

Sustavi pomoći vozaču i automatske radnje vozilima

Fresl, Bruno

Undergraduate thesis / Završni rad

2024

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Transport and Traffic Sciences / Sveučilište u Zagrebu, Fakultet prometnih znanosti**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:119:301228>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-08**



Repository / Repozitorij:

[Faculty of Transport and Traffic Sciences -
Institutional Repository](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI

ZAVRŠNI RAD

**SUSTAVI POMOĆI VOZAČU I AUTOMATSKE RADNJE
VOZILA**

**DRIVER ASSISTANCE SYSTEMS AND AUTOMATIC
VEHICLE OPERATIONS**

Mentor: Izv. prof. dr. sc. Pero Škorput

Student: Bruno Fresl

JMBAG:
0248049551

Zagreb, rujan 2024.

SVEUCILISTE U ZAGREBU
FAKULTET PROMETNIH
ZNANOSTI ODBOR ZA ZAVRSNI
RAD

Zagreb, 24. svibnja 2024.

Zavod: Zavod za inteligentne transportne sustave

Predmet: Inteligentni transportni sustavi I

ZAVRSNI ZADATAK br. 7639

Pristupnik: Bruno Fresl (0248049551)

Studij: Inteligentni transportni sustavi i logistika

Smjer: Inteligentni transportni sustavi

Zadatak: Sustavi pomoći vozaču i automatske radnje vozilima

Opis zadatka:

Zadatak ovog završnog rada je analizirati sustave pomoći vozaču i utjecaj automatskih radnji u vozilima na sigurnost i udobnost vožnje. Rad će pružiti pregled sustava pomoći vozaču, pasivne i aktivne sigurnosti u vozilima, te kako se te tehnologije integriraju u autonomna vozila. Poseban fokus bit će na analizi kako ovi sustavi utječu na ponašanje vozača. Cilj je istražiti kako ovi napredni tehnološki sustavi pridonose smanjenju prometnih nesreća i unapređenju ukupne sigurnosti vožnje.

Mentor:

Predsjednik povjerenstva za
završni ispit:

izv. prof. dr. sc. Pero Škorput

SAŽETAK

Završni rad detaljno analizira napredne sustave pomoći vozaču (ADAS), koji predstavljaju ključnu inovaciju u području automobilske tehnologije s ciljem povećanja sigurnosti i učinkovitosti vožnje. Ti sustavi koriste raznolik niz senzora poput kamera, radara i lidara (*Light Detection and Ranging* – LIDAR) kako bi pratili okolinu vozila u stvarnom vremenu. Integracija tih podataka omogućuje kontrolnim jedinicama da donose brze odluke, poput prilagodbe brzine ili izbjegavanja sudara. Također, istražuju se pasivni sigurnosni sustavi poput zračnih jastuka i sigurnosnih pojaseva, koji imaju ulogu u smanjenju ozljeda u slučaju nesreće. Nadalje, aktivni sigurnosni sustavi kao što su sustavi protiv blokiranja kotača (ABS) i upozorenja pri napuštanju voznog traka (LDWS) pružaju dodatnu zaštitu tijekom vožnje. Poseban naglasak stavljen je na integraciju ovih sustava u autonomna vozila, što je rezultiralo promjenama u ponašanju vozača i percepciji sigurnosti na cestama. Iako ovi sustavi nude brojne prednosti, ključno je educirati vozače o njihovim mogućnostima i ograničenjima kako bi se osigurala sigurna i odgovorna vožnja.

KLJUČNE RIJEČI: *sustavi pomoći vozaču, senzori, autonomna vozila, sigurnosni sustavi, vozači*

SUMMARY:

The final paper thoroughly analyzes Advanced Driver Assistance Systems (ADAS), which represent a key innovation in automotive technology aimed at enhancing safety and driving efficiency. These systems utilize a diverse array of sensors such as cameras, radar, and lidar to monitor the vehicle's surroundings in real-time. The integration of these data enables control units to make rapid decisions, such as adjusting speed or avoiding collisions. Additionally, passive safety systems such as airbags and seat belts, which play a role in reducing injuries in the event of an accident, are explored. Furthermore, active safety systems such as Anti-lock Braking Systems (ABS) and Lane Departure Warning Systems (LDWS) provide additional protection during driving. Special emphasis is placed on integrating these systems into autonomous vehicles, resulting in changes in driver behavior and safety perception on the roads. Although these systems offer numerous advantages, it is crucial to educate drivers about their capabilities and limitations to ensure safe and responsible driving.

KEY WORDS: *driver assistance systems, sensors, autonomous vehicles, safety systems, drivers*

SADRŽAJ

1. UVOD.....	1
2. SUSTAVI POMOĆI VOZAČU	3
2.1. Senzori i komunikacija u sustavima pomoći vozaču.....	3
2.2. Senzori u ADAS-u	3
2.2.1. Kamere	4
2.2.2. Radari	5
2.2.3. LIDAR senzori.....	8
2.2.4. GPS/GNSS senzori	10
2.2.5. Ultrazvučni/sonarni senzori	11
3. SUSTAVI PASIVNE SIGURNOSTI U VOZILIMA.....	13
3.1. Primarni pasivni sigurnosni sustavi	13
3.1.1. Zračni jastuci	13
3.1.2. Sigurnosni pojasevi	14
3.1.3. Zone gužvanja	15
3.1.4. Naslone za glavu protiv trzajnog udara	15
3.1.5. Zaštita od bočnog sudara	15
3.1.6. Sigurnosni sustavi za djecu	15
3.1.7. Sigurnosno staklo.....	15
3.1.8. Zaštita pješaka.....	16
3.1.9. Sustavi za hitne slučajeve	16
3.2. Inovacije u pasivnoj sigurnosti	17
4. SUSTAVI AKTIVNE SIGURNOSTI U VOZILIMA.....	18
4.1. Glavni sustavi aktivne sigurnosti.....	18
4.1.1. Elektronička kontrola stabilnosti (ESC).....	18
4.1.2. Sustav protiv blokiranja kotača (ABS)	20
4.2. Napredni sustavi asistencije vozaču	21
4.2.1. Prilagodljivi tempomat (ACC).....	21
4.2.2. Sustavi upozorenja pri napuštanju voznog traka (LDW)	22
4.2.3. Sustav automatskog kočenja u nuždi (AEB)	22
4.2.4. Sustav za otkrivanje mrtvog kuta (BSD).....	24
4.2.5. Aktivna pomoć pri parkiranju	25
5. AUTOMATSKE RADNJE VOZILIMA.....	25
5.1. Autonomna vožnja i njeni sustavi.....	25

5.2.	Automatske operacije u održavanju i energetske učinkovitosti.....	25
5.3.	Razredi autonomnosti i komunikacijski sustavi.....	26
6.	Integracija, utjecaj i analiza sustava pomoći vozaču u autonomnim vozilima	29
6.1.	Integracija sustava pomoći vozaču u autonomnim vozilima.....	29
6.2.	UTJECAJ SUSTAVA POMOĆI VOZAČU NA PONAŠANJE VOZAČA	30
6.3.	Analiza učinaka ADAS sustava (sigurnost, udobnost, ekologija).....	33
6.3.1.	Sigurnosni učinci ADAS sustava	33
6.3.2.	Učinci na udobnost vozača	36
6.3.3.	Ekološki učinci	37
7.	ZAKLJUČAK.....	39

1. UVOD

Tehnologija prometa i transporta prolazi kroz duboku transformaciju vođenu spojem inovativne tehnologije i vizije sigurnije, učinkovitije mobilnosti. Na čelu ove transformacije stoje napredni sustavi pomoći vozaču (*Advanced Driver Assistance Systems* - ADAS), skup inovativnih tehnologija dizajniranih za preispitivanje iskustva vožnje i, što je najvažnije, povećanje sigurnosti vožnje.

U ovom završnom radu zadatku istraženi su temeljni koncepti, suvremene tehnologije i ključne funkcije koje definiraju napredne sustave pomoći vozaču, te istražuje njihov utjecaj na sigurnost naših prometnica. U svom središtu, sustav pomoći vozaču predstavlja sinergiju ljudske intuicije i inteligencije stroja. Ovi sustavi su utjelovljenje najnovijih dostignuća u tehnologiji, uključujući senzore, kamere, radare, lidare i suvremene algoritme. Usklađivanjem ovih komponenti, ADAS povećava razinu opreza vozača, povećavajući njegove sposobnosti i transformirajući iskustvo vožnje.

Kako bi bilo moguće razumjeti funkcioniranje sustava pomoći vozaču, potrebno je upoznati se s temeljnim komponentama koje čine ove sustave:

- **Senzori:** Ovi osjetilni organi, uključujući kamere, radar i lidar, djeluju kao oči i uši sustava, kontinuirano primajući podatke iz okoline vozila.
- **Kontrolne jedinice:** Mozak operacije, kontrolne jedinice obrađuju raznolikost senzorskih podataka, donoseći odluke u stvarnom vremenu i izvršavajući naredbe kako bi se osigurala sigurnost.
- **Aktuatori:** Prevode odluke upravljačke jedinice u akcije, kao što su prilagodbe upravljanja, kočenja ili ubrzanja.
- **Sučelje:** Često opremljen intuitivnim sučeljima, ADAS prenosi vitalne informacije vozaču i omogućuje neupitnu interakciju.

Sustavi pomoći vozaču obuhvaćaju raznolik raspon funkcija, od pojednostavljivanja svakodnevnih zadataka poput održavanja zadane brzine ili pomoći pri parkiranju, do izvođenja naprednih manevara kao što su držanje vozne trake, izbjegavanje sudara, pa čak i autonomna vožnja. Ove su funkcije pomno osmišljene kako bi poboljšale sigurnost vožnje, smanjile vjerojatnost nesreća i ublažile ozbiljnost posljedica sudara kada do njih dođe. Osim toga, podižu udobnost i praktičnost vozača, nudeći ugodnije putovanje bez stresa.

Vrhunsko postignuće naprednog sustava pomoći vozaču je duboki utjecaj na sigurnost vožnje. Kroz budno praćenje okoline vozila i brze reakcije na potencijalne prijetnje, ADAS djeluje kao nepokolebljiva sigurnosna mreža, često sprječavajući nesreće prije nego što se dogode. Ovi sustavi mogu detektirati prepreke, pješake i druga vozila, izdati pravovremena upozorenja vozaču, pa čak i poduzeti autonomne radnje ako je potrebno da spriječe sudar. Ova povećana razina svijesti dramatično smanjuje rizik od nesreća, što u konačnici čini ceste sigurnijima za sve dionike u prometu.

Kroz ovaj rad analizira se kompleksnost sustava pomoći vozaču (ADAS), istražuje se ključna uloga pasivnih sigurnosnih sustava u vozilima, ispituju najnovija dostignuća u aktivnim sigurnosnim sustavima i proučavaju autonomne operacije koje transformiraju vozila. Nadalje, analizirat će se integracija sustava pomoći vozaču u autonomnim vozilima i utjecaj koji ti sustavi imaju na ponašanje vozača. Svaki odlomak nudi perspektivu, stavljajući fokus na tehnologije, funkcije i posljedice tehnoloških napredaka u automobilske industriji. Cilj ovog rada je pružiti obuhvatnije razumijevanje ovih tema, prepoznati njihov kolektivni značaj u preoblikovanju budućnosti prijevoza i promicanju sigurnosti na cestama.

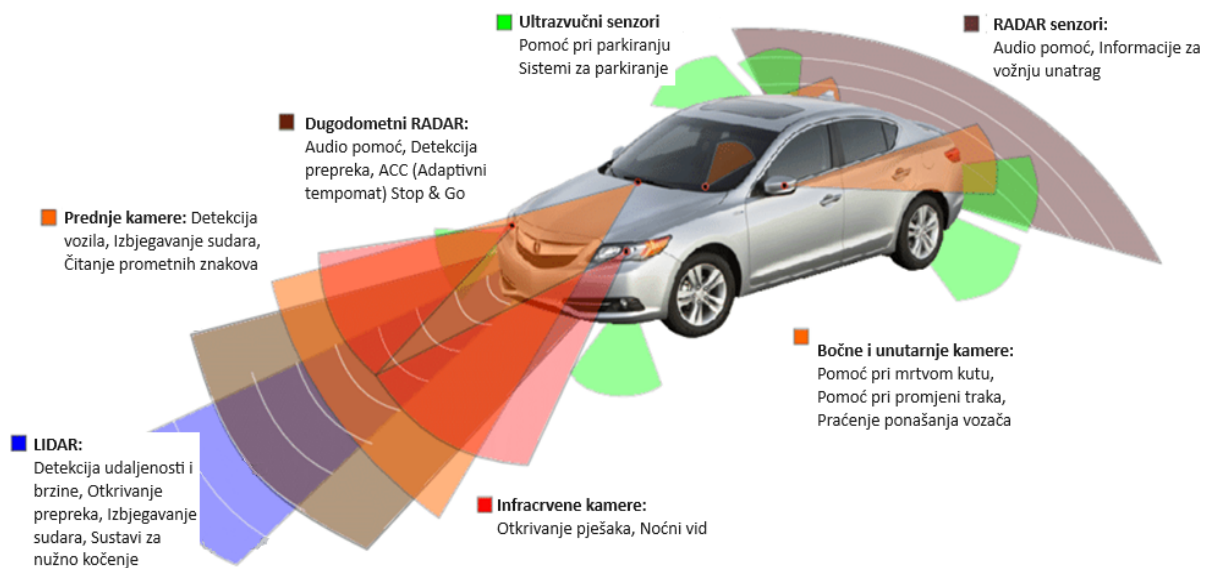
2. SUSTAVI POMOĆI VOZAČU

2.1. Senzori i komunikacija u sustavima pomoći vozaču

U domeni naprednih sustava pomoći vozaču (ADAS), sinergija vrhunskih senzora i najsuvremenijih komunikacijskih tehnologija postavlja kamen temeljac za rad ovih sustava. Ovaj odlomak će ispitati temeljne komponente koje čine temelj ADAS-a, s primarnim fokusom na raznolik niz senzora i suvremene tehnologije koje su neophodne za osiguravanje njihove besprijekorne funkcionalnosti [1].

2.2. Senzori u ADAS-u

Učinkovitost bilo kojeg ADAS-a temeljno se oslanja na njegovu sposobnost da opaža i tumači okolinu vozila s izvanrednim stupnjem preciznosti. Ova iznimna sposobnost opažanja prvenstveno se pripisuje nizu senzora koji djeluju kao budni osjetilni organi sustava. Vozilima su potrebni senzori kako bi zamijenili osjetilo ljudskog oka. Ljudske oči koriste se kao glavni senzori za vrijeme vožnje, omogućavaju trodimenzionalne slike koje potom mozak obrađuje da bi odredio relativne udaljenosti među objektima i njihove kretnje. Uz vid, bitno osjetilo je i sluh koji se koristi za identifikaciju raznih zvukova poput sirena, truba drugih vozila i zvučnih upozorenja na pružnim prijelazima. Mozak integrira te slušne informacije sa poznavanjem prometnih propisa, omogućujući sigurno upravljanje vozilom i bržim reakcijama u neočekivanim situacijama. Na slici jedan prikazan je detaljan dijagram vozila s integriranim sensorima i sustavima za pomoć vozaču (ADAS). Svaki senzor na vozilu ima specifičnu funkciju koja doprinosi sigurnosti i udobnosti vožnje, kao što su otkrivanje prepreka, pomoć pri parkiranju, prepoznavanje pješaka, noćni vid, te nadzor ponašanja vozača. Ovaj dijagram ilustrira kako različiti senzori, uključujući ultrazvučne senzore, kamere, RADAR, LIDAR i infracrvene kamere, surađuju kako bi omogućili napredne funkcije poput izbjegavanja sudara, pomoći pri promjeni trake, te prepoznavanja prometnih znakova.



Slika 1. Senzori i sustavi za pomoć vozaču (ADAS) na vozilu

Izvor: www.researchgate.net

Korištenje različitih vrsta senzora omogućuje vozilu da donosi odluke temeljem svih dostupnih informacija, što je razlog zašto je važno da ADAS značajke uključuju razne tehnologije senzora. Neki sustavi koriste podatke samo jedne vrste senzora, dok drugi integriraju podatke iz više senzora kako bi razvili precizniji "pogled" na okolinu i situaciju. Od ultrazvučnih senzora, koji se ističu u otkrivanju blizine i pomoći pri parkiranju, do kamera, radara i lidara, kao i dobivanjem podataka o apsolutnom položaju pomoću GPS-a i inercijskih podataka dobivenih od IMU (inercijski mjerni uređaji) senzora. Svaki tip senzora igra nezamjenjivu ulogu u prikupljanju ključnih podataka o okolišu u stvarnom vremenu. Kako bi ispravno radili ADAS sustavi moraju funkcionirati na sličan način [12].

2.2.1. Kamere

Kamere su jedan od najčešćih tipova senzora u današnjim vozilima, dolaze u raznim oblicima ovisno o svojoj funkciji unutar sustava. Ovi senzori su ključni za otkrivanje objekata na cesti, uključujući automobile, bicikliste i pješake. Također igraju vitalnu ulogu u poboljšanju sigurnosti vozila i navigacije pružajući ključne vizualne podatke koji podržavaju druge sigurnosne značajke poput sustava za izbjegavanje sudara i upozorenja na izlazak iz trake. Kamere su nezamjenjive za ADAS sustave jer predstavljaju glavnu senzorsku komponentu većine tih sustava kod proizvođača automobila. Bez njih, vozilo ne bi moglo "vidjeti" okolinu. Njihova funkcionalnost također uključuje složenije zadatke poput interpretacije prometnih znakova i nadzora mrtvih kutova, čineći ih esencijalnim u modernim tehnologijama

automobilske sigurnosti. Mnogi novi automobili sada standardno dolaze s prednjim kamerama. Primjeri vrsti kamera koje se koriste u ADAS sustavima:

- Prilagodljivi tempomat (*Adaptive Cruise Control* - ACC): Koristi se za održavanje sigurne udaljenosti od vozila ispred.
- Automatsko hitno kočenje (*Autonomous Emergency Braking* - AEB): Omogućava automatsko kočenje kako bi se izbjegli sudari.
- Upozorenje na izlazak iz trake (*Lane Departure Warning* - LDW): Upozorava vozača kada vozilo napušta traku bez signalizacije.
- Pomoć pri zadržavanju u traci (*Lane Keeping Assist* - LKA): Pomaže vozaču da ostane unutar svoje trake.
- Automatizirana aktivacija i prigušivanje dugih svjetala: Podesi svjetla prema uvjetima na cesti.

Korištenje kamera u ADAS sustavima ključno je za poboljšanje sigurnosti i funkcionalnosti vozila, omogućujući im prepoznavanje i analizu okoline na cesti [2].

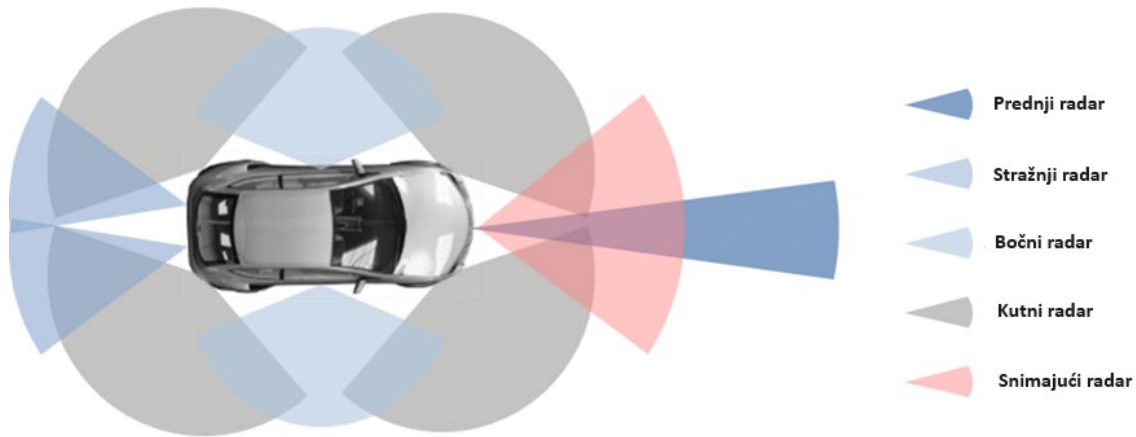
2.2.2. Radari

Radarski senzori su ključna komponenta u naprednim sustavima pomoći vozaču (ADAS), često korišteni za sustave izbjegavanja sudara. Ovi senzori emitiraju radijske valove koji se odbijaju od objekata i vraćaju natrag do senzora, omogućujući izračun udaljenosti do objekta analizom vremena povratka valova. Ovi podaci stvaraju trodimenzionalnu sliku okolnog područja, omogućujući vozaču bolje razumijevanje situacije na cesti. Na slici dva je prikazan pogled odozgo na vozilo s različitim radarskim sensorima raspoređenim oko njega, svaki s određenom funkcijom:

- Prednji radar (tamno plava): Pokriva područje ispred vozila za adaptivni tempomat i upozorenje na sudar.
- Stražnji radar (svijetlo plava): Prati područje iza vozila, pomaže pri vožnji unatrag i detekciji sudara straga.
- Bočni radar (srednje plava): Pokriva bočne strane vozila, pomaže u otkrivanju vozila u mrtvim kutovima i pri promjeni trake.
- Kutni radar (siva): Nalazi se na uglovima vozila, detektira objekte u blizini tijekom parkiranja.

Prednji/imaging radar (crvena): Detaljno snima područje ispred vozila, koristi se za napredne funkcije poput detekcije pješaka i održavanja vozila u traci.

Ovakav spoj senzora pruža 360-stupanjsku pokrivenost i povećava sigurnost vozila.



Slika 2: Radarska pokrivenost vozila

Izvor: semiengineering.com

Radarski senzori imaju široku primjenu u različitim ADAS sustavima, uključujući:

- Praćenje mrtvih kutova: Otkriva vozila koja se nalaze u mrtvom kutu.
- Upozorenje na prednji sudar (*Forward Collision Warning- FCW*): Upozorava vozača na potencijalne sudare s vozilima ispred.
- Detekcija pješaka: Prepoznaje pješake u blizini vozila.

Radarski senzori su posebno korisni zbog svoje sposobnosti detekcije objekata na većim udaljenostima i u lošim vremenskim uvjetima kao što su kiša ili magla. Ovi senzori omogućuju vozilu prikupljanje potrebnih informacija za donošenje najsigurnijih odluka tijekom vožnje. Postoje dvije glavne vrste radar senzora koje se koriste u vozilima: prednji i stražnji radar senzori. Prednji radar senzori su smješteni su na prednjoj strani vozila, često ispod rešetke. Ovi senzori su važni za sustave koji se oslanjaju na informacije s prednje strane vozila, poput:

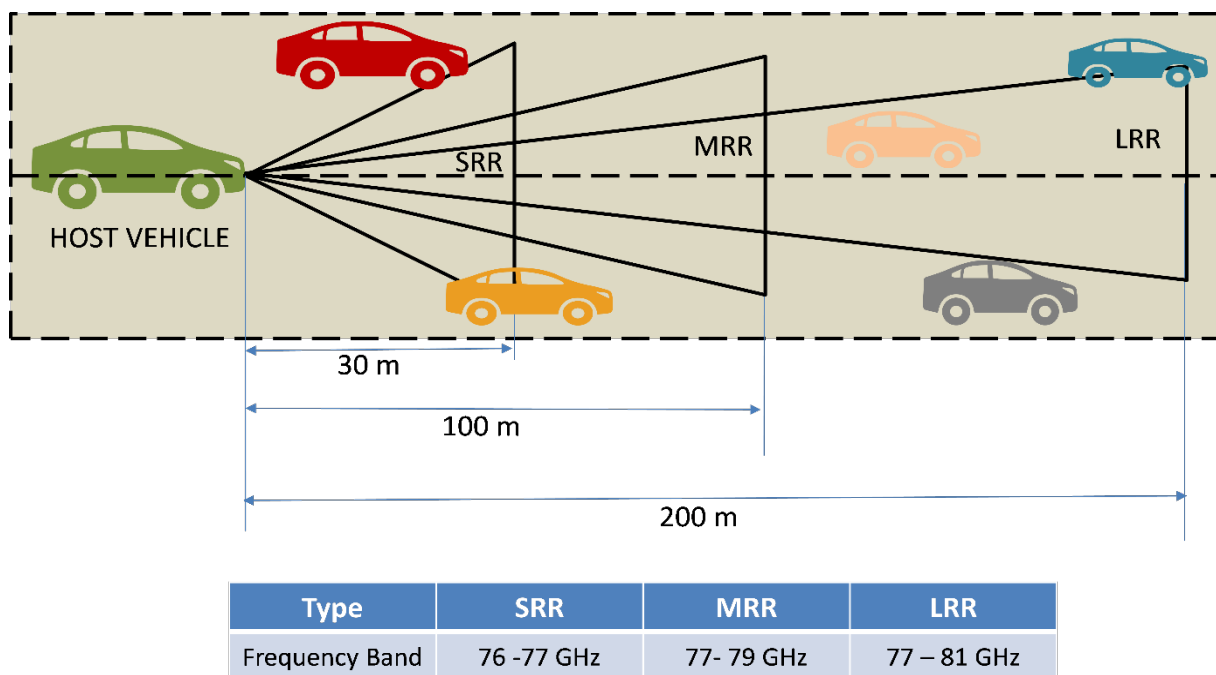
- Automatsko hitno kočenje (AEB)
- Prilagodljivi tempomat (ACC)
- Pomoć u prometnim gužvama (*Traffic Jam Assist - TJA*)
- Upozorenje na prednji sudar (FCW)

Stražnji radarski senzori koriste se za otkrivanje vozila i objekata iza automobila. Ovi senzori su ključni za sustave kao što su:

- Upozorenje na unakrsni promet straga (*Rear Cross Traffic Alert - RCTA*)
- Aktivna pomoć pri promjeni trake
- Upozorenje na sudar straga
- Praćenje mrtvih kutova (*Blind Spot Monitoring - BSM*)

Prednosti radarskih senzora uključuju otpornost na vremenske uvjete i mogućnost detekcije objekata na velikim udaljenostima, uz točan izračun brzine kretanja objekata zahvaljujući Dopplerovom efektu. Međutim, njihova ograničenja uključuju nemogućnost prepoznavanja malih objekata ili finih detalja kao što su kamere, te smanjenu učinkovitost detekcije kod materijala koji slabo reflektiraju radijske valove [2].

Primjena radarske tehnologije u automobilskoj industriji redefinirala je sigurnosne značajke. Ova tehnologija se koristi u luksuznim putničkim automobilima i drugim sredstvima prijevoza, posebice u SAD-u i Europi. RADAR tehnologija je implementirana u sustave poput naprednog tempomata, pomoći pri promjeni trake, upozorenja na sudar i pomoći pri parkiranju.



Slika 3. Vrste automobilskih RADAR senzora

Izvor: www.electronicsspecifier.com

Legenda: SRR- radar kratkog dometa, MRR- radar srednjeg dometa, LRR- radar dugog dometa

Ilustracija prikazuje pokrivenost različitih tipova radarskih senzora koji se koriste u naprednim sustavima za pomoć vozaču (ADAS) na vozilu. Ova slika objašnjava kako se koriste različite frekvencijske trake za radare koji pokrivaju različite udaljenosti ispred vozila.

- Radar kratkog dometa (*Short-Range Radar* - SRR): Ovaj radar pokriva kratki doomet, otprilike do 30 metara ispred vozila, koristeći frekvencijski pojas od 76-77 GHz. Ovaj radar je obično zadužen za detekciju prepreka u blizini i pomoć pri parkiranju.
- Radar srednjeg dometa (*Mid-Range Radar* - MRR): Ovaj radar pokriva srednji doomet, otprilike do 100 metara ispred vozila, koristeći frekvencijski pojas od 77-79 GHz. MRR se koristi za detekciju vozila na srednjim udaljenostima, često za adaptivni tempomat i pomoć pri izbjegavanju sudara.
- Radar dugog dometa (*Long-Range Radar* - LRR): Ovaj radar pokriva dugi doomet, do 200 metara ispred vozila, koristeći frekvencijski pojas od 77-81 GHz. LRR se koristi za praćenje udaljenijih vozila i prepreka, podržava funkcije poput predviđanja sudara i prilagodljivog tempomata na većim brzinama.

Različiti radari pokrivaju različite udaljenosti kako bi osigurali cjelokupnu pokrivenost ispred vozila, omogućujući napredne funkcije za sigurnost i automatizaciju vožnje. Integracija radarskih senzora s drugim sensorima, poput kamera i ultrazvučnih senzora, omogućuje ADAS sustavima pružanje sveobuhvatnog i preciznog razumijevanja okoline, što povećava sigurnost i udobnost vožnje. Radarski senzori su posebno učinkoviti u sljedećim situacijama:

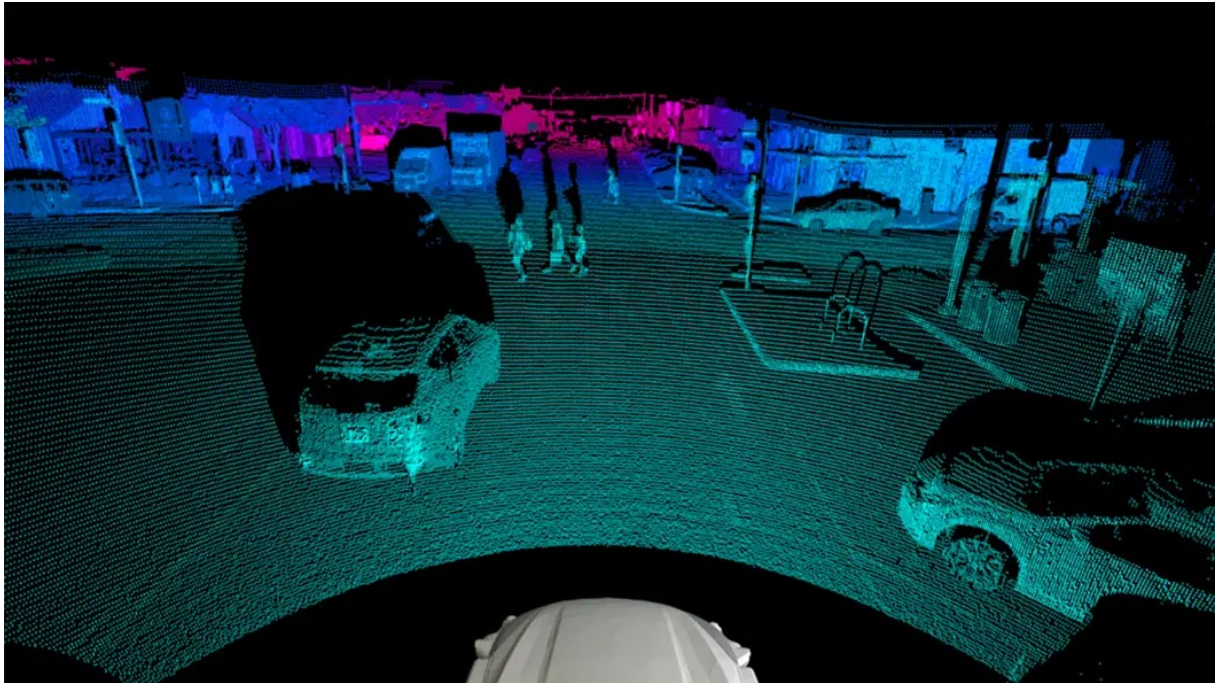
- Vožnja na autocestama: Praćenje vozila na većim udaljenostima.
- Loši vremenski uvjeti: Pouzdana detekcija unatoč kiši, magli ili snijegu.
- Noćna vožnja: Nije ovisno o svjetlosnim uvjetima, što ih čini idealnim za vožnju po mraku [2] i [11].

Uz sve ove prednosti, važno je nastaviti s evaluacijom i testiranjem radarskih senzora kako bi se osigurala maksimalna sigurnost i učinkovitost u različitim voznim uvjetima.

2.2.3. LIDAR senzori

LIDAR senzori predstavljaju naprednu tehnologiju koja igra ključnu ulogu u naprednim sustavima pomoći vozaču (ADAS). Ovi senzori koriste pulsirajuće laserske zrake za mjerenje udaljenosti do objekata u okolini vozila, omogućujući precizno mapiranje okruženja i pružajući

visoko detaljne trodimenzionalne prikaze. Slika četiri prikazuje vizualizaciju podataka prikupljenih pomoću LIDAR senzora na vozilu. LIDAR koristi laserske zrake za mjerenje udaljenosti do objekata u okruženju, stvarajući trodimenzionalnu (3D) mapu prostora oko vozila.



Slika 4. Lidar

Izvor: car-images.bauersecure.com

LIDAR senzori šalju milijarde svjetlosnih fotona svake sekunde kako bi u stvarnom vremenu detektirali pokretne objekte. Ova tehnologija omogućuje prepoznavanje ljudi i nepravilnosti na terenu, što je čini izuzetno preciznom i sposobnom za detekciju manjih objekata. LiDAR senzori se koriste u različitim ADAS sustavima za poboljšanje sigurnosti i učinkovitosti vožnje. Neki od najvažnijih primjena uključuju:

- Automatizirana vožnja: omogućuju autonomnim vozilima da sigurno navigiraju kroz kompleksne prometne situacije, prepoznajući prepreke i druge sudionike u prometu.
- Sustavi za izbjegavanje sudara: Pružaju visoko precizne podatke za prepoznavanje i izbjegavanje potencijalnih sudara s drugim vozilima, pješacima i biciklistima.
- Mapiranje i lokalizacija: LiDAR se koristi za stvaranje detaljnih karata okoliša, pomažući vozilima da precizno odrede svoju poziciju na cesti.
- Praćenje traka: Precizno detektira trake na cesti, omogućujući sustavima za pomoć pri zadržavanju u traci da djeluju učinkovitije.

Neke od prednosti LIDAR sustava:

- Visoka preciznost: LiDAR može mjeriti udaljenosti s velikom točnošću, pružajući detaljne 3D modele okoline.
- Širok raspon pokrivanja: Sposobni su pokriti velike površine, pružajući sveobuhvatne podatke o okolini vozila.
- Otpornost na svjetlosne uvjete: LiDAR funkcionira neovisno o uvjetima osvjetljenja, što znači da radi jednako dobro danju i noću.

Unatoč brojnim prednostima, LiDAR senzori imaju i neka ograničenja:

- Visoka cijena: LiDAR senzori su skupi, što povećava ukupne troškove vozila.
- Osjetljivost na vremenske uvjete: Mogu imati smanjenu učinkovitost u teškim vremenskim uvjetima poput guste magle ili jakog pljusk.
- Složenost obrade podataka: Generiraju velike količine podataka koje zahtijevaju napredne algoritme za obradu

LiDAR senzori, unatoč svojim troškovima i ograničenjima, predstavljaju tehnološki napredak koji će igrati ključnu ulogu u razvoju budućih autonomnih i polu-autonomnih vozila [9].

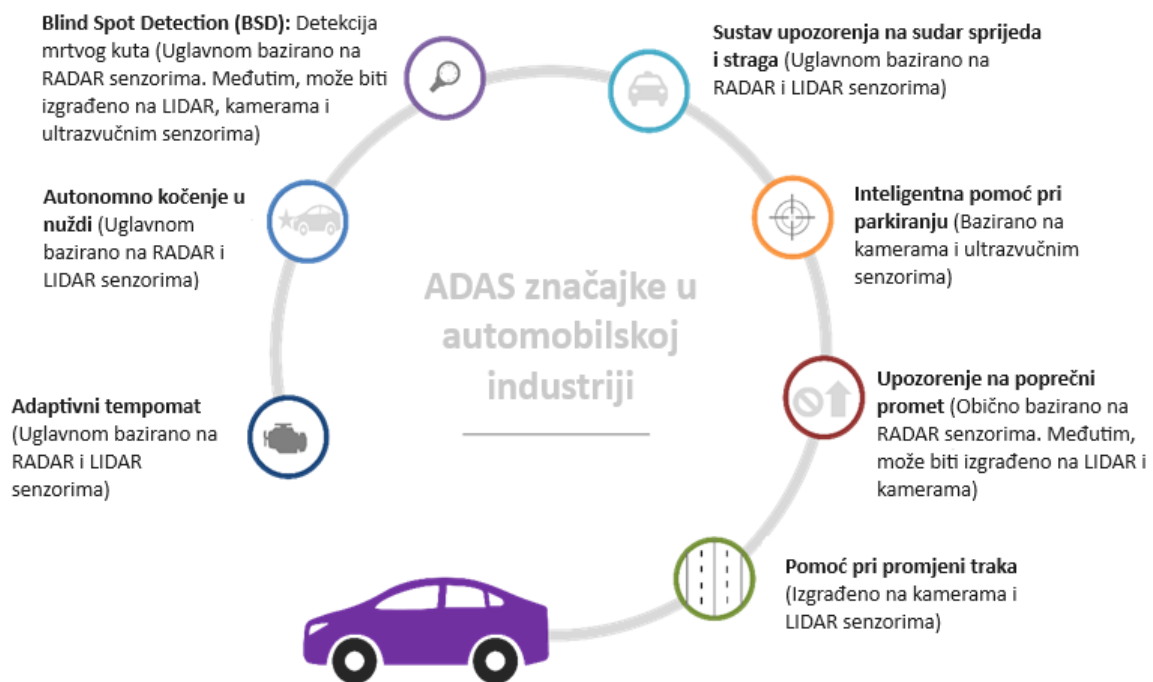
2.2.4. GPS/GNSS senzori

Kako bi ispravno odredili položaj i orijentaciju vozila u odnosu na okolinu, većina ADAS sustava koristi senzore GPS/GNSS. Dobivene informacije se koriste u suradnji s drugim sensorima ili kartografskim podacima kako bi se postigao što precizniji prikaz situacije. Iako su GPS/GNSS senzori relativno nova dodatak ADAS-u, sve su prisutniji zbog mnogih prednosti koje nude u odnosu na starije tehnologije poput laserskog radara i sonara. Kao i kod svake druge tehnologije, senzori GPS/GNSS imaju svoje prednosti i nedostatke. Prednosti ovakvih senzora su:

- Jednostavnost- Integracija GPS-a u vozila je jednostavna u usporedbi s drugim naprednim tehnologijama poput LiDAR-a i strojnog učenja.
- Niska cijena - Zbog dugog komercijalnog života GPS-a, tehnologija je postala dovoljno jeftina za investicije u razvoj jeftinijih varijanti senzora.
- Odvojenost - GPS ne funkcionira u neposrednoj blizini automobila, što ga čini odličnim izborom za autentikaciju podataka.

Nedostaci:

- Nepreciznost - GPS prijammnici mogu vrlo precizno odrediti svoj položaj, ali ta preciznost nije dovoljna za primarnu navigaciju u vozilima.
- Nepouzdanost - GPS prijammnik mora imati vidno polje prema najmanje 4 satelita da bi radio precizno, što ga čini nepogodnim za urbana okruženja.
- Zahtijeva kartografiju - GPS također zahtijeva kartografske podatke da bi funkcionirao, a ako prijammnici ne mogu dobiti signal od satelita, postaju beskorisni, što dodatno povećava troškove ADAS sustava [2].



Slika 5. Značajke ADAS-a koristeći automobilske LiDAR i RADAR senzore

Izvor: www.electronicsspecifier.com

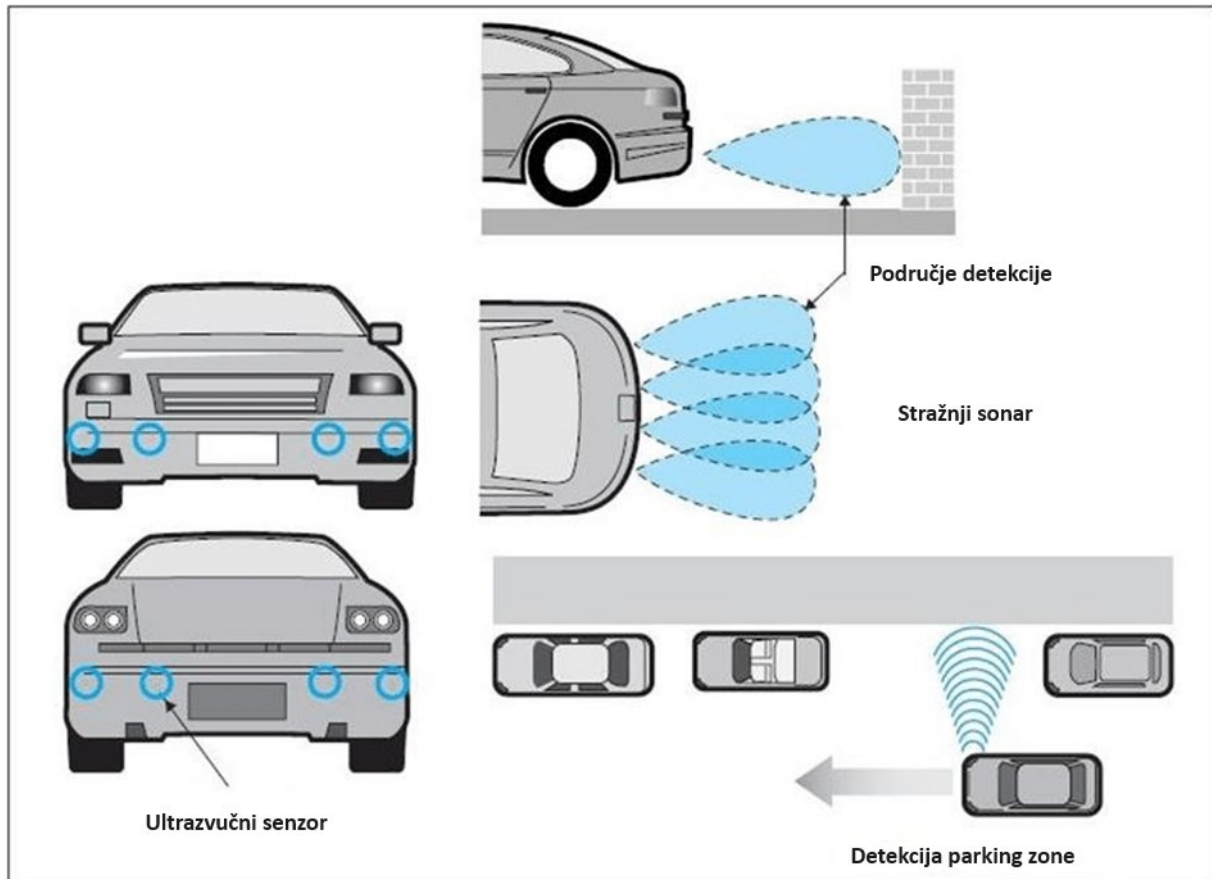
2.2.5. Ultrazvučni/sonarni senzori

Ultrazvučni senzori su ključni dio naprednih sustava pomoći pri parkiranju i sustava za samostalno parkiranje u automobilima. Njihova osnovna funkcija je koristiti reflektirane visokofrekventne zvučne valove kako bi detektirali prisutnost ljudi, vozila i drugih objekata u blizini automobila. Ovi senzori su obično smješteni unutar prednjih i/ili stražnjih poklopaca branika, pružajući vozilu sposobnost preciznog i sigurnog parkiranja.

Uz to, sonarni senzori, koji su također dio ultrazvučnih sistema, omogućuju detekciju ispravnog pozicioniranja vozila unutar parkirnog mjesta. Ukoliko senzor otkrije da vozilo nije pravilno

postavljeno, aktivira se upozoravajući ton ili se koristi kontrola kočnice kako bi vozilo bilo premješteno u prikladniji položaj.

Ultrazvučni senzori nalaze primjenu i u sustavima upravljanja zračnim jastucima. Kada se aktiviraju zračni jastuci u automobilu, ovi senzori emitiraju rafal ultrazvuka kako bi precizno odredili položaj putnika u vozilu. Ova tehnologija pomaže u osiguravanju da se zračni jastuci pravilno aktiviraju, pružajući maksimalnu zaštitu putnicima tijekom sudara. [2]



Slika. 6 Primjene ultrazvučnih senzora u vozilima

Izvor: www.researchgate.net

3. SUSTAVI PASIVNE SIGURNOSTI U VOZILIMA

Kroz povijest automobilske industrije, razvoj pasivnih sigurnosnih sustava doživio je značajan napredak. Od jednostavnih sigurnosnih pojaseva do složenih mreža zračnih jastuka i inovativnih materijala, tehnologija pasivne sigurnosti neprestano evoluira kako bi se osiguralo da vozila pružaju najvišu razinu zaštite za svoje putnike. Pasivni sigurnosni sustavi u vozilima predstavljaju kritični aspekt automobilske industrije, čiji je cilj smanjenje mogućnosti ozljeda putnika u vozilu u slučaju prometnih nesreća ili sudara. Umjesto sprječavanja nesreća, što je cilj sustava aktivne sigurnosti, sustavi pasivne sigurnosti usmjereni su na smanjenje štetnih posljedica takvih događaja.

3.1. Primarni pasivni sigurnosni sustavi

3.1.1. Zračni jastuci

Zračni jastuci su jedan od najpoznatijih elemenata pasivne sigurnosti. Postali su obavezna oprema u većini zemalja diljem svijeta, a propisi o sigurnosnim pojasevima propisani su kako bi osigurali da su učinkoviti i pouzdani. Ovi su uređaji dizajnirani tako da se brzo aktiviraju u slučaju sudara, pružajući učinak amortizacije kako bi zaštitili vozača i putnike od oštrog kontakta s krutim površinama unutar vozila. Zračni jastuci dolaze u različitim oblicima, uključujući prednje, bočne i zavjese, a svaki služi za različite scenarije sudara [4]. Na slici sedam su prikazani aktivirani zračni jastuci unutar vozila.



Slika 7. Aktivirani zračni jastuci

Izvor: www.whichcar.com.au

3.1.2. Sigurnosni pojasevi

Sigurnosni pojasevi su jedna od najranijih i najučinkovitijih značajki pasivne sigurnosti. Djeluju tako da zaustavljaju putnike tijekom sudara, čime ih sprječavaju da budu izbačeni ili silovito gurnuti naprijed unutar vozila. Moderni dizajni sigurnosnih pojaseva uključuju značajke kao što su zatezači i limitatori sile kako bi se poboljšala njihova učinkovitost [4]. Slika osam prikazuje simulaciju različitih scenarija ponašanja tijela putnika u vozilu tijekom sudara, s naglaskom na važnost upotrebe sigurnosnog pojasa. Gornji red prikazuje putnike koji nisu vezani sigurnosnim pojasom:

- Prva ilustracija prikazuje putnika u normalnom sjedećem položaju.
- Druga ilustracija pokazuje kako se tijelo putnika pomiče prema naprijed kada dođe do naglog usporavanja ili sudara.
- Treća ilustracija prikazuje daljnje pomicanje prema naprijed, pri čemu tijelo počinje gubiti kontakt sa sjedalom.
- Četvrta ilustracija prikazuje kako putnik udara glavom ili tijelom u unutrašnjost vozila (npr. volan, armaturna ploča) zbog nedostatka zaštite.

Donji red prikazuje putnike koji su vezani sigurnosnim pojasom:

- Prva ilustracija prikazuje putnika u normalnom sjedećem položaju s vezanim pojasom.
- Druga ilustracija prikazuje kako pojas zadržava tijelo na mjestu tijekom naglog usporavanja.
- Treća ilustracija pokazuje kako pojas sprječava daljnje pomicanje tijela prema naprijed.
- Četvrta ilustracija prikazuje kako pojas osigurava tijelo, sprječavajući udarac u unutrašnjost vozila i značajno smanjujući rizik od ozljeda.



Slika 8. Kretanje tijela vozača prilikom sudara sa i bez sigurnosnog pojasa

Izvor: www.sigurno-voziti.net

3.1.3. Zone gužvanja

Zone gužvanja: Suvremeni dizajn vozila uključuje zone gužvanja - specifična područja dizajnirana da se deformiraju ili gužvaju tijekom sudara. Ove zone apsorbiraju i raspršuju energiju sudara, čime se smanjuje sila koja se prenosi na putnike i smanjuje rizik od ozljeda[4].

3.1.4. Nasloni za glavu protiv trzajnog udara

Nasloni za glavu protiv trzajnog udara: Ovi specijalizirani nasloni za glavu namijenjeni su smanjenju vjerojatnosti ozljeda trzajnog udara tijekom sudara straga. Oni pružaju potporu glavama putnika, ograničavajući pretjerano kretanje vrata.

3.1.5. Zaštita od bočnog sudara

Zaštita od bočnog sudara: Sustavi zaštite od bočnog sudara, obično su integrirani u vrata i panele vozila, poboljšavaju strukturalni integritet kako bi zaštitili putnike u bočnim sudarima. Neka su vozila također opremljena zračnim jastucima za bočne udare.

3.1.6. Sigurnosni sustavi za djecu

Sigurnosni sustavi za djecu: Specijalna dječja sigurnosna sjedala i pojasevi neophodni su za zaštitu mladih putnika. Ovi sustavi su dizajnirani da drže djecu sigurno na mjestu, smanjujući vjerojatnost ozljeda tijekom nesreće.

3.1.7. Sigurnosno staklo

Sigurnosno staklo: Prozori i vjetrobranska stakla vozila često su izrađeni od sigurnosnog laminiranog stakla dizajniranog da se razbije u manje, manje opasne fragmente pri udaru. Ovo smanjuje rizik od ozljeda putnika od razbijenog stakla.

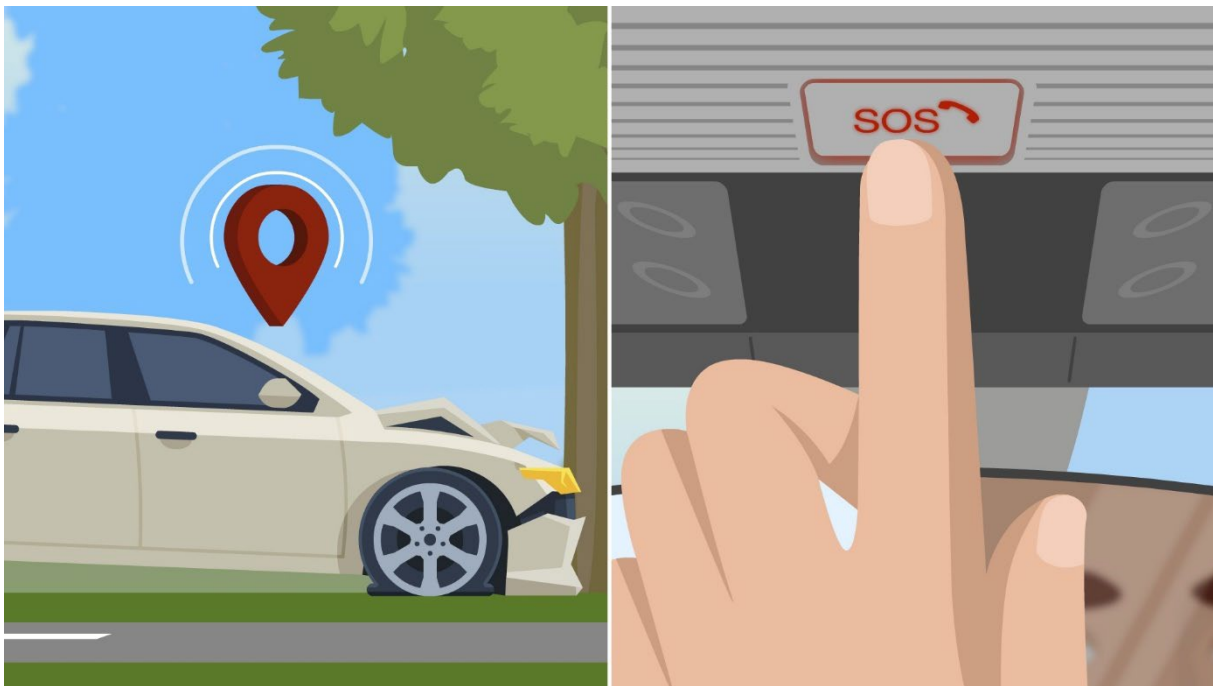
3.1.8. Zaštita pješaka

Zaštita pješaka: Pasivna sigurnost proteže se i na zaštitu pješaka. Vozila su dizajnirana sa značajkama kao što su prednje zone gužvanja kako bi se ograničila ozbiljnost ozljeda pješaka u slučaju sudara.

3.1.9. Sustavi za hitne slučajeve

Sustavi za hitne slučajeve: određena vozila opremljena su automatskim sustavima za hitne pozive koji mogu obavijestiti hitne službe u slučaju ozbiljne nesreće. To osigurava brzu reakciju i potencijalno spašava živote. Slika devet prikazuje sustav E - poziv, koji je namijenjen za automatsko pozivanje hitnih službi u slučaju prometne nesreće.

- Lijevi dio slike prikazuje automobil koji je sudjelovao u nesreći, s oznakom lokacije koja simbolizira GPS signal i poziv za pomoć. Ovaj dio slike sugerira da je sustav automatski detektirao sudar i poslao informacije o lokaciji vozila hitnim službama.
- Desni dio slike prikazuje prst koji pritiska SOS tipku unutar vozila, što omogućuje ručno aktiviranje E-poziv sustava u slučaju nesreće ili druge hitne situacije.



Slika 9. E-poziv

Izvor: www.nationalhighways.co.uk

3.2. Inovacije u pasivnoj sigurnosti

Nadalje, uz navedene primarne pasivne sigurnosne sustave, istraživanja i razvoj u automobilskoj industriji kontinuirano unapređuju postojeće tehnologije i uvode nove inovacije s ciljem daljnjeg povećanja sigurnosti vozača i putnika. Jedan od najnovijih trendova u području pasivne sigurnosti je integracija naprednih sustava za detekciju i predviđanje sudara.

Primjerice, sustavi detekcije pješaka koriste napredne senzore i kamere kako bi identificirali prisutnost pješaka u blizini vozila i automatski pokrenuli kočenje ili izbjegavajuće manevarske radnje kako bi se smanjio rizik od sudara. Ovi sustavi koriste složene algoritme za analizu okoline vozila i brzu reakciju na potencijalno opasne situacije [19].

Još jedan napredak je u području sigurnosnih sustava za bočne sudare. Tradicionalni zračni jastuci za bočne udare se unaprjeđuju kako bi pružili bolju zaštitu putnika od udara s bokovima vozila. Također, integracija naprednih materijala poput čelika visoke čvrstoće i kompozitnih materijala poboljšava strukturalni integritet vozila, smanjujući deformaciju i apsorbirajući veći udarni val u slučaju sudara [4].

Sve više se istražuje upotreba naprednih materijala u sigurnosnom staklu, poput laminiranog stakla sa slojevima plastike između staklenih ploča, što dodatno smanjuje rizik od ozljeda od fragmentiranja stakla u slučaju sudara. Napredne tehnologije poput umjetne inteligencije i strojnog učenja koriste se za analizu podataka o nesrećama kako bi se identificirali uzroci i obrasci sudara te kako bi se razvili proaktivni sigurnosni sustavi koji mogu predvidjeti potencijalno opasne situacije i reagirati prije nego što dođe do sudara. Ovi napredni sustavi i tehnologije predstavljaju budućnost pasivne sigurnosti u vozilima, čineći ih sve sigurnijima i smanjujući ozljede u slučaju nesreće. Pasivni sigurnosni sustavi u vozilima sastavni su dio automobilske industrije, posvećeni zaštiti života i dobrobiti putnika i pojedinaca na cesti. Spajajući različite tehnologije i načela dizajna, ovi sustavi surađuju kako bi smanjili posljedice nesreća, u konačnici povećavajući ukupnu sigurnost u prometu [19] i [20].

4. SUSTAVI AKTIVNE SIGURNOSTI U VOZILIMA

U području sigurnosti vozila, sustavi aktivne sigurnosti su jedna od važnijih stavki u očuvanju života vozača i putnika. Ovi sustavi koriste suvremenu tehnologiju kako bi minimizirali rizike povezane sa sudarima i nesrećama, čime se značajno smanjuje vjerojatnost teških ozljeda ili smrtnih slučajeva. S napretkom automobilske tehnologije, aktivni sigurnosni sustavi su evoluirali u raznolik niz sofisticiranih mehanizama i senzora, pružajući sigurnije i pouzdanije iskustvo vožnje.

Sigurnost u automobilima jedan je od ključnih ciljeva modernih tehnologija, a sustavi aktivne sigurnosti su esencijalni za smanjenje broja prometnih nesreća i povećanje sigurnosti na cestama. Ovi sustavi koriste napredne tehnologije za prepoznavanje opasnih situacija i automatsko reagiranje, često brže i učinkovitije nego što bi to mogao vozač. Integracija ovih sustava u vozila omogućuje prepoznavanje i izbjegavanje potencijalno opasnih situacija, pružajući vozačima dodatni sloj zaštite i sigurnosti [19]. Aktivni sigurnosni sustavi predstavljaju budućnost automobilske sigurnosti. Njihova sposobnost da brzo i učinkovito reagiraju na potencijalne opasnosti značajno doprinosi smanjenju broja nesreća i ozljeda na cestama. Očekuje se da će daljnji razvoj ovih tehnologija dodatno unaprijediti sigurnost vozila, smanjujući rizik od nesreća i povećavajući sigurnost svih sudionika u prometu. Kroz primjenu najnovijih tehnoloških dostignuća, automobilska industrija nastoji stvoriti sigurnije i pouzdanije okruženje za vožnju.

U nastavku slijede različiti sustavi aktivne sigurnosti, njihova funkcionalnost i značaj u suvremenim vozilima. Ovi sustavi uključuju, ali nisu ograničeni na, elektroničku kontrolu stabilnosti (*Electronic Stability Control* - ESC), sustav protiv blokiranja kotača (*Anti-lock Braking System* - ABS), prilagodljivi tempomat (ACC), upozorenje pri napuštanju voznog traka (LDW), sustav automatskog kočenja u nuždi (AEB), sustave za otkrivanje mrtvog kuta (BSD) i aktivnu pomoć pri parkiranju.

4.1. Glavni sustavi aktivne sigurnosti

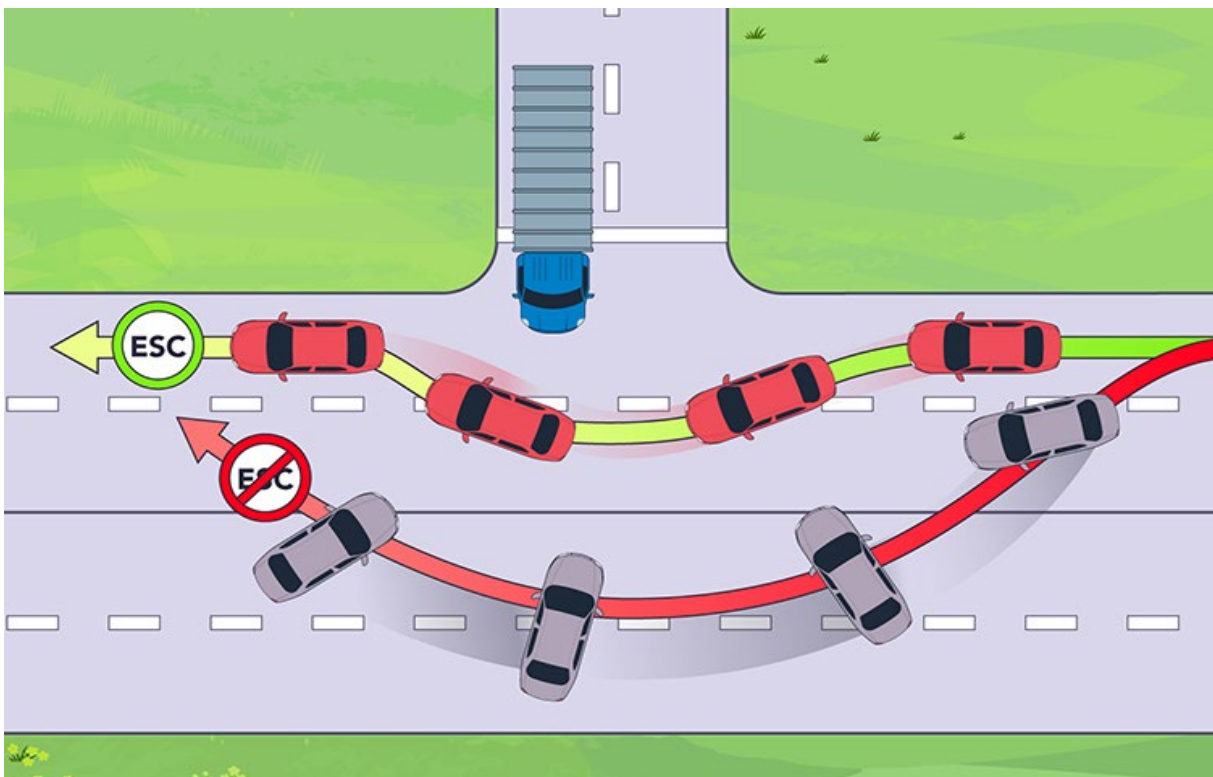
4.1.1. Elektronička kontrola stabilnosti (ESC)

Elektronička kontrola stabilnosti (ESC) je sustav koji pomaže vozačima zadržati kontrolu nad vozilom tijekom kritičnih situacija, kao što su nagla skretanja ili vožnja po skliskim

cestama. ESC djeluje tako da automatski primjenjuje kočnice na pojedinim kotačima kako bi pomogao vozilu da ostane na zadanoj putanji. Ovaj sustav smanjuje rizik od prevrtanja i pomaže u održavanju stabilnosti vozila. Prema Nacionalnoj upravi za sigurnost cestovnog prometa (NHTSA), ESC može smanjiti rizik od smrtonosnih nesreća za oko 33% [13]. Slika prikazuje djelovanje sustava ESC (Electronic Stability Control) tijekom vožnje, posebno u situacijama kada vozilo može izgubiti kontrolu, poput naglog izbjegavanja prepreka.

- Gornji dio slike prikazuje vozilo opremljeno sustavom ESC. Kada vozač pokuša izbjeći prepreku (kamion), sustav automatski intervenira, održavajući stabilnost vozila na cesti. Zelena linija označava putanju vozila sa sustavom ESC, koja ostaje stabilna i kontrolirana.
- Donji dio slike prikazuje vozilo bez sustava ESC. U sličnoj situaciji, bez pomoći sustava, vozilo gubi kontrolu, prikazano crvenom linijom, što dovodi do opasnog zanošenja ili izlijetanja s ceste.

Ova ilustracija jasno pokazuje kako ESC pomaže vozačima da zadrže kontrolu nad vozilom u kritičnim situacijama, smanjujući rizik od nesreća.



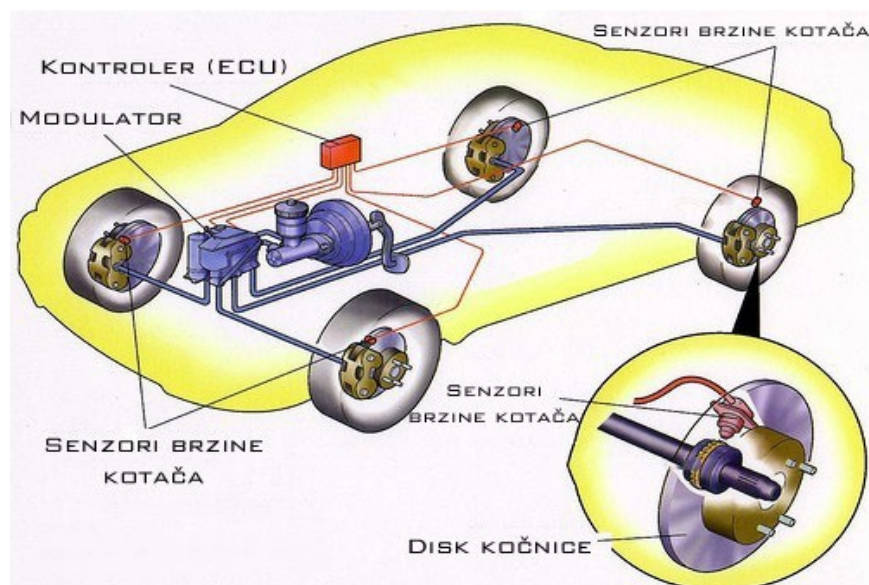
Slika 10. Prikaz djelovanja ESC

Izvor: www.tc.canada.ca

4.1.2. Sustav protiv blokiranja kotača (ABS)

Sustav protiv blokiranja kotača (ABS) sprječava blokiranje kotača tijekom naglog kočenja, omogućujući vozaču da zadrži kontrolu nad upravljanjem vozilom. ABS koristi senzore koji prate brzinu okretanja kotača i, kada otkrije da je kotač na rubu blokiranja, smanjuje tlak kočenja kako bi spriječio blokiranje. Ovo omogućuje vozaču da izbjegne prepreke i smanji zaustavni put na klizavim površinama. ABS je posebno učinkovit na mokrim ili zaleđenim cestama. Komponente sustava ABS:

- Sensori brzine kotača nalaze se na svakom kotaču i kontinuirano mjere brzinu okretanja kotača. Podaci koje prikupljaju ovi senzori ključni su za pravilno funkcioniranje ABS sustava.
- Elektronička kontrolna jedinica (*Electronic Control Unit* - ECU) obrađuje podatke dobivene od senzora brzine kotača. Na temelju tih podataka ECU određuje kada postoji rizik od blokiranja kotača i šalje naredbe modulatoru za prilagodbu kočne sile.
- Modulator je komponenta koja primjenjuje naredbe koje dobiva od ECU-a kako bi prilagodio tlak u kočionom sustavu. To se postiže otvaranjem i zatvaranjem ventila koji kontroliraju tlak kočione tekućine u kočnicama.
- Disk kočnice su dio kočionog sustava na svakom kotaču. Modulator prilagođava tlak kočione tekućine u disk kočnicama kako bi spriječio blokiranje kotača. Na slici četiri su prikazane komponente sustava ABS unutar vozila [14].



Slika 11. Komponente sustava ABS

Izvor: www.petabrzina.com

4.2. Napredni sustavi asistencije vozaču

4.2.1. Prilagodljivi tempomat (ACC)

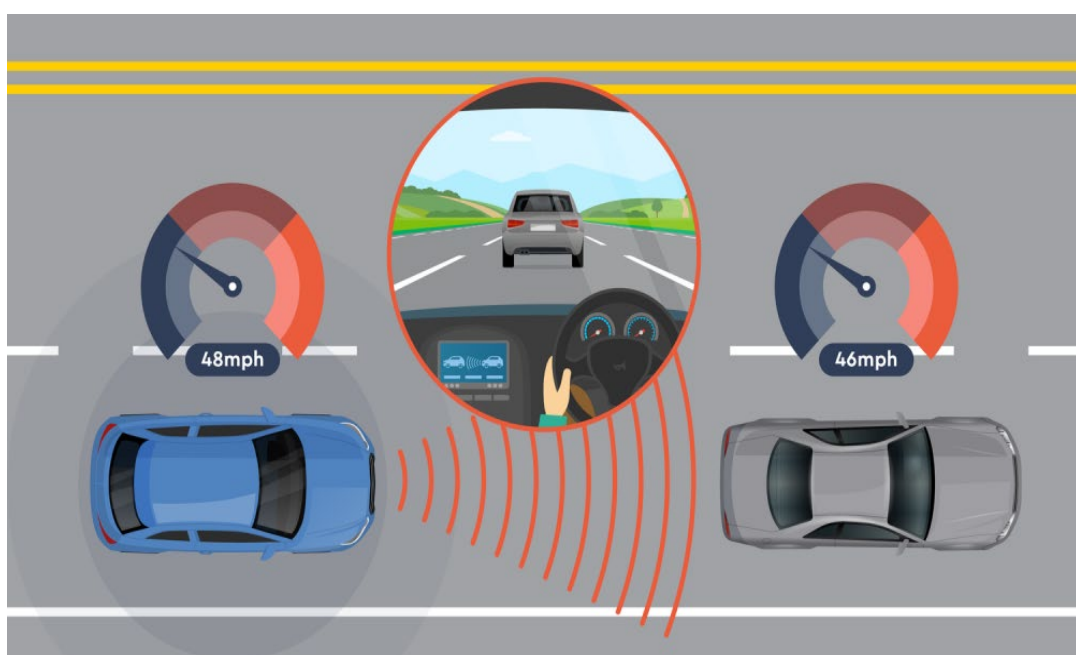
Prilagodljivi tempomat (ACC) koristi radarske senzore i kamere za praćenje vozila ispred i automatsko prilagođavanje brzine kako bi se održala sigurna udaljenost. ACC može automatski usporiti vozilo kada detektira sporiji promet ispred i ponovno ubrzati kada se promet ubrza. Ovaj sustav smanjuje stres vožnje u gustim prometnim uvjetima i pomaže u sprječavanju sudara straga [21]. Slika jedanaest prikazuje rad sustava ACC, odnosno prilagodljivog tempomata, koji automatski prilagođava brzinu vozila kako bi održao sigurnu udaljenost od vozila ispred.

Lijevi dio slike prikazuje plavi automobil koji putuje brzinom od 48 mph (milja na sat). Crveni radarski valovi ispred automobila predstavljaju senzore koji detektiraju vozilo ispred.

Desni dio slike prikazuje sivi automobil ispred plavog automobila, koji putuje nešto sporijom brzinom od 46 mph. Ova razlika u brzini uzrokuje da ACC sustav automatski smanji brzinu plavog automobila kako bi zadržao sigurnu udaljenost.

Središnji krug s prikazom unutrašnjosti vozila ilustrira kako vozač može vidjeti informacije o ACC sustavu na zaslonu unutar automobila, uključujući detektiranu brzinu i udaljenost od vozila ispred.

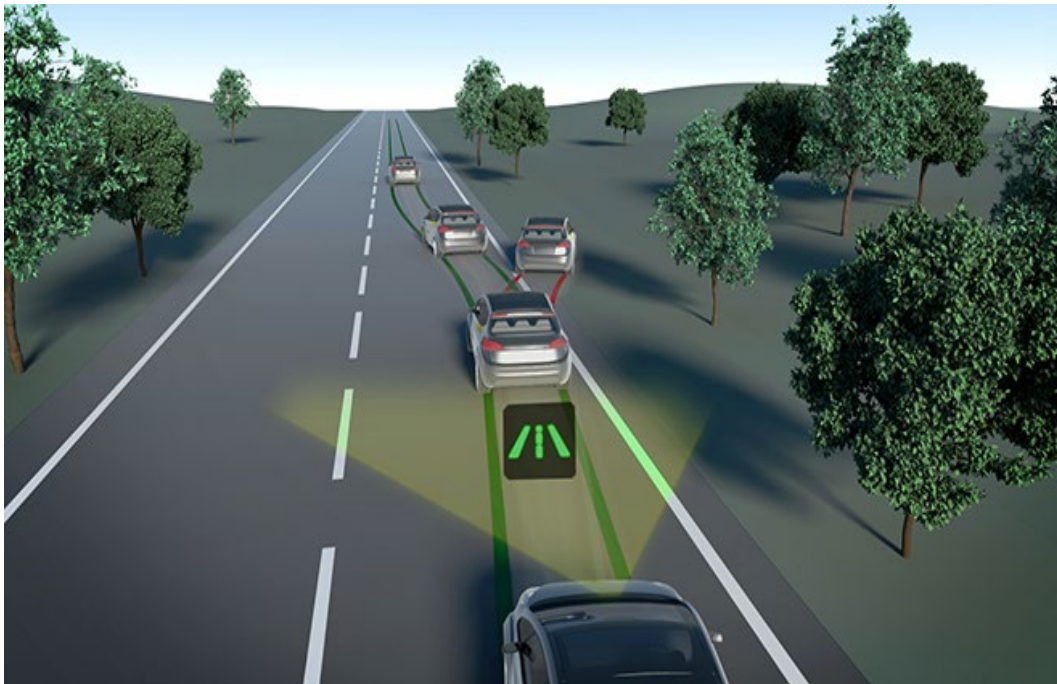
Ova slika pokazuje kako ACC sustav pomaže u održavanju sigurnog razmaka između vozila, automatski prilagođavajući brzinu i smanjujući potrebu za stalnim ručnim podešavanjem tempomata.



Slika 12. Prilagodljivi tempomat
Izvor: www.thewindscreen.co.uk

4.2.2. Sustavi upozorenja pri napuštanju voznog traka (LDW)

Sustavi upozorenja pri napuštanju voznog traka (LDW) i pomoći pri održavanju voznog traka (LKA) dizajnirani su za sprječavanje nenamjernog napuštanja trake. LDW koristi kamere za praćenje oznaka na cesti i upozorava vozača vibracijama upravljača ili zvučnim signalom ako vozilo počne izlaziti iz svoje trake bez aktiviranja pokazivača smjera. LKA ide korak dalje, automatski podešavajući upravljanje kako bi održalo vozilo unutar trake [16]. Na slici pet prikazano je održavanje vozila unutar voznog traka koristeći sustav LKA.



Slika 13. Sustav pomoći pri održavanju voznog traka
Izvor: www.euroncap.com

4.2.3. Sustav automatskog kočenja u nuždi (AEB)

Sustav automatskog kočenja u nuždi (AEB) koristi senzore za otkrivanje prepreka ispred vozila i automatski primjenjuje kočnice ako detektira neizbježan sudar. AEB može značajno smanjiti ozbiljnost sudara ili ga potpuno izbjeći. Ovaj sustav posebno je koristan u urbanim sredinama gdje se često događaju nagli zastoji u prometu [15]. Na slici trinaest prikazan je rad sustava za

sprječavanje sudara u vozilu, koji se sastoji od različitih razina upozorenja i automatskog kočenja kako bi se izbjegao sudar.

Prva razina (gornji dio slike):

- Opasnost od sudara: Sustav detektira mogućnost sudara i vozača upozorava zvučnim ili vizualnim signalom.
- Upozorenje i pomoć pri kočenju: Vozilo daje vozaču upozorenje i može pružiti laganu asistenciju pri kočenju kako bi se smanjila brzina i povećala sigurnost.

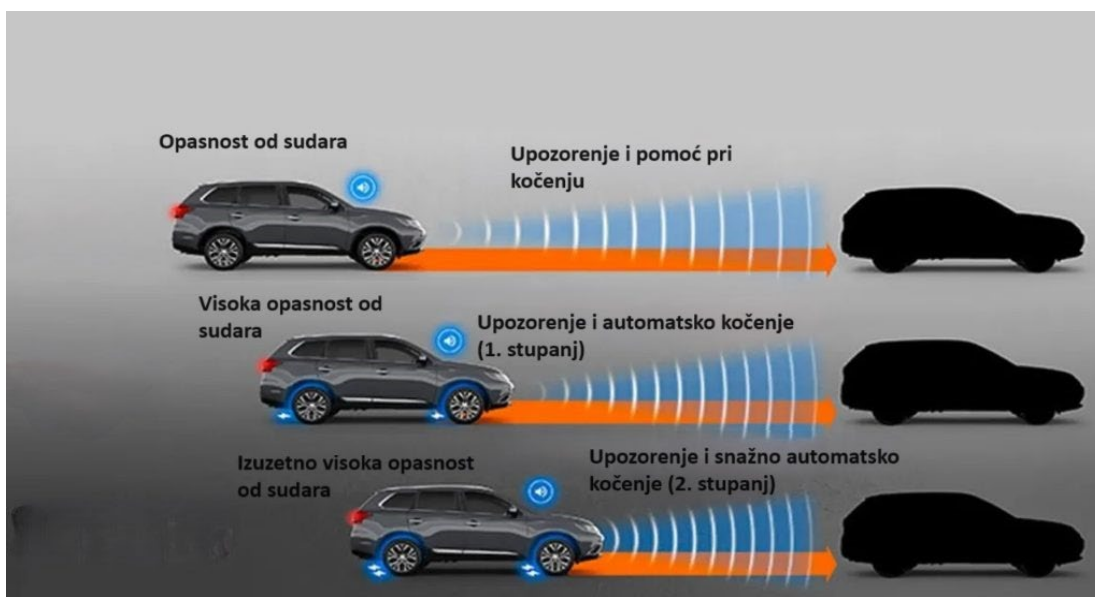
Druga razina (srednji dio slike):

- Visoka opasnost od sudara: Ako se opasnost od sudara poveća, sustav automatski počinje lagano kočiti.
- Upozorenje i automatsko kočenje (1. stupanj): Sustav aktivira prvo stupanj automatskog kočenja kako bi se dodatno smanjila brzina vozila i izbjegao sudar.

Treća razina (donji dio slike):

- Izuzetno visoka opasnost od sudara: Kada je sudar neizbježan bez intervencije, sustav aktivira snažno kočenje.
- Upozorenje i snažno automatsko kočenje (2. stupanj): Sustav maksimalno koristi kočnice kako bi se zaustavilo vozilo i spriječio ili ublažio sudar.

Slika ilustrira kako napredni sustavi u vozilima mogu pomoći u smanjenju rizika od sudara, automatski intervenirajući u situacijama kada vozač ne reagira dovoljno brzo ili učinkovito.



Slika 14. Sustav automatskog kočenja u nuždi (AEB)

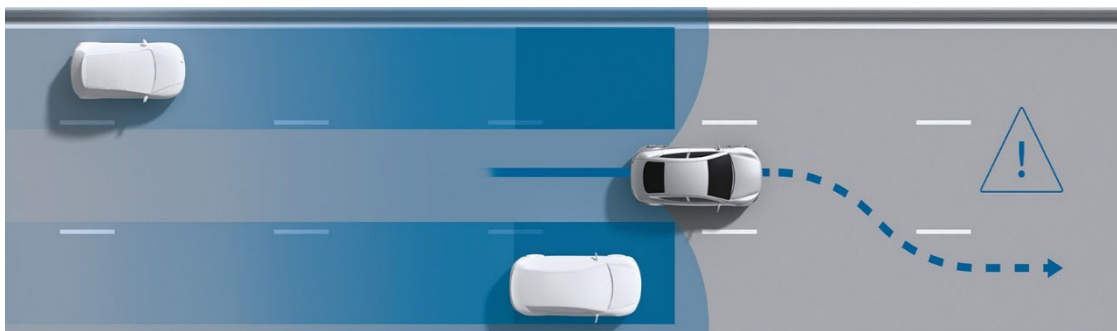
Izvor: www.autoportal.hr

4.2.4. Sustav za otkrivanje mrtvog kuta (BSD)

Sustavi za otkrivanje mrtvog kuta (BSD) koriste radarske senzore za praćenje područja oko vozila koje vozač ne može vidjeti u retrovizorima. Kada detektira vozilo u mrtvom kutu, BSD upozorava vozača putem vizualnih ili zvučnih signala. Sustav upozorenja na unakrsni promet straga (RCTA) koristi iste senzore kako bi upozorio vozača na vozila koja se približavaju sa strane dok vozi unatrag iz parkirnog mjesta [17].

Slika dvanaest prikazuje rad sustava za detekciju mrtvog kuta, koji je dizajniran da pomogne vozaču prilikom promjene trake. Slika jasno ilustrira kako sustav za detekciju mrtvog kuta pomaže u povećanju sigurnosti na cesti, posebno tijekom manevra promjene trake. Sustav automatski detektira vozila u mrtvom kutu i upozorava vozača na opasnost, smanjujući rizik od nesreća.

- Plavo zasjenjeno područje označava mrtvi kut, odnosno dio ceste koji vozač ne može vidjeti u bočnim retrovizorima. U ovom primjeru, vozilo se nalazi u mrtvom kutu vozila koje se sprema za promjenu trake. Središnje vozilo pokušava promijeniti traku, ali BSD sustav detektira prisutnost drugog vozila u mrtvom kutu. Ova detekcija može pokrenuti upozorenje vozaču, što je prikazano žutom ikonom s usklikom na slici, koja upozorava vozača na potencijalnu opasnost. Plava isprekidana linija prikazuje putanju kretanja vozila koje se pokušava prestrojiti, a sustav sprječava ovu radnju kako bi se izbjegla kolizija.



Slika 15. Rad sustava za detekciju mrtvog kuta

Izvor: www.bosch-mobility.com

4.2.5. Aktivna pomoć pri parkiranju

Aktivna pomoć pri parkiranju koristi senzore i kamere za automatsko upravljanje vozilom prilikom parkiranja. Ovaj sustav može prepoznati odgovarajuće parkirno mjesto, preuzeti kontrolu nad upravljanjem, ubrzanjem i kočenjem, te parkirati vozilo s minimalnim unosom vozača. Aktivna pomoć pri parkiranju je posebno korisna u skućenim prostorima ili prilikom paralelnog parkiranja [18].

5. AUTOMATSKE RADNJE VOZILIMA

5.1. Autonomna vožnja i njeni sustavi

Jedna istaknuta značajka unutar ove domene je autonomna vožnja, koja uključuje upotrebu sofisticiranih senzora, kamera i umjetne inteligencije kako bi se vozilima omogućilo upravljanje bez izravnog ljudskog utjecaja. Ova tehnologija omogućuje vozilima da percipiraju svoje okruženje, donose odluke i samostalno se kreću rutama, značajno smanjujući potrebu za stalnom ljudskom intervencijom. Autonomna vožnja ima potencijal revolucionirati prijevoz poboljšavajući protok prometa, smanjujući nesreće i optimizirajući učinkovitost goriva. Nadalje, automatizirani sustavi parkiranja postaju sve rašireniji, omogućujući vozilima da samostalno manevriraju na parkirnim mjestima uz minimalan unos vozača. Ovi sustavi koriste senzore i kamere za otkrivanje okolnog okruženja i usmjeravanje vozila na određeno parkirno mjesto, ublažavajući izazove povezane s parkiranjem u skućenim prostorima ili zakrčenim područjima.

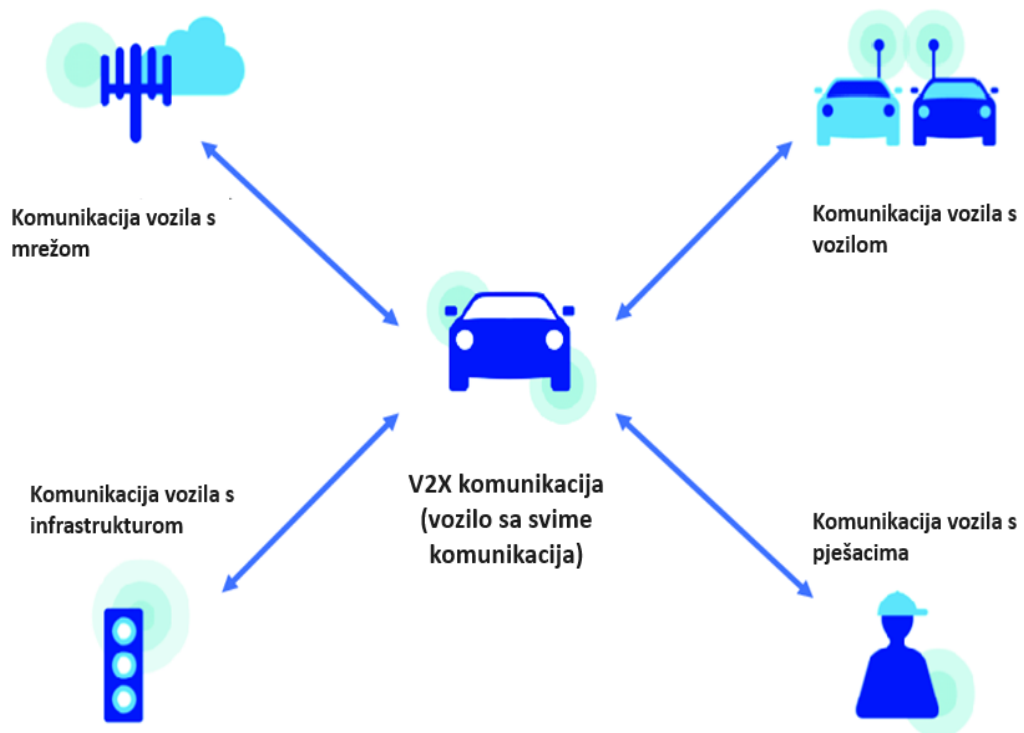
5.2. Automatske operacije u održavanju i energetske učinkovitosti

U području održavanja, automatske operacije uključuju dijagnostičke sustave koji mogu pratiti stanje i performanse vozila u stvarnom vremenu. Ovi sustavi mogu prepoznati potencijalne probleme ili kvarove i upozoriti vozača ili servisne centre, olakšavajući pravovremeno održavanje i smanjujući vjerojatnost neočekivanih kvarova ili skupih popravaka. Implementacija umjetne inteligencije u autonomna vozila omogućava im da "uče" iz svakodnevnih situacija i stalno poboljšavaju svoje sposobnosti. Na primjer, autonomna vozila mogu koristiti strojno učenje kako bi identificirala uzorke u prometu i predvidjela ponašanje drugih sudionika u prometu, što rezultira sigurnijom i učinkovitijom vožnjom. Ovaj

kontinuirani proces učenja omogućuje vozilima da se prilagode različitim voznim uvjetima, bilo da se radi o gustoj gradskoj vožnji ili autoputu.

5.3. Razredi autonomnosti i komunikacijski sustavi

Jedan od naprednijih sustava autonomne vožnje je i sposobnost vozila da komunicira s drugim vozilima i infrastrukturom. V2X (vehicle to everything – V2X) komunikacijski sustavi omogućavaju vozilima da dijele informacije o trenutnom stanju na cesti, što uključuje prometne gužve, nezgode ili uvjete na cesti. Ova tehnologija može značajno poboljšati protok prometa i smanjiti vrijeme putovanja, dok istovremeno povećava sigurnost svih sudionika u prometu. Slika sedam prikazuje V2X komunikaciju [6].



Slika 16. V2X komunikacija

Izvor: www.researchgate.net

Još jedna inovacija je razvoj naprednih sustava za upravljanje energijom u autonomnim vozilima. Električna autonomna vozila koriste inteligentne sustave za optimizaciju potrošnje energije, što uključuje predviđanje najboljih ruta s najmanjim prometom i minimalnom

potrošnjom energije. Ovi sustavi također omogućuju vozilima da planiraju punjenje baterija na način koji minimizira vrijeme čekanja i maksimizira efikasnost korištenja infrastrukture za punjenje. Napredni sustavi pomoći pri vožnji također uključuju sposobnost autonomnih vozila da se samostalno kreću kroz kompleksne prometne situacije, kao što su raskrižja i kružni tokovi. Ovi sustavi koriste kombinaciju senzora, GPS-a i kamera kako bi procijenili najbolji trenutak za ulazak u raskrižje ili kružni tok, osiguravajući glatku i sigurnu tranziciju bez nepotrebnog zaustavljanja ili ubrzavanja. Automatske operacije proširuju se na značajke kao što su sustavi automatskog kočenja, koji mogu aktivirati kočnice kao odgovor na neposredne prijetnje sudara, i automatska prednja svjetla koja prilagođavaju svoju svjetlinu na temelju vanjskih uvjeta osvjetljenja. Ove značajke povećavaju ukupnu sigurnost i praktičnost, čineći iskustvo vožnje intuitivnijim i sigurnijim. U modernom kontekstu razvoja automobilske tehnologije, razredi autonomnosti igraju vrlo bitnu ulogu u definiranju sposobnosti vozila da obavljaju vožnju bez potrebe za neprestanom intervencijom vozača. Svaki razred autonomnosti predstavlja određenu razinu integracije automatskih sustava i tehnologija koji omogućuju vozilu da samostalno obavlja određene funkcije vožnje.

Razredi autonomnosti:

- Razred 0: Bez autonomnosti
Vozila u razredu 0 autonomnosti nemaju ugrađene autonomne značajke i zahtijevaju neprestanu pažnju i upravljanje od strane vozača. Ova vozila mogu imati pasivne sigurnosne značajke poput zračnih jastuka i sigurnosnih pojaseva, ali nemaju aktivne sustave pomoći vozaču.
- Razred 1: Pomoćna vožnja
Vozila u razredu 1 autonomnosti imaju neke napredne značajke vozačke pomoći, ali vozač zadržava potpunu kontrolu nad vozilom. Primjerice, adaptivni tempomat i sustav pomoći pri održavanju trake su uobičajene značajke u ovom razredu. Vozač treba biti spreman preuzeti kontrolu vozila u bilo kojem trenutku.
- Razred 2: Djelomična autonomnost
Djelomično autonomna vozila u razredu 2 mogu obavljati neke zadatke vožnje, poput ubrzanja i upravljanja, ali vozač mora biti spreman preuzeti kontrolu u svakom trenutku. Na primjer, sustav adaptivnog tempomata u kombinaciji s pomoću u održavanju trake može se smatrati razredom 2 autonomnosti.

- Razred 3: Uvjetna autonomnost
Vozila u razredu 3 autonomnosti sposobna su za samostalnu vožnju u većini situacija, ali vozač mora biti prisutan u vozilu i biti spreman preuzeti kontrolu vozila s naprednim upozorenjem. Ova razina autonomnosti omogućuje vozilu da preuzme većinu vožnje, ali vozač mora biti spreman intervenirati ako sustav zatraži.
- Razred 4: Visoka autonomnost
Visoko autonomna vozila u razredu 4 mogu obavljati sve zadatke vožnje u većini okolnosti, ali vozač može preuzeti kontrolu u bilo kojem trenutku. Ova razina autonomnosti omogućuje vozilu da samostalno vozi bez potrebe za neprestanom intervencijom vozača.
- Razred 5: Potpuna autonomnost
Najviši razred autonomnosti, razred 5, predstavlja potpuno autonomna vozila koja mogu obavljati sve zadatke vožnje bez prisutnosti vozača. Ova vozila ne zahtijevaju ni pedale ni upravljač, jer su sposobna potpuno samostalno obavljati vožnju [6].

Automatske radnje u vozilima predstavljaju veliku transformaciju u automobilskoj industriji, koristeći naprednu tehnologiju za optimizaciju učinkovitosti vožnje, sigurnosti i ukupnog korisničkog iskustva. Kako se te tehnologije nastavljaju razvijati, one imaju potencijal preoblikovati način na koji percipiramo prijevoz i komuniciramo s njim, uvodeći eru poboljšane mobilnosti i pogodnosti za sve [6].

6. Integracija, utjecaj i analiza sustava pomoći vozaču u autonomnim vozilima

6.1. Integracija sustava pomoći vozaču u autonomnim vozilima

Integracija sustava za pomoć vozaču (ADAS) u autonomnim vozilima predstavlja značajan korak u automobilske tehnologiji, s ciljem poboljšanja sigurnosti vozila, učinkovitosti i ukupnog doživljaja vožnje. Ovi sustavi obuhvaćaju širok raspon značajki, uključujući prilagodljivi tempomat, pomoć pri održavanju vozne trake i automatsko kočenje u nuždi, među ostalima [2].

Sa značajkama kao što su prilagodljivi tempomat i pomoć pri održavanju trake, vozači mogu doživjeti promjenu u pristupu vožnji na duge udaljenosti, što potencijalno dovodi do smanjenog umora i veće udobnosti tijekom duljih putovanja. Međutim, oslanjanje na automatske radnje, poput automatskog kočenja, moglo bi dovesti do smanjenog osjećaja hitnosti i opreza, što može utjecati na reakciju vozača u kritičnim situacijama.

Ugradnja ovih tehnologija u autonomna vozila dovela je do dubokog utjecaja na ponašanje vozača i način na koji pojedinci percipiraju sigurnost tijekom vožnje. Uvođenje ovih naprednih sustava također je utjecalo na percepciju vozača o sigurnosti na cesti. Mnogi vozači mogu osjetiti povećani osjećaj sigurnosti zbog prisutnosti ovih sigurnosnih značajki, što dovodi do potencijalnog smanjenja oprezne vožnje. Dok su ovi sustavi dizajnirani za sprječavanje nesreća i povećanje sigurnosti, pretjerano oslanjanje na njih moglo bi nenamjerno dovesti do samozadovoljstva i smanjenog naglaska na prakticiranje navika sigurne vožnje [4].

Sustavi pomoći vozaču igraju ključnu ulogu u razvoju autonomnih vozila, jer postavljaju temelje za naprednije autonomne funkcionalnosti. ADAS tehnologije omogućuju vozilima da preuzmu sve više zadataka koje su tradicionalno obavljali vozači, čime se povećava razina automatizacije. Na primjer, prilagodljivi tempomat i pomoć pri održavanju trake stvaraju osnovu za složenije autonomne funkcije koje omogućuju vozilima da samostalno donose odluke u stvarnom vremenu. Ovi sustavi ne samo da poboljšavaju trenutnu sigurnost i udobnost vozača, već također prikupljaju važne podatke i iskustva koja se koriste za daljnji razvoj potpuno autonomnih vozila. Kroz postupnu implementaciju sve sofisticiranijih ADAS značajki, vozila postaju sposobna za sve višu razinu autonomije, što je ključno za ostvarenje potpune autonomije u vožnji [10].

Implikacije ovih promjena za obrazovanje vozača su ključne. Kako ADAS tehnologije nastavljaju napredovati, postaje imperativ za programe obrazovanja vozača da se prilagode i uključe sveobuhvatnu obuku o pravilnom korištenju i ograničenjima ovih sustava. Vozači moraju biti educirani o mogućnostima i ograničenjima ADAS-a kako bi razumjeli važnost zadržavanja pozornosti i angažiranosti tijekom vožnje, čak i uz prisutnost automatiziranih značajki. Promicanje sveobuhvatnog razumijevanja načina na koji ti sustavi funkcioniraju i njihovog utjecaja na ponašanje u vožnji ključno je za poticanje odgovorne i proaktivne prakse vožnje. Integriranje rasprava o prednostima i potencijalnim nedostacima ADAS-a u programe obrazovanja vozača može pomoći u njegovanju uravnoteženog pristupa korištenju ovih tehnologija, naglašavajući važnost održavanja aktivne uloge u procesu vožnje unatoč prisutnosti automatiziranih značajki. Integracija sustava pomoći vozaču i automatskih radnji vozila u autonomna vozila donijela je značajne promjene u ponašanju vozača i percepciji sigurnosti. Iako ove tehnologije nude značajne prednosti u smislu sigurnosti i praktičnosti, postoji kritična potreba da se osigura da vozači ostanu informirani i angažirani za volanom. Uključivanjem sveobuhvatnih inicijativa za obrazovanje i podizanje svijesti, moguće je optimizirati pozitivan učinak ADAS-a uz istovremeno ublažavanje potencijalnih rizika povezanih s promjenama u ponašanju vozača i percepciji sigurnosti.

Na taj način, ADAS sustavi ne samo da doprinose trenutnim poboljšanjima u vožnji, već i stvaraju čvrste temelje za postizanje potpune autonomije u budućnosti. Kroz postupnu integraciju i usavršavanje ovih sustava, autonomna vozila postaju sve sofisticiranija i sposobnija za samostalnu vožnju, čime se približavamo ostvarenju potpune autonomije na cestama [7].

6.2. UTJECAJ SUSTAVA POMOĆI VOZAČU NA PONAŠANJE VOZAČA

Distrakcija vozača u prometu jedan je od vodećih uzroka prometnih nesreća. Postoje razni čimbenici koji utječu na koncentraciju vozača prilikom upravljanja vozilom, kao što su korištenje infotainment sustava ili mobilnog telefona, što značajno doprinosi povećanju ovog problema. Kada vozači skrenu pažnju s vožnje na sekundarne aktivnosti, rizik od nesreća drastično se povećava. Statistike pokazuju da distrakcije uzrokuju 9,7% i 7,1% smrtonosnih

nesreća u Sjedinjenim Američkim Državama i Ujedinjenom Kraljevstvu, što naglašava potrebu za smanjenjem distraktiranog vozačkog ponašanja.

Vizualne i kognitivne distrakcije negativno utječu na ključne zadatke vožnje kao što su održavanje sigurne udaljenosti, predviđanje opasnosti na cesti, regulacija brzine i zadržavanje u prometnoj traci. Najviše proučavana distrakcija je korištenje mobilnog telefona, koje uključuje aktivnosti poput slanja poruka, čitanja i razgovora bez ruku. Drugi čimbenici distrakcije uključuju vožnju u stanju umora i obavljanje sekundarnih zadataka poput pušenja ili razgovora s putnicima, što može dovesti do povećanja broja pogleda s ceste, znatno umanjiti mogućnost reakcije i pogoršati vozačke performanse. Shvaćanje ovih čimbenika ključno je za razvoj strategija koje bi umanjile utjecaj distrakcije tijekom vožnje.

Jedan od ključnih pristupa za smanjenje distrakcija je integracija tehnologija praćenja vozača koje nadziru pažnju vozača i pružaju povratne informacije u stvarnom vremenu. Ove tehnologije mogu prepoznati znakove distrakcije i upozoriti vozača kako bi ponovno fokusirao svoju pažnju na vožnju. Primjeri ovih tehnologija uključuju kamere za praćenje pogleda, senzore za praćenje pokreta glave i sustave za prepoznavanje umora. Integracija ovih sustava u vozila može značajno poboljšati sigurnost na cestama smanjujući broj nesreća uzrokovanih distrakcijom vozača.

Tablica prikazuje različite vrste distrakcija vozača i njihove utjecaje na sigurnost:

Vrsta distrakcije	Opis	Utjecaj na sigurnost
Vizualna distrakcija	Vozač skreće pogled s ceste na druge objekte ili aktivnosti.	Smanjena sposobnost prepoznavanja opasnosti i povećan rizik od sudara.
Kognitivna distrakcija	Vozačeve misli su zaokupljene drugim stvarima osim vožnje.	Smanjena pažnja i sposobnost donošenja brzih odluka.
Manualna distrakcija	Vozač uklanja ruke s upravljača za obavljanje drugih zadataka.	Smanjena kontrola nad vozilom i povećan rizik od nesreća.
Auditivna distrakcija	Vozač obraća pažnju na zvukove koji nisu povezani s vožnjom.	Smanjena sposobnost slušanja ključnih zvukova u prometu.

Tablica 1. Vrste distrakcija vozača [8]

Tehnologije praćenja vozača mogu pružiti potencijalno rješenje za nadzor i poboljšanje ponašanja vozača prilikom upravljanja vozilom. Ove tehnologije omogućuju trenutačan i precizan uvid u obrasce vožnje vozača putem praćenja njihovih aktivnosti za upravljačem. Sustavi poput Advanced Driver Assistance Systems (ADAS) pružaju vozačima trenutačna

upozorenja o sigurnosti koja im pomažu izbjeći ili umanjiti opasne situacije, što u konačnici doprinosi ukupnoj sigurnosti na cestama [8], [10].

Moderna vozila opremljena su brojnim sensorima koji omogućuju napredne alate za pomoć vozaču. Učinkovitost ovih alata uvelike ovisi o uvjetima vožnje. Jedna studija je ispitivala učinkovitost upozorenja koja proizvodi jedinica unutar vozila (OBU) u specifičnom kontekstu vožnje koristeći simulator vožnje s mladim vozačima. Prikupljeni podaci analizirani su ANOVA metodom kako bi se usporedila tradicionalna vožnja (bez pomoći) i vožnja uz podršku OBU-a. Rezultati su pokazali da je OBU pružao vrijedne informacije vozačima bez negativnog utjecaja na njihove performanse u smislu ubrzanja, brzine i upravljanja

Tradicionalno, cestovni sustav se sastoji od četiri elementa: čovjeka, vozila, ceste i okoliša. Ljudski faktor je posebno izazovan za procjenu zbog varijabli kao što su dob, vještina vožnje i sklonost nesrećama. Iako je automobilski napredak doveo do integracije zabavnih i sigurnosnih uređaja u vozila, oni mogu utjecati na kognitivne reakcije i potencijalno uzrokovati ometanja. Zabavni sustavi i aktivni sigurnosni uređaji mogu smanjiti pažnju vozača na iznenadne potrebe, doprinoseći nesrećama zbog odgođenih reakcija i pogrešnih procjena.

Distribuiranje informacija kroz različite percepcijske kanale (vizualni, auditivni, taktilni) može pomoći u sprječavanju preopterećenja osjetila, ali vizija ostaje primarni osjet za prikupljanje podataka tijekom vožnje. Studije u okruženjima s visokim stresom, poput kontrole zračnog prometa, pokazale su da veliki radni opterećenje može dovesti do katastrofalnih događaja, koncept koji je proširen na vožnju gdje je radno opterećenje dio kapaciteta potreban za obavljanje zadataka [10].

U nastavku je prikazana tablica percepcijskih kanala i njihova primjena u vožnji.

Percepcijski kanal	Opis	Primjena u vožnji
Vizualni	Prikupljanje informacija putem vida.	Prepoznavanje znakova, prepreka i ostalih vozila na cesti.
Auditivni	Prikupljanje informacija putem sluha.	Slušanje sirena, zvukova motora i ostalih zvučnih signala.
Taktilni	Prikupljanje informacija putem dodira.	Osjećaj vibracija volana i pedala.

Tablica 2. Tablica percepcijskih kanala i njihova primjena u vožnji [10]

Vožnja je mentalno zahtjevna, a dodatno kognitivno opterećenje od uređaja u vozilu može to pogoršati. Napredno testiranje u simuliranim okruženjima ključno je kako bi se osiguralo da ti sustavi poboljšavaju, a ne ugrožavaju sigurnost. Ovaj pristup omogućuje kontrolirane uvjete, sigurnost, detaljnu reprezentaciju scenarija i preciznu telemetriju [10].

Sustavi pomoći vozaču mogu pružiti značajne sigurnosne prednosti no njihov utjecaj na ponašanje vozača i kognitivno opterećenje mora se pažljivo procijeniti kako bi se osiguralo da ne uvode nove rizike. Ova procjena je ključna za upravitelje infrastrukture koji teže poboljšanju sigurnosti na cestama kroz aktivne i pasivne mjere [10].

6.3. Analiza učinaka ADAS sustava (sigurnost, udobnost, ekologija)

Slijedeća pod poglavlja analiziraju kako ADAS sustavi utječu na sigurnost, udobnost vozača i ekološku održivost, koristeći relevantne podatke iz istraživanja i praktičnih primjera.

6.3.1. Sigurnosni učinci ADAS sustava

Jedan od ključnih ciljeva ADAS sustava je poboljšanje sigurnosti na cestama. Sustavi kao što su automatsko hitno kočenje (AEB), prilagodljivi tempomat (ACC) i pomoć pri održavanju trake (LKA) dizajnirani su kako bi smanjili rizik od prometnih nesreća i ozbiljnost ozljeda u slučaju sudara. Prema istraživanju „Systematic Review of Research on Driver Distraction in the Context of Advanced Driver Assistance Systems“, ovi sustavi igraju značajnu ulogu u sprječavanju sudara, posebno pri višim brzinama kada je vrijeme reakcije kritično. Na primjer, ACC sustav koristi radar ili LIDAR tehnologiju za prilagodbu brzine vozila, održavajući sigurnu udaljenost od vozila ispred, što smanjuje rizik od frontalnih sudara [22], [23].

Sustavi kao što su ACC i sustavi prije sudara (pre-crash) omogućuju značajno smanjenje rizika od sudara. Ovi sustavi ne samo da upozoravaju vozača na potencijalne opasnosti, već u nekim slučajevima autonomno primjenjuju kočenje kako bi smanjili ozbiljnost sudara ili potpuno izbjegli sudar. ACC sustavi, kada su povezani s GPS tehnologijom, omogućuju precizniju kontrolu brzine i bolju prilagodbu vozačkim uvjetima, čime se povećava sigurnost u različitim uvjetima vožnje [23].

Studije su pokazale da vozači koji koriste ADAS sustave, poput ACC i LKA, imaju dulje reakcijsko vrijeme prilikom preuzimanja kontrole nad vozilom, što može povećati rizik od nesreća u situacijama kada je potrebno brzo preuzeti kontrolu nad vozilom. Na primjer, Payre i suradnici su otkrili da vozači imaju produženo reakcijsko vrijeme nakon deaktivacije ADAS sustava, što može povećati rizik od nesreća u kritičnim situacijama. Povećana varijabilnost

unutar trake tijekom vožnje s aktivnim ADAS sustavima također je zabilježena, posebno kada su vozači angažirani u sekundarnim zadacima. Studije pokazuju da je varijabilnost unutar trake povećana kada su vozači koristili ACC i LKA u kombinaciji s vizualno-manualnim zadacima, što može ukazivati na smanjenje pažnje vozača na cestu [22].

Istraživanje provedeno na temelju analize potreba vozača pokazuje koliko bi nesreća moglo biti izbjegnuto kada bi se zadovoljile specifične informacijske i asistencijske potrebe vozača. Prema Malaterre i Fontaineu, značajan postotak nesreća mogao bi biti izbjegnuto korištenjem ADAS sustava. Na primjer, pravovremeno otkrivanje korisnika ceste koji nisu vidljivi zbog prepreka, kao što su drveće ili zgrade, moglo bi spriječiti do 7,1% nesreća. Detekcija sudionika u prometu koji dolaze iz suprotnih smjerova na raskrižjima mogla bi spriječiti do 19,1% nesreća, posebno među starijim vozačima. Detekcija pješaka mogla bi spriječiti do 5,8% nesreća, s većim postotkom kod starijih vozača [25]. U tablici je detaljan prikaz podataka:

Potrebe u vezi s informacijama i/ili asistencijom	Postotak ukupnog broja nesreća koji bi mogao biti izbjegnuto ako bi ove potrebe bile zadovoljene
1. Status vozača (umor, vožnja pod utjecajem alkohola ili droga)	8,4%
2. Status vozila (mehanički kvarovi)	1,1%
3. Pravovremeno otkrivanje poteškoća na cesti	5,0%
4. Otkrivanje prepreka	4,4%
5. Pravovremeno otkrivanje sudionika u prometu koji nisu vidljivi zbog prepreka (drveće, zgrade itd.)	7,1%
6. Pravovremeno otkrivanje sudionika u prometu na raskrižjima	19,1%
7. Otkrivanje sudionika u prometu u mrtvim kutovima	4,0%
8. Otkrivanje pješaka	5,8%
9. Točno procjenjivanje brzina u odnosu na uvjete na cesti	3,7%

10. Pravovremena procjena razlika u brzini između vozila ispred i vlastitog vozila	3,9%
11. Procjena kolizijskog puta s poprečnim prometom	0,9%
12. Procjena razmaka pri pretjecanju ili promjeni trake	0,6%
13. Procjena razmaka pri spajanju ili prelasku preko prometnog toka	0,6%
14. Predviđanje ponašanja drugih sudionika u prometu u vezi s ustupanjem prednosti i zaustavljanjem	4,7%
15. Predviđanje manevara drugih sudionika u prometu	7,3%
16. Predviđanje ponašanja pješaka	1,9%
17. Kontrola vozila	1,8%

Tablica 3. Potrebe vozača za informacijama i asistencijom te postotak nesreća koje bi mogle biti izbjegnute ispunjenjem tih potreba [25]

Ove informacije pokazuju kako ADAS sustavi, koji integriraju napredne senzorske tehnologije poput radara i LIDAR-a, mogu značajno pridonijeti smanjenju nesreća pružajući vozačima pravovremene informacije i asistenciju. Primjerice, detekcija prepreka ili drugih sudionika u prometu koji su skriveni od pogleda vozača može drastično smanjiti rizik od nesreća. [25]

Podaci iz članka Advanced Driver Assistance Systems dodatno naglašavaju da sustavi poput ACC, kada su povezani s GPS tehnologijom, omogućuju precizniju kontrolu brzine i bolju prilagodbu vozačkim uvjetima, što smanjuje mogućnost sudara u određenim uvjetima. Također, korištenje multi-senzorskih sustava, koji uključuju radar i LIDAR senzore, može značajno poboljšati detekciju prepreka, čak i u lošim vremenskim uvjetima, čime se dodatno povećava sigurnost vozača i putnika [23].

Rezultati istraživanja jasno pokazuju da ADAS sustavi, unatoč nekim nedostacima kao što je produženo reakcijsko vrijeme, značajno doprinose poboljšanju sigurnosti na cestama. Smanjenje broja nesreća i ozljeda u vozilima opremljenim ADAS tehnologijama dodatno potvrđuje potrebu za daljnjim razvojem i implementacijom ovih sustava u modernim vozilima.

Za prikaz učinkovitost različitih ADAS sustava u smanjenju rizika od nesreća i njihov utjecaj na ponašanje vozača, u nastavku je prikazana tablica dva. Ova tablica sažima ključne karakteristike različitih studija koje su istraživale učinke ADAS sustava na sigurnost vozača na kojima se temelji ova analiza [22].

Autori	ADAS značajka	Postavka eksperimenta	Broj ispitanika	Sekundarni zadatak	Vrsta zadatka
Biondi et al.	ACC + LKA	Na cesti	22	Taktilni detekcijski zadatak	Manualni
Blaschke et al.	LDW	Na cesti	60	Biranje broja na mobitelu	Vizualno-manualni
Borowsky et al.	ACC + AS	Simulator	18	Zadaci s kvadratima i brza identifikacija	Vizualno-manualni
Carsten et al.	ACC + LKA	Simulator	49	Reprodukcija, prehrana, uređivanje, gledanje DVD-a	Vizualno-manualni
Deng i Kaber	ACC samo	Simulator	11	CD player	Vizualno-manualni
Dogan et al.	ACC + LKA	Simulator	28	Čitanje magazina, korištenje mobitela	Vizualno-manualni
Dunn et al.	ACC + LKA	Naturalistička vožnja	170	Zadatci unutar vozila	Vizualno-manualni, verbalni

Tablica 4. Uključene studije i sažeti podaci [22]

6.3.2. Učinci na udobnost vozača

Uz sigurnost, ADAS sustavi znatno doprinose povećanju udobnosti vozača tijekom vožnje. Sustavi poput prilagodljivog tempomata (ACC) i automatskog parkiranja omogućuju vozačima da se opuste tijekom vožnje, znajući da vozilo može samostalno upravljati brzinom i parkiranjem u zahtjevnim uvjetima. Istraživanja pokazuju da vozači koji koriste ACC sustave prijavljuju manji umor i veću sposobnost koncentracije na vožnju, čime se smanjuje stres povezan s upravljanjem vozilom u gustoj prometnoj situaciji [23].

Osim toga, sustavi za pomoć pri održavanju trake (LKA) omogućuju vozačima da se osjećaju sigurnije u svojoj traci, smanjujući stres pri dugim putovanjima ili vožnji u nepoznatim uvjetima. Ovi sustavi pomažu u održavanju stabilnosti vozila unutar trake, što je posebno važno tijekom vožnje na autocestama.

Tablica pet prikazuje učinke ADAS sustava na udobnost:

ADAS Sustav	Učinak na udobnost
ACC	Smanjenje umora vozača, povećana koncentracija
LKA	Održavanje stabilnosti vozila unutar trake, smanjenje stresa

Tablica 5. Učinci ADAS sustava na udobnost vozača [23]

6.3.3. Ekološki učinci

Ekološki učinci ADAS sustava posebno su vidljivi u smanjenju potrošnje goriva i emisija CO₂. Prilagodljivi tempomat (ACC) optimizira vožnju smanjenjem nepotrebnog ubrzavanja i kočenja, što rezultira smanjenom potrošnjom goriva. Studije su pokazale da korištenje ACC sustava može smanjiti potrošnju goriva do 10% u urbanim područjima, gdje su česta nagla ubrzanja i usporavanja [23].

Osim toga, sustavi poput automatskog parkiranja smanjuju vrijeme potrebno za parkiranje, što smanjuje emisiju štetnih plinova tijekom traženja parkirnog mjesta. Korištenjem ovih sustava, vozila mogu značajno smanjiti svoj ekološki otisak, čime se doprinosi globalnim naporima za smanjenje emisija stakleničkih plinova.

Tablica šest prikazuje ekološke učinke ADAS sustava:

ADAS Sustav	Ekološki učinak
ACC	Smanjenje potrošnje goriva, smanjenje emisija CO ₂
AEB	Smanjenje potrebe za naglim kočenjem, smanjenje emisija

Tablica 6. Ekološki učinci ADAS sustava [23]

Analiza učinaka ADAS sustava pokazuje da oni značajno poboljšavaju sigurnost i udobnost vozača te imaju pozitivan utjecaj na okoliš. Ovi sustavi ne samo da smanjuju broj nesreća i ozbiljnost ozljeda, već također doprinose smanjenju umora vozača i smanjenju emisija štetnih plinova. Međutim, s obzirom na prirodu ADAS sustava, vozači mogu biti skloni angažiranju u sekundarnim zadacima, što može smanjiti njihovu sposobnost reagiranja na sigurnosno kritične situacije [23]. Ovaj sveobuhvatan pregled pruža uvid u važnost i utjecaj ADAS sustava u modernim vozilima, naglašavajući njihovu ključnu ulogu u postizanju sigurnije, udobnije i ekološki prihvatljivije budućnosti cestovnog prometa.

7. ZAKLJUČAK

Potrebno je istaknuti važnost naprednih sustava pomoći vozaču (ADAS) u transformaciji svijeta prometa i transporta. Kroz spoj inovativnih tehnologija i vizije sigurnije, učinkovitije mobilnosti, ADAS sustavi postaju ključni čimbenik u unaprjeđenju sigurnosti na cestama. Analizirali smo temeljne koncepte, suvremene tehnologije i ključne funkcije ovih sustava, istražujući njihov duboki utjecaj na prometni sektor.

Sustavi pomoći vozaču predstavljaju spoj ljudske intuicije i inteligencije stroja, koristeći senzore, kamere, radare i sofisticirane algoritme kako bi poboljšali sigurnost i iskustvo vožnje. Kroz senzore, kontrolne jedinice, aktuatora i intuitivna sučelja, ADAS sustavi omogućuju vozilima izvođenje raznovrsnih funkcija, od održavanja brzine do autonomne vožnje, poboljšavajući sigurnost, udobnost i praktičnost vozača. Najvažniji aspekt naprednih sustava pomoći vozaču je njihov duboki utjecaj na sigurnost vožnje. Kroz budno praćenje okoline vozila i brze reakcije na prijetnje, ADAS djeluje kao nepokolebljiva sigurnosna mreža, često sprječavajući nesreće i smanjujući njihove posljedice. Ovi sustavi detektiraju prepreke, izdaju upozorenja vozaču i, ako je potrebno, poduzimaju autonomne radnje kako bi spriječili sudare, čineći ceste sigurnijima za sve sudionike prometa. Jedan od ključnih izazova s kojima se suočavamo jest problem distrakcije vozača, koji je jedan od vodećih uzroka prometnih nesreća. Distrakcije poput korištenja mobilnih telefona, infotainment sustava i drugih sekundarnih aktivnosti značajno utječu na vozačevu koncentraciju, povećavajući rizik od nesreća. Vizualne, kognitivne, manualne i auditivne distrakcije negativno utječu na sposobnost vozača da zadrži kontrolu nad vozilom i pravodobno reagira na prometne situacije. U ovom kontekstu, ADAS sustavi igraju veliku ulogu u smanjenju distrakcija putem tehnologija praćenja vozača koje nadziru pažnju i pružaju povratne informacije u stvarnom vremenu. Ove tehnologije mogu značajno smanjiti broj nesreća uzrokovanih distrakcijama, čineći vožnju sigurnijom i odgovornijom.

U budućnosti, izazovi i mogućnosti leže u daljnjem razvoju i implementaciji ADAS sustava. Potrebno je kontinuirano poboljšavati tehnologiju, osigurati bolju interoperabilnost između različitih sustava te educirati vozače o njihovoj pravilnoj uporabi. Također, važno je razmotriti etičke i pravne aspekte autonomne vožnje te osigurati odgovarajuću regulativu koja će pratiti brzi tehnološki napredak. Cilj je prepoznati značaj ovih sustava u oblikovanju budućnosti prijevoza te promicanju sigurnosti na cestama, što će rezultirati sigurnijim i učinkovitijim prometnim sustavom za sve.

LITERATURA

[1] Whitepaper: ADAS (Advanced Driver Assistance Systems) – attraction or distraction? Do you know what they all are and what they do to help? <https://www.drivetechnology.co.uk/downloads/> [Pristupljeno: 27.6.2024]

[2] ADAS Sensors Guide. Caradas . Preuzeto s: <https://caradas.com/adas-sensors-guide/> [Pristupljeno:27.6.2024]

[3] Data Association Between Perception and V2V Communication Sensors <https://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/2101/2101.08228.pdf> [Pristupljeno: 27.4.2024]

[4] Passive safety systems: What are they and how do they work? Road Safety Facts. Preuzeto s: <https://roadsafetyfacts.eu/passive-safety-systems-what-are-they-and-how-do-they-work/> [Pristupljeno: 27.4.2024]

[6] What are the different levels of vehicle automation? Premio. Preuzeto s: <https://premioinc.com/blogs/blog/what-are-the-different-levels-of-vehicle-automation> [Pristupljeno: 27.4.2024]

[7] Texas Instruments. Introduction to Advanced Driver Assistance Systems (ADAS). Preuzeto s: https://www.ti.com/lit/wp/sszy019a/sszy019a.pdf?ts=1701957159318&ref_url=https%253A%252F%252Fwww.google.com%252F [Pristupljeno: 27.4.2024]

[8] Advanced driver-assistance systems (ADAS): a systematic review of their safety benefits and effectiveness. ScienceDirect. Preuzeto s: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0001457523000167> [Pristupljeno: 28.4.2024]

[9] What is Lidar? Velodyne Lidar [Internet]. Preuzeto s: <https://velodynelidar.com/what-is-lidar/> [Pristupljeno: 26.6 2024]

[10] The safety benefits of advanced driver-assistance systems. NCBI. Preuzeto s: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC9958852/> [Pristupljeno: 26.6 2024]

[11] What is driving the automotive lidar and radar market? ElectronicSpecifler. Preuzeto s: <https://www.electronicpecifier.com/products/sensors/what-is-driving-the->

automotive-lidar-and-radar-market [Pristupljeno: 26.6 2024]

[12] Types of ADAS sensors. Dewesoft . Preuzeto s:

<https://dewesoft.com/blog/types-of-adas-sensors> [Pristupljeno: 26.6 2024]

[13] ESC - Electronic Stability Control. National Highway Traffic Safety Administration
Preuzeto s:

https://www.nhtsa.gov/sites/nhtsa.gov/files/fmvss/ESC_FRIA_%252003_2007.pdf

[Pristupljeno: 26.6 2024]

[14] ABS – Sustav protiv blokiranja kotača. Petabrzina [Internet]. Preuzeto s:

<https://www.petabrzina.com/abs-sustav-protiv-blokiranja-kotaca> [Pristupljeno: 6.6 2024]

[15] AEB - Autonomous Emergency Braking. Euro NCAP [Internet]. Preuzeto s:

<https://www.euroncap.com/en/car-safety/the-ratings-explained/safety-assist/aeb-car-to-car/>

[Pristupljeno: 6.6 2024]

[16] Lane Keeping Assist (LKA) and Lane Departure Warning (LDW). Euro NCAP

Preuzeto s: <https://www.euroncap.com/en/car-safety/the-ratings-explained/safety-assist/lane-support/> [Pristupljeno: 6.6 2024]

[17] Blind Spot Detection. Bosch Mobility. Preuzeto s: [https://www.bosch-](https://www.bosch-mobility.com/en/solutions/assistance-systems/blind-spot-detection/)

[mobility.com/en/solutions/assistance-systems/blind-spot-detection/](https://www.bosch-mobility.com/en/solutions/assistance-systems/blind-spot-detection/) [Pristupljeno: 6.6 2024]

[18] Active Park Assist. Ford. Preuzeto s: [https://www.ford.com/support/how-](https://www.ford.com/support/how-tos/ford-technology/driver-assist-features/what-is-active-park-assist/)

[tos/ford-technology/driver-assist-features/what-is-active-park-assist/](https://www.ford.com/support/how-tos/ford-technology/driver-assist-features/what-is-active-park-assist/) [Pristupljeno: 6.6 2024]

[19] Pedestrian Detection System Market. GM Insights. Preuzeto s:

<https://www.gminsights.com/industry-analysis/pedestrian-detection-system-market>

[Pristupljeno: 6.6 2024]

[20] Understanding ADAS pedestrian alert systems (PAE). Caradas. Preuzeto s:

<https://caradas.com/understanding-adas-pedestrian-alert-systems-pae/> [Pristupljeno: 6.6 2024]

[21] Understanding ADAS adaptive cruise control. Caradas [Internet]. Preuzeto s:

<https://caradas.com/understanding-adas-adaptive-cruise-control/> [Pristupljeno: 6.6 2024]

[22] Apoorva P. Hungund¹, Ganesh Pai¹, and Anuj K. Pradhan¹. Systematic Review of Research on Driver Distraction in the Context of Advanced Driver Assistance Systems.

Transportation Research Record.. 2021;10():2-10 Preuzeto: [Pristupljeno: 21.8.2024]

[23] Aneesh Paul, Rohan Chauhan, Rituraj Srivastava, and Mriganka Baruah. Advanced

Driver Assistance Systems. SAE International. 2016;5():1-5 Preuzeto: SAE International by

Big Ten Academic Alliance [Pristupljeno: 16.8.2024]

[24] Automotive radar innovations. Preuzeto s: <https://auto-sens.com/automotive-radar-innovations-enable-next-gen-adas-and-autonomous-driving/> [Pristupljeno:

22.kolovoza.2024]

Popis kratica i akronima

Advanced Driver Assistance Systems - ADAS

Adaptive Cruise Control - ACC

Autonomous Emergency Braking - AEB

Lane Departure Warning - LDW

Lane Keeping Assist - LKA

Forward Collision Warning- FCW

Traffic Jam Assist - TJA

Rear Cross Traffic Alert - RCTA

Blind Spot Monitoring - BSM

Short-Range Radar - SRR

Mid-Range Radar - MRR

Long-Range Radar - LRR

Light Detection and Ranging – LIDAR

Electronic Stability Control - ESC

Anti-lock Braking System - ABS

Electronic Control Unit - ECU

Vehicle to everything – V2X

POPIS SLIKA

Slika 1. Senzori i sustavi za pomoć vozaču (ADAS) na vozilu

Slika 2: Radarska pokrivenost vozila

Slika 3. Vrste automobilskih RADAR senzora

Slika 4. Lidar

Slika 5. Značajke ADAS-a koristeći automobilske LiDAR i RADAR senzore

Slika. 6 Primjene ultrazvučnih senzora u vozilima

Slika 7. Aktivirani zračni jastuci

Slika 8. Kretanje tijela vozača prilikom sudara sa i bez sigurnosnog pojasa

Slika 9. E-poziv

Slika 10. Prikaz djelovanja ESC

Slika 11. Komponente sustava ABS

Slika 12. Prilagodljivi tempomat

Slika 13. Sustav pomoći pri održavanju voznog traka

Slika 14. Sustav automatskog kočenja u nuždi (AEB)

Slika 15. Rad sustava za detekciju mrtvog kuta

Slika 16. V2X komunikacija

POPIS TABLICA

Tablica 1. Vrste distrakcija vozača

Tablica 2. Tablica percepcijskih kanala i njihova primjena u vožnji

Tablica 3. Potrebe vozača za informacijama i asistencijom te postotak nesreća koje bi mogle biti izbjegnute ispunjenjem tih potreba

Tablica 4. Uključene studije i sažeti podaci

Tablica 5. Učinci ADAS sustava na udobnost vozača

Tablica 6. Ekološki učinci ADAS sustava

