mellan miljö och sensormodeller beroende vilken del av sensorn som stimuleras eller simuleras.

Controller/Synkronisering

Synkronisera och leverera data till alla sensorer samt den återkopplade datan från chassidynamometern. Tidsdifferensen bör inte vara större än 10 ms (100 Hz, lägsta frekvensen för genereringen av sensor- och dynamodata)

Chassidynamometer

Closed-loop setup: Datan från chassidynamometern måste återkopplas till miljösimulatorn för att göra det möjligt att synkronisera positionen och annan data från fordonmodellen för VUT.

Noggrannhet i stimulering av VUTs aktuatorer:

- Position: +/- 0.03 m (Mätnoggrannhet)
- Hastighet: +/- 0.1 km/h (Mätnoggrannhet)
- Longitudinell acceleration: +/- 0.1 m/s² (Mätnoggrannhet)
- Heading angle: +/- 0.1 deg (Mätnoggrannhet)
- Yaw rate: +/- 0.1 deg/s (Mätnoggrannhet)

Prestanda:

- Möjligt att simulera lutning upp till 1%.
- Möjlighet att simulera en PBC (Peak Braking Coefficient) på minst 0.9.
- Styrning av framaxel/hjulvinkel: Fullt rattutslag, +/- 70 deg.

Prestanda Pre-test:

- Simulera retardation i 0.5-0.6g.
- Simulera responsen vid ABS-ingrepp.

Kamera

Kamerablocket kan bestå av den fysiska kameran eller av en sensormodell. Vid en setup inklusive den fysiska kameran spelas den simulerade miljön/bilden upp på antingen en projektorduk eller skärm beroende på placering av sensorerna i fordonet.

Setupen för kamerastimulering ska matcha monteringen av kameran i VUT. Det projicerade mediet ska överensstämma med kamerans FoV, pitch, yaw och roll med inom de toleranser som finns för det aktuella systemet. Färgåtergivning, upplösning och uppspelningsfrekvens ställs också i paritet mot kameran under test, där frekvensen blir ämne för Nyquist teoremet.

Uppspelningsfrekvensen dubbelt så snabbt som samplingsfrekvensen/frame rate.

- Frame rate på exempelkamera: 16.6 fps
 - Uppspelnings-/uppdateringsfrekvens: > 33.2 Hz

Omgivande belysningen/ljuset ska vara homogent och överstiga 2000 lux. Inget direkt riktat ljus (som kan likna solljus) mot eller från sensorn. Vid behov, inkludera kameraboxar likt [7] i setupen.

Reflektivitet våglängdsintervallet 400-800 nm (synligt ljus): Reflektiviteten på den simulerade/stimulerade målet ska efterlikna de uppmätta värdena på DRI Soft Car 360 som används som GVT i Euro NCAP 2018, genomförda i projektet HiFi Visual Target [16].

- Medelvärde reflektivitet fördelat på 11 olika mätpunkter på målets framsida: 71.3 %
- Medelvärde reflektivitet fördelat på 13 olika mätpunkter på målets vänstersida: 64.3 %

Färgåtergivning: Färgåtergivningen på den simulerade/stimulerade målet ska efterlikna de uppmätta värdena på DRI Soft Car 360 som används som GVT i Euro NCAP 2018, genomförda i projektet HiFi Visual Target [16].

- Medelvärde RGB fördelat på 11 olika mätpunkter på målets framsida: 0.7086
- Medelvärde RGB fördelat på 13 olika mätpunkter på målets vänstersida: 0.6227
- Medelvärde Kromaticitet fördelat på 11 olika mätpunkter på målets framsida:
 - u' : 0.2653
 - v' : 0.5300
- Medelvärde Kromaticitet fördelat på 13 olika mätpunkter på målets vänstersida:
 - u' : 0.2648
 - v' : 0.5285

Dimensionerna på simulerade/stimulerade målet ska följa måtten i Tabell 1 och Tabell 2 i Global Vehicle Target Specifikation [17].

Radar

Radarblocket kan bestå av den fysiska radarn eller av en sensormodell.

Minsta antal simulerade radarmål: 1 st

Generera radiovågor i frekvensbandet 77-81 GHz vis stimulering.

Simulera dynamiska RCS-värden. RCS-värdet för ett radarmål ska kunna ändras beroende avståndet mellan VUT och målet i scenariot.

Vid stimulering ska radarstimulatorn dämpa alla radiovågor som sänds ut av radarn.

Longitudinell range för radarmål:

- 0 m - >174 m [1]
- 0 m - 84 m (Test börjar vid TTC 4s + maxhastighet VUT 20 km/h + maxhastighet GVT 55 km/h)
- Dynamiskt

Lateral range/asimut för radarmål:

- +/- 3.5 m
- +/- 50 deg [19]
- Dynamiskt

Noggrannhet/Upplösning:

- Position: +/- 0.18 m (VUT path avvikelse 0.05m + GVT path avvikelse 0.10m + Mätnoggrannhet 0.03m)
- Hastighet: - 1.1 km/h < x < 2.1 km/h (VUT avvikelse 1.0 km/h + GVT avvikelse 1.0 km/h + Mätnoggrannhet 0.1 km/h)
- Longitudinell acceleration: +/- 0.1 m/s² (Mätnoggrannhet)

- Heading angle: +/- 0.1 deg (Mätnoggrannhet)
- Yaw rate: +/- 2.1 deg/s (VUT avvikelse 1.0 deg/s + GVT avvikelse 1.0 deg/s + Mätnoggrannhet 0.1 deg/s)

GNSS

All nödvändig GNSS-data i miljösimulatorn ska överföras till VUTs GNSS-sensor antingen via injicering av datan direkt till sensorn/ECUn eller via stimulering av GNSS-mottagaren med en RF-antenn.

Vid stimulering av GNSS-mottagaren ska noggrannheten på positionen vara +/- 1.8 m, motsvarande RT3000 (SPS) från OxTS. [20]

IMU

IMUt/ECUn i VUT injiceras med IMU-data från fordonsmodellen i miljösimulatorn/chassidynamometern.