

Softverska rješenja za testiranje vozila

Bošnjak, Antonio

Undergraduate thesis / Završni rad

2022

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Rijeka, Faculty of Engineering / Sveučilište u Rijeci, Tehnički fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:190:500752>

Rights / Prava: [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2025-02-20**



Repository / Repozitorij:

[Repository of the University of Rijeka, Faculty of Engineering](#)



SVEUČILIŠTE U RIJECI

TEHNIČKI FAKULTET

Preddiplomski stručni studij strojarstva

Završni rad

SOFTVERSKA RJEŠENJA ZA TESTIRANJE VOZILA

SOFTWARE SOLUTIONS FOR VEHICLE TESTING

Rijeka, svibanj 2022.

Antonio Bošnjak

0069069481

SVEUČILIŠTE U RIJECI

TEHNIČKI FAKULTET

Preddiplomski stručni studij strojarstva

Završni rad

SOFTVERSKA RJEŠENJA ZA TESTIRANJE VOZILA

SOFTWARE SOLUTIONS FOR VEHICLE TESTING

Mentor: Izv. prof. dr. sc. Jonatan Lerga

Rijeka, svibanj 2022.

Antonio Bošnjak

0069069481

Rijeka, 27. rujna 2021.

Zavod: **Zavod za računarstvo**
Predmet: **Primjena računala ST**
Grana: **2.09.03 obradba informacija**

ZADATAK ZA ZAVRŠNI RAD

Pristupnik: **Antonio Bošnjak (0069069481)**
Studij: **Preddiplomski stručni studij strojarstva**

Zadatak: **Softverska rješenja za testiranje vozila / Software solutions for vehicle testing**

Opis zadatka:

Zadatak ovog završnog rada je istražiti i dati pregled softverskih rješenja koja se koriste u razvoju i testiranju motornih vozila. Također, potrebno je dati osvrt na razvoj automobilske industrije od pojave računala kao i na trenutno stanje i buduće trendove (MSUI, električna vozila i sl.). Također, potrebno je dati pregled novih računalni tehnologija u automobilskoj industriji (uključujući autonomnu vožnju, ADAS i sl.).

Rad mora biti napisan prema Uputama za pisanje diplomskih / završnih radova koje su objavljene na mrežnim stranicama studija.

Zadatak uručen pristupniku: 27. rujna 2021.

Mentor:

Predsjednik povjerenstva za
završni ispit:

Doc. dr. sc. Jonatan Lerga

Prof. dr. sc. Robert Basan

SVEUČILIŠTE U RIJECI

TEHNIČKI FAKULTET

Povjerenstvo za završne radove

Pristupnik: Antonio Bošnjak (0069069481)

Studij: Preddiplomski stručni studij strojarstva

Zadatak: Softverska rješenja za testiranje vozila / Software solutions for vehicle testing

Opis zadatka:

Zadatak ovog završnog rada je istražiti i dati pregled softverskih rješenja koja se koriste u razvoju i testiranju motornih vozila. Također, potrebno je dati osvrt na razvoj automobilske industrije od pojave računala kao i na trenutno stanje i buduće trendove. Također, potrebno je dati pregled novih računalnih tehnologija u automobilskoj industriji.

Rad mora biti napisan prema Uputama za pisanje diplomskih / završnih radova koje su objavljene na mrežnih stranicama studija.

Zavod: Zavod za računarstvo

Predmet: Primjena računala ST

Polje znanstvenog područja: Strojarstvo

Grana znanstvenog područja: Obrada informacija

IZJAVA

Izjavljujem da sam ovaj rad izradio samostalno koristeći znanja stečena tijekom studiranja na Tehničkom fakultetu uz korištenje navedene literature.

Antonio Bošnjak

ZAHVALA

Zahvaljujem roditeljima na podršci prilikom studiranja i mentoru izv. prof. dr. sc. Jonatanu Lergi na mentoriranju i pomoći.

SADRŽAJ

1	UVOD	1
2	AUTOMOBILSKA INDUSTRIJA.....	2
2.1	Razvoj automobilske industrije do pojave računala	2
2.2	Razvoj automobilske industrije nakon pojave računala.....	5
2.2.1	Kamere	6
2.2.2	Senzori	7
2.2.3	Upravljačka jedinica motora	8
2.2.4	Controller Area Network	10
2.2.5	Softver.....	11
2.3	Aktualni trendovi u automobilskoj industriji	13
2.3.1	Električna tranzicija u Europi	15
2.4	Budući trendovi u automobilskoj industriji	16
3	AUTONOMNA TRANZICIJA AUTOMOBILSKE INDUSTRIJE	22
3.1	Umjetna inteligencija u automobilskoj industriji.....	25
4	SOFTVERSKA RJEŠENJA KOJA SE KORISTE U RAZVOJU I TESTIRANJU MOTORNIH VOZILA	29
4.1	Pregled konvencionalnih softverskih rješenja za razvoj i testiranje vozila	31
4.1.1	RAPITA Systems	31
4.1.2	DEWEsoft	33
4.1.3	Continental Engineering Services	34
4.1.4	Sierra Automotive Software Testing Solutions	35
4.2	AVL softver za razvoj i testiranje autonomnih vozila	35
4.2.1	AVL BOOST	36
4.2.2	AVL CRUISE	37
4.2.3	AVL EXCITE	37
4.2.4	AVL FIRE.....	39
4.2.5	MODEL CONNECT.....	39
4.2.6	FIFTY2 PreonLab	40
4.2.7	AVL TABKIN	41
4.2.8	AVL SPA	42
5	ZAKLJUČAK	45
6	LITERATURA.....	46
7	POPIS SLIKA	50
8	POPIS TABLICA	51

9	SAŽETAK	52
10	ABSTRACT.....	53

1 UVOD

Masovna proizvodnja automobila datira nešto više od stotinu godina u prošlost, a prve znakovite promjene u vidu tehnoloških i tehničkih inovacija su nastupile nakon Prvog svjetskog rata. Znakovita promjena paradigme je nastupila pojavom mikroračunala i procesora. Modernu povijest automobilske industrije karakterizira kretanje po skali autonomije, s ultimativnim ciljem stvaranja potpuno autonomnog vozila kojim upravlja tehnologija umjetne inteligencije. Stručnjaci predviđaju prisutnost potpuno autonomnih vozila u 2030. godini, a u središtu trenutne tranzicije se nalazi ADAS (eng. *Advanced Driver Assistance Systems*) kao medij facilitacije napretka i inovacije. U naprednijim oblicima ADAS podrazumijeva model umjetne inteligencije koji upravlja vozilom, posjeduje sposobnost učenja te vozač nije niti potreban.

Autonomija i ADAS funkcionalnosti počivaju na softverskoj infrastrukturi koja je već nadišla relevantnost hardvera u vozilu, obzirom na sve veći intenzitet usvajanja električne arhitekture automobila u modernoj industriji. Uz to, projekcije o potpunoj autonomiji, trendove i relevantne suradnje na svjetskim tržištima te s obzirom na masovne investicije usmjerene u razvoj naprednih modela umjetne inteligencije, otvara se pitanje pretkomercijalnog razvoja probitačnih inovacija koje se trebaju implementirati. Navedeno se odnosi prvenstveno na razvoj i testiranje tehnologije, s naglaskom na sigurnosne implikacije. Naime, inovacije predstavljaju napredak, no također utječu na povećanje kompleksnosti postojeće tehnologije te su konstantno potrebne prilagodbe. Unapređeni i/ili novi softver se prethodno mora temeljito testirati, tim više kada je u pitanju sigurnost vozača i ostalih osoba u vozilu. Kao efikasno rješenje se sve više primjenjuje testiranje u virtualnim okruženjima i računalne simulacije osmišljene specifično za testiranje automobilske softvera. Ovaj rad prikazuje povijesni kontekst razvoja automobilske industrije nakon pojave računala te njezin napredak do skorog cilja, odnosno potpune autonomije mobilnosti. Naglašeni su pritom aktualni i budući trendovi, dok se u samom središtu rada nalazi pregled softverskih rješenja za razvoj i testiranje vozila.

2 AUTOMOBILSKA INDUSTRIJA

Globalno tržište proizvodnje automobila je uslijed koronavirusa u 2020. godini kao i većina tržišta zabilježilo pad produktivnosti i profitabilnosti. Najveće vrijednosti je automobilska industrija zabilježila 2017. godine, kada je globalno proizvedeno oko 80 milijuna jedinica, a iz nacionalne perspektive je Kina bila najproduktivnija i najprofitabilnija [1]. Kina je i 2020. godine bila dominantna proizvodnjom od 21.39 milijuna jedinica, a Japan je kao druga najveća industrija proizveo tek 8.3 milijuna, zatim Njemačka sa 4.67 milijuna jedinica [2]. Negativan utjecaj pandemije je bio trenutačan te je već iduće godine proizvedeno 66.7 milijuna jedinica širom svijeta, dok se do kraja 2022. godine očekuje rast tržišta na vrijednost od 2.8\$ trilijuna [3], što samo demonstrira snagu i veličinu ove industrije. Osim svakodnevnog privatnog i javnog prijevoza za građane, automobilska industrija ima druge, mnogo šire implikacije, od kojih su najvažnije one ekonomske. Prema Europskoj Komisiji [4] automobilska industrija je ključan aspekt prosperiteta EU jer osigurava zaposlenje 13.8 milijuna europskih građana i građanki. Osim toga je ova industrija multiplikacijski medij za rezultate drugih industrija (ponekad i obrnuto), kao što su industrija čelika, tekstila, IKT-e itd. te je zbog toga automobilska industrija osjetljiva na trendove.

2.1 Razvoj automobilske industrije do pojave računala

Moderna automobilska industrija vuče korijene iz druge polovice 18. stoljeća; točnije, radi se o 1769. godini, kad je izumitelj N. Cugot izgradio parni stroj na tri kotača koji je bio namijenjen za prijevoz artiljerije, zbog čega se „smatra tvorcem prvog cestovnog motornog vozila“ [5]. Budući da je u pitanju parni pogon, navedeni se izum ne smatra istinskim začetkom automobila, već se to pripisuje Jean J. Etienne Lenoiru stotinu godina kasnije, odnosno 1860. godine u Francuskoj je Lenoir izumio prvi plinski motor [6]. U narednih nekoliko godina je bilo pokušaja unapređenja, no ništa značajno se nije dogodilo sve do 1885. kad je Daimler predstavio svoj benzinski motor, a već sljedeće godine je izumljen prvi automobil na plinski pogon [6]. Ubrzo su na tržištu bile stotine proizvođača (Opel, Durant and Studebaker, Daimler, Lanchester, Olds) [7]. Otkriće masovne proizvodnje je učinilo SAD globalnim liderom, a pravi profiti u automobilskoj industriji su počeli pristizati implementacijom montažnih linija.

Do 1926. je Ford proizvodio pola svih motornih vozila na svijetu [5], a financijski rezultat se najviše multiplicirao nakon što je Model-T (slika 2.1.) postao dostupan srednjem staležu [8].



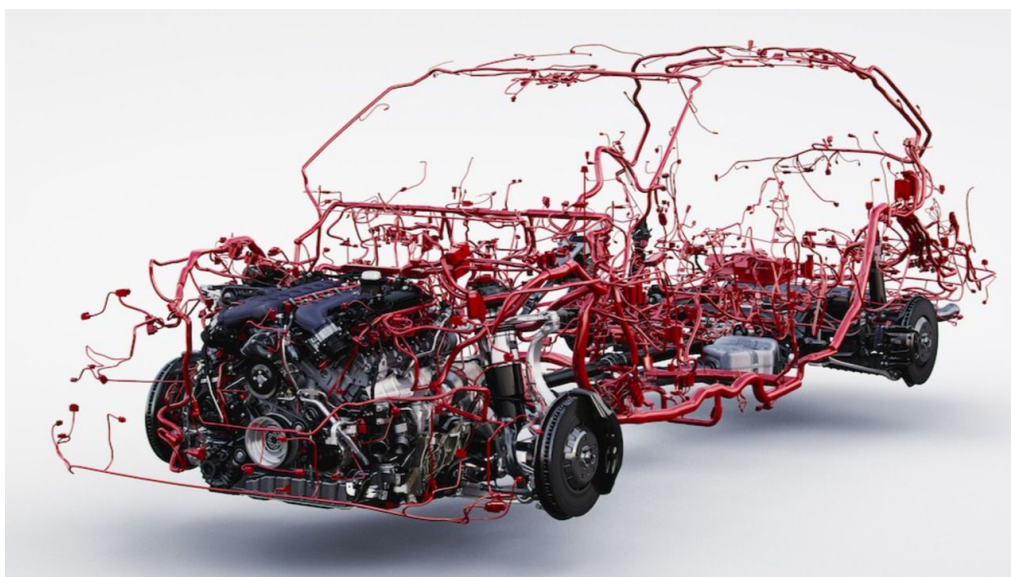
Slika 2.1. Fordov Model-T

Izvor: <https://silodrome.com/history-model-t-ford/> [pristupljeno 07.05.2022.]

1920-ih godina se situacija na tržištu za Forda otima kontroli posljedično inovativnosti General Motorsa koji je osmislio planiranje zastarijevanja proizvoda i zahvaljujući inovativnom konceptu imao priliku periodično, no redovno na tržište plasirati redizajnirani automobil (koji se nije značajno razlikovao od prethodnog modela) [5]. Samim time je GM konstantno jačao ponudu budući da je često plasirao proizvode koji ranije nisu bili dostupni te je na taj način povećao interes javnosti i potražnju. Prvi svjetski rat je počeo otprilike u isto vrijeme kad je Ford pokrenuo masovnu proizvodnju, iz čega proizlazi njegova ambicija, budući da je odlučio zanemariti potencijalne inovacije nastale kao produkt novih ratnih potreba, a koje će potencijalno imati negativan utjecaj na situiranost Modela-T na tržištu, a to je upravo ono što je uslijedilo. Val inovacija potaknutih ratom je preplavio tržište, a prvo su nastupile modifikacije postojećih proizvoda. Primjerice, Rolls-Royce Silver Ghost model, koji je imao većinu obilježja oklopnog vozila te je bio omiljeno prijevozno sredstvo britanske vojske [9]. Renault je posebno došao do izražaja tijekom Prvog svjetskog rata zahvaljujući isporukama taksi vozila; Ford je u to vrijeme

isporučivao Model-T vozila hitne pomoći te su popularizirani Citroen i BMW [9]. Automobilska industrija je bila ključni faktor u Prvom svjetskom ratu, budući da je isporučeno nekoliko milijuna vozila, a američki proizvođači su istovremeno koristili tvornice za proizvodnju raznih predmeta široke potrošnje za vojsku. Zbog velike potrošnje resursa (guma, benzin) je došlo do obustave proizvodnje automobila za civilno tržište 1942. godine [10]. U godinama nakon rata se ekonomska situacija stabilizirala te su kanali oglašavanja kroz novu tehnologiju televizije i širenje sustava autocesta u svijetu rezultirali su značajnim rastom u automobilskoj industriji širom svijeta“ [11].

Druga polovica 20. stoljeća označava eksplozivan napredak automobilske industrije iz raznih perspektiva i u raznim dijelovima svijeta u isto vrijeme. Nakon što je 1950-ih godina izumljen (inicijalno nepopularni) tempomat, 1960-e godine karakterizira napor proizvođača za smanjenjem štetnih plinova, počevši od kućišta motora 1936. godine do katalizatora u 1970-im godinama su proizvođači uspješno reducirali ispušne plinove za 95%, usporedno s 1967. godinom [12]. Istovremeno se u Velikoj Britaniji razvilo elektronsko ubrizgavanje goriva te je povećana efikasnost potrošnje goriva, a nedugo nakon su standardizirane sigurnosne zračne vreće te dolazi do značajnih skokova u prodaji japanskih modela [12]. Komunikacija unutar automobila je do 1980. godine bila u potpunosti izvedena žičano, a svaka inovacija je značila dodavanje novog segmenta žica na postojeće. U prosječnom automobilu je svojevremeno bilo isprepletano oko četiri kilometra žice [13]. Slika 2.2. prikazuje ožičenje tadašnjeg automobila.



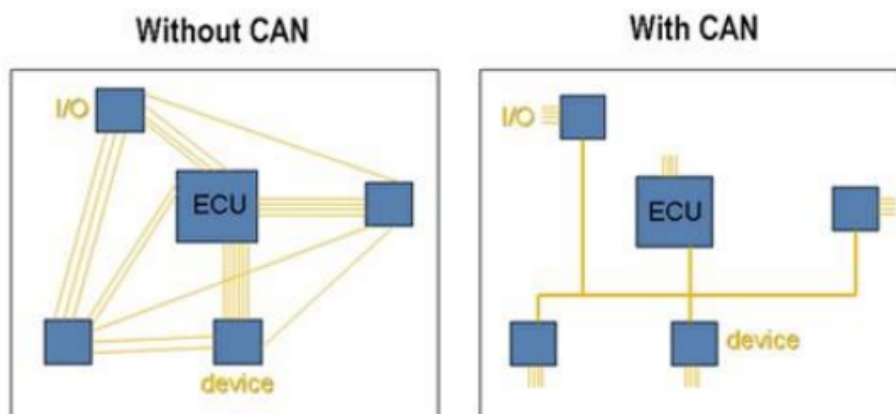
Slika 2.2. Ožičenje automobila prije pojave CAN-a

Izvor: <https://www.motor1.com/news/65202/bentley-bentayga-wiring-harness-is-weirdly-beautiful/> [pristup 07.05.2022.]

1980-e su dakle bile razdoblje kada su žice prepoznate kao rješenje koje prestaje biti održivo, a pojavila su se mikroračunala i mikroprocesori čija je brzina, preciznost i fleksibilnost omogućila proizvođačima uvođenje inovativnih aspekata u područjima sigurnosti i učinkovitosti automobila, počevši od motora sa slabijim sagorijevanjem, do elektroničke kontrole stabilnosti vozila [14]. Nadolazeće razdoblje je od povijesne važnosti za automobilsku industriju, budući da je od ranih 1980-ih godina rastući broj automobila obavezno sadržavao mikroračunala te su ECU-ovi (eng. *electronic control unit*) postali neizostavna komponenta.

2.2 Razvoj automobilske industrije nakon pojave računala

Tehnologija nije prestala napredovati te su proizvođači započeli s ugradnjom i po nekoliko ECU-ova u automobil, pri čemu je svaki ECU upravljao određenim podsustavom. Tad se javila potreba za učinkovitim modelom komunikacije koji će omogućiti ECU-ovima međusobnu komunikaciju, odnosno koordinaciju svih funkcionalnosti u vozilu. Bosch je tad razvio CAN (eng. *Controller Area Network*) mrežu [15], odnosno „digitalnu računalnu mrežu koja komunicira s različitim elektroničkim upravljačkim jedinicama u automobilu“ [13]. CANbus sabirnica je značajno pojednostavila unutrašnjost automobila, što je jasno vidljivo na slici 2.3. u nastavku; prethodno se komunikacija bazirala na kilometrima isprepletenih žica koje su jednostavno eliminirane uvođenjem CAN mreže.



Slika 2.3. Usporedba komunikacije komponenti bez CAN (lijevo) i s CAN mrežom komunikacije

Izvor: https://www.bib.irb.hr/1103413/download/1103413.Diplomski_rad_Ivan_Nizic.pdf
[pristup 07.05.2022.]

Različiti podsustavi u automobilu čiju komunikaciju CANbus sabirnica potiče se nazivaju još i čvorovi (eng. *nodes*) [16]. Bitno je znati da se komunikacija putem CAN mreže ne može odvijati bez konstantnog toka informacija na sabirnici; radi se o informacijama o različitim parametrima i uvjetima vožnje koje proizlaze iz senzora koji se nalaze u različitim dijelovima vozila. Opsežna mreža senzora odašilje informacije (eng. *input*) koje se na sabirnici očituju kao električni signali, impulsi. Informacije su interpretirane od strane ECU-a, koja zatim šalje odgovarajuću povratnu informaciju pogonima (elektronički upravljanim uređajima kao što su motori, pumpe i ventili), ovisno o vrijednosti pojedinog parametra, koji onda izvrše potrebno podešavanje da bi se stabilizirali uvjeti; korekcije se konstantno događaju jer vozilo konstantno radi na optimizaciji.

2.2.1 Kamere

Proizvodnja i primjena prvih stražnjih kamera 1987. godine se pripisuje Toyoti, a postoje podaci o sustavima stražnjih kamera spojenih na LCD monitor unutar vozila 1991. godine, no navodno ova inovacija nije napustila japansko tržište [17]. 2008. godine je Američki kongres propisao zakonsku obvezu za svaki novi automobil o opremljenosti sigurnosnim kamerama koje su prema tome bile dio standardne opreme automobila [18], u svrhu povećanja sigurnosti prometa. Primjena kamera u automobilima je postala popularna početkom 2000-ih, odnosno „Nissan Infiniti Q45“ je bio jedan od prvih automobila s kamerom montiranom na registarskoj tablici, odnosno u prtljažniku, a prijenos je bio vidljiv na 7-inčnom LCD monitoru na upravljačkoj ploči automobila. Osim prijenosa su vozaču bile vidljive linije u vidu oznaka kao pomoć za parkiranje [19]. Desetak godina kasnije je Cadillac predstavio kamere montirane u retrovizorima automobila u svrhu smanjenja mrtvih kutova za vozače koji često voze unatrag; kamera je prenosila video na „1280x240 TFT (eng. *thin-film-transistor*)“ LCD monitor koji prenosi vozaču snimku kamere visoke rezolucije, čime je Cadillac omogućio vozačima 300% veće vidno polje nego što bi to omogućili regularni retrovizori [19]. 2007. godine je Nissan modelom „Infiniti EX35“ predstavio prvi sustav koji omogućava vidno polje od 360 stupnjeva, a što je postignuto instalacijom četiri širokokutne kamere (sprijeda, sa strane i straga), pri čemu je svaka pokrivala 180 stupnjeva vidnog polja, a računalno je zatim kombiniran prijenos sve četiri kamere i stvorena slika [19]. Još su 2019. godine BMW, Hyundai, Tesla predstavili modele s višestrukim kamerama, od onih za mrtve kutove preko kamera za prepoznavanje lica [19]. U SAD-u većina automobila ima ugrađenu kameru u upravljačkoj ploči vozila, no u RH snimanje kamerom koja se nalazi u upravljačkoj ploči

vozila (eng. *dashboard camera*) može biti inkriminirajuće u određenim slučajevima zbog potencijalnog kršenja GDPR-a. Stražnje kamere su veoma aktualne i koriste se vrlo često u svakodnevnoj vožnji, najčešće pri parkiranju.

2.2.2 Senzori

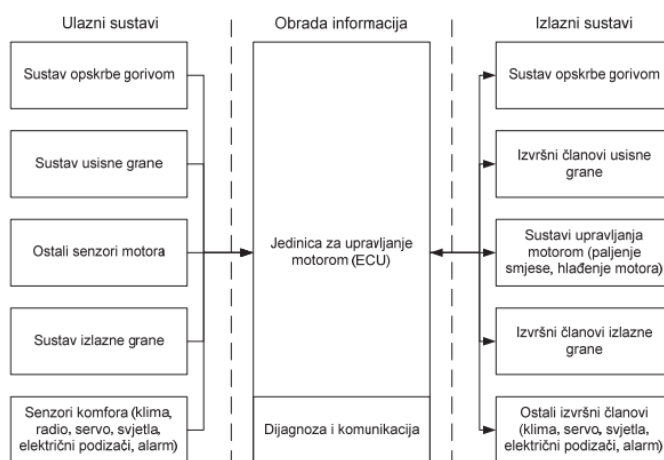
Jednostavni modeli suvremenih automobila sadrže nekoliko ECU-a, odnosno upravljačkih jedinica koje upravljaju podsustavima. Optimalno iskustvo korisnika proizlazi iz efikasne koordinacije funkcionalnosti, odnosno postoji konstantna usklađenost različitih ECU-ova koja se temelji na komunikaciji. Da bi to bilo moguće, računalo mora od ECU-a zaprimiti preciznu informaciju koja okida odgovarajuću povratnu reakciju. Senzori su komponenta koja je polazna točka takvih informacija. Mjere se uvjeti poput temperature, pritiska, položaja, kisika, napona, brzine i sl. Informacija od senzora do ECU-a dolazi preko sabirnice.

Kao što je slučaj s ostalom opremom, senzori se jednako tako mogu pokvariti, za što postoje razni uzroci, od kratkog spoja, oštećenja komponente, kabla ili mjernog dijela kabla, sve do tvorničke greške ili nepravilne instalacije. Moderni automobili, koji su iznimno kompleksni softverski sustavi, sadrže dijagnostičke sustave koji detektiraju mogućnost kvara, odnosno postoji opcija automatske kontrole čitavog sustava i slanje povratne informacije o eventualnom postojanju greške ili kvara, pri čemu se vozaču na LCD monitoru pokazuje upozorenje.

Senzorska tehnologija se u osnovi dijeli na radarsku i ultrazvučnu. Razlika proizlazi iz podražaja koji aktivira povratnu informaciju koju senzor šalje; radarski senzori funkcioniraju po principu elektromagnetskih impulsa, dok ultrazvučni senzor detektira zvučne podražaje [20]. Radarski valovi putuju brže od elektromagnetskih i „sudaraju“ se s predmetima, zbog čega su manje podložni utjecaju okoline, a to je osnovna razlika [20]. Zahvaljujući napredovanju tehnologije čak i najnespretniji vozači nemaju problema s parkiranjem, a to je moguće zahvaljujući kombinaciji kamera i senzora koji koordinirano čine osnovu tzv. asistencije pri parkiranju (eng. *park assist*).

2.2.3 Upravljačka jedinica motora

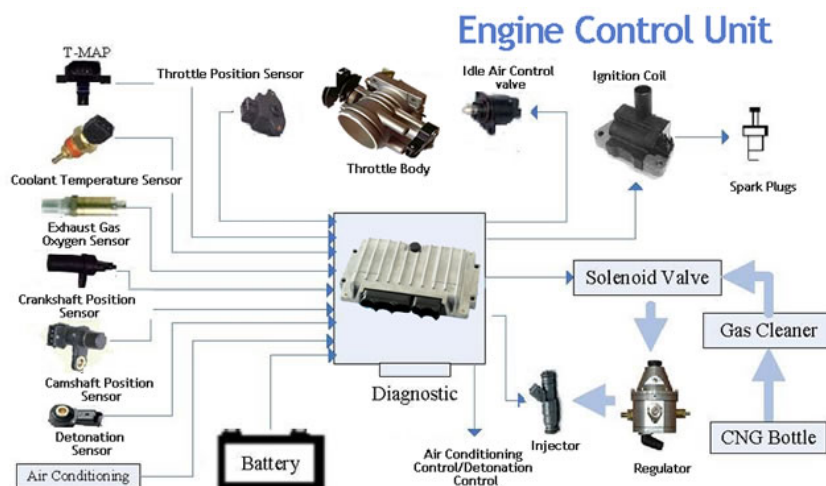
Računala u automobilu su inicijalno služila jednoj svrsi – ubrizgavanju goriva (eng. *electronic fuel injection - EFI*), što je poznato i kao EFI sustav koji je Volkswagen uveo prije ostalih proizvođača automobila 1968. godine implementirajući elektronički modul koji je proizveo Bosch [21]. Kroz idućih 8 godina su vlastita računala predstavili Ford, General Motors i Chrysler, dok je i najpoznatiji proizvođač računalnih procesora Intel 1976. godine proizveo „Engine Control III (EEC-III)“ procesorsku jedinicu, odnosno kombinaciju mikroračunala i memorijske jedinice koja se počela komercijalno pojavljivati u Ford modelima 1981. godine, no Intel je potpisao ugovor s Fordom tek 3 godine kasnije, kada je Ford odlučio dramatično redizajnirati model upravljanja pogonom [22]. Suvremeni ECU (eng. *engine control unit*) predstavlja središnju upravljačku jedinicu motora. Osnovni cilj je upravljanje i kontroliranje motora vozila. U suštini se radi o malenom elektroničkom uređaju u koji su programirani brojevi te čija memorija sadrži određene parametre [23]. Temeljem CAN digitalne komunikacije ECU prima konstantan *input* o „temperaturi motora, brzini vrtnje i usisnog zraka te koliko je pritisnuta papučica gasa“ [13], ali i mnogim drugim parametrima. Mikroračunalo obrađuje informaciju te ECU izdaje naredbu za prilagodbu uvjeta, iz čega proizlazi kontrolna i upravljačka funkcija ECU-a. Na slici 2.4. u nastavku su prikazani sustavi koji središnjoj upravljačkoj jedinici motora pružaju ulaznu informaciju, odnosno input, dok su s desne strane prikazani sustavi kojima zatim ECU daje izlaznu informaciju, odnosno naredbu.



Slika 2.4: Komunikacija komponenti s ECU u središtu

Izvor: <https://hrcak.srce.hr/file/127900> [pristup 07.05.2022.]

ECU kontrolira većinu primarnih elektroničkih funkcionalnosti, od ubrizgavanja goriva, preko održavanja temperature unutar vozila, sve do kontrole kočnica i amortizera. Ukoliko je ECU neispravan, utoliko neće biti moguće pokrenuti vozilo. Iz toga proizlazi važnost ove komponente. Slika 2.5. u nastavku prikazuje shemu po kojoj se odvijaju interakcije ECU-a i ostalih komponenti u vozilu.



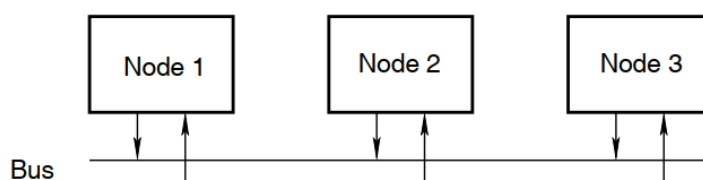
Slika 2.5: Shema interakcija ECU-a i ostalih komponenti

Izvor: <https://www.pinterest.com/pin/481251910154768175/> [pristup 07.05.2022.]

Temeljem inputa ECU definira količinu goriva koju je potrebno ubrizgati, zatim vrši procjenu dostatnosti goriva i razine kisika u usporedbi s idealnim (stehiometrijskim) uvjetima, dok temeljem *inputa* senzora spojenog na papučicu gasa procjenjuje otvorenost ventila. Zahvaljujući *inputima* o strujanju zraka i temperaturi rashladne tekućine ECU procjenjuje koliko je (ili nije) motor zagrijan; ako nije dovoljno zagrijan, ECU izdaje naredbu za ubrizgavanje goriva. U središnju upravljačku jedinicu većine automobila integrirana je i kontrola pokazivača brzine i broja okretaja, čime se preko koljenastog vratila vrši mjerenje okretaja po minuti. Pojedini motori funkcioniraju po principu promjenjivosti vremena otvaranja ventila, a upravo je ECU jedinica koja upravlja vremenskim ciklusima otvorenosti ventila – pri većim brzinama se otvaraju ranije nego što je to slučaj kada automobil vozi sporije, a na taj način ECU zapravo povećava protok zraka kroz cilindar, čime se povećava snaga i smanjuje potrošnja goriva.

2.2.4 Controller Area Network

CAN je standard za većinu sustava, a može se pronaći u većini automobila, kamiona, plovila, svemirskih letjelica itd. Široku primjenu pronalazi također u automatizaciji industrije, strojnoj proizvodnji, medicinskoj opremi, građevinskim automatizacijama pa čak i invalidskim kolicima [24]. Napredovanje i uspjeh CAN mreže se može pripisati evoluciji mikroračunala i povećanju distribuiranosti kontrole unutar vozila. Inicijalna primjena CAN-a je u automobilskoj industriji doprinijela masovnoj proizvodnji CAN sustava te se današnja široka ponuda CAN-a u većini mikroračunala po veoma niskim cijenama može zahvaliti tome [24]. U kontekstu komunikacije između ECU-a u vozilu CAN predstavlja suvremeni standard za efikasnu i pouzdanu komunikaciju između senzora, aktuatora, upravljača i drugih tzv. čvorova u stvarnom vremenu.



Slika 2.6: Komunikacija čvorova, odnosno ECU-ova na sabirnici

Izvor: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:228:044329> [pristup 07.05.2022.]

S obzirom na brzinu funkcioniranja mreže je CAN sustave moguće podijeliti na niskobrzinske (eng. *low-speed CAN*) „koji radi na manje od 125 Kbps i služi za rad elektronike zaslužne za komfor kao što je električno namještanje sjedala i upravljanje prozorima“ [25], odnosno visokobrzinske (eng. *high-speed CAN*) koji ostvaruje brzinu i do 1Mbps, a regulira komunikaciju sustava koji uvjetuju brzu povratnu informaciju, odnosno odaziv. Slika 2.6. prikazuje princip komunikacije u CAN kontekstu – U gornjem dijelu slike su vidljivi čvorovi, koji u kontekstu vozila predstavljaju različite ECU-ove, dok linije u donjem dijelu slike predstavljaju podatkovnu sabirnicu (eng. *CAN bus*).

Raspored komponenti definira protokole za razine fizičkih i podatkovnih spojeva OSI modela (eng. *Open Systems Interconnection*) [26] te se omogućava komunikacija između mrežnih čvorova i razine podatkovnog spoja, odnosno omogućava se međusobna komunikacija između čvorova tj. ECU-a [24]. Komunikacija između senzora i ECU-a na bazi CANbus sabirnice funkcionira kao

konstantna petlja povratne veze. Komunikacija među čvorovima se odvija zahvaljujući kodiranim informacijama koje omogućuju ECU-ovima da prepoznaju izvor nadolazeće poruke; „svaka poruka sadrži početni bit (nazvan početak okvira ili početak poruke), nakon čega slijedi identifikacijski kod (11-bitni kod), nakon čega slijedi kod prioriteta i konačno 0 do 8 bajta (1 bajt = 8 bita) stvarnih podataka i nekoliko bitova kojima je označen kraj poruke“ [13]. Dakle, svaki ECU spojen na sabirnicu može sudjelovati u komunikacijskoj mreži, odnosno slati i primiti podatke.

S obzirom na to da u vozilu postoji više ECU-ova, moguće je da u trenutku kada nema prijenosa različiti čvorovi u isto vrijeme pošalju signale koji se međusobno mogu susresti i „sudariti“. U svakom trenutku u CAN mreži vozila fluktuiraju oko 2.000 različitih signala. Naime, senzori će uvijek odašiljati rezultate mjerenja parametara, bez obzira na to postoji li potreba ili ne. Signali su u konstantnoj cirkulaciji jer mikroracunala uvijek odašilju [27]. U svrhu sprječavanja konflikta među signalima sabirnica koristi „CSMA/CD+AMP (eng. *Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection and Arbitration on Message Priority*)“ [28] metodu po osnovi koje od svih tih informacija identificira i zatim odabire samo one koje su u tom trenutku potrebne. Jednostavno rečeno, sabirnica prepoznaje i prioritizira relevantne informacije, dok ostale zanemaruje. To je moguće jer svaki signal ima određenu vrijednost izraženu u bit-ima; sve dok nadolazeći inputi imaju jednake bit vrijednosti, navedeni mehanizam će funkcionirati. Taj se proces naziva arbitražom sabirnice. Postoje i drugi načini identifikacije pogreške u radu jer svaki ECU koji trenutno nije odašiljač signala u nadolazećim porukama pokušava pronaći potencijalnu grešku – ako je greška pronađena, šalje se automatska povratna informacija o neispravnoj poruci [23]. Prema tome se radi o vrlo inteligentnom konceptu koji obrađuje podatke istovremeno bez da ih mora preusmjeravati i/ili filtrirati.

2.2.5 Softver

Automobilska industrija je zahvaćena dinamičnim promjenama koje uzrokuju digitalizacija i trendovi u tehnološkim mogućnostima povezivanja. Neprestano se u vozilu osnažuje veza između čovjeka i stroja. Pritom je softver poveznica između dviju karika koja to omogućava transparentno strukturirajući informacije. Gotovo svaki moderni model funkcionira na bazi vlastitog računalnog sustava koji upravlja većinom funkcijama vozila. Moderna računala unutar vozila strukturiraju, prepoznaju, obrađuju i koriste informacije, a istovremeno primjenjuju širok spektar funkcija

ugrađenih u kompleksni sustav. Zahvaljujući tome računalo može vršiti kalkulacije, uzimati u obzir čak i uvjete u kojima se vožnja odvija te donositi odluke, dok istovremeno realizira interakciju s vozačem kojem su omogućene informacije u stvarnom vremenu. Navedeno je jedan od razloga rastuće razine povjerenja u mogućnosti modernih vozila.

Konjske snage i mehanička dinamika više ne predstavljaju prioritet jer su vozači sve senzibilniji u odnosu na druga pitanja kao što je besprijekorna integracija automobila s obzirom na postojeći digitalni ekosustav [29], odnosno automobili više nisu hardverski definirani, već postaju softverske prijevozne platforme. Konstantne inovacije u industriji više ne podrazumijevaju mehaničku genijalnost, već se sustavi poput intuitivnog infozabavnog ili sustava asistenta u vožnji baziraju na softveru, kvaliteti, izvršenju i integraciji [30]. Naravno, koliko softver implicira transformaciju u mogućnostima vozila, isto tako konstantno predstavlja razvojni izazov u automobilskoj industriji, a uvijek je aktualna i kibersigurnost [30]. Stopa tehnološkog razvoja je toliko visoka da ljudsko znanje i primjena često ne mogu držati korak.

Dobar je primjer demonstracije napretka tehnologije i njezine integracije u automobilskoj industriji broj u linijama koda automobila. 2015. godine su vozila koja su funkcionirala na bazi integriranog softvera sadržavala oko 10 mil. SLOC (eng. *source lines of code*), a već 2016. se taj broj popeo na oko 150 milijuna SLOC [30]. Za moderna vozila je sasvim uobičajeno da sadrže oko stotinu različitih ECU-ova. Svaki od njih upravlja određenim setom funkcija, a tehnologija omogućava stalno povećanje spektra dostupnih funkcija – od pristupnog sustava automobila, preko sustava zabave i informacijskog sustava, sve do adaptivnog tempomata. Povrh toga svaki automobil posjeduje vlastiti softver na temelju kojeg vozilo komunicira samo sa sobom, a zatim i s oblakom (eng. *cloud*), odnosno virtualnom bazom podataka [29]. Tipično vozilo novije generacije vrlo vjerojatno posjeduje softversku arhitekturu koja sadržava 5 i više različitih modula, a koji stvaraju stotine funkcionalnih komponenti, kako unutar automobila, tako i u oblaku; od infozabavnog sustava, preko ADAS-a i mapiranja, sve do telematike i aplikacija trećih strana [30]. Tranzicija je tako brza da čak niti dionici u automobilskoj industriji ne mogu držati korak. Nerijetko se događaju greške u softveru koje ne budu odmah otkrivene, zbog čega se određeni softver za automobile mora povući iz prodaje jer postoje greške u kodu. Također, visoke cijene integracije softverskih komponenti i nadogradnje funkcionalnosti koje će zadovoljiti rastuća potrošačka očekivanja, uključujući napredne i skupe automatizirane ADAS sustave, kao i druge virtualne pomoćnike na bazi umjetne inteligencije (npr. *onboard assistants*) djeluju obeshrabrujuće na proizvođače automobila [30]. Proizvođači modernih automobila nerijetko surađuju s različitim ponuđačima softvera ne bi li osmislili i implementirali razne mogućnosti te

pritom koriste različite programske jezike, operativne sustave i softverske strukture. Proizvođači u automobilskoj industriji često koriste osnovne kodove postojećih softvera koji su se primjenjuju u drugim industrijama i tako smanjuju trošak i vrijeme za razvoj proizvoda. Primjerice, za *infotainment* sustave vozila se kodovi i softverske komponente često preuzimaju iz industrija pametnih telefona, a upravo zato su sve popularnije automobilske inačice mobilnih operativnih sustava; ADAS koristi softver iz aplikacija svemirskih industrija, dok operativni sustavi uglavnom potječu iz industrija poluvodiča i od proizvođača ugrađenih softvera (eng. *embedded-software*) [30]. Dakle, softver s aspekta vrijednosti nadilazi hardver, sustavi su postali inteligentni. Da bi pravovremeno ažuriranje softvera bilo moguće, vozila se unaprijed opremaju naprednim hardverom prije standardnih operativnih procedura, a čije će funkcije i vrijednost biti moguće nadograditi tijekom životnog ciklusa automobila. Daljnji napredak će, s druge strane, postaviti nove izazove pred automobilsku industriju – prevencija greški u softveru će dobiti na važnosti, dok će se istovremeno očekivati maksimalno jednostavan softver te će se većina aktera u industriji suočiti s poteškoćom pronalaska ravnoteže između ekstrema.

2.3 Aktualni trendovi u automobilskoj industriji

Konstantna unapređenja neprestano uzrokuju rastuća potrošačka očekivanja s funkcionalnog i softverskog aspekta, dok istovremeno cijene jednostavnost korištenja. Zbog tendencije tehnoloških inovacija da unese novu dozu kompleksnosti u postojeću tehnologiju, novi proizvodi i unapređenja su iznimno kompleksni procesi u automobilskoj industriji. Prije četiri godine su istraživači [32] komentirali tadašnju situaciju industrije s digitalnog i tehnološkog aspekta i prognozirali pet ključnih trendova za budućnost. Sveli su ih u sljedeću rečenicu: Budućnost automobila je električna, autonomna, podijeljena, povezana i ciklus proizvoda je godišnji. Zamislili su dakle vozila koja se na bazi umjetne inteligencije (eng. *Artificial Intelligence - AI*) autonomna i prema tome ne zahtijevaju ljudsku interakciju, čak niti intervenciju u kompleksnim prometnim situacijama. Također je predviđena mogućnost „pozivanja“ odnosno naručivanja vozila kad god za to postoji potreba (eng. *on-demand*), što će eliminirati potrebu za traženjem prijevoza [32], kao i umreženost vozila međusobno te umreženost vozila s aspektima prometne infrastrukture poput semafora [32].

Trenutno je životni ciklus automobila 2-5 godina, no tehnološki napredak u automobilskoj industriji donosi značajnu promjenu po tom pitanju. Zbog intenziteta i učestalosti probitačnih

inovacija se očekuje skraćivanje životnog ciklusa proizvoda na jednu godinu. Naravno, potrošači neće biti voljni svake godine kupovati vozilo, zbog čega će inovacije u ranim fazama svoj put na tržište pronaći kroz regularna ažuriranja softvera. Vidljivo je, dakle, kretanje automobilske industrije i koncepta mobilnosti u smjeru autonomije, no tranzicija je zasad spora. Za to postoje razlozi koji impliciraju specifičnu problematiku za sudionike u industriji, primarno proizvođače i dobavljače.

Opći razvojni izazov je postao stvarnost zbog prisutnosti softvera u gotovo svakom dijelu vozila. Zato raste potreba i napor za ostvarivanjem koordinacije različitih sustava i stvaranjem funkcionalne cjeline. Primjerice, suvremeni *infotainment* sustavi iziskuju i do 3 godine intenzivnog rada te nekoliko stotina istraživača na svakoj iteraciji procesa; 30-50% napora je rezervirano za integraciju, budući da su mreže dobavljača šire no ikad, a promjena samo jednog softverskog modula zahtijeva ponekad i preinaku cjelokupnog projekta [30]. Razlog tomu je kompleksnost retroaktivne nadogradnje, koja je izuzetno komplicirana budući da se softverska arhitektura mora reprogramirati i redizajnirati [30]. Posljedično se softver mora ponovno razvijati svakih nekoliko godina da bi ostao ažuran. Nadalje, softverska kompleksnost je na dobrom putu da se utrostruči u vremenskom razdoblju od samo 10 godina [30]. To je prije svega izazov za proizvođače originalnih dijelova i dobavljače, čija produktivnost ne može pratiti stopu inovacije. Dijelom je to uzrok manjka kompetentnih stručnjaka u industriji kao i rasta troškova daljnjeg razvoja. Zato dolazi do manjka kompetentnih stručnjaka u industriji i rasta troškova daljnjeg razvoja. Akteri automobilske industrije su svjesni problema, no također znaju da bacanje novca ne može riješiti problem, već je potrebno usporiti razvoj smanjenjem kompleksnosti tehnologije [30].

Prvi pokušaji stvaranja autonomnih vozila su bili usmjereni na ADAS sustave. Funkcionalnosti poput kočenja u nuždi, pomoćnih i sigurnosnih kamera, prilagodljivih tempomata te sustava za autonomno parkiranje su inicijalno bile dostupne samo u luksuznim vozilima. Eventualno su uznapredovale i postale propisane zakonom zbog velike koristi koju pružaju, a također su tako ostvarile ubranu penetraciju na tržište. Do 2016. godine je ADAS sustav stvorio tržište vrijedno 15\$ milijardi; globalno se broj ADAS sustava povećao s 90 milijuna u 2014. na 140 milijuna u 2016. godini (odnosno gotovo 50% u 2 godine) [33]. Pojedine su funkcionalnosti pokazale intenzivniju primjenu u odnosu na druge; primjerice sustav za pomoć pri parkiranju bilježi porast korištenja za oko 150%, dok sustavi za prednje osvjetljenje porast od samo 20% u razdoblju od 2014.-2016. godine [33]. Istraživanje iz 2019. godine sugerira da će između 2020. i 2030. godine tržište softvera za automobile prerasti samo tržište automobila. Tad su najavljene pojave poput ACES (eng. *autonomous, connectivity, electrification, shared mobility*) i *over-the-air* ažuriranja

[31] koja će zamijeniti posjete automehaničarima, budući da će se sve izmjene odraditi putem softverskog ažuriranja automobila. *Over-the-air* ažurnost je danas stvarnost svih automobila koji funkcioniraju na softverskoj arhitekturi, dok se na autonomnosti i dalje intenzivno radi.

Izjavu o intenzivnom rastu tržišta automobilskog softvera istraživači [34] objašnjavaju da trendovi poput ACES osim što zahtijevaju nove funkcionalnosti također impliciraju promjene u osnovnoj električkoj i elektroničkoj arhitekturi vozila, a takve tranzicije dalje proizvode potrebu za promjenama u kolaborativnim modelima dobavljača, proizvođača i drugih sudionika u industriji te proširenje odnosa među akterima. Osim toga, uvođenje novih platformi za električne i autonomne automobile za proizvođače originalnih dijelova i prvoklasne dobavljače znači komplikacije u portfeljima proizvoda, koji očito nisu spremni na takve promjene.

2.3.1 Električna tranzicija u Europi

Od navedenih inovacija koje još nisu dosegle komercijalnu primjenu, električni aspekt se čini najstvarnijim i najaktualnijim; prekretnica za usvajanje putničkih električnih vozila se dogodila 2020. godine uslijed COVID-19 pandemije. Na čelu razvojne kolone je Europa, gdje potražnja za električnim vozilima raste zbog izdašnih subvencija za potrošače, čime se potiče doprinos ciljevima održivog razvoja. U 2021. godini rasprave su bile usredotočene na datum završetka prodaje vozila s motorima s unutarnjim izgaranjem te su novi europski strateški razvojni okviri uključivali poticanje rasta udjela električnih vozila za 50% do 2030. godine [35], dok su određene zemlje čak najavile potpunu zabranu korištenja vozila s motorima na unutarnje izgaranje do 2030. i/ili 2035. godine, primjerice Njemačka [36]. Moderni uvjeti koje karakterizira iznimno visoka cijena goriva na dnevnoj bazi doprinose motivaciji potrošača da potraže održivije alternative s aspekta troškovne učinkovitosti; u Hrvatskoj je 2021. godine prodan rekordan broj rabljenih i novih električnih automobila, odnosno radi se o rastu od 127% u odnosu na 2020. godinu [37]. Konstantan rast potražnje za električnim automobilima stavlja određenu dozu pritiska na opskrbni lanac, s naglaskom na proizvođače originalnih dijelova koji konstantno moraju širiti suradnju. Europsko i tržište Velike Britanije su predvodnici tranzicije na obnovljive izvore energije te postoje naznake da će se od 2030. godine prodavati isključivo električna vozila, kao i očekivanja da će se ove godine prodaja istih udvostručiti [38]. Intenzivno se potiče tranzicija sukladno UN-ovim i EU naporima da se ostvare nulte emisije stakleničkih plinova radi kritičnih razina globalnog zatopljenja. Električni automobili su nevjerojatno rješenje po tom pitanju jer tijekom životnog

ciklusa proizvoda emitiraju do 30% manje štetnih ispuha [39]. Značajno se povećava potražnja za unaprjeđenim i/ili novim digitalnim uslugama, raste konkurentnost među proizvođačima ekonomičnih i autonomnih električnih vozila te je zamjetno povećanje u tendencijama potrošnje i proizvodnje obnovljivih izvora energije u kontekstu automobilske industrije.

Zaključeno je da implementacija inovacija u poslovanje predstavlja jedinu konstantu u moru dinamičnih promjena suvremene poslovne okoline, zbog čega će akteri u industriji koji budu predvodili razvoj novih proizvoda i usluga kroz digitalizaciju ostvariti značajne prednosti. Drugim riječima, neophodno je ulaganje u adekvatne mjere prilagodbe digitalnoj transformaciji, s naglaskom na infrastrukturu, istraživanje, razvoj i inovacije [40]. Analizom tržišta je zaključeno da postoje sudionici na tržištu automobila koji oklijevaju uložiti u prilagodbu, a razlog je tomu postojanje odgode između ulaganja i povrata na investiciju. Zbog toga manji broj tržišnih aktera napušta industriju, dok se većina trenutno nalazi u fazama prilagodbe, odnosno intenzivno se radi na implementaciji prilagodbe u vidu srednjoročnih projekata u svrhu pronalaska adekvatnog pristupa transformaciji. Npr. u Španjolskoj postoji određeni udjel proizvođača dijelova i distributera koji se nisu prilagodili te autori predviđaju srednjoročne i dugoročne neravnoteže na tržištu, budući da će neizbježno doći do povećanja zahtjeva za kapitalom i nedostatka kompetentnih kadrova, a niti jedan od tih zahtjeva neće biti trenutačno zadovoljen, što će se najviše odraziti na proizvođače koji su dosad uspješno tranzicionirali [40]. Kupci sve više cijene pristupačnost, povezanost, jednostavnost, zatim cijenu i kvalitetu te usluge u stvarnom vremenu.

2.4 Budući trendovi u automobilskoj industriji

U nastavku cjeline je sažeto prikazan rezultat istraživanja koja pretpostavljaju potencijalne budućnosti automobilske industrije, uglavnom do 2030. godine iz perspektive cjelokupnog tržišta, s naglaskom na ključne igrače kao što su OEM-ovi (eng. *original equipment manufacturer*) i dobavljači. Pokazat će se, naravno, da sve veću ulogu imaju tehnološke tvrtke koje su nedavno ušle ili ulaze na tržište. Ekonomija se drastično mijenja, nastaju nova tržišta i tehnološki razvoj je konstantan, politike teže održivosti, korisničke preference su promjenjive, a digitalizacija i novi poslovni modeli revolucioniraju industrije. Automobilska industrija je na putu u novi svijet koji pokreće održivost i promjenjivo potrošačko ponašanje. Moguće je očekivati komercijalizaciju električnih vozila, povezane automobile, djeljivu mobilnost, *onboard* senzore (kombiniranje

senzora međusobno i s drugim funkcijama), nove poslovne modele i „povezanost koja se nikad ne gasi“ (eng. *always-on connectedness*) [41].

Stručnjaci [42] se slažu da će četiri trenda ne samo oblikovati automobilsku industriju u narednih desetak godina, već će se međusobno pritom osnaživati i ubrzavati te bez sumnje predstavljaju sile koje će narušiti ravnotežu automobilske industrije. U nastavku je sažeto prikazana perspektiva do 2030. godine [42]. Četiri trenda u pitanju su diferencirana mobilnost, autonomna vožnja, elektrizacija i povezanost (lijevi stupac, tablica 2.1). Druga i treća kolona u tablici prikazuju u kojoj mjeri pojedini trend (prvi stupac tablice) ima disruptivan potencijal na automobilsku industriju.

Tablica 2.1. Trendovi koji oblikuju budućnost automobilske industrije do 2030.

Intenzitet remećenja automobilske industrije		
Trend	Snažan	Slab
DIFERENCIJALNA MOBILNOST		
Na razini regija i/ili JLS se oblikuju politike koje odvrćaju od kupnje vlastitog vozila	Ako diferencijalna mobilnost ostvari značajan utjecaj na industriju, doći će do izražaja smanjenje u kupnji vlastitih vozila	Ako se diferencijalna mobilnost integrira u automobilsku industriju postupno, neće doći do naglog pada u kupnji vlastitih vozila
On-demand poslovni modeli	U slučaju snažnog poremećaja tržišta, doći će do ubrzanog proširenja on-demand poslovnih modela kod ponuđača usluga mobilnosti te će ovaj model biti ubrzo široko usvojen	U slučaju slabijeg remećenja tržišta će samo konkurentni ponuđači usluga mobilnosti biti u mogućnosti ponuditi on-demand poslovne modele, no neće svi biti u mogućnosti eksperimentirati
Pomak ka dijeljenoj mobilnosti (eng. <i>shared mobility</i>), potražnji vozila po potrebi te promjena paradigme u smislu vlasništva nad vozilom	U slučaju snažnog utjecaja diferencijalne mobilnosti na tržište, bit će vidljiv pomak potrošača prema potražnji usluga dijeljene mobilnosti	U slučaju slabijeg utjecaja na tržište, ovaj će se koncept usvajati nešto sporije. Također, implementacija dijeljene mobilnosti će biti neujednačena na globalnoj razini, a ograničavat će ju mnogo čimbenika.
AUTONOMNA VOŽNJA		
Nadilaženje regulatornih ograničenja i izazova	U slučaju da autonomija vozila ostvari izrazit utjecaj na tržište, neće biti potrebno mnogo vremena da se ishode dozvole i donesu zakoni koji	U slučaju slabog do srednjeg utjecaja, propisi i zakoni će se stabilno prilagođavati sukladno napredovanju integracije autonomije na široko tržište

	dozvoljavaju široko usvajanje autonomnih vozila	
Razvoj sigurnih i pouzdanih tehnoloških rješenja	Ako autonomija bude brzo i široko prihvaćena, uslijedit će razvoj sigurnih i pouzdanih rješenja koja će značajno ubrzati široku primjenu autonomije na tržištu, budući da će disrupciju uzrokovanu usvajanjem autonomije popratiti intenzivna ulaganja u tehnologiju kako bi se osigurala ubrzana implementacija	U slučaju slabijeg utjecaja autonomije će se sigurnost i pouzdanost pojedinih aspekata autonomije dogoditi gotovo trenutačno, dok će za druge biti potrebno više vremena i sredstava
Kupci prihvaćaju i spremni su platiti	U slučaju da autonomna vožnja značajno poremeti tržište, zavladat će masovni entuzijizam u odnosu na autonomna vozila te će većinski dio tržišta biti vrlo spreman trenutačno tranzicionirati na inovativne modele vozila	U slučaju slabijeg utjecaja autonomije na tržište će široko usvajanje autonomnih vozila trajati mnogo duže, odnosno vremenski jaz između usvajanja od strane više i srednje a posebice niže klase će biti značajan
ELEKTRIZACIJA		
Kontinuitet u padu cijena baterija	U slučaju značajnog utjecaja električnih tehnologija kao pokretača vozila na tržište, očekuje se ubrzan intenzivan te kontinuiran pad u cijenama baterija za električna vozila	Ako električne tehnologije naglo ne poremete tržište, cijene baterija za napajanje električnih vozila će padati, no to će se događati sporo kroz vrijeme
Regulacije co2	U slučaju značajnog utjecaja električnih tehnologija na tržište automobila, paralelno će se vrlo brzo i intenzivno povećavati ograničenja emisije co2	U slučaju slabijeg utjecaja električnih tehnologija na tržište, emisije co2 će se regulirati sukladno tome
Potražnja za električnim pogonskim sklopovima	U slučaju značajnog remećenja automobilskog tržišta električnim vozilima, naglo će porasti potražnja za električnim pogonskim sklopovima	U slučaju slabijeg utjecaja proizvođači i ponuditelji neće naglo povećati količinu traženih električnih pogonskih sklopova, budući da će i dalje postojati određena razina neizvjesnosti i nesigurnosti
POVEZANOST		
Širenje povezanosti automobila na globalnu razinu	Ako povezanost vozila znatno poremeti stanje na tržištu, vrlo brzo će se na globalnoj razini	Ako povezana vozila ne poremete tržište naglo već se tranzicija dogodi postupno, na

	usvojiti navedeni trend te će većina tržišta tranzicionirati ka povezanim vozilima	globalnim tržištima neće biti vidljiv trenutčan pomak
Potrošači redovno koriste plative sadržaje	Ako povezana vozila značajno poretime trenutno stanje tržišta, vrlo brzo će postati standardno korištenje naprednih funkcionalnosti koje će biti potrebno plaćati	Ako ne dođe do značajnog remećenja stanja tržišta, ponuđači usluga povezane mobilnosti neće moći odmah nametnuti dodatne sadržaje, nego će morati potrošačima prvo omogućiti besplatno korištenje većinskog dijela spektra funkcionalnosti da bi tek naknadno mogli početi naplaćivati

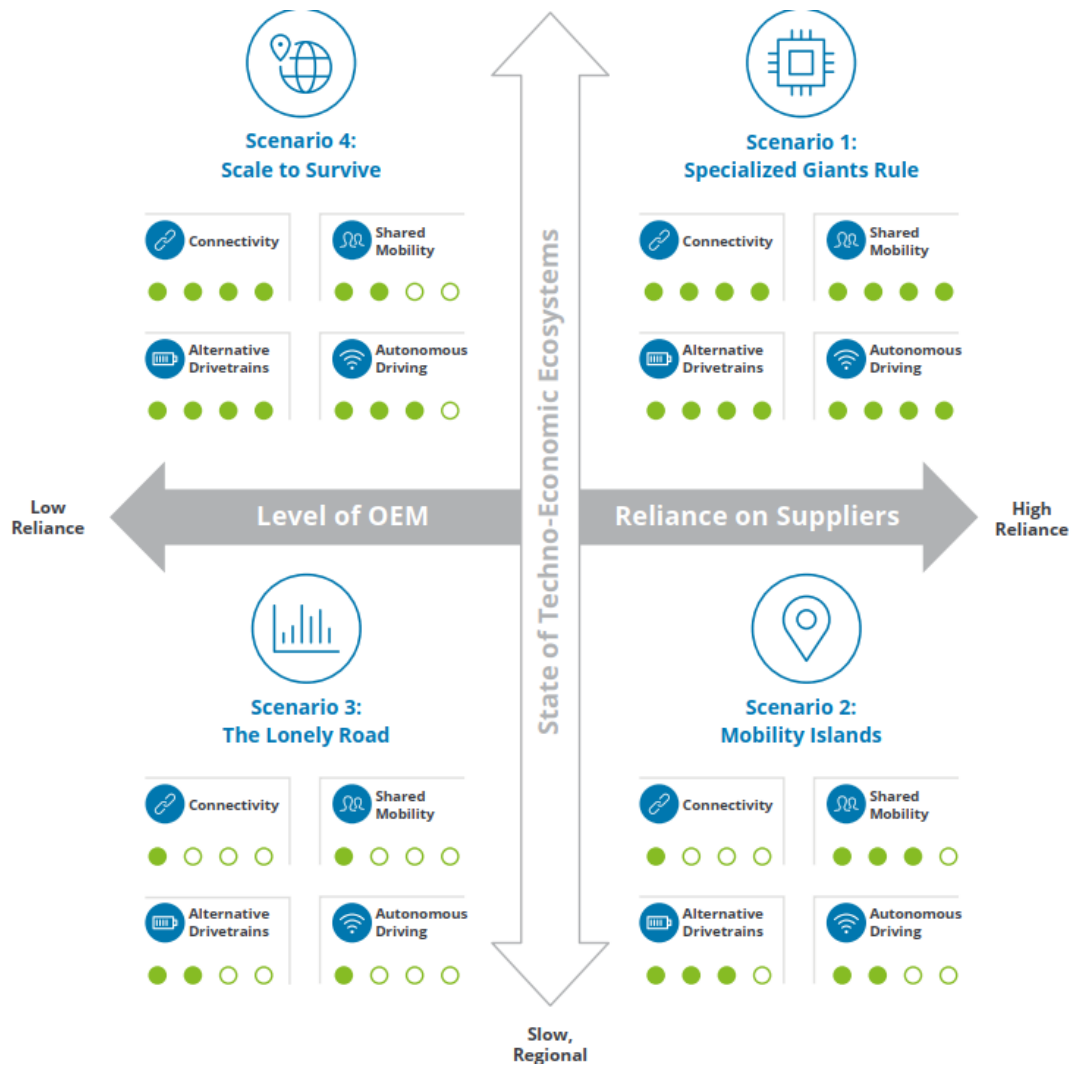
Osim toga, naglašene su vjerojatne perspektive:

- Promjenjivo tržište i promjenjivi raspon prihoda (povezivanje, mobilnost i nadogradnje funkcionalnosti će utjecati na nastanak novih poslovnih modela i rast prihoda)
- Promjene u potrošačkim navikama i u ponašanju s obzirom na mobilnost, perspektive tržišnih igrača će biti usmjerene na lokalnu razinu umjesto na regije i države
- Difuzija tehnologije (moguće je da 15% novih automobila u 2030. bude autonomno; električna vozila postaju kompetentna i održiva)
- Konkurencija i suradnja (s rastom kompleksnosti i diverzificiranosti u industriji će aktualni akteri biti prisiljeni biti konkurentni na nekoliko fronti i surađivati s konkurencijom)

Provedena je i analiza kritičnih faktora koji pokreću automobilsku industriju te je identificirano oko 100 ekonomskih, tehnoloških, okolišnih, političkih i društvenih sila i utjecaja koristeći *AI-based* analizu vijesti, članaka i blogova te intervjuje stručnjaka čije su perspektive doprinijele utvrđivanju mjere u kojoj su činitelji povezani [43]. Identificirana su dva dominantna klastera kojima je određen okvir mogućnosti budućeg razvoja te su korišteni kao osi u vizualizaciji scenarija:

- a) Razina u kojoj se proizvođači originalnih dijelova oslanjaju na dobavljače
- b) Stanje tehnološko-ekonomskih ekosustava

Prema tome su oblikovana četiri scenarija (slika 2.7.) od kojih svaki prikazuje potencijalnu situaciju s obzirom na jačinu intenziteta pojedinog trenda:



Slika 2.7: Potencijalni scenariji za budućnost automobilske industrije

Izvor: <https://www2.deloitte.com/de/de/pages/consumer-industrial-products/articles/future-of-the-automotive-supplier-industry-2030.html> [pristup 07.05.2022.]

Dakle, x-os predstavlja trenutno stanje ekosustava koji čine gospodarsko i tehnološki razvitak u određenom trenutku, dok y-os čini ovisnost o dobavljačima, odnosno proizvođačima originalnih dijelova. Scenariji 1 i 4 na slici 2.7. predstavljaju ekstreme, pri čemu scenarij jedan prikazuje optimalan slučaj u korist dobavljača, dok scenarij četiri predstavlja optimalan slučaj za OEM-ove. Narativni prikaz ovih scenarija je dan u tablici 2.2. u nastavku, a osim toga su navedeni i vanjski utjecaji koji čine bitan faktor za svaki scenarij.

Tablica 2.2. Trendovi budućnosti automobilske industrije iz perspektive tržišnih aktera (dobavljači, OEM)

<p style="text-align: center;">SCENARIJ 1: VLADAVINA SPECIJALIZIRANIH GIGANTA</p> <p>Ključni faktori utjecaja: liberalizacija trgovine, ekonomski rast, inovacije.</p> <p style="text-align: center;">Očekivanja:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Električna vozila čine znatan udjel novih vozila - Tehnološke tvrtke su lideri – upravljanju podacima i stvaraju operativne sustave <p style="text-align: center;">Dobavljači vs. OEM:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Veliki dobavljači nude specijalizirana rješenja - Pozicioniraju se kao specijalizirani giganti – svaki pokriva neki dio lanca vrijednosti (npr. baterije ili senzori za autonomnu vožnju) <ul style="list-style-type: none"> - Formiraju globalni oligopol 	<p style="text-align: center;">SCENARIJ 2: OTOCI MOBILNOSTI</p> <p>Ključni faktori utjecaja: Regulative kojima se promiče održivost, urbana mobilnost i sl. Neujednačen regionalni razvoj, spor napredak tehnologije.</p> <p style="text-align: center;">Očekivanja:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Potrošači manje skloni kupnji automobila zbog <i>covid</i> recesije - Protekcionizam sputava ekonomski rast i tržište <p style="text-align: center;">Dobavljači vs. OEM:</p> <ul style="list-style-type: none"> - dobavljači postaju nositelji inovacija - Suraduju s tehnološkim akterima - Razvijaju prilagođena rješenja, platforme i specifične dijelove koji zadovoljavaju regionalnu potražnju
<p style="text-align: center;">SCENARIJ 3: USAMLJENI PUT (OEM-ova)</p> <p>Ključni faktori utjecaja: spor ekonomski rast, recesija, ograničen tehnološki progres.</p> <p style="text-align: center;">Očekivanja:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Na tržištu važnu ulogu igraju ICE (eng. <i>internal combustion engine</i>) vozila, jer je usporen tehnološki razvoj baterija - Azija je nositelj rasta globalne prodaje - Financijska ograničenost lokalnih aktera na tržištu onemogućava realizaciju potencijala za inovacije u mobilnosti i povezanosti <p style="text-align: center;">Dobavljači vs. OEM:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Na takvim tržištima samo OEM-ovi imaju dovoljno kapitala za ulaganja u softver - Usmjeravaju opskrbne lance na regionalnu razinu i integriraju se u lancu vrijednosti vertikalno - Ciljaju inovacijsko vodstvo i razvijanje vlastitih operativnih sustava i platformi za mobilnost 	<p style="text-align: center;">SCENARIJ 4: SKALABILNOST ZA PREŽIVLJAVANJE</p> <p>Ključni faktori utjecaja: ekonomski rast, inovacije, cjenovna konkurentnost. Kina otvara tržišta, brz oporavak od krize.</p> <p style="text-align: center;">Očekivanja:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Tehnologija baterija pruža osnovu za pristupačnost električnih automobila - Kineska proizvodnja se povećava i doprinosi električnoj tranziciji <p style="text-align: center;">Dobavljači vs. OEM:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Standardizirana arhitektura kroz platforme i centralizirane operativne sustave – OEM-ovi postaju inovacijski lideri <ul style="list-style-type: none"> - OEM-ovi kontroliraju rastući dio vrijednosnog lanca zahvaljujući vertikalnoj integraciji prema aspektima kao što su baterije i softver - Do 2030. OEM-ovi imaju mogućnosti procesiranja i monetizacije podataka te razvoja uslužne mobilnosti

3 AUTONOMNA TRANZICIJA AUTOMOBILSKE INDUSTRIJE

ADAS, odnosno napredni asistent pri vožnji automobila je inicijalni oblik autonomnosti te je u automobilima već prisutan u niskim razinama. Pritom se misli na razine autonomne vožnje prema SAE skali (eng. *Society of Automotive Engineers*), kojom je definirano 5 razina automatizacije (slika 3.1.).

Copyright © 2021 SAE International. The summary table may be freely copied and distributed AS-IS provided that SAE International is acknowledged as the source of the content.

	SAE LEVEL 0™	SAE LEVEL 1™	SAE LEVEL 2™	SAE LEVEL 3™	SAE LEVEL 4™	SAE LEVEL 5™
What does the human in the driver's seat have to do?	You are driving whenever these driver support features are engaged – even if your feet are off the pedals and you are not steering			You are not driving when these automated driving features are engaged – even if you are seated in "the driver's seat"		
	You must constantly supervise these support features; you must steer, brake or accelerate as needed to maintain safety			When the feature requests, you must drive	These automated driving features will not require you to take over driving	
Copyright © 2021 SAE International.						
What do these features do?	These are driver support features			These are automated driving features		
	These features are limited to providing warnings and momentary assistance	These features provide steering OR brake/acceleration support to the driver	These features provide steering AND brake/acceleration support to the driver	These features can drive the vehicle under limited conditions and will not operate unless all required conditions are met	This feature can drive the vehicle under all conditions	
Example Features	<ul style="list-style-type: none"> • automatic emergency braking • blind spot warning • lane departure warning 	<ul style="list-style-type: none"> • lane centering OR • adaptive cruise control 	<ul style="list-style-type: none"> • lane centering AND • adaptive cruise control at the same time 	<ul style="list-style-type: none"> • traffic jam chauffeur 	<ul style="list-style-type: none"> • local driverless taxi • pedals/steering wheel may or may not be installed 	<ul style="list-style-type: none"> • same as level 4, but feature can drive everywhere in all conditions

Slika 3.1. Razine automatizacije po SAE kriteriju

Izvor: <https://www.sae.org/blog/sae-j3016-update> [pristup 07.05.2022.]

Ukratko, razine 0-2 po SAE podrazumijevaju automatizaciju u mjeri u kojoj ona isključivo asistira vozaču, dok on i dalje mora voziti i konstantno nadzirati funkcionalnosti. Ovo su tri razine prikazane na slici 3.1. plavom bojom. Zelena boja na slici 3.1. označava razine 3, 4 i 5 koje podrazumijevaju automatizaciju, što znači u ovom kontekstu da vozač ne vozi automobil kada su u pitanju funkcionalnosti čiji automatizam doseže razine 4 i 5. Razina 3 je točka u kojoj se događa prijelaz, odnosno postoje i dalje slučajevi pri korištenju funkcionalnosti u kojima ima potrebe da

vozač preuzme kontrolu te je u tom slučaju vozač o tome obaviješten. Na razinama automatizacije 4 i 5 toga nema.

Prvi oblik ADAS-a je ABS (eng. *anti-lock braking systems*) inicijalno razvijen u prvoj polovici 20. stoljeća, no elektronička verzija je prvi puta implementirana u Mercedes 1978. godine [44]. Osnovna vizija implementacije ADAS sustava počiva na velikom broju prometnih nesreća koje je potencijalno bilo moguće izbjeći jer su posljedica ljudske pogreške. Prema Institutu za sigurnost na autocestama (IIHS) je ADAS trenutno na razini na kojoj ima potencijal spašavanja ili ublažavanja oko 1.8 milijuna prometnih nezgoda godišnje te potencijalno spasiti živote 10.000 ljudi godišnje [45]. Uloga sustava je, kad je to moguće, spriječiti smrtni ishod i intenzitet ozljede te smanjiti broj prometnih nezgoda i ozbiljnost posljedica istih. Suvremena ADAS rješenja su implementirana u softver automobila kroz čipove, zbog čega se nazivaju sustavom na čipu, odnosno SoCs (eng. *systems on a chip*). Čipovima se senzori povezuju s aktuatorima kroz sučelja i visokokvalitetne ECU-ove [45]. S hardverskog aspekta je ADAS kombinacija različitih tehnologija, a svaki sustav ima barem jedan senzor za motrenje parametara i pružanje informacija koje se zatim obrađuju. Senzorska je tehnologija pritom nositelj budućeg razvoja ADAS sustava. Drugim riječima, autonomna vožnja kroz ADAS nije moguća ako ne postoji konstantan tok podataka koji omogućavaju sustavu formulaciju percepcije o okolini izvan vozila [44]. Slika 3.2. u nastavku prikazuje pokrivenost pojedinog senzora u ADAS kontekstu.



Slika 3.2. Kompletna senzorska pokrivenost ADAS sustava

Izvor: <https://www.synopsys.com/automotive/what-is-adas.html> [pristup 07.05.2022.]

ADAS je moguće razlikovati s obzirom na razinu u kojoj sustav poduzima ili ne poduzima radnje. Pasivni ADAS doprinosi performansama i sigurnosti vožnje tako što obrađuje podatke, obavještava i savjetuje vozača, no to je gornja granica interakcije. Vozač mora poduzeti radnju da spriječi nezgodu. Tipična upozorenja uključuju zvukove, bljeskove svjetala a ponekad i fizičku povratnu reakciju, npr. vibriranje upravljača, dok aktivni sustav podrazumijeva omogućavanje poduzimanja konkretnih radnji u vožnji kako bi se spriječila nezgoda [45]. Tablica 3.1. u nastavku prikazuje sve aktualne ADAS funkcionalnosti i one koje će tek postati komercijalna stvarnost u vidu široke upotrebe.

Tablica 3.1. Kategorizacija ADAS funkcionalnosti

Upozorenja o mogućem sudaru	Intervencije radi mogućeg sudara	Pomoć pri vožnji	Pomoć pri parkiranju	Drugi asistentski ADAS sustavi
Upozorenja o mrtvom kutu	Automatsko kočenje u nuždi	Adaptivni tempomat	Aktivni asistent za parkiranje	Napredni sustavi prednjeg osvjetljenja
Upozorenje o frontalnom sudaru	Automatsko upravljanje u nuždi	Aktivni asistent u vožnji	Daljinski asistent u parkiranju	Pomoćna/sigurnosna kamera
Upozorenje o napuštanju trake	Automatsko kočenje pri vožnji unatrag	Asistent za održavanje smjera u traci	Asistent za prikolice	Asistent u kočenju
Upozorenje o mogućem udarcu u objekt pri parkiranju	-	-	-	Nadzor vožnje
Upozorenje o vozilima pri vožnji unatrag	-	-	-	Noćni vid

Ultimativni cilj ADAS sustava u budućnosti je potpuno autonomno vozilo te je zbog toga ADAS prikazan kompletno, odnosno uključene su i funkcije koje nisu trenutno aktualne. Pojedine funkcionalnosti su se pokazale nužnima te su zbog toga danas i standardizirane. Primjerice, ABS je u EU od 2004. godine reguliran i obvezan [46].

U kontekstu budućih trendova ADAS sustava je moguće naglasiti pojedine [47]:

- Adaptivni tempomat (eng. *Adaptive Cruise Control*, ACC ili *Radar Cruise Control*) kao inteligentni sustav koji omogućava držanje optimalne distance temeljem integracije radara ili laserskog senzora koji daje uputu vozilu da treba usporiti (odnosno kad se približava drugo vozilo)
- Sustavi upozorenja o napuštanju prometne trake (eng. *Lane Departure Warning System*) koji koriste kameru montiranu kod retrovizora, a koja prepoznaje oznake na cesti te sustav šalje upozorenje ako vozilo odstupa
- Sustavi upozorenja o mogućem frontalnom sudaru (eng. *Forward Collision Warning System*) koji funkcioniraju uz pomoć radara, lasera i kamera te generiraju zvuk i pokazuju upozorenje na monitoru ako je mjerenjem udaljenosti, kuta i relativne brzine utvrđena mogućnost sudara
- Sustav prepoznavanja prometnih znakova (eng. *Traffic Sign Recognition System*) koji u stvarnom vremenu zahvaljujući kamerama i algoritmu prepoznaje znakove i prikazuje ih na infotainment monitoru
- Sustav motrenja pritiska u gumama (eng. *Tire Pressure Monitoring System*) koji upozorava kad je guma ispumpana, a postoji mogućnost mjerenja stvarnog pritiska te također javlja ako broj okretaja odstupa od standardnog

ADAS sustavi nove generacije će koristiti wi-fi mrežno povezivanje kako bi se omogućila povezanost V2V (eng. *vehicle to vehicle*) i V2I (eng. *vehicle to infrastructure*) ili V2X, odnosno vozila će moći komunicirati međusobno [48]. Unatoč tomu što je ADAS iz inovacijske perspektive veoma popularan, napredovanje u smislu industrijske proizvodnje i ekonomije razmjera je ograničeno, a skalabilnost i vrlo visoki troškovi predstavljaju glavne izazove, a osim toga zahtijeva usklađivanje na više razina i problematiku sigurnosnih standarda. Ipak, očekuje se rast ADAS tržišta u azijskim regijama godišnjom stopom od 28.6% do i dosezanje 10\$ milijardi do 2023. godine [48].

3.1 Umjetna inteligencija u automobilske industriji

Kad je u pitanju umjetna inteligencija, teško je postaviti granice između onog što je i onog što nije moguće. Stručnjaci su optimistični kad je u pitanju primjena AI u automobilske industriji, budući da se procjenjuje rast tržišta s trenutnih 2.3\$ milijarde iz 2021. godine na 16.2\$ milijarde u 2026.

godini te se smatra da će autonomna vozila do 2030. godine činiti 12-17% ukupne prodaje svih novih vozila [49]. Ovo istraživanje navodi da će intenzivno širenje umjetne inteligencije u vidu autonomnih vozila i općenito integracije kroz automobilsku industriju krenuti iz Azije (koja je najveće AI tržište), s naglaskom na Kinu. Kina kroz strategiju „Made in China 2025 Strategy“ planira usavršiti sve ključne tehnologije inteligentne vožnje i stvoriti ekosustav za R&D, proizvodnju i primjenu pametnih povezanih automobila u svrhu transformacije automobilske industrije do 2025. godine [49]. Kina je svjetski lider po pitanju razvoja umjetne inteligencije, za što su adekvatan primjer tehnološke tvrtke poput Baidu, Tencent i Alibaba koje na tržište autonomnih automobila ulaze u partnerstvu s OEM-ovima; Alibaba surađuje sa SAID motors na razvoju povezanih vozila; Baidu surađuje s više od 130 tvrtki zahvaljujući platformi Apollo, koja je prema istraživanju [49] skupa sa sličnim platformama izvor rasta tržišta s 4% na 9% u samo godinu dana. Jedna od najvećih platforme dijeljene mobilnosti DiDi Chuxing opslužuje tržište od 550 milijuna putnika kojima godišnje omogućava 10 milijuna putovanja i vožnji; mozak je AI platforma koja iščitava uzorke, uvjete u urbanom prijevozu, uvjete vozila, uvjete cesta i sl. te inteligentno predviđa potrebu za određenim modulom transporta i destinaciju korisnika, a zatim prema tome šalje korisnicima vozilo kad im je ono potrebno [49]. Na tržištu su i drugi ključni igrači kao što je Google Waymo, Tesla, nVidia, BMW AG, Intel i dr. U 2020. i 2021. godini su sklopljena različita strateška partnerstva koja ukazuju na „eksploziju“ tržišta u nadolazećih nekoliko godina. Od 2021. godine Didi Chuxing surađuje s Volvom radi testiranja flote autonomnih vozila, a Volvov XC90 će biti prvi model u koji će se integrirati Gemini hardverska platforma za autonomnu vožnju, a u koju je ugrađena nVidia Drive AGX Pegasus platforma kojom se postiže poboljšanje procesa učenja kod AI modela [49]. Ultimativni planirani produkt ove suradnje je flota robo-taksija. BMW je 2021. predstavio *infotainment* sustav nove generacije osmišljen kao digitalni, inteligentni i proaktivni partner vozačima; osnovne karakteristike sustava su mogućnost strojnog učenja, procesiranje jezika, AI infrastruktura u oblaku i 5G mrežna povezanost; Volkswagen i Microsoft također surađuju na softveru za autonomnu vožnju; Mercedes Benz i nVidia surađuju na stvaranju integriranog računalnog sustava i AI infrastrukture [49]. Moguće je primijetiti da se u široj javnosti vrlo često navode koristi i potencijali umjetne inteligencije, dok se malo toga kaže o potencijalnim štetama, nedostacima i tzv. bugovima u softveru. Postoje istraživanja [50] koja umjetnu inteligenciju obrađuju sa sigurnosnog aspekta - opća kompatibilnost AI tehnologije je istaknuta kao glavna prednost, koja je osmišljena za rješavanje kompleksnih problema, s automobilskom industrijom koju karakteriziraju kompleksni problemi. Također naglašava postojanje konsenzusa stručnjaka oko umjetnih neuronskih mreža (eng. *neural network*) kao vodećeg pristupa razvoju autonomnih vozila na bazi AI. Pretpostavlja

se da će neuronske mreže riješiti mnoge kompleksne probleme u ovoj industriji, no važno je napomenuti da kompleksnost mreže umjetnih neurona kod umjetne inteligencije raste proporcionalno kompleksnosti problema koji je potrebno riješiti. Problematična je ekstenzivna potreba za vremenom i ulaganjima koje će biti neophodne za testiranje i dokazivanje funkcionalnosti AI modela, posebice kad se uzmu u obzir ogromni setovi podataka koje je potrebno obraditi. Nadalje, iako se radi o tehnologiji, većinu podataka je i dalje potrebno označiti (a to je još uvijek ljudski zadatak), što je preduvjet učenja AI modela [50]. Osim toga, ne zna se na koji točno način umjetna inteligencija donosi odluke, a takve nejasnoće su velik problem za autonomne sustave, isto kao i osjetljivost AI modela na manje podatkovne izmjene, što dalje upućuje na ranjivost koja otvara sigurnosna pitanja [50]. Prema CSET izvještaju *AI Accidents: An Emerging Threat – What Could Happen and What to Do* (2021) postoje potencijalne mogućnosti kvara u slučaju neočekivanog inputa ili scenarija u kojem AI pokušava učiniti nešto što inicijalno nije bila namjera dizajnera te dolazi do neočekivanih manevara/nuspojava. Konačno, tu je i problematika regulatornih okvira i tvrdi da će ista biti nalik GDPR regulativi u EU, budući da AI može profilirati korisnike [50]. Takav regulatorni okvir bi svakako za AI u automobilskoj industriji predstavljao značajno ograničenje.

4 SOFTVERSKA RJEŠENJA KOJA SE KORISTE U RAZVOJU I TESTIRANJU MOTORNIH VOZILA

Inovacije pretpostavljaju povećanje kompleksnosti tehnologije, zbog čega je softver u automobilskoj industriji često podložan povlačenju iz upotrebe zbog naknadno uočenih pogrešaka, npr. u kodovima. Također, zakonske regulative postaju sve aktualnije pitanje. Iz tog razloga nadolazeće inovacije i unapređenja funkcionalnosti otvaraju pitanje važnosti učinkovitog procesa praćenja i evaluacije u fazama razvoja i testiranja.

Hrvatski proizvođač električnih automobila Rimac Technology je početkom 2021. godine objavio završetak testnog razdoblja za inovativni proizvod poznat kao Nevera (C_Two) u zračnom tunelu (slika 4.1.). Finalna faza testiranja je obuhvatila podvrgavanje prototipa modela u zračnom tunelu „s ciljem osiguravanja optimizacije s aspekta izvedbe, dosega, efikasnosti i utjecaja strujanja zraka“ [51]. U razdoblju od dvije godine su testirana u zračnom tunelu tri različita prototipa te je testiranje proglašeno završenim nakon 45 tzv. *crash-testova* i devet kompletno uništenih Nevera modela [52]. Ovim su testovima prethodile tisuće sati računalnih simulacija [51], kako bi se osigurale optimalne početne postavke i minimizirala šteta na stvarnim komponentama.



Slika 4.1: Rimac Nevera pri testiranju u zračnim tunelima

Izvor: <https://www.rimac-automobili.com/media/press-releases/rimac-c-two-crash-test-program-2/> [pristup 07.05.2022.]

Kad je u pitanju inovacija koja remeti tržište, kao što će to činiti nadolazeća unapređenja ADAS sustava koja pretpostavljaju povećanje razine automatizma iznad trenutnih (0-2), sve će inovacije prethodno biti potrebno adekvatno testirati. Sukladno općem tehnološkom napretku se osnažuju i mogućnosti simulacijskih softvera koji omogućuju kompletne testove inovativnih funkcionalnosti prije nego se testiraju stvarni modeli i komponente. Još je 2014. godine Tesla Motors, danas najpoznatiji proizvođač potpuno električnih automobila, počeo unapređivati poslovne procese u području modeliranja i simulacija. Zahvaljujući NCAP (eng. *New Car Assessment Program*) testu u Altair HyperStudy multidisciplinarnom softveru za dizajn [53] su Teslini inženjeri simulirali udarac pješaka pri 40 km/h. Teslin simulacijski tim je uspio smanjiti potreban ljudski rad i vrijeme potrebno za proces kreiranja modela u CAD softveru za nekoliko dana, što je izuzeto velik napredak s obzirom na pionirsko tržište u kojem konkurenti moraju instantno odgovarati na dinamične promjene, odnosno u ovom slučaju moraju biti u mogućnosti konstantno unapređivati procese. U suradnji s Altairovim stručnjakom je Teslin simulacijski tim automatizirao određeni aspekt CAE (eng. *Computer Aided Engineering*) procesa. Pripremanje CAD modela automobila koje prethodi simulaciji iziskuje puno vremena, uglavnom zbog potrebe rekreiranja konektora. Automatizacija je ostvarena stvaranjem CNX CAD strukture modela te korištenjem konzistentnog nazivlja i strukture stabla, čime je omogućeno izlučivanje važnih podataka o konektorima, a korišten je Altair HyperMesh, odnosno današnji HyperWorks [53].

Trenutno Tesla Motors primjenjuje vrlo zanimljivu metodu testiranja. U osnovi se softver ažurira *over-the-air*, odnosno tvrtka šalje ažuriranje preko mreže kada je vozilo spojeno na Internet, baš kao što se ažuriraju operativni sustavi na računalima. Postoji ipak važna razlika - Tesla nadograđuje Autopilot funkcionalnosti koje može testirati prilikom vožnje, a da pritom vozači to ne moraju niti znati [54]. Tesla modeli imaju tzv. *always-on* internetsku vezu, koja omogućava proizvođaču automobila podešavanje Autopilot softvera u gotovo svakom trenutku. Činjenica da vozači nisu upoznati sa specifičnostima ažuriranja nije problem jer zapravo ne moraju biti. Softver je kodiran tako da ne utječe na vožnju ni na koji način. U Teslinim modelima istovremeno funkcioniraju dva paralelna sustava; realni sustav koji kontrolira vozilo te simulacijski sustav, koji koristi podatke iz stvarnog svijeta u svrhu testiranja ponašanja novog softvera u različitim situacijama, koristeći podatke iz stvarnog okruženja [54].

Poznati proizvođač antivirusa McAfee je prikazao problematiku testiranja na cestama i u stvarnom svijetu kad su u pitanju senzori autonomnih vozila. Korištenjem ljepljive trake su modificirali prometni znak te je Teslin model u zoni od 35 mph ubrzao na 85 mph [55]. Autor napominje da je model auta nebitan jer je MobileEye kamera implementirana u 40 milijuna vozila te vrlo vjerojatno

postoje slične nedosljednosti u mnogim drugim modelima autonomnih vozila. Problem proizlazi iz dinamičnosti uvjeta pri testiranju, koji u realnim uvjetima nikad neće biti vjerodostojni, odnosno dva testa nikad neće replicirati u potpunosti jednake uvjete. S obzirom na učestale tehnološke inovacije koje utječu na automobilsku industriju, virtualno okruženje se ističe kao adekvatno rješenje za provedbu testova, budući da je moguće simulirati stvarne uvjete uz tisuće varijacija [55].

4.1 Pregled konvencionalnih softverskih rješenja za razvoj i testiranje vozila

U nastavku su prikazana različita softverska rješenja za razvoj i testiranje koje na tržištu trenutno nude tehnološke tvrtke u automobilskoj industriji. U nastavku ovog poglavlja su opisno prikazane varijante različitih ponuđača kao što su RAPITA Systems, Sierra, Continental i DEWEsoft, a u poglavlju 4.2. su detaljno obrađeni paketi odabranih softverskih rješenja i simulacijskih alata tehnološke tvrtke AVL Solutions.

4.1.1 RAPITA Systems

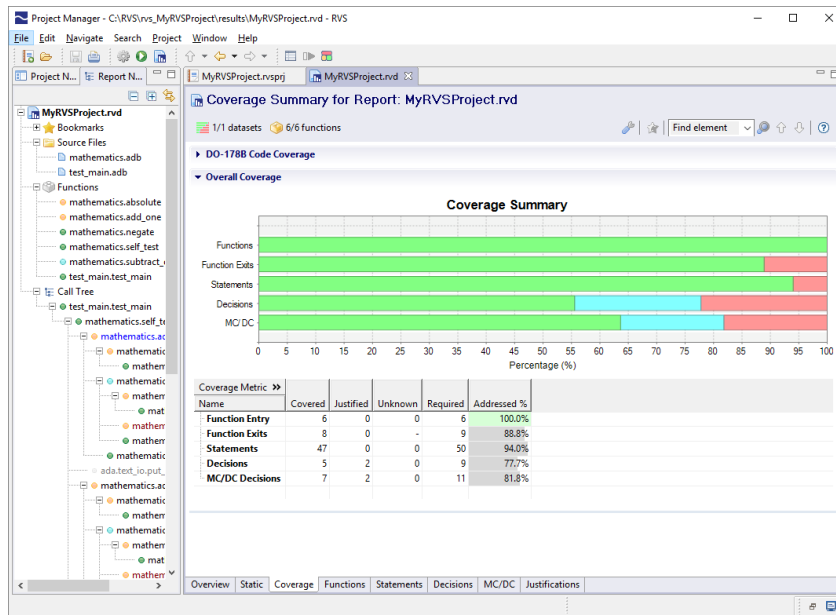
RAPITA Systems ¹nudi četiri perspektive softverskog testiranja, s naglaskom na sigurnosni aspekt i ispitivanje pokrivenosti koda. Za testiranje neke jedinice ili pojedinog sustava komponenti je osmišljen RapiTest, koji omogućava adaptivne testove u jednostavnom formatu. Osigurava efikasno upravljanje portfeljom projekata unutar softverske aplikacije kao i efikasno praćenje rezultata testiranja u odnosu na definirane parametre. Moguća je integracija RapiTest-a u različite integracijske softvere kao što su Jenkins i Bamboo.

RapiCover (slika 4.2.) je namijenjen analiziranju pokrivenosti koda ²(eng. *code coverage*) koji automatizacijom procesa prikupljanja podataka o pokrivenosti i instrumentacije ³koda doprinosi smanjenju potrebe za učestalim testiranjem kao i intenzitetu testova, štedi vrijeme te omogućava jednostavan proces verifikacije koda [56].

¹ <https://www.rapitasystems.com/>

² Objašnjenje pojma pokrivača: utvrđivanje mjere do koje dosad izvršeni testovi pokrivaju cjelokupni model koji je potrebno testirati, odnosno koliki udjel modela je još potrebno testirati

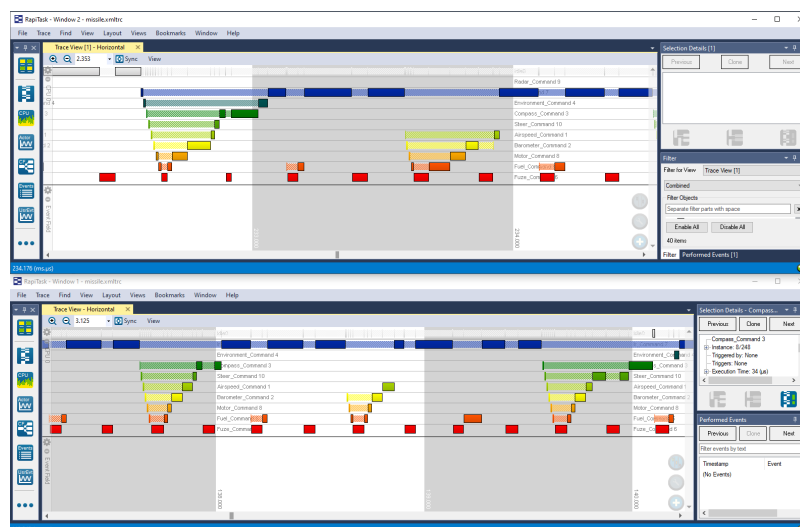
³ Objašnjenje pojma instrumentacija: U kontekstu računalnog programiranja instrumentacija koda predstavlja mjerenje performansi nekog softvera u svrhu dijagnosticiranja eventualnih pogreški i evidentiranju rada softvera. Izvor: <https://www.itprotoday.com/development-techniques-and-management/code-instrumentation-techniques-depth-coverage-tracing>



Slika 4.2. Prikaz sučelja RapiCover alata

Izvor: <https://www.rapitasystems.com/products/rapitime> [pristup 07.05.2022.]

RapiTime je dizajniran za temeljitu analizu vremenskog izvršenja koda, a omogućava identifikaciju koda za optimizaciju s obzirom na scenarij najgoreg mogućeg slučaja. RapiTask (slika 4.3.) omogućava pregled softvera u Ada, C i C++ softverima, a služi vizualizaciji algoritma za vremensko raspoređivanje zadataka te omogućava identifikaciju uskih grla u aplikaciji analiziranjem kapaciteta i usporedbu algoritama.



Slika 4.3. Prikaz sučelja RapiTask alata (usporedba algoritama)

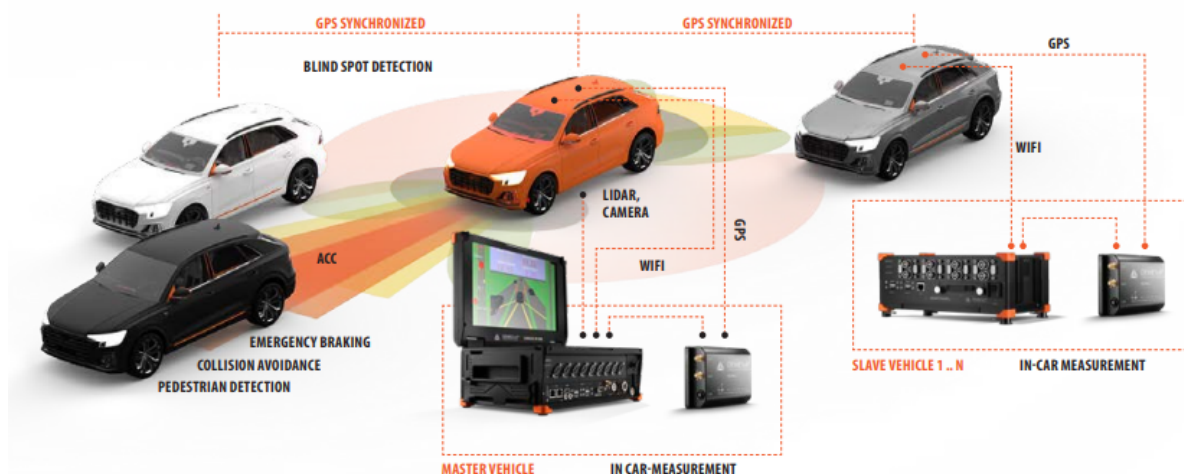
Izvor: <https://www.rapitasystems.com/products/rapitask> [pristup 07.05.2022.]

4.1.2 DEWEsoft

DEWEsoft ⁴ specijalizira u izradi naprednih i skupih (eng. *hi-end*) rješenja za testiranje performansi, dinamike i izdržljivosti svih vrsta vozila, neovisno o terenu (zrak, kopno, voda). Naglasak je stavljen na ICE, električne i hibridne motore i komponente. DEWEsoft se na tržištu diferencira ponudom naprednih hardverskih komponenti koje omogućuju testiranje softvera i simulacije uz vrlo nisku latenciju. Analiza motora s unutarnjim sagorijevanjem i hibridnih motora moguća je bez obzira na sučelje. Proizvođač naglašava i prednosti kao što je standardni *output*, visoka preciznost, izravna senzorska podrška te funkcionalnosti poput napredne termodinamičke kalkulacije i izračun točke kompresije. Testiranje kočnica obuhvaća mjerenje temperature sustava kočnice, mogućnost praćenja zvuka škripanja, mogućnosti detekcije škripanja na temelju amplitude zvuka i mehaničkih vibracija, izrade fleksibilnih konfiguracija (softver ne ograničava količinu mikrofona koji se mogu postaviti), online kalkulacije, rezultate u stvarnom vremenu te je omogućeno automatsko izvještavanje o rezultatima testova.

DEWEsoft Polygon softver omogućava 3D vizualizaciju uz povlačenje GPS podataka iz različitih izvora u svrhu prikupljanja inputa za mjerenje, a osiguran je i precizan i točan oblik vozila, neovisno o kojem se modulu transporta radi (kopno/zrak/voda). Osigurana je i mogućnost korištenja OpenStreetMap karte neovisno o dostupnosti internetske veze. DEWEsoft nudi softver i vlastiti patentiran hardver za ADAS testiranja (slika 4.4.) u vidu jednostavnog sustava za potvrdu funkcionalnosti s najnovijim GPS i IMU (eng. *Inertial Measurement Unit*) tehnologijama i dvocentimetarskom preciznošću. Testirati se mogu gotovo sve relevantne funkcionalnosti ADAS sustava: izbjegavanje sudara, detekcija mrtvog kuta, adaptivni tempomat, autonomna vožnja, upozorenje o napuštanju kolničke trake itd.

⁴ <https://dewesoft.com/applications/vehicle-testing>



Slika 4.4. DEWESoft infografika za testiranje ADAS sustava

Izvor: <https://dewesoft.com/applications/vehicle-testing> [pristup 07.05.2022.]

4.1.3 Continental Engineering Services

Continental ⁵nudi mogućnosti testiranja čitavog vozila u SIL (eng. *software-in-the-loop*) i HIL (eng. *hardware-in-the-loop*) te VIL (eng. *vehicle-in-the-loop*) testnim okruženja za razvoj i testiranje ADAS sustava. Distinktivna rješenja koja je važno izdvojiti su alati za razvoj percepcije PDK (eng. *Perception Development Kit*), modularni prototip rješenja koje podržava razvojne aktivnosti u polju autonomije uz različite hardverske komponente, softverske module te prilagođeno korisničko sučelje (C++). Softverski moduli omogućavaju praćenje objekata u pokretu, mapiranje i lokalizaciju, korekcije dinamike vozila, automatsku kalibraciju senzora itd. Simulacije performansi pogonske linije obuhvaćaju između ostalog predviđanje dometa i potrošnje pri standardnim testnim uvjetima u svrhu analiziranja maksimalne brzine, ubrzanja, kontinuirane brzine i sl. Osnovna simulacija je namijenjena definiciji osnovnih vrijednosti varijabli u fazi koncepta i ranim fazama razvoja, dok se napredne simulacije koriste za daljnji razvoj i uključuju detaljnije modele komponenti i upravljačkih algoritama. Komponente je moguće optimizirati i analizirati njihove međusobne interakcije u modelu vozila, a ugrađeni su i automatizirani procesi procjene i optimizacije. Paketi za testiranje sustava kočnica uključuju testove performansi, buke i izdržljivosti.

⁵ <https://conti-engineering.com/service-portfolio/test-simulation/virtual-vehicle-testing/>

4.1.4 Sierra Automotive Software Testing Solutions

Sierra⁶ je tehnološka tvrtka u području automobilske softvera s dugogodišnjim iskustvom u automatizaciji. Tehnološku bazu čini *in-house* CADET tehnologija automatizacije koja je trenutno na četrnaestoj verziji razvoja (V14). Uključene su napredne inovacije, od kojih su mnoge rezultat uočavanja potreba korisnika pri testiranju automobilske komponente. Potrebno je izdvojiti CADET v14 softver za testiranje motora s povećanim kapacitetom, nadograđenim adaptivnim sučeljem, linearnim kanalima za inpute, mogućnostima evidentiranja prijelaznih podataka te OBD II sučelje s unaprijeđenim PID (eng. *proportional, integral, derivative*) podešavanjem i dodanim grafovima prikaza snage i mogućnosti ucrtavanja pojedinih vrijednosti na X-Y grafu. CADET v14 softver za testiranje motora je značajno poboljšana s aspekta kalibracije i CAN sučelja, a maksimalno su iskorištene i prednosti višejezgrenih procesora i mogućnosti stvaranja virtualnih jezgri (eng. *hyper-threading*) [57]. CADET Edge je segment CADET v14 upravljačkog sustava namijenjen kontroli dinamometra i aktivaciji gasa koji podržava električne, hidraulične, AC i DC dinamometre. CADET v14 PTS (eng. *production test system*) je softverski paket koji omogućava testiranje motora uz minimalnu potrebu za podešavanjem. Jednostavno funkcionira na bazi predodređenih vrijednosti u varijacijama motora koristeći barkodove serijskih brojeva. Doprinosi povećanju fleksibilnosti, produktivnosti i učinkovitosti procesa utvrđivanja kvalitete motora. C128 je paket za evidentiranje i kontrolu podataka osmišljen za ispunjenje specifičnih potreba automobilske senzora. Svi podaci su usklađeni sa sustavom, čime se osigurava precizno bilježenje svih podataka uz eliminaciju preklapanja. TLMS (eng. *Test Laboratory Management System*) je rješenje koje se savršeno integrira u CADET v14 te osigurava kompletno rješenje za konfiguriranje i izvršavanje testova, uključujući automatsku komplikaciju i generiranje izvještaja.

4.2 AVL softver za razvoj i testiranje autonomnih vozila

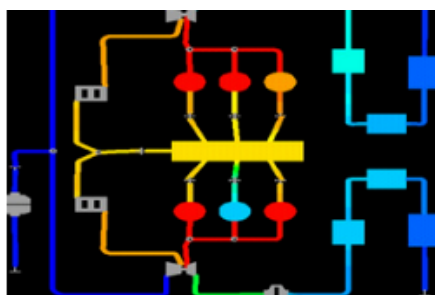
Buduća mobilnost podrazumijeva visok stupanj automatizacije. Trenutno svjedočimo širokom korištenju razine 0 –2 ADAS, što obuhvaća asistenta za držanje smjera unutar prometne trake, ABS, pokazatelj mrtvog kuta i asistent u parkiranju. Tranzicija iz trenutnog stanja u punu automatizaciju se nazire, zbog čega OEM-ovi trebaju biti pripremljeni za razine ADAS-a 3 i više. AVL je tehnološka tvrtka u automobilske industriji koja nudi širok spektar softverskih alata za

⁶ <https://www.sierrainstruments.com/autotest/products/automation-systems>

dizajniranje sustava, testiranje, kalibraciju, razvoj prilagođenog softvera te alate i metodologiju za scenarijski razvoj i testiranja. AVL specijalizira u razvoju, simulacijama i testiranju pogonskih sklopova te integraciji istih u vozilo, ali i u nova područja poput ADAS-a [58]. AVL nudi kompletna softverska rješenja u vidu simulacija koje služe testiranju dizajna, a da pritom ne nastaje trošak uništenja dijelova i komponenti. Od simulacije potpuno integriranog ICE-a, pogonske linije vozila, simuliranje ponašanja krutih tijela u različitim uvjetima, simulacije dinamike fluida, platformu otvorene integracije namijenjene ko-simuliranju, simulacije različitih postavki kalibracije na percipirano ponašanje vozila itd.

4.2.1 AVL BOOST

BOOST je AVL-ov softver (slika 4.6.) za simulaciju integriranog motora s unutrašnjim izgaranjem koji nudi napredne modele za precizne projekcije performansi motora, emisije ispušnih plinova i akustike. Između ostalog softver koristi prikupljene 1D podatke iz ranije formuliranog koncepta te stvara detaljan 3D model omogućavajući optimizaciju prijelaznog odgovora računavajući uvjete mehaničke inercije i dinamike učinaka plinova [58]. Nadalje, moguće je kalkulirati pojedinačne komponente i čitave sustave za naknadnu obradu ispušnih plinova, dok je s akustičnog aspekta omogućena projekcija buke i zvuka motora određene marke proizvođača te simulacija linearne akustike bez potrebe za dodatnim podacima o motoru. Radi se dakle o sveobuhvatnom i fleksibilnom rješenju koje kalkulira kemijske reakcije da bi se omogućilo modeliranje sustava za obradu ispušnih plinova uz besprijekorne tranzicije iz 1D u 3D modele i obrnuto u bilo kojoj fazi razvoja [58]. AVL ističe i mogućnost preciznih projekcija 3D učinaka prijenosa topline u cijevima i komori za izgaranje kada se BOOST koristi u kombinaciji s AVL FIRE alatom.

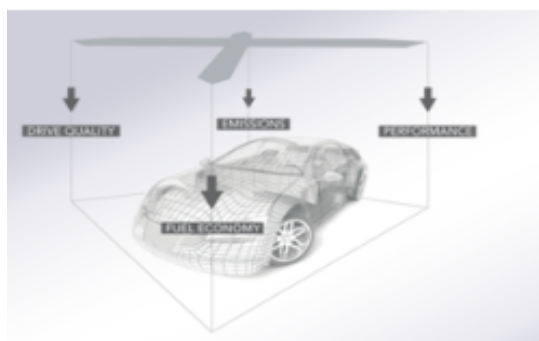


Slika 4.5. Simulacija u AVL BOOST alatu

Izvor: <https://www.avl.com/boost> [pristup 07.05.2022.]

4.2.2 AVL CRUISE

CRUISE je softver za modeliranje električnih pogonskih linija koji omogućava ravnotežu između performansi, efikasnosti i emisija ispušnih plinova. U pitanju je fleksibilna simulacija pogonske linije vozila koja je primjenjiva u širokom spektru slučajeva. CRUISE omogućava analiziranje koncepta pogonskog sklopa u različitim testnim okruženjima (HIL, SIL, testna ploča) u stvarnom vremenu [58]. Zahvaljujući numeričkom solveru i mogućnosti primjene u stvarnom vremenu, ovaj alat isporučuje rezultate u vrlo kratkom vremenu. AVL ističe svestranost koja proizlazi iz mogućnosti preciznog i pouzdanog upravljanja energijom konceptualnog vozila (slika 4.7.), ali i mogućnosti generiranja realnih komponenti koje se podvrgavaju analizama izdržljivosti i testiranju. CRUISE je namijenjen simulacijskom dizajniranju prijenosnog procesa i optimizaciji procesa promjene brzina, a komponente je moguće optimizirati neovisno o kojem se segmentu tržišta radi.



Slika 4.6. Simulacija u AVL CRUISE alatu

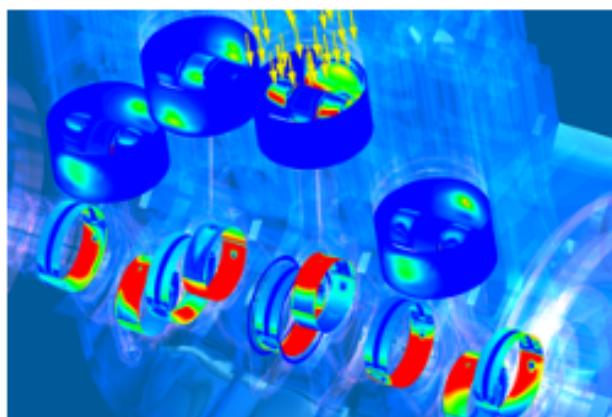
Izvor: <https://www.avl.com/boost> [pristup 07.05.2022.]

4.2.3 AVL EXCITE

Rastuća potražnja za unapređenjem učinkovitosti suvremenih pogonskih sklopova koju prate zahtjevi za smanjenjem emisija CO₂ i potrošnje goriva predstavlja velik izazov za OEM-ove. Također, uravnoteženje efikasnosti uz istovremeno povećanje snage i sile kao konstantna rastuća očekivanja potrošača impliciraju povećanje mehaničkih i toplinskih pritisaka na komponente pogonskog sklopa, dok istovremeno povećanje ekscitacije podrazumijeva moguće probleme s akustičkog aspekta. EXCITE je inovativni fleksibilni simulacijski alat za izučavanje ponašanja

krutih tijela u svrhu analize pogonskih sklopova te modeliranje komponenti, podsustava i čitavih pogonskih sklopova.

Simuliranje u EXCITE alatu dozvoljava izradu detaljnih EHD (eng. *elasto-hydrodynamic*) kontaktnih modela za klizne ležajeve, klipove, klipne prstene i 3D modela kontaktne opreme (slika 4.8.). Daje precizne rezultate simulacija izdržljivosti, trenja, akustike i potrošnje komponenti. Drugim riječima, nudi mogućnost temeljitog i detaljnog istraživanja, a računalna učinkovitost se postiže numeričkim uparivanjem dinamike struktura i elastične hidrodinamike. Za analiziranje hibridnih pogonskih sklopova i e-pogona su dostupne različite razine modeliranja što omogućava i torzijsko i elektro-mehaničko uparivanje te ekscitaciju e-motora. EXCITE sadrži i alate specifične određenoj primjeni (pred i post-procesiranje) kao što su analiza putanje numeričkog prijenosa i kalkuliranje zračne buke u svrhu analiziranja akustike.



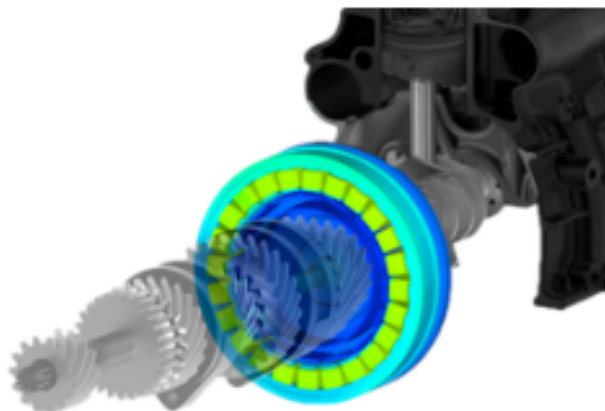
Slika 4.7. Simulacija u AVL EXCITE alatu

Izvor: <https://www.avl.com/excite> [pristup 07.05.2022.]

Koristi koje proizlaze za proizvođače su primarno smanjenje potrebe za prototipima i doprinosi smanjenju troškova. AVL napominje da računalna efikasnost i prilagođenost ovisi o primjeni, uz isticanje vremenske kratkoće izvršenja zbog automatizirane obrade, personalizacije evaluacije podatkovnih rezultata i generiranje izvještaja u vlastitim aplikacijama.

4.2.4 AVL FIRE

FIRE je simulacijski paket za računalnu dinamiku fluida u pogonskom sklopu motora s unutrašnjim izgaranjem. Prema AVL-u se radi o vodećem i moćnom alatu za razvoj važnih komponenti u elektroničkom pogonskom sklopu (slika 4.9.), dizajniranom za precizne simulacije relevantnih fizičkih i kemijskih procesa. Omogućava predviđanja situacija kao što su prskanje goriva, paljenje, izgaranje i emisija ispušnih plinova te prilagođavanje komponenti sustavu naknadne obrade ispušnih plinova, modeliranje elektrokemijskog i termalnog ponašanja baterija i ćelija goriva. FIRE koristi automatizirano predprocesiranje za generiranje računalnih modela, uključujući i one s pokretnim dijelovima (klipovi, ventili, osovine, zupčanici). Glavni program dozvoljava modeliranje prijenosa topline neovisno o mreži, turbulencija s obzirom na kompleksnost tokova u komponentama pogonskog sklopa i temeljne modele elektrokemijskih reakcija. Integrirani post-processor omogućava online praćenje i analizu rezultata simulacije.



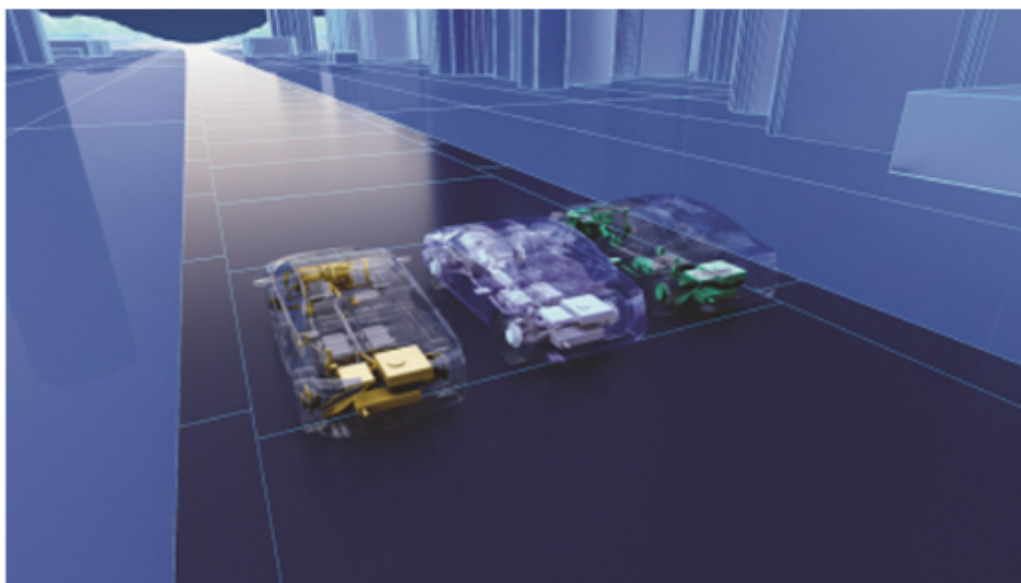
Slika 4.8. Simulacija u AVL FIRE alatu

Izvor: <https://www.avl.com/fire> [pristup 07.05.2022.]

4.2.5 MODEL CONNECT

CONNECT je AVL-ov model otvorene integracije i dio platforme za kosimulacije koji omogućava svim sudionicima u procesu razvoja razumijevanje cjelokupnog sustava već u ranim fazama razvojnog procesa, čime se pospješuju simulacijske tehnike kako u razvojnim, tako i u testnim

fazama. CONNECT (slika 4.10.) je kombinacija virtualnog i stvarnog okruženja koji povezuje simulacijske modele u dosljedan virtualni prototip te čini dio integrirane otvorene razvojne platforme. Simulirano testiranje na bazi modela se postupno zamjenjuje testiranjem hardvera kako isti postaje dostupan, čime se osiguravaju uštede u vremenu i troškovima, dok ugrađena tehnologija za ko-simulaciju optimizira kombinaciju softvera i hardvera u smislu produktivnosti i preciznosti. Povezivanjem modela se osnažuje informirano donošenje odluka i postojećeg znanja različitih razvojnih odjela na siguran način koji podržava reprodukciju. CONNECT se može koristiti u različitim razvojnim projektima, a idealan je za primjenu u područjima upravljanja toplinom, dinamici vozila i ADAS sustavima.



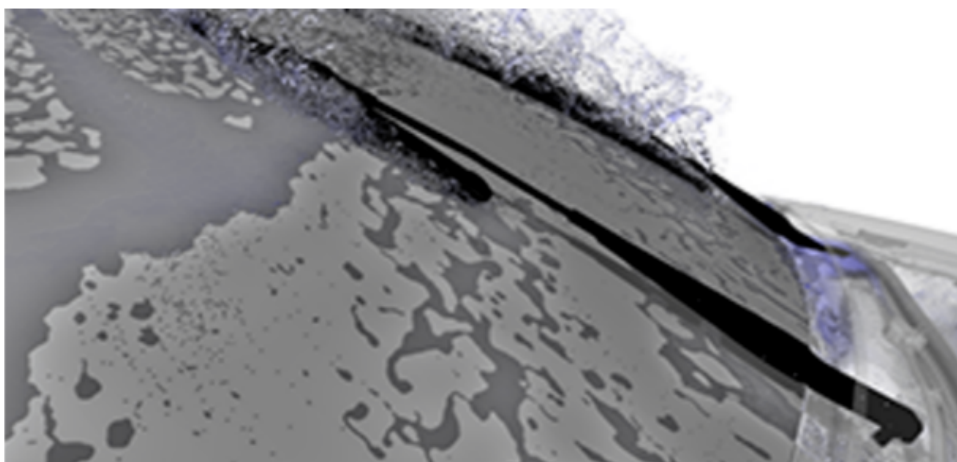
Slika 4.9. Simulacija u AVL MODEL CONNECT alatu

Izvor: <https://www.avl.com/-/model-connect-> [pristup 07.05.2022.]

4.2.6 FIFTY2 PreonLab

AVL naziva PreonLab probitačnom inovacijom u simuliranju računalne dinamike fluida koja je usmjerena na simuliranje slobodnih tokova pri visokodinamičnim uvjetima uz minimalno predprocesiranje. Povezivanje (eng. *meshing*) nije potrebno, neovisno o razini kompleksnosti i kinematike. PreonLab omogućava precizno predviđanje tokova vode ili ulja te na taj način doprinosi kvalitetnom dizajnu komponenti i integraciji istih u vozilo. Stvaranje animiranih

rezultata simulacije je jedna od bitnih funkcionalnosti. AVL ističe pristup koji ne uvjetuje umrežavanje (eng. *meshless approach*) kao inovativnu komponentu PreonLab-a (slika 4.11.). Alat primjenjuje geometriju te dozvoljava intuitivno definiranje kinematike krutog tijela čak i kod najkompleksnijih postavki. Moguće ga je pokrenuti na standardnom hardveru isto kao i na HPC (eng. *High Performance Computing*) platformama. U svakom slučaju osigurava trenutačnu povratnu informaciju o stanju simulacije. Softversko rješenje koristi solver u kombinaciji s formulacijom implicitnog pritiska, temeljem čega osigurava optimalno korištenje vremena i efikasne izračune, dok mogućnosti paralelnog programiranja povećavaju obrtaje i omogućavaju simulaciju u stvarnom vremenu, u sekundama. Prošireni solver računa prijenos topline unutar tekućine te pri kontaktu sa zrakom i čvrstim predmetima. PreonLab uključuje i alate za post-procesiranje, uključujući brojne senzore i različite analitičke opcije te funkcionalnosti za kreiranje grafova, planova i prilagođenih animacija.



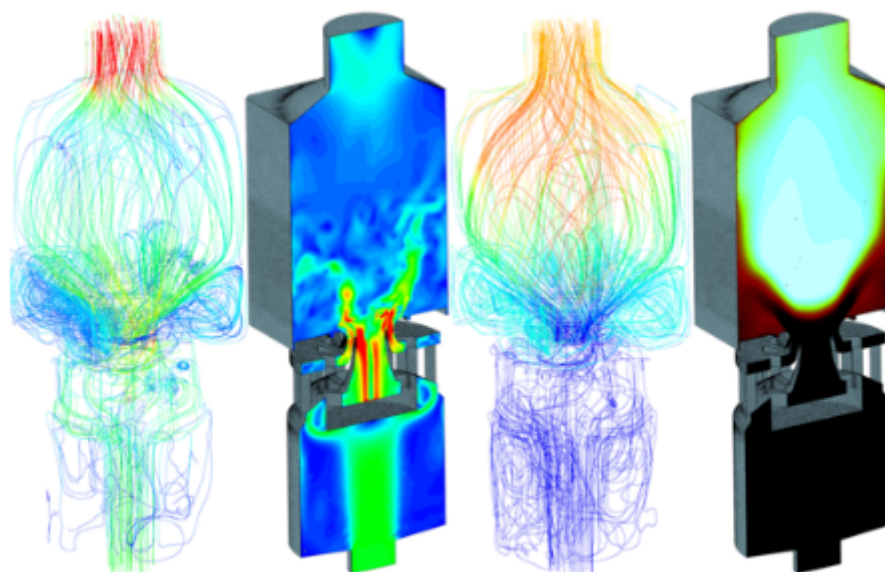
Slika 4.10. Simulacija u AVL FIFTY2 PreonLab alatu

Izvor: <https://www.avl.com/fifty2-preonlab> [pristup 07.05.2022.]

4.2.7 AVL TABKIN

TABKIN je AVL-ov modul za uključivanje kemijskih sastavnica goriva u CFD simulacije koji omogućava brže simulacije s više različitih kemijskih sastavnica, odnosno uključuje više od 2.500 vrsta. TABKIN (slika 4.12.) pojednostavljuje simuliranje CFD procesa smanjenom primjenom empirizma, čak i onih koji zahtijevaju puno kalibracije. Tabeliranje kemijskih komponenti ubrzava CFD procese, uračunava ključne fizičke implikacije i poboljšava mogućnost predviđanja bez

obzira radi li se o dizelskom, benzinskom motoru ili naprednim konceptima izgaranja kao što je LTC (eng. *Low Temperature Combustion*) ili PCCI (eng. *Premixed Charge Compression Ignition*). TABKIN je također dostupan kao plug-in varijanta za predvođenje CFD kodova trećih strana. AVL navodi dodane vrijednosti modula poput poboljšanja brzine i mogućnosti predviđanja, 50% smanjenje troškova po relevantnom rezultatu te smanjenje broja potrebnih prototipa i kraće vrijeme proizvoda od razvoja do tržišta.



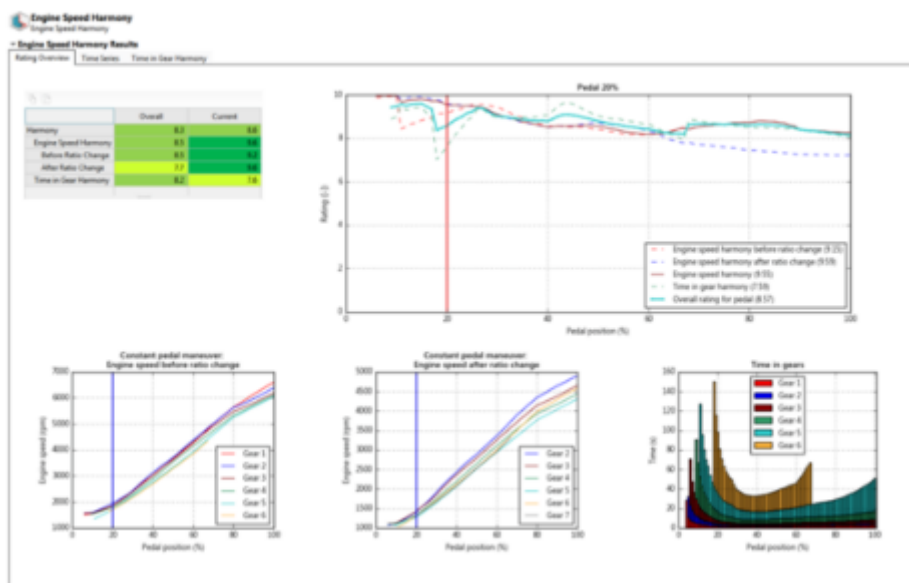
Slika 4.11. Simulacija u AVL TABKIN alatu

Izvor: <https://www.avl.com/avl-tabkintm> [pristup 07.05.2022.]

4.2.8 AVL SPA

Kalibriranje u modernim hibridnim vozilima i konvencionalnim pogonskim sklopovima je izazov kad je u pitanju subjektivna percepcija poput ponašanja vozila. SPA (slika 4.13.) je rješenje za optimizaciju i procjenu ponašanja automobila te razvoj strategija implementacije inovacija izvan mreže koje koristi više od 30 objektivnih kriterija procjene čime se osigurava detaljna analiza. Nadalje, SPA omogućava vizualizaciju efekata promjena u kalibraciji, čime se omogućava lako kontroliranje ponašanja specifičnih brend modela ili čitave flote vozila. Doprinosi smanjenju potrebne količine rada i radne snage kao i potrebe za prototipom, odnosno doprinosi povećanju

kvalitete uz istovremeno smanjenje potrebnog vremena i troškova. Ovisno o broju varijanti i razini kalibracije, SPA omogućava smanjenje potrebnog vremena za promjenu rasporeda bazne linije za 40%. Budući da prototipi nisu potrebni, moguće je implementirati inovativne modele kalibracije u ranijim fazama i transferirati strategiju implementacije ponašanja vozila na druge varijante vozila.



Slika 4.12. Simulacija u AVL SPA alatu

Izvor: <https://www.avl.com/avl-spa> [pristup 07.05.2022.]

5 ZAKLJUČAK

Svrha rada je bila prikazivanje napretka automobilske industrije od pojave računala, s detaljnim pregledom trenutnog stanja i posebnim naglaskom na aktualne i buduće trendove u okviru razvoja autonomnih vozila. Predviđanja su istraživača da će petina novih vozila u prodaji biti potpuno autonomna, odnosno iznad treće razine autonomije, što između ostalog znači da za uspješno funkcioniranje vozila neće biti potrebna interakcija vozača. Nositelj ove tranzicije je ADAS u čijoj je osnovi umjetna inteligencija. Kineskim tržištem u ovim trenucima dominiraju tehnološke tvrtke koje u suradnji s proizvođačima automobila već testiraju napredne AI modele čija se sposobnost učenja konstantno unapređuje, s konačnom svrhom stvaranja potpuno autonomnog sustava. Projekcije nisu nerealne, no jednako su realne i sigurnosne implikacije koje nije moguće ostaviti po strani.

Pitanje koje se postavlja prije svih ostalih jest tržišna i komercijalna spremnost takvih rješenja, odnosno metodologija i intenzitet testiranja istih. U radu je stavljen naglasak na trenutna razvojna i simulacijska rješenja za razvoj i testiranje modernih vozila u svrhu procjene i eventualno postizanje spremnosti tehnologije za više razine autonomije. S obzirom na potencijale over-the-air ažuriranja i paralelnog testiranja softvera na bazi podataka iz stvarnog svijeta te intenzivnim ulaganjima u umjetnu inteligenciju u kontekstu automobilske industrije, doista je vrlo vjerojatno da će u bliskoj budućnosti nastupiti vozila za čiju mobilnost vozač nije potreban. Svakako će tome prethoditi serije probitačnih inovacija te je za donošenje objektivnog zaključka o budućim mogućnostima potrebno konstantno praćenje i istraživanje industrije i tržišta. Ovaj rad pritom može poslužiti kao polazna točka daljnjim istraživanjima konkretnih rješenja za testiranje i razvoj vozila, a istaknuti proizvodi mogu poslužiti kao smjernice.

6 LITERATURA

- [1] Carlier, M. „Automotive industry worldwide – statistics & facts“, s Interneta, https://www.statista.com/topics/1487/automotive-industry/#topicHeader__wrapper, 12.04.2022.
- [2] Placek, M. „Worldwide motor vehicle production 2000-2021“, s Interneta, <https://www.statista.com/statistics/262747/worldwide-automobile-production-since-2000/> . 12.04.2022.
- [3] Carlier, M. „Revenue – automotive manufacturing industry worldwide 2020-2022“, s Interneta <https://www.statista.com/statistics/574151/global-automotive-industry-revenue/>. 12.04.2022.
- [4] Europska Komisija. „Automotive Industry“, s Interneta, https://ec.europa.eu/growth/sectors/automotive-industry_en . 12.04.2022.
- [5] Rakarić, I. „Analiza održivosti automobilske industrije“, diplomski rad, Sveučilište u Zagrebu, Ekonomski fakultet, 2020.
- [6] Mahalec, I.; Lulić, Z.; Kozarac, D. „Motori s unutarnjim izgaranjem“, FSB Zagreb, 2010.
- [7] Britannica. „Automotive industry“, s Interneta, <https://www.britannica.com/technology/automotive-industry>, 14.04.2022.
- [8] Odrlijin, B. „Razvoj i razmještaj automobilske industrije u svijetu i u Republici Hrvatskoj“, završni rad, Sveučilište u Splitu, Ekonomski fakultet, 2020.
- [9] Allen, J. „How World War One Changed the Car You Drive Today“, s Interneta, <http://www1.centenary.oucs.ox.ac.uk/machineaesthetic/how-world-war-one-changed-the-car-you-drive-today/>, 14.04.2022.
- [10] History Channel. „Automobile History“, s Interneta, <https://www.history.com/topics/inventions/automobiles>, 14.02.2022.
- [11] History Hub. „Sve o automobilskoj industriji“, s Interneta, <https://hr.history-hub.com/sve-o-automobilskoj-industriji>, <https://hr.history-hub.com/sve-o-automobilskoj-industriji>, 14.04.2022.
- [12] Greatest Achievements. „Automobile – timeline“, s Interneta, <http://www.greatestachievements.org/?id=3880>, 14.04.2022.
- [13] Baća, Ž.; Strejček, H. „Upotreba računala u automobilu“, s Interneta, <http://web.studenti.math.pmf.unizg.hr/~hanstre/index.html>, 14.04.2022.
- [14] DHL. „Tech on wheels: Cars now have more tech in them than computers. What does that mean for the supply chain?“, s Interneta, <https://www.dhl.com/global-en/delivered/digitalization/caution-convergence-ahead.html>, 14.04.2022.
- [15] Smith, G., M. „What is CAN Bus (Controller Area Network) and How It Compares to Other Vehicle Bus Networks“, s Interneta, <https://dewesoft.com/daq/what-is-can-bus>, 14.04.2022.

- [16] Nižić, I. „Komunikacija ambijentalnog senzora automobila preko CAN sabirnice“, diplomski rad, Sveučilište u Splitu, Fakultet elektrotehnike, strojarstva i brodogradnje, 2019.
- [17] Nwosu, I. „When was rear-view camera technology first made available in vehicles? And what cars had it?“, s Interneta, <https://www.quora.com/When-was-rear-view-camera-technology-first-made-available-in-vehicles-And-what-cars-had-it>, 14.04.2022.
- [18] Siu, B. „All new cars in US now required to have backup cameras“, s Interneta, <https://abcnews.go.com/US/cars-us-now-required-backup-cameras/story?id=54854404>, 14.04.2022.
- [19] Frank. „History and Innovation of Cameras on Cars“, s Interneta, <https://www.buildpriceoption.com/car-camera-system-history-and-innovation/>, 15.04.2022.
- [20] Wilde, E. „The Difference Between Ultrasonic and Radar Level Sensors“, s Interneta, <https://www.apgsensors.com/about-us/blog/radar-and-ultrasonic-sensors>, 14.04.2022.
- [21] Jukić, F.J. „Računalni sustav osobnog automobila“, završni rad, Sveučilište u Osijeku, Fakultet elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija Osijek, 2019.
- [22] Intel. „Intel's Entry Into the Automotive Market“, s Interneta, <https://www.intel.com/content/www/us/en/history/virtual-vault/articles/book-ford.html>, 14.04.2022.
- [23] Rangam, K. „What is an ECU? Electronic Control Unit (ECU) Explained“, s Interneta, <https://gomechanic.in/blog/ecu-electronic-control-unit-explained/>, 14.04.2022.
- [24] Johansson, H., K.; Torngren, M.; Nielsen, D. L. „Vehicle Applications of Controller Area Network“, Handbook of Networked and Embedded Control Systems, Control Engineering books series, 741-765, 2005.
- [25] Stojković, I. „Elektronički sustavi u automobilima“, seminarski rad, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet elektrotehnike i računarstva, 2006.
- [26] Imperva. „OSI model“, s Interneta, <https://www.imperva.com/learn/application-security/osi-model>, 14.04.2022.
- [27] Wojdyla, B. „How it works: The Computer Inside of Your Car“, s Interneta, <https://www.popularmechanics.com/cars/how-to/a7386/how-it-works-the-computer-inside-your-car/>, 14.04.2022.
- [28] Milutin, F. „Žična CAN bus komunikacija između senzorskih čvorova“, specijalistički diplomski stručni rad, Sveučilište u Splitu, Sveučilišni odjel za stručne studije, 2021.
- [29] Michels, K. „How Software Develops Modern Cars into High-Performance Computers“, s Interneta, <https://www.continental.com/en/press/studies-publications/software/how-software-develops-modern-cars-into-high-performance-computers/>, 14.04.2022.
- [30] Fletcher, R. i dr. „The case for an end-to-end automotive software platform“, Automotive & Assembly, McKinsey & Company, 2020.

- [31] Burkacky, O. i dr. „Masterin automotive software-launch excellence“, McKinsey Center for Future Mobility, McKinsey & Company, 2019.
- [32] Kuhnert, F.; Sturmer, K. „Five trends transforming the Automotive Industry“, PwC, publikacija, 2018.
- [33] Heineke, K. i dr. „Self-driving car technology: When will the robots hit the road?“, Automotive & Assembly, McKinsey & Company, 2017.
- [34] Burkacky, O. i dr. „Rethinking Car Software and Electronics Architecture“, McKinsey Center for Future Mobility, McKinsey & Company, 2018.
- [35] Huzjak, K. „Električni auti su ovdje, ali tko će spasiti poslove u industriji auta s unutarnjim izgaranjem“, s Interneta, <https://www.jutarnji.hr/autoklub/aktualno/elektricni-auti-su-ovdje-ali-tko-ce-spasiti-poslove-u-industriji-auta-s-unutarnjim-izgaranjem-15123294>, 14.04.2022.
- [36] Autonet. „Njemačka protiv zabrane motora s unutarnjim izgaranjem 2035. godine“, S Interneta, <https://www.autonet.hr/aktualno/vijesti/njemacka-protiv-zabrane-motora-s-unutarnjim-izgaranjem-2035-godine/>, 14.04.2022.
- [37] Bičak, D. „Novih e-auta najviše ikad, motiv za kupnju više ekonomski no ekološki“, s Interneta, <https://www.poslovnih.hr/hrvatska/novih-e-auta-najvise-ikad-motiv-za-kupnju-v-ise-ekonomski-no-ekoloski-4321517>, 14.04.2022.
- [38] Luzar, I. „Nova studija: Električni automobili postat će popularniji od benzinaca i dizelaša već za tri godine“, s Interneta, <https://www.telegram.hr/biznis-tech/nova-studija-elektricni-automobili-postat-ce-popularniji-od-benzinaca-i-dizelasa-vec-za-tri-godine/>, 14.04.2022.
- [39] Predrijevac, G. „Utjecaj električnih vozila na održivi razvoj Republike Hrvatske“, specijalistički diplomski stručni rad, Sveučilište u Zagrebu, Ekonomski fakultet, 2021.
- [40] Llopis-Albert, C.; Rubio, F.; Valero, F. „Impact of digital transformation on the automotive industry“, Technological Forecasting and Social Change, 162(2021), 1-9, 2021.
- [41] Cubiss, J. „The Future of Automotive Industry“, s Interneta, <https://www.forbes.com/sites/sap/2021/05/05/the-future-of-automotive-and-mobility/?sh=7f09791259d5>, 14.04.2022.
- [42] Advanced Industries. „Automotive revolution – perspective towards 2030.“, McKinsey & Company, 2016.
- [43] Deloitte. „The future of the automotive supplier industry: Four industry scenarios for 2030“, Scenarios for Tomorrow, 2021.
- [44] Industry Articles. „What is ADAS?“, s Interneta, <https://www.oxts.com/what-is-adas/>, 14.04.2022.
- [45] Smith, M. G. „What is ADAS (Advanced Driver Assistance Systems)?“, s Interneta, <https://dewesoft.com/daq/what-is-adas>, 14.04.2022.

- [46] Synopsis. „What is ADAS?“, s Interneta, <https://www.synopsys.com/automotive/what-is-adas.html>, 14.04.2022.
- [47] Saxena, A. „Top 7 ADAS Technologies that Improve Vehicle Safety“, s Interneta, <https://www.einfochips.com/blog/top-7-adas-technologies-that-improve-vehicle-safety/>, 14.04.2022.
- [48] Hearst Autos Research. „ADAS: Everything You Need to Know“, s Interneta, <https://www.caranddriver.com/research/a31880412/adas/>, 14.04.2022.
- [49] Mordor Intelligence. „Automotive Artificial Intelligence Market – Growth, Trends, COVID-19 Impact and Forecasts (2022-2027)“, s Interneta, <https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/automotive-artificial-intelligence-market>, 14.04.2022.
- [50] Juliussen, E. „AI's Impact on the Current and Future Automotive Industry“, s Interneta, <https://www.eetimes.eu/ai-impact-on-the-current-and-future-automotive-industry/>, 14.04.2022.
- [51] Autonet. „Rimac Automobili dovršili testove C_Two u zračnom tunelu“, s Interneta, https://www.autonet.hr/aktualno/vijesti/rimac-automobili-dovrsili-testove-c_two-u-zracnom-tunelu/, 14.04.2022.
- [52] Radio Sarajevo. „Nakon 45 crash testove i 9 uništenih automobila, Rimac Nevera ide u isporuku“, s Interneta, <https://radiosarajevo.ba/auto-moto/noviteti/nakon-45-crash-testova-i-9-unistenih-automobila-rimac-nevera-ide-u-isporku/447496>, 14.04.2022.
- [53] Stackpole, B. „Tesla Optimizes CAE“, Desktop Engineering, (2014), str. 26, 2014.
- [54] Simonite, T. „Tesla Tests Self-Driving Functions with Secret Updates to Its Customer's Cars“, s Interneta, <https://www.technologyreview.com/2016/05/24/159976/tesla-tests-self-driving-functions-with-secret-updates-to-its-customers-cars/>, 14.04.2022.
- [55] Castignani, L. „Simulation is key to real-world autonomous driving“, s Interneta, <https://www.theengineer.co.uk/autonomous-vehicles-simulation-real-word-road/>, 14.04.2022.
- [56] IT pro today. „Code Instrumentation Techniques – Depth Coverage on Tracing“, s Interneta, <https://www.itprotoday.com/development-techniques-and-management/code-instrumentation-techniques-depth-coverage-tracing>, 14.04.2022.
- [57] HP. „HP Tech takes...“, s Interneta, <https://www.hp.com/us-en/shop/tech-takes/what-is-hyperthreading>, 14.04.2022.
- [58] AVL. https://www.avl.com/?avlregion=GLOBAL&groupId=10138&lang=en_US, 14.04.2022.

7 POPIS SLIKA

Slika 2.1. Fordov Model-T.....	3
Slika 2.2. Ožičenje automobila prije pojave CAN-a.....	4
Slika 2.3. Usporedba komunikacije komponenti bez CAN (lijevo) i s CAN mrežom komunikacije.....	5
Slika 2.4: Komunikacija komponenti s ECU u središtu.....	8
Slika 2.5: Shema interakcija ECU-a i ostalih komponenti.....	9
Slika 2.6: Komunikacija čvorova, odnosno ECU-ova na sabirnici.....	10
Slika 2.7: Potencijalni scenariji za budućnost automobilske industrije.....	20
Slika 3.1. Razine automatizacije po SAE kriteriju.....	22
Slika 3.2. Kompletna senzorska pokrivenost ADAS sustava.....	23
Slika 4.1: Rimac Nevera pri testiranju u zračnim tunelima.....	29
Slika 4.2. Prikaz sučelja RapiCover alata.....	32
Slika 4.3. Prikaz sučelja RapiTask alata (usporedba algoritama).....	32
Slika 4.4. DEWEsoft infografika za testiranje ADAS sustava.....	34
Slika 4.5. Simulacija u AVL BOOST alatu.....	36
Slika 4.6. Simulacija u AVL CRUISE alatu.....	37
Slika 4.7. Simulacija u AVL EXCITE alatu.....	38
Slika 4.8. Simulacija u AVL FIRE alatu.....	39
Slika 4.9. Simulacija u AVL MODEL CONNECT alatu.....	40
Slika 4.10. Simulacija u AVL FIFTY2 PreonLab alatu.....	41
Slika 4.11. Simulacija u AVL TABKIN alatu.....	42
Slika 4.12. Simulacija u AVL SPA alatu.....	43

8 POPIS TABLICA

Tablica 2.1. Trendovi koji oblikuju budućnost automobilske industrije do 2030.	17
Tablica 2.2. Trendovi budućnosti automobilske industrije iz perspektive tržišnih aktera (dobavljači, OEM)	21
Tablica 3.1. Kategorizacija ADAS funkcionalnosti.....	24

9 SAŽETAK

Suvremenu mobilnost u vidu automobilske industrije karakteriziraju komercijalna vozila čija je razina autonomije trenutno između 0 i 2, no tehnološki giganti intenzivno surađuju s proizvođačima originalnih dijelova ne bi li razvili potpuno autonomno vozilo. Imajući na umu sigurnosne implikacije takve tehnologije, podrazumijeva se temeljito i detaljno testiranje modela umjetne inteligencije kako bi se postigla besprijekorna sigurnost i otklonili mogući rizici. Virtualno okruženje i simulacijski softveri su se pokazali kao optimalan način testiranja autonomnih vozila. Ovim radom je dan prikaz aktualnih i budućih trendova u automobilskoj industriji s naglaskom na ADAS (eng. *Advanced Driver Assistance Systems*) sustav i umjetnu inteligenciju, da bi se prikazala središnja tematika rada, odnosno softverska rješenja za testiranje vozila.

Ključne riječi: vozilo, autonomija, ADAS, softver, trendovi, testiranje

10 ABSTRACT

Modern mobility in the automotive industry context is currently marked by commercial passenger vehicles run by software that supports autonomy levels 0-2, while technological giants intensively cooperate with original equipment manufacturers with the ultimate goal of producing a completely autonomous vehicle. Bearing in mind the safety implications of such technology, it is clear that artificial intelligence needs to be thoroughly tested, so seamless security is accomplished and potential risks for human safety are eliminated. Virtual surrounding and simulation tools are proven to be the most efficient way of testing autonomous vehicles. This paper provides a review of actual and future automotive AI trends with an emphasis on ADAS and AI, only to present current software vehicle development and testing solutions.

Key words: vehicle, autonomy, ADAS, software, trends, testing