

Utvrđivanje povezanosti psihofizičkoga opterećenja vozača i kvalitete prometne signalizacije u noćnim uvjetima

Fiolić, Mario

Doctoral thesis / Disertacija

2021

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://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:119:915962>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-04-19**



Repository / Repozitorij:

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





Sveučilište u Zagrebu

FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI

Mario Fiolić

**UTVRĐIVANJE POVEZANOSTI
PSIHOFIZIČKOGA OPTEREĆENJA
VOZAČA I KVALITETE PROMETNE
SIGNALIZACIJE U NOĆNIM UVJETIMA**

DOKTORSKI RAD

Zagreb, 2021.



Sveučilište u Zagrebu

FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI

Mario Fiolić

**UTVRĐIVANJE POVEZANOSTI
PSIHOFIZIČKOGA OPTEREĆENJA
VOZAČA I KVALITETE PROMETNE
SIGNALIZACIJE U NOĆNIM UVJETIMA**

DOKTORSKI RAD

Mentor:
izv. prof. dr. sc. Darko Babić

Zagreb, 2021.



University of Zagreb

FACULTY OF TRANSPORT AND TRAFFIC SCIENCES

Mario Fiolić

**DETERMINING THE CORRELATION
BETWEEN THE DRIVER'S
PSYCHOPHYSICAL LOAD AND THE
QUALITY OF THE TRAFFIC SIGNALING
DURING NIGHT-TIME CONDITIONS**

DOCTORAL DISSERTATION

Supervisor:
Prof. Darko Babić, PhD

Zagreb, 2021

PODATCI I INFORMACIJE O DOKTORANDU

1. Ime i prezime: Mario Fiolić
2. Datum i mjesto rođenja: 18. srpnja 1987. godine, Zagreb
3. Naziv završenoga fakulteta i godina diplomiranja: Fakultet prometnih znanosti Sveučilišta u Zagrebu, 2011. godine

INFORMACIJE O DOKTORSKOM RADU

1. Naziv doktorskoga studija: Tehnološki sustavi u prometu i transportu
2. Naslov doktorskoga rada: Utvrđivanje povezanosti psihofizičkoga opterećenja vozača i kvalitete prometne signalizacije u noćnim uvjetima
3. Fakultet na kojem je doktorski rad obranjen: Fakultet prometnih znanosti Sveučilišta u Zagrebu

INFORMACIJE O DOKTORSKOM RADU

1. Datum prijave doktorskoga rada: 2. ožujka 2016.
2. Datum obrane teme doktorskoga rada:
3. Mentor: izv. prof. dr. sc. Darko Babić
4. Povjerenstvo za ocjenu i obranu doktorskoga rada:
prof. dr. sc. Anđelko Ščukanec, predsjednik
prof. dr. sc. Darko Babić, mentor, član
doc. dr. sc. Sanja Tomasović (Klinika za neurologiju, KB „Sveti Duh“, Zagreb), vanjski član
doc. dr. sc. Marko Ševrović, zamjena
5. Lektorica: Ivana Ružić Divjak
6. Datum obrane doktorskoga rada: 21. srpnja 2021.

INFORMACIJE O MENTORU: izv. prof. dr. sc. Darko Babić

ŽIVOTOPIS

Darko Babić rođen je 28.05.1979. godine u Doboju, Bosna i Hercegovina. U Zagrebu je završio Osnovnu školu Jure Kaštelana i Tehničku školu Ruđera Boškovića u lipnju 1997. godine, čime je stekao zvanje tehničara za opću elektroniku.

Od 1998. do 2003. godine studirao je na Fakultetu prometnih znanosti u Zagrebu.

Diplomirao je 2003. godine na Fakultetu prometnih znanosti Sveučilišta u Zagrebu gdje je i magistrirao (2006. godine) te doktorirao (2010. godine). Od 2004. godine zaposlenik je Fakulteta prometnih znanosti i Zavoda za prometnu signalizaciju kao asistent, gdje aktivno sudjeluje u nastavnom procesu te radu na znanstvenim i stručnim projektima. 2013. godine postaje docent, dok 2018. dobiva zvanje izvanrednog profesora. Od 2012. do 2015. godine, kao poslijedoktorand na Sveučilištu u Pardubicama (Republika Češka) sudjeluje na znanstvenom projektu pod nazivom „Enhancement of R&D Pools of Excellence at the University of Pardubice“.

Autor je niza znanstvenih radova objavljenih u međunarodnim znanstvenim i stručnim časopisima te prezentiranih na međunarodnim konferencijama. Sudjelovao je u organizaciji nekoliko međunarodnih znanstvenih konferencija, radionica i kongresa. Dobitnik je priznanja Fakulteta prometnih znanosti za znanstveni rad 2019. godine.

Predsjednik je Hrvatske udruge inženjera s Fakulteta prometnih znanosti Sveučilišta u Zagrebu te Tehničkog odbora DZNM/TO 509: Cestovna oprema. Nadalje, član je Hrvatske komore inženjera tehnologije prometa i transporta, Hrvatske udruge diplomiranih inženjera i inženjera Fakulteta prometnih znanosti Sveučilišta u Zagrebu te međunarodne radne skupine vezane za prometnu signalizaciju (CEN/TC 226/WG 12).

Obučen je za ispitivanje kvalitete oznaka na kolniku (statičkom i dinamičkom metodom) i prometnih znakova od strane tvrtke „Zehntner Testing Instruments“. Također je iskusan korisnik programskih alata Microsoft Office, AutoCAD, RetroGrabber i Mapping Tools te programskih alata tvrtke Carnetsoft za izradu scenarija na simulatoru vožnje.

Popis publikacija: <https://www.bib.irb.hr/pregled/znanstvenici/265664?autor=265664>

POPIS OBJAVLJENIH RADOVA

1. Babić, Dario; Fiolčić, Mario; Babić, Darko; Timothy Gates Road markings and their impact on driver behaviour and road safety: A systematic review of current findings. // Journal of

advanced transportation, 7843743 (2020), 7843743, 19 doi:10.1155/2020/7843743 (međunarodna recenzija, članak, znanstveni)

2. Babić, Darko; Babić, Dario; Cajner, Hrvoje; Sruk, Ana; Fiolić, Mario, Effect of Road Markings and Traffic Signs Presence on Young Driver Stress Level, Eye Movement and Behaviour in Night-Time Conditions: A Driving Simulator Study. // Safety, 6 (2020), 2; 24, 17 doi:10.3390/safety6020024.
3. Babić, Darko; Tremiski, Štefica; Babić, Dario, Investigation of Traffic Signs Understanding - Eye Tracking Case Study. // Tehnički vjesnik : znanstveno-stručni časopis tehničkih fakulteta Sveučilišta u Osijeku, 26 (2019), 1; 29-35, doi:10.17559/TV-20170320121159.
4. Babić, Darko; Babić, Dario; Fiolić, Mario; Krasić, Davor, Model for determination the contribution of adverse events during dynamic measurement of road marking retroreflection. // International Journal for Traffic and Transport Engineering, 9 (2019), 2; 145-153 doi:10.7708/ijtte.2019.9(2).01.
5. Babić, Dario; Ščukanec, Anđelko; Babić, Darko; Fiolić, Mario, Model for predicting road markings service life. // Baltic journal of road and bridge engineering, 14 (2019), 3; 341-359 doi:10.7250/bjrbe.2019-14.447.
6. Babić, Dario; Ščukanec, Anđelko; Babić, Darko, Determining the impact of directionality on road markings retroreflectivity using dynamic method. // Transport, 33 (2018), 5; 1339208, 9 doi:10.3846/16484142.2017.1339208.
7. Šarić, Željko; Xu, Xuecai; Duan, Li; Babić, Darko, Identifying the safety factors over traffic signs in state roads using a panel quantile regression approach. // Traffic Injury Prevention, 19 (2018), 6; 607-614 doi:10.1080/15389588.2018.1476688.
8. Stažnik, Ana; Babić, Darko; Bajor, Ivona, Identification and analysis of risk in transport chains. // Journal of Applied Engineering Science, 15 (2017), 61-70 doi:10.5937/jaes15-12179.
9. Babić, Dario; Babić, Darko; Macura, Dragana, Model for predicting traffic signs functional service life - The Republic of Croatia case study. // Promet - Traffic and Transportation, 29 (2017), 343-349.
10. Babić, Dario; Ščukanec, Anđelko; Babić, Darko, Determining the Correlation Between Daytime and Night-time Road Markings Visibility. // Baltic journal of road and bridge engineering, 11 (2016), 4; 283-290 doi:10.3846/bjrbe.2016.33.

11. Babić, Darko; Burghardt, Tomasz E.; Babić, Dario, Application and Characteristics of Waterborne Road Marking Paint. // International Journal for Traffic and Transport Engineering (IJTTE), 5 (2015), 2; 150-169 doi:10.7708/ijtte.2015.5(2).06.
12. Hruška, Roman; Průša, Petr; Babić, Darko, The Use of AHP Method for Selection of Supplier. // Transport, 29 (2014), 2; 195-203 doi:10.3846/16484142.2014.930928.
13. Babić, Darko; Banelli, Marijan; Průša, Petr, Further Development of Forwarding Services in the Republic of Croatia after Accession to the EU. // LOGI - Scientific Journal on Transport and Logistics, 3 (2012), 1; 5-13.
14. Babić, Darko; Ščukanec, Anđelko; Rogić, Kristijan, Criteria of Categorizing Logistics and Distribution Centres. // Promet - Traffic & Transportation, 23 (2011), 4; 279-288 doi:10.7307/ptt.v23i4.130.
15. Babić, Darko; Bajor, Ivona; Ivaković Babić, Morana, Choice Factors of Distribution Channels. // LOGI - Scientific Journal on Transport and Logistics, 1 (2010), 2; 5-13.

SADRŽAJ

1. UVOD	1
1.1. Predmet istraživanja	1
1.2. Svrha i cilj istraživanja	3
1.3. Osvrt na dosadašnja istraživanja.....	4
1.3.1. Istraživanja vezana uz utjecaj oznaka na kolniku na ponašanje vozača	4
1.3.1.1. Utjecaj postojanosti i konfiguracije oznaka na kolniku na percepciju vozača i sigurnost prometa	4
1.3.1.2. Utjecaj oznaka na kolniku na smanjenje i usklađenost brzine vožnje	6
1.3.1.3. Utjecaj oznaka na kolniku na ponašanje vozača prilikom vožnje u zavojima....	8
1.3.1.4. Utjecaj oznaka na kolniku na ponašanje vozača prilikom približavanja raskrižju	11
1.3.2. Istraživanja vezana uz razinu vidljivosti oznaka na kolniku na ponašanje vozača ..	12
1.3.3. Utjecaj prometnih znakova na percepciju vozača i sigurnost prometa	15
1.3.4. Utjecaj opreme i mjera za smirivanje prometa na percepciju vozača i sigurnost prometa	17
1.4. Osnovna hipoteza	18
1.5. Metode istraživanja.....	19
1.6. Kompozicija rada.....	19
1.7. Očekivani rezultati istraživanja	20
1.8. Očekivani znanstveni doprinos.....	21
1.9. Primjena rezultata istraživanja.....	21
2. ČIMBENICI SIGURNOSTI CESTOVNOG PROMETA	22
2.1. Ljudski faktor kao čimbenik sigurnosti cestovnog prometa.....	24
2.2. Cesta i okolina ceste kao čimbenik sigurnosti cestovnog prometa	25
2.3. Vozilo kao čimbenik sigurnosti cestovnog prometa.....	26
2.4. Suvremeni koncepti povećanja sigurnosti cestovnog prometa.....	28
3. DEFINICIJA I PODJELA PROMETNE SIGNALIZACIJE I OPREME	32
3.1. Prometni znakovi.....	33
3.2. Oznake na kolniku	36
3.3. Prometna oprema.....	38
4. UTJECAJ VIZUALNE PERCEPCIJE I VIDLJIVOSTI U NOĆNIM UVJETIMA VOŽNJE NA PSIHOFIZIČKO STANJE VOZAČA.....	40
4.1. Općenito o vizualnoj percepciji.....	40
4.2. Proces vizualne percepcije.....	42

4.3.	Psihofizičke karakteristike vozača.....	43
4.4.	Osnovni zahtjevi za vožnju s aspekta psihofizičkog opterećenja vozača.....	44
4.5.	Vidljivost i percepcija u noćnim uvjetima vožnje	45
5.	METODOLOGIJA ISTRAŽIVANJA	47
5.1.	Znanstvenoistraživačka oprema	47
5.1.1.	Simulator vožnje	47
5.1.2.	Metoda praćenja pogleda vozača (<i>eye tracking</i>)	51
5.1.3.	Elektroencefalograf (EEG uređaj) za mjerenje kognitivnog opterećenja ispitanika	53
5.2.	Dizajn scenarija za simulator vožnje	58
5.3.	Procedura ispitivanja	62
5.4.	Varijable istraživanja i primijenjene statističke metode.....	63
6.	ANALIZA DOBIVENIH REZULTATA	66
6.1.	Deskriptivna analiza podataka ispitanika	66
6.2.	Simulator vožnje.....	67
6.2.1.	Brzina vožnje.....	67
6.2.2.	Akceleracija i deceleracija	68
6.2.4.	Lateralni pomak.....	70
6.3.	Elektroencefalografija – EEG.....	71
6.4.	Praćenje oka vozača – <i>eye tracking</i>	74
6.4.1.	Broj fiksacija	75
6.4.2.	Broj sakada.....	76
6.4.3.	Broj pogleda na oznake na kolniku	77
6.4.4.	Broj i postotak pogleda na prometne znakove	79
7.	DISKUSIJA DOBIVENIH REZULTATA.....	82
7.1.	Ograničenja znanstvenog istraživanja	86
7.2.	Buduća istraživanja.....	87
7.3.	Originalnost rada	87
8.	ZAKLJUČAK	89
	POPIS LITERATURE	94
	POPIS SLIKA I TABLICA.....	107
	POPIS PRILOGA.....	110
	ŽIVOTOPIS I POPIS RADOVA AUTORA	117

SAŽETAK

Na sigurnost cestovnog prometa utječe niz međusobno povezanih čimbenika pri čemu se ljudski čimbenik izdvajao kao uzrok velikog broja prometnih nesreća. Novija znanstvena istraživanja ukazuju na to da ljudske pogreške nisu uvijek jedini uzrok nesreća, odnosno da su one u određenoj mjeri izazvane manjkom adekvatnih informacija vezanih uz elemente ceste i njezine okoline. To je naročito očito u noćnim uvjetima kada vozači moraju donositi odluke relativno brzo i na temelju znatno manje vizualnih informacija u odnosu na dnevne uvjete. U noćnim uvjetima vozač ima ograničene izvore vizualnih informacija u prometu te većinu odluka donosi na temelju vidljivosti prometne signalizacije koja je ključni element komunikacije cestovne prometne infrastrukture i vozača. U ovom doktorskom radu utvrđena je povezanost između psihofizičkog opterećenja vozača i kvalitete (razine vidljivosti) prometne signalizacije u noćnim uvjetima primjenom simulatora vožnje, naočala za praćenje pogleda vozača (ETG naočala) te elektroencefalografa (EEG uređaja). S obzirom na sigurnosne rizike provođenja istraživanja u stvarnim uvjetima, istraživanje je provedeno u laboratoriju Zavoda za prometnu signalizaciju Fakulteta prometnih znanosti Sveučilišta u Zagrebu na simulatoru vožnje. U istraživanju je sudjelovalo 45 ispitanika različitih dobnih skupina koji su bili upoznati s istraživačkom opremom, ali ne i ciljem istraživanja kako se ne bi utjecalo na rezultate. Prethodno pripremljen scenarij simulirao je noćne uvjete vožnje te je obuhvatio, za sigurnost prometa, najrizičnije situacije kao što su: opasni zavoji, raskrižja, nailasci na pješake, prijelazi između ruralnih i urbanih dijelova cesta, itd.

Tijekom vožnje za svakog ispitanika bilježeni su podaci vezani uz brzinu vožnje, akceleraciju i deceleraciju, lateralni položaj, karakteristične pokrete očiju te kognitivno opterećenje. Statističkom analizom i usporedbom rezultata vožnji omogućeno je utvrđivanje čimbenika koji utječu na psihofizičko stanje vozača u noćnim uvjetima. Rezultati i spoznaje nakon provedenog istraživanja potvrđuju pozitivan utjecaj razine vidljivosti prometne signalizacije na psihofizičko stanje (ponašanje vozača) vozača u noćnim uvjetima. Zabilježene promjene vidljive su u promjeni brzine vožnje, deceleraciji, kognitivnom opterećenju te promjeni dinamike pokreta oka (broj pogleda na prometne znakove i postotak primijećenih znakova) i kao takve predstavljaju korisne smjernice za unaprjeđenje elemenata prometne signalizacije s ciljem povećanja sigurnosti cestovnog prometa.

Ključne riječi: prometna signalizacija, uvjeti smanjene vidljivosti, opterećenje vozača, simulator vožnje, sigurnost prometa.

SUMMARY

Road safety is influenced by an interrelated number of factors, whereby a large proportion of traffic accidents is considered to be caused by a human factor. Recent scientific research suggests that human error is not always the real cause of an accident, that is, to a certain extent, caused by a lack of adequate information related to road elements and its environment. This is especially evident in night conditions when drivers must make decisions relatively quickly and based on less visual information than the daily conditions. Namely, under night conditions, the driver has limited sources of visual traffic information and makes most of the decisions based on the traffic signaling visibility, which is a key element of road traffic and driver communication.

This doctoral thesis has determined connection between driver's psychophysical load and traffic signalization night quality (visibility) using driving simulator, eye tracking glasses (ETG glasses) and electroencephalograph (EEG device).

Research, due to security risk, was conducted in the Department of Traffic Signalization laboratory, Faculty of Transport and Traffic Sciences, University of Zagreb on a driving simulator involving 45 respondents of different age groups who were familiar with the research equipment, but not with the research aim to avoid affect on the results. The research was conducted in the so-called "black room" where all the walls were painted black to simulate night conditions. Previously prepared scenario simulated night driving conditions and included, for traffic safety, the most risky situations such as: dangerous bends, intersections, encounters with pedestrians, connections between rural and urban road parts, etc.

During respondent's test drive, data related to driving speed, acceleration and deceleration, lateral position, characteristic eye movements (fixations and saccades) and cognitive load were recorded for each subject. Statistical analysis and comparison of driving results enabled the identification of factors that affect on driver's psychophysical condition at driving in night conditions. The results and findings after the research confirm the positive impact of the traffic signalization visibility level on the psychophysical condition (driver behavior) at night driving. The observed changes are visible in driving speed changes, deceleration, cognitive load and eye movement changes (number of views on traffic signs and the percentage of observed traffic signs) and represents useful guidelines for improving traffic signaling elements to increase road safety.

Keywords: traffic signalization, reduced visibility conditions, drivers load, driving simulator, traffic safety.

1. UVOD

U uvodnom dijelu doktorske disertacije definirani su predmet, svrha i cilj istraživanja, dan je pregled dosadašnjih spoznaja vezanih uz predmet istraživanja, naveden je i ukratko pojašnjen strukturalni opis disertacije te osnovna hipoteza, kao i korištene znanstvene metode. Također je naveden i definiran očekivani znanstveni doprinos u polju tehnologije prometa i transporta te očekivane primjene rezultata istraživanja u sustavu održavanja i poboljšanja prometne signalizacije.

1.1. Predmet istraživanja

Jedan od bitnih pokazatelja kvalitete prometnog sustava je njegova sigurnost. Procjenjuje se da je u prometnim nesrećama na cestama EU 2019. godine poginulo 22 800 ljudi, što je gotovo 7 000 smrtnih slučajeva manje u odnosu na 2010. (pad od 23%), odnosno početak uspostave raznih programa i mjera sigurnosti u cestovnom prometu [53]. Iako je pad značajan, zacrtani cilj od 50 % manje smrtno stradalih na cestama EU u razdoblju od 2010. do 2020. nije ostvaren [53]. U paketu „Europa u pokretu“ (*Europe on the Move*) u svibnju 2018. Europska komisija predstavila je novi pristup politici sigurnosti cestovnog prometa EU, zajedno sa srednjoročnim Strateškim akcijskim planom. U svrhu unaprjeđenja trenutne situacije i približavanja dugoročnom cilju od nula smrtnih slučajeva u EU do 2050., politika sigurnosti cestovnog prometa u EU za razdoblje 2021. – 2030. temelji se na pristupu „Sigurni sustav“ (*Safe System Approach*) koji podrazumijeva postavljanje jasnih ciljeva, praćenje napretka uz pomoć niza ključnih pokazatelja uspješnosti te koordinirano djelovanje svih sektora i svih sudionika u prometu [1].

Na hrvatskim se cestama u posljednjih deset godina prosječno dogodilo 35 386 prometnih nesreća u kojima je u prosjeku na godišnjoj razini smrtno stradala 351 (2,2 %) osoba. Broj poginulih u prometnim nesrećama u posljednjih je deset godina pao sa 426 u 2010. godini na 297 u 2019. godini. U 2019. godini pad je poginulih osoba u odnosu na prethodnu godinu za 20 osoba ili 6,3 %. Na temelju prikupljenih podataka i njihove analize može se reći kako se prometne nesreće s poginulima i teško stradalima u više od 50 % slučajeva događaju na prometnicama izvan naselja zbog nepropisne ili neprimjerene brzine. U 2019. godini je, prilikom dnevnih uvjeta, zabilježeno 21 579 prometnih nesreća u kojima su 152 osobe smrtno stradale dok su u noćnim uvjetima zabilježene 8 763 prometne nesreće uz 114 smrtno stradalih osoba. Veća dnevna gustoća prometa

rezultirala je i većim brojem nesreća (2,5 puta više) u odnosu na noćne uvjete pri čemu smrtnost u noćnim uvjetima bilježi veći postotak (1,3 %) u odnosu na dnevne uvjete (0,7 %) [2].

Nacionalnim programom sigurnosti cestovnog prometa Republike Hrvatske u razdoblju od 2011. – 2020. nastoji se smanjiti broj poginulih osoba do 2020. godine za 50 % u odnosu na 2010. godinu i to kroz promjene u ponašanju sudionika u prometu, boljom cestovnom infrastrukturom, sigurnijim vozilima, učinkovitom medicinskom skrbi nakon prometnih nesreća te ostalim aktivnostima koje pridonose sigurnosti cestovnog prometa [3]. Iako se u navedenom razdoblju smanjio broj smrtno stradalih osoba, RH se još uvijek nalazi u području visokoga broja poginulih osoba promatrano s aspekta broja poginulih na milijun stanovnika: RH – 75 poginulih na milijun stanovnika, EU – < 50 na milijun stanovnika [4].

Bolja cestovna infrastruktura ne podrazumijeva samo gradnju novih cestovnih pravaca nego i unaprjeđenje postojećih primjenom suvremenih tehničko-tehnoloških rješenja među kojima značajno mjesto zauzimaju prometna signalizacija i oprema na cestama.

Budući da čovjek tijekom vožnje više od 90 % informacija dobiva putem vida, sigurnost cestovnog prometa uvelike ovisi o pravovremenosti informacije koju vozač dobiva. Nadalje, kako se komunikacija, odnosno prenošenje informacija između ceste i sudionika u prometu u najvećoj mjeri ostvaruje putem prometne signalizacije, jasna je njena važnost za cjelokupnu sigurnost prometnog sustava.

Upravo se iz navedenih razloga neadekvatno održavanje prometne signalizacije smatra čimbenikom koji pridonosi nastanku prometnih nesreća, a kontinuiranim praćenjem kvalitete signalizacije i opreme te primjenom novih materijala i tehnologija u njihovoj izradi može se značajno doprinijeti smanjenju nesreća te time povećanju opće stope cestovne sigurnosti.

U svrhu povećanja cestovne sigurnosti nužno je utvrditi utjecaj kvalitete prometne signalizacije (razine vidljivosti u uvjetima smanjene vidljivosti) na ponašanje vozača. Iako je niz studija istraživao utjecaj prometne signalizacije na sigurnost cestovnog prometa, još uvijek nema dovoljno spoznaja o utjecaju kvalitete signalizacije na ponašanje vozača te njegovo psihofizičko opterećenje u noćnim uvjetima. Tijekom vožnje noću, nedovoljna razina osvjetljenja rezultira ograničenom uporabom perifernog vida odnosno nemogućnosti percipiranja predmeta izvan područja osvijetljenog prednjim svjetlima vozila. Osim smanjenog i suženog vidnog polja, negativnosti se očituju i u slabijoj percepciji boja (nedovoljna razina osvjetljenja za funkciju čunjića), tekstura, oblika, itd., što u konačnici utječe na psihofizičko opterećenje vozača.

Definirati psihofizičko opterećenje vozača znači utvrditi odnos intenziteta podražaja (u ovom slučaju utjecaj prometne signalizacije) i korespondentnih intenziteta osjeta duž cijelog raspona mogućih osjetnih reakcija (praćenje pogleda vozača i mjerenje električke moždane aktivnosti).

Pod pojmom „kvaliteta prometne signalizacije“ podrazumijeva se vidljivost prometne signalizacije koja u noćnim uvjetima osigurava da ona bude pravovremeno uočena od strane vozača. Vidljivost prometne signalizacije u noćnim se uvjetima postiže uporabom retroreflektirajućih materijala koji svjetla vozila reflektiraju prema svome izvoru, tj. vozaču. Što je veći koeficijent retrorefleksije, veća je noćna vidljivost, a time i veća kvaliteta prometne signalizacije.

Primjena suvremene istraživačke opreme (simulatora vožnje, naočala za praćenje pogleda vozača – ETG naočala i elektroencefalografa – EEG uređaja) omogućuje mjerenje, odnosno utvrđivanje načina na koji kvaliteta prometne signalizacije utječe na ponašanje vozača, njegovo psihofizičko opterećenje i cjelokupnu sigurnost cestovnog prometa u noćnim uvjetima. Istraživanje koje objedinjuje rezultate navedenih mjerenja, koliko je autoru ove disertacije poznato, do sada nije provedeno te je upravo kombinacija više izvora informacija o stanju vozača tijekom vožnje iskorak koji će se provesti u doktorskoj disertaciji.

1.2. Svrha i cilj istraživanja

Povećanje prometnog zagušenja i brzina kretanja kao posljedice razvitka suvremenog cestovnog prometa zahtijevaju kvalitetna rješenja na području prometne signalizacije koja će sudionicima u prometu omogućiti pravovremeno donošenje ispravnih odluka u cilju sigurnog odvijanja prometa. Noću i u uvjetima slabe vidljivosti vozači moraju donositi važne odluke u relativno kratkom vremenskom intervalu na temelju znatno manjeg broja vizualnih informacija u odnosu na dnevne uvjete. Kako bi im se u takvim uvjetima omogućilo lakše snalaženje i sigurno kretanje po cestama, nužna je primjena suvremenih koncepata i rješenja koji će vozačima pravovremeno pružiti potrebne informacije o situaciji ispred njih.

Rezultati dosadašnjih istraživanja ukazuju na pozitivan utjecaj prometne signalizacije i opreme, kao i mjera za smirivanje prometa na ponašanje vozača. Ipak, dio znanstvenih istraživanja vezan uz navedenu tematiku ukazuje na ograničen i neznatan utjecaj navedenih mjera na sigurnost cestovnog prometa. Na temelju analize metodologije, rezultata i ograničenja dosadašnjih istraživanja proizlazi glavni cilj istraživanja, odnosno doktorske disertacije.

Cilj istraživanja je utvrditi povezanost između psihofizičkog opterećenja vozača i kvalitete (vidljivosti) prometne signalizacije u noćnim uvjetima primjenom simulatora vožnje, ETG naočala i EEG uređaja. Rezultati istraživanja usmjereni su na unaprjeđenje elemenata prometne signalizacije s ciljem povećanja sigurnosti cestovnog prometa.

1.3. Osvrt na dosadašnja istraživanja

S obzirom na cilj doktorske disertacije, fokus istraživanja usmjeren je na prometnu signalizaciju i opremu te osnovne mjere za smirivanje prometa. U nastavku su detaljno opisana dosadašnja istraživanja vezana uz utjecaj navedenih mjera, kao važnih elemenata, na ponašanje vozača te opću stopu cestovne sigurnosti.

1.3.1. Istraživanja vezana uz utjecaj oznaka na kolniku na ponašanje vozača

Oznake na kolniku obilježavaju konture ceste. S obzirom da se nalaze u centralnom vidnom polju vozača, one pružaju informacije nužne za vizualno vođenje. Iako je utjecaj oznaka na percepciju i ponašanje vozača teško točno utvrditi, dosadašnja istraživanja upućuju na to da oznake u određenoj mjeri (oblikom, bojom, inovativnim dizajnom, itd.) utječu na ponašanje vozača u vidu promjene bočnoga položaja vozila te brzine vožnje.

1.3.1.1. Utjecaj postojanosti i konfiguracije oznaka na kolniku na percepciju vozača i sigurnost prometa

Prvi rezultati ispitivanja postojanosti oznaka na kolniku zabilježeni su u istraživanju objavljenom 1986. godine [5]. Istraživanje je provedeno na 9,7 km dugoj testnoj dionici s dvotračnim i dvosmjernim kolnikom širine 3,36 m uključujući i nekoliko vodoravnih zavoja, pri čemu je kolnik bio označen središnjom i rubnom linijom.

Različite kombinacije središnjih i rubnih linija bile su podijeljene u 10 mjera (privremene oznake na kolniku), pri čemu su sve mjere testirane u dnevnim i suhim uvjetima dok je sedam odabranih mjera testirano u noćnim uvjetima. Rubne linije primijenjene u horizontalnim zavojima bile su prekinute 153 m prije zavoja te su se ponovno nastavile 153 m nakon zavoja. Rezultati istraživanja pokazali su kako nije bilo značajnih razlika između svih primijenjenih mjera u ponašanju vozača, odnosno brzine i položaja vozila kod vozačevih neispravnih manevara.

Terensko istraživanje provedeno 1987. analiziralo je kako različite duljine isprekidanih linija (0,31 m, 0,61 m i 1,22 m) u zonama radova utječu na ponašanje vozača [6]. Istraživanje je provedeno na sedam lokacija na kojima su bili radovi u duljini od 772 do 2 044 m. Sve testirane

lokacije imale su kolničke trake široke 3,66 m, betonske bankine (od 1,22 do 3,05 m), žute privremene središnje oznake i prosječni godišnji promet od 2 750 do 9 600 vozila. Rezultati istraživanja nisu pokazali statistički značajnu razliku između testirane duljine oznaka na brzinu vožnje vozača i njihovu lateralnu poziciju vozila u odnosu na središnju liniju.

Slično istraživanje provedeno je 1993. godine [7] na višelinijском poligonu gdje su ispitana dva privremena uzorka obilježavanja: linije dužine 0,61 m s razmacima 11,59 m i linije dužine 1,22 m s razmacima 10,98 m. Oba uzorka uspoređena su i s klasičnim izvođenjem oznaka (linije dužine 3,05 m s razmacima od 9,15 m). Pomoću kamera za snimanje bilježen je manevar svakog vozila (ukupno 436 vozila) što podrazumijeva bilježenje bočnog položaja vozila, brzinu kretanja unutar ispitnog segmenta, prisutnost i vrstu obilježavanja središnjim i rubnim linijama te broj pogrešnih manevara kako bi se mogle procijeniti mogućnosti vozača s obzirom na različito obilježavanje kolnika. Rezultati pokazuju da su vozači prilagođavali svoje ponašanje uz oznake dužine 3,05 m koje su uključivale i rubne linije. Osim toga, manji broj pogrešnih manevara vozača zabilježen je kada su oznake bile dužine 1,22 m (u odnosu na one 0,61 m), posebno u nepovoljnim vremenskim uvjetima.

Istraživanje u studiji iz 1990. godine [8] analiziralo je ponašanje vozača pri vožnji ravnim dijelom ceste označene rubnom isprekidanom linijom kada je ona bila širine 10 i 20 cm. Rezultati studije pokazali su promjenu bočnog položaja vozila, odnosno vožnju bliže rubu ceste i smanjenje mogućeg rizika od frontalnog sudara kada je rubna linija bila veće širine (20 cm). Promjena bočnog položaja vozila zabilježena je istraživanjem u studiji iz 2004. godine [9] gdje je dokazano sustavno linearno udaljšavanje vozila od središnje linije (ceste s dvosmjernim prometom) u slučaju kada su vozila međusobno udaljšena između 2,5 i 4 sekunde te se povećava smanjenjem udaljšnosti između vozila. Također, istraživanje je zabilježilo povećanje brzine vožnje na cestama s oznakama na kolniku u odnosu na neoznačene ceste. S obzirom na to da oznake pružaju informaciju o putanji ceste te tako omogućavaju ranije uočavanje određenih, za sigurnost prometa rizičnih dijelova ceste kao što su npr. zavoji, raskrižja, itd., razlog tomu je povećanje vozačeva osjećaja sigurnosti pri vožnji cestom s oznakama. Međutim, povećanje brzine vožnje nije zabilježeno pri dodavanju rubnih linija na cestama s već postojećom središnjom linijom te na cestama na kojima je središnja linija zamijenjena rubnima.

Istraživači [10] su analizirali utjecaj širine oznaka na kolniku ruralne autoceste s dva traka na području Michigana, Kansasa i Illinoisa na ponašanje vozača. Nakon provedene analize podataka

prije i poslije prometnih nesreća, rezultati pokazuju kako šire rubne linije smanjuju broj prometnih nesreća uz veliki postotak smanjenja najtežih (smrtnih) ozljeda zadobivenih prilikom sudara (Kansas: 36,5 %, Michigan: 15,4 %, i Illinois: 37,7 %).

Učinci označavanja uzdužnih rubnih linija različitim širinama i razinama smanjenja vidljivosti na ponašanje vozača, odnosno zadržavanja unutar prometne trake proučavani su u istraživanju iz 2018. godine [11]. U istraživanju na simulatoru vožnje sudjelovalo je 48 ispitanika s važećom vozačkom dozvolom vozeći na scenariju koji je simulirao vožnju ruralnom autocestom s dva prometna traka. Svaki je scenarij bio sastavljen od nekoliko situacija uključujući odgovarajuću geometriju kolnika i okruženje koje podrazumijeva dnevne ili noćne uvjete. Oznake primijenjene u scenariju bile su širine 10 i 15 cm uz razinu degradacije vidljivosti od 0 %, 25 %, 50 % i 75 %. Rezultati ukazuju na to da širina rubnih oznaka na kolniku ima statistički značajan utjecaj na degradaciju vidljivosti oznaka samo u noćnoj situaciji. Nadalje, vozači su se tijekom simulacijske vožnje više približavali rubu ceste i sve više udaljavali od središnje linije kako se vidljivost rubne linije pogoršavala.

1.3.1.2. Utjecaj oznaka na kolniku na smanjenje i usklađenost brzine vožnje

Dio studija istraživao je utjecaj mjera za smanjenje brzine povezane s oznakama na kolniku i njihov utjecaj na ponašanje vozača. Maroney i Dewar [12] proveli su eksperiment usmjeren na procjenu utjecaja poprečnih oznaka na kolniku na brzinu kojom su vozači vozili. Poprečne oznake izvedene su progresivno kako se udaljenost do opasnog mjesta smanjivala nastojeći izazvati reakciju vozača te stvoriti iluziju prevelike brzine kretanja vozila. Podaci dobiveni tijekom razdoblja od 3,5 mjeseci pokazali su da se prekomjerna brzina kretanja vozila može smanjiti za 40 %.

Daniels i suradnici [13] predstavili su rezultate dviju evaluacijskih studija u Belgiji koje su analizirale dvije dodatne vrste oznaka na kolniku kojima bi se vozače potaklo na poštivanje ograničenje brzine kretanja od 70 km/h. Prva vrsta oznaka bila je bijela linija dužine 0,5 m izvedena na svakih 50 m s desne strane kolnika, blizu postojeće kontinuirane rubne linije u uzdužnom smjeru. Drugi tip oznake bio je bijeli broj "7" izveden kao i prvi tip oznake, blizu rubne linije uz ponavljanje svakih 50 m. Njihov utjecaj na ponašanje vozača praćen je na dva načina: terenskim istraživanjem na četiri segmenta ceste i na simulatoru vožnje. Rezultati prvog dijela istraživanja nisu pokazali značajnost utjecaja većeg broja oznaka na brzinu vožnje. Ipak, utjecaj dodatnih oznaka na bočno pozicioniranje vozila zabilježen je na simulatoru vožnje.

Ding i suradnici proveli su nekoliko studija simulatora vožnje s ciljem utvrđivanja ponašanja vozača, odnosno njihove psihološke i fizičke reakcije na oznake namijenjene smanjenju brzine vožnje [14], [15] i [16]. Rezultati pokazuju da poprečne oznake na kolniku mogu značajno pozitivno utjecati na ponašanje vozača (smanjenje brzine vožnje i pravilnije pozicioniranje vozila unutar kolničke trake) te se preporučuju na dionicama cesta s nizbrdicom odnosno nagibom $\geq 2\%$. S druge strane, uzdužne oznake na kolniku za smanjenje brzine preporučuju se na dionicama cesta s nizbrdicom odnosno nagibom većim od 3% .

Yotsutsuji i suradnici [17] proučavali su učinke sekvencijalnih poprečnih i bočnih oznaka na kolniku na percipiranu brzinu na jednotračnoj ravnoj cesti koristeći simulator vožnje. Različite konfiguracije poprečnih oznaka na kolniku zajedno sa smjerokaznim stupićima stvorene su na takav način da se razmak između poprečnih oznaka i smjerokaznih stupića postupno smanjivao. Rezultati su pokazali da je percipirana brzina veća od stvarne brzine vozila kojom su ispitanici vozili na simulatoru vožnje.

Charlton, Starkey i Malhotra [18] koristili su simulator vožnje kako bi testirali potencijalne mjere za poštivanje ograničenja brzine koristeći dvije vrste oznaka na kolniku. Prvi tip mjera dizajniran je tako da pruži vizualno različite oznake za označavanje ograničenja brzine od 60, 80 i 100 km/h („pažnja“), dok je drugi tip mjera („percepcija“) dizajniran tako da utječe na vozačevu percepciju brzine. Te su oznake također uspoređene sa standardnim nediferenciranim skupom oznaka. Sudionici su dodijeljeni jednoj od četiri eksperimentalne skupine (pažnja-eksplicitna, pažnja-implicitnost, percepcija-eksplicitna, percepcija-implicitnost) ili su dodijeljeni kontrolnoj skupini. Eksplicitnim skupinama objašnjeno je značenje oznaka na kolniku, dok implicitne i kontrolirane grupe nisu dobile nikakvo objašnjenje. Tijekom prve vožnje sudionici su vozili na pet simuliranih cesta dužine 10 km koje su sadržavale tri brzinske zone (60, 80 i 100 km/h). Nakon otprilike tri dana sudionici su prošli još pet ispitivanja, uključujući ceste koje nisu vidjeli ranije te ocjenjivanje koje je uključivalo sporedni zadatak i testnu dionicu na kojoj su bili uklonjeni znakovi brzine i prisutne samo oznake. Autori su zaključili da povezivanje oznaka na kolniku sa specifičnim ograničenjima brzine može biti koristan način za poboljšanje usklađenosti s ograničenjem brzine i povećanje homogenosti brzine. Slične mjere označavanja kolnika cesta korištene su i za upozoravanje vozača na horizontalne zavoje, raskrižja, segmente cesta i priključke na prijelazu iz ruralnih dijelova u grad. Naime, rizik od prometnih nesreća u navedenim je situacijama visok zbog promjene u geometriji i pružanju ceste što zahtijeva prilagodbu ponašanja vozača.

Autori Hussain i suradnici [19] istraživali su učinak postupnog povećanja svjetline i/ili veličine oznaka na kolniku s ciljem ograničenja brzine kretanja. Istraživanje provedeno na simulatoru vožnje repliciralo je stvarne uvjete i okruženje Doha autoceste u Kataru uzimajući u obzir kratke prijelazne zone za prilagodbu brzine kretanja. Osamdesetijedan ispitanik s valjanom vozačkom dozvolom vozio je dvije testne vožnje ukupne duljine 16 km pri čemu je simuliran prijelaz iz ruralnog područja u predgrađe uz reduciranje brzine kretanja putem dvije međusobno odvojene zone. Prva zona označavala je reduciranje brzine sa 120 na 100 km/h, a druga sa 100 na 80 km/h pri čemu su oznake na kolniku – u obliku znaka za ograničenje brzine kretanja – bile izvedene u tri kombinacije. Prva je kombinacija podrazumijevala jednaku veličinu oznaka na kolniku mijenjajući njihovu razinu vidljivosti u odnosu na određeni međusobni razmak, u drugoj kombinaciji oznake na kolniku bile su jednake razine vidljivosti, ali različitih veličina u odnosu na međusobni razmak, dok je treća kombinacija obuhvatila prethodne dvije. Najučinkovitiji rezultati zabilježeni su kod treće kombinacije primijenjenih oznaka na kolniku (različite veličine i razine vidljivosti oznaka na kolniku) uz maksimalno prosječno smanjenje brzine za 5,3 km/h u prvoj zoni (sa 120 na 100 km/h) i 4,6 km/h u drugoj zoni (sa 100 na 80 km/h). Što se tiče promjene bočnog položaja vozila, rezultati su pokazali da predložene oznake na kolniku nisu negativno utjecale na bočni položaj vozila na cesti jer je maksimalna uočena standardna devijacija bočnog položaja iznosila oko 0,065 m.

1.3.1.3. Utjecaj oznaka na kolniku na ponašanje vozača prilikom vožnje u zavojima

Osim utjecaja oznaka na kolniku na percepciju vozača tijekom vožnje ravnim dijelovima ceste, studija iz 1980. godine [20] pokazuje kako vozači sporije voze kroz zavoje ako na cestama nema rubnih linija. Povećanje brzine noću nakon označavanja kolnika rubnim linijama autori su ocijenili pozitivnim jer su one bile niže u odnosu na zabilježene brzine tijekom vožnje danju. Opsežnije istraživanje ponašanja vozača prilikom prolaza kroz zavoje ceste zabilježeno je u studiji Agenta i Creasyja [21]. Istraživanje je uključilo analizu utjecaja smjerokaznih oznaka/markera, poprečnih oznaka za upozoravanje, vibracijskih oznaka, bočnih stupova i znakova za označavanje zavoja. Rezultati ukazuju na značajno smanjenje prelaska vozila preko središnje linije prilikom uporabe bilo koje navedene mjere.

Comte i Jamson [22] testirali su četiri mjere smanjenja brzine u zavojima koristeći simulator vožnje, od kojih je jedna bila bazirana na poprečnim oznakama na kolniku. Rezultati istraživanja

potvrdili su značajne potencijale poprečnih oznaka na kolniku u smanjenju brzine vožnje prilikom prolaska kroz zavoje ceste.

Slično je proveo i Charlton [23] na temelju usporedbe relativne učinkovitosti različitih vrsta upozorenja, uključujući oznake na cesti, na brzinu vožnje u zavojima pomoću simulatora vožnje. Nekoliko godina kasnije Charlton [24] je testirao dvije vrste mjera za reduciranje brzine vožnje kroz zavoje ceste: znakove upozorenja i oznake na cesti. Znakovi upozorenja bili su postavljeni prije zavoja kako bi upozorili vozače i potaknuli ih na smanjenje brzine vožnje prilikom približavanja samom zavoju, dok su oznake na kolniku dizajnirane tako da utječu na brzinu i položaj vozila unutar voznih traka zavoja. Autori su zaključili da samo poprečne vibracijske trake (proizvedeći vibracije) znatno smanjuju brzinu vožnje, dok je obilježavanje kolnika poprečnim oznakama na kolniku u obliku riblje kosti znatno utjecalo na položaj vozila unutar voznih traka zavoja.

Učinak poprečnih linija i njihov dizajn na smanjenje brzine vožnje kroz zavoje ceste proučavali su i Katz, Duke i Rakha [25]. Terenska studija, u kojoj je mjerena brzina vožnje, provedena je u tri faze: 1) prije izvođenja oznaka, 2) nedugo nakon izvođenja oznaka i 3) šest mjeseci nakon izvođenja oznaka. Rezultati studije pokazali su značajno smanjenje brzine kada su izvedene četiri poprečne linije na razmaku od 1 sekunde pri samom prilazu zavoju.

Rosey i suradnici [26] testirali su četiri mjere povezane s boljom uočljivosti te proučili njihov utjecaj na ponašanje vozača na ruralnim cestama s različitim smjerom horizontalnih zavoja ceste. Mjere su podrazumijevale obojenu središnju liniju, postavu čunjeva, vibracijske trake izvedene s lijeve i desne strane središnje linije te čvrste (asfaltirane ili šljunkom nasipane) bankine. Ispitanici su vozili simuliranom ruralnom cestom s dva različita horizontalna zavoja ukupne dužine 3 km, a analiza je uključivala četiri segmenta: kretanje kroz prvi zavoj, kretanje kroz drugi zavoj, kretanje nakon prvog zavoja i kretanje nakon drugog zavoja. Rezultati su pokazali kako vozači voze unutar svojeg prometnog traka ako su linije s obje strane središnje linije bile izvedene kao vibracijske trake i ako su bankine bile čvrste (izvedene asfaltiranjem ili nasipavanjem šljunka) u usporedbi s tipičnom središnjom linijom ili drugim tipičnim mjerama.

Coutton-Jean i suradnici [27] istraživali su ulogu rubnih linija u vožnji zavojima ceste ispitujući ponašanje vozača prilikom nailaska na neočekivanu promjenu u geometriji ceste. Scenarij se sastojao od jednotračne ceste s osam zavoja od 90° i radijusima zakrivljenosti koji variraju između 75 i 500 m, a odijeljenih ravnim pravcem dužine 500 m. Autori su koristili prirodu simulatora

temeljenu na modelu kako bi stvorili neočekivane promjene u geometriji zavoja ceste postupnim pomicanjem jedne ili obje rubne linije. Rezultati su pokazali kako vozači sijeku zavoje osim kada se rubne linije nisu pomicale. Vozači su stabilizirali svoj položaj unutar trake tijekom radijusa zakrivljenosti od 20° do 70° , krećući se bliže unutarnjem rubu radi uže širine linije i manjih radijusa zakrivljenosti.

Usporedba simulatora vožnje i terenskog ispitivanja orijentiranog na poprečne oznake za označavanje u zavoju ceste provedena je u istraživanju Auberleta i suradnika [28]. Ukupno je testirano pet mjera, a dvije su primijenjene na terenskom ispitivanju: vibracijske trake s obje strane središnje linije i čvrste bankine. Rezultati pokazuju da vibracijske trake s obje strane središnje linije utječu na bočni položaj vozila, odnosno sudionici su vozili bliže središnjem dijelu trake.

Montella i suradnici [29] također su proveli istraživanje na simulatoru vožnje simulirajući ponašanje vozača prilikom vožnje u zavojima na ruralnoj autocesti s dva prometna traka. Primijenjene različite upozoravajuće mjere usmjerene na vozače upozoravale su na prisutnost zavoja manjeg radijusa te utjecale na promjenu ponašanja vozača prilikom vožnje kroz same zavoje. Primijenjene mjere sastojale su se od upozoravajućih prometnih znakova i oznaka na kolniku. Rezultati su pokazali kako oznake na kolniku posebnog dizajna (izvedene u obliku zmajevih zubi, različito obojene poprečne oznake i različiti oblici graničnika) imaju značajne učinke na ponašanje vozača prilikom vožnje prije samog zavoja te unutar samog zavoja. Nadalje, autori ističu da je smanjenje brzine prilikom prilaska zavoju postignuto sa svim navedenim mjerama pružajući vozačima pravovremenu informaciju o nailasku zavoja i prilagođavanja brzine kretanja.

U istraživanju provedenom 2016. godine [30], autori su pomoću simulatora vožnje analizirali utjecaj oznaka na kolniku na ponašanje vozača tijekom vožnje kroz horizontalne zavoje. Cilj istraživanja bio je prikazati učinak smanjenja brzine vožnje primjenom dviju vrsta oznaka na kolniku, točnije poprečnim vibracijskim trakama i oznakama u obliku riblje kosti obrnuto usmjerenima na smjer kretanja vozila. Rezultati istraživanja pokazali su da se brzina i bočna kontrola vozila razlikuju u ovisnosti o vrsti oznake. Poprečne vibracijske trake smanjile su brzinu u većoj mjeri u odnosu na oznake u obliku „riblje kosti“, dok je održavanje bolje bočne kontrole vozila pripalo oznakama u obliku „riblje kosti“. Preporuka koja se odnosi na to koju vrstu oznaka primijeniti za učinkovitije označavanje opasnosti ovisi o točnom mjestu gdje se događaju nesreće u zavoju. Autori preporučuju poprečne vibracijske trake u slučajevima kada se nesreće javljaju

prvenstveno blizu ulaza u zavoj, dok se primjena oznaka u obliku riblje kosti predlaže kod nesreća koje se događaju na kraju horizontalnog zavoja.

Učinkovitost perceptivnih mjera na označavanje zavoja ceste prilikom prijelaza između dva stupnja na kolniku (cesta koja je u usponu, a nakon prijelaza brijega u padu) proučavao je Calvi [31]. Studija provedena na simulatoru vožnje sastojala se od tri perceptivne mjere: primjena poprečnih bijelih oznaka na kolniku, crvenih poprečnih pravokutnika s natpisom i optičkih oznaka za brzinu. Njihova učinkovitost procijenjena je na temelju subjektivnih mjera koje su podrazumijevale vozačevu procjenu brzine, percepciju rizika i razumijevanja oznaka na kolniku na temelju slika snimljenih na ekranu simulatora vožnje prilikom primijenjenih navedenih mjera. Rezultati istraživanja pokazali su kako su poprečne bijele oznake na kolniku, posebno crveni pravokutnici s natpisom, osigurale najveće smanjenje brzine (oko 6 km/h) što potvrđuje učinkovitost takve primijenjene mjere na smanjenje brzine vožnje.

Hussain i dr. [32] pomoću simulatora vožnje testirali su utjecaj oznaka na kolniku izvedenih u obliku optičkih krugova i malih pravokutnika složenih u obliku riblje kosti na ponašanje vozača tijekom ulaska u zavoj na dionici ruralne ceste s dvije prometne trake. Rezultati su pokazali učinkovitost obje vrste oznaka u odnosu na smanjenje brzine vožnje prije ulaska u zavoj, ali je postupno smanjenje brzine zabilježeno samo kada su korišteni optički krugovi. S druge strane, mali pravokutnici složeni u obliku riblje kosti znatno više su utjecali na bočni položaj u odnosu na optičke krugove. Na temelju rezultata, autori su zaključili kako su optički krugovi učinkovite mjere za smanjenje brzine vožnje i povećanje pozornosti vozača, dok mali pravokutnici složeni u obliku riblje kosti pridonose boljem zadržavanju vozila u traku prilikom kretanja kroz zavoj te na taj način sprječavaju mogućnost frontalnog sudara vozila.

1.3.1.4. Utjecaj oznaka na kolniku na ponašanje vozača prilikom približavanja raskrižju

Osim istraživanja i analize utjecaja oznaka na kolniku na ponašanje vozača prilikom vožnje u zavojevima, nekoliko je studija istraživalo njihov utjecaj prilikom približavanja raskrižju.

Godley i suradnici [33] istražili su i analizirali različite mjere (poprečne oznake, obodno izvedene poprečne oznake, pravokutnike izvedene u obliku riblje kosti, iluzijske oznake „Wundta“ te postavu drveća na rub ceste) na prilazu raskrižju. Rezultati pokazuju značajno smanjenje brzine prilikom primjene bilo koje od navedenih mjera.

Thompson, Burris i Carlson [34] proveli su studiju kako bi utvrdili učinkovitost poprečnih zvučnih traka na vozače koji su se približavali ruralnim raskrižjima gdje je bilo obavezno

zaustavljanje. U tu svrhu, autori su mjerili brzinu vozila na određenim lokacijama (prije i nakon postavljanja poprečnih zvučnih traka) prilikom približavanja raskrižju s obaveznim zaustavljanjem. Rezultati su pokazali kako su poprečne zvučne trake uglavnom proizvele mala, ali statistički značajna smanjenja brzine vozila prilikom približavanja raskrižju. Amplituda njihovog utjecaja tijekom dana i noći ili različitih dana u tjednu nije bila jasno određena.

Koristeći simulator vožnje, Montella i suradnici [35] istraživali su utjecaj različitih percepcijskih mjera na vozne karakteristike na glavnim prilazima ruralnom raskrižju. Metoda se sastojala od dvije vožnje na testnoj ruti. Autori su u analizi koristili tri različite metode: (a) klaster analize podataka o brzini i bočnom položaju, (b) statistička ispitivanja podataka o brzini i bočnom položaju i (c) kategoričku analizu ponašanja vozača prilikom usporavanja. Rezultati su pokazali kako su najučinkovitije mjere bile oznake izvedene u obliku „zmajeva zuba“, obojeno područje samog križanja i uzdignuti pješački prijelaz. Ove mjere, u usporedbi s osnovnim raskrižjem (bez primjene mjera), proizvele su: značajno smanjenje brzine i to 250 m prije raskrižja prilikom čega je smanjenje brzine u prosjeku iznosilo između 13 i 23 km/h, značajnu promjenu ponašanja vozača u smislu povećanja broja vozača koji su smanjili brzinu u odnosu na one koji nisu i smanjenje odstupanja od početne točke postupnog smanjenja brzine (gotovo identična pozicija početka usporavanja brzine vožnje).

Iste godine Zamora, Allaby i Charters [36] predstavili su svoj rad u kojem je istražena i analizirana djelotvornost pet mjera (poprečne pravokutne oznake, obodne kvadratne oznake, obodno postavljene oznake u obliku trokuta i postupno povećanja širine poprečnih oznaka u odnosu na približavanje raskrižju) za smanjenje brzine prilikom približavanja ključnim raskrižjima. Studija se sastojala od dva dijela: vožnje na simulatoru vožnje u kojem je određen optimalni dizajn oznaka na kolniku i terenske studije. Rezultati pokazuju da niskobudžetne (novi dizajn oznaka na kolniku) mjere potiču vozače na smanjenje brzine prilikom približavanja raskrižjima na samom ulazu u grad. Osim toga, poprečne kvadratne oznake na kolniku pokazale su najbolje rezultate smanjenja brzine.

1.3.2. Istraživanja vezana uz razinu vidljivosti oznaka na kolniku na ponašanje vozača

Istraživanja vezana uz vidljivost oznaka na kolniku usmjerena su ponajprije na utvrđivanje maksimalne udaljenosti uočavanja oznaka te određivanje minimalnih razina retrorefleksije potrebnih vozačima u suhim i mokrim uvjetima, kao i ostalih čimbenika koji utječu na vidljivost oznaka.

Znanstvena su istraživanja dokazala kako se maksimalna udaljenost uočavanja oznaka na kolniku povećava s povećanjem njihove retrorefleksije, ali neproporcionalno [37]. Tako su oznake retrorefleksije 100 mcd/lx/m² u prosjeku vidljive s 91,44 m, dok su oznake retrorefleksije 300 mcd/lx/m² vidljive u prosjeku s 121,92 m.

Veliki broj znanstvenih istraživanja vezan je uz vidljivost oznaka na kolniku koje su usmjerene određivanju minimalnih razina retrorefleksije, a koje su potrebne vozačima u suhim i mokrim uvjetima. Graham i suradnici [38] objavili su rezultate terenskoga istraživanja provedenog s ciljem utvrđivanja subjektivne razine retrorefleksije potrebne starijim vozačima pri vožnji s kratkim svjetlima. Ukupno je ispitano 65 ispitanika u dobi od 20 do 89 godina tako da su se ocjenjivala 24 segmenta ceste, pri čemu su vrijednosti retrorefleksije oznaka na kolniku svakoga segmenta bile različite. Rezultati studije pokazali su kako je više od 85 % ispitanika starijih od 60 godina ocijenilo retrorefleksiju od 100 mcd/lx/m² kao minimalnu odnosno dovoljnu.

Autori Zwahlen i Schnell [39] proveli su istraživanje čiji je cilj bio testirati i potvrditi hipotezu kako vozači prilagođavaju svoju naviku prostornog skeniranja i brzinu vožnje u funkciji vidljivosti oznaka na kolniku. Studija je provedena na četiri dvotračne ruralne ceste na kojima su u prvom dijelu istraživanja oznake bile postojeće (stare), a u drugom obnovljene. Rezultati su zabilježili vrlo kratka vremena trajanja pogleda vozača te kako ne smanjuju brzinu vožnje u uvjetima niske vidljivosti (kod postojećih oznaka) u usporedbi s brzinama pri višim razinama vidljivosti (kod obnovljenih oznaka). Međutim, vozačima se sustavno i dosljedno smanjuje longitudinalna (uzdužna) udaljenost fiksacija pogleda u uvjetima niže vidljivosti oznaka.

Isti su autori korištenjem posebnog računalnog programa za ocjenjivanje vidljivosti oznaka na kolniku utvrdili kako postoji značajna razlika u subjektivnim ocjenama minimalnih razina retrorefleksije između mladih i starijih vozača [40].

Slična su istraživanja proveli i Loetterle, Beck i Carlson 2000. [41], Parker i Meja 2003. [42] te Debaillon i suradnici 2007. godine [43]. Rezultati navedenih studija predstavljaju vrijednosti retrorefleksije od 120, 150 i 130 – 140 mcd/lx/m² kao minimalne koje su potrebne vozačima za sigurnu vožnju.

Osim navedenih studija kojima je cilj bio određivanje minimalnih vrijednosti retrorefleksije u suhim uvjetima, niz je istraživanja provedeno s ciljem dobivanja uvida o potrebama vozača u mokrim noćnim uvjetima.

Gibbons i Hankey 2007. [44] utvrdili su da trake kao materijal za izradu oznaka na kolniku imaju najbolju vidljivost i najveću udaljenost detekcije u mokrim uvjetima. Slične rezultate imaju i termoplastični materijali, dok su najlošije boje. Također, autori su utvrdili postojanje logaritamsko-linearnoga odnosa između udaljenosti detekcije i vrijednosti retrorefleksije.

Evaluaciju vidljivosti oznaka na kolniku sa specijalno dizajniranim retroreflektirajućim materijalima (staklenim perlama) za mokre uvjete proveli su Higgins i suradnici 2009. godine [45]. Studija je uključivala tri tipa retroreflektirajućih materijala na bojanim oznakama i oznakama koje su izvedene trakom. Svi su navedeni sustavi testirani tijekom noći u suhim, mokrim i kišnim uvjetima na zatvorenom testnom području. U mokrim su uvjetima sve tri vrste staklenih perla na oba materijala (boja i trake) zadržavale između 60 % i 80 % njihove prosječne dnevne udaljenosti uočavanja, dok je tijekom kišnih uvjeta prosječna udaljenost uočavanja pala između 50 % i 70 % njihove prosječne dnevne udaljenosti uočavanja. U usporedbi s time, standardni su retroreflektirajući materijali na bojanim oznaka u istim uvjetima zadržavali između 17 % i 28 % svoje prosječne dnevne uočljivosti.

Gibbons, Williams i Cottrell 2012. [46] na temelju subjektivnog ocjenjivanja vidljivosti oznaka izvedenih od četiriju različitih materijala uz simulirane kišne uvjete predlažu 150 mcd/lx/m² kao minimalnu vrijednost retrorefleksije uz ograničenje brzine 90 km/h u suhim uvjetima te 60 km/h u mokrim uvjetima. Navedeni je minimum jednak za oznake bijele i žute boje.

Autori u sklopu projekta Rainvision (2016.) [47] kroz tri godine bavili su se istraživanjem utjecaja oznaka na kolniku na ponašanje vozača u svim vremenskim uvjetima (suhi i kišni uvjeti) te time kako različite dobne skupine prilagođavaju svoje ponašanje na temelju vidljivosti odnosno retrorefleksije oznaka na kolniku. Projekt je proveden u tri različita ispitivanja: simulacijsko ispitivanje u Francuskoj, testno ispitivanje na trkačkoj stazi u Austriji i ispitivanje na terenu (10 visokorizičnih dionica) u Ujedinjenom Kraljevstvu u suradnji s lokalnim vlastima. Simulacijsko i terensko ispitivanje provedeno je na više od 100 ispitanika tri dobne skupine: 20 – 40, 41 – 60 i 60+ godina. Rezultati projekta pokazuju da prisutnost kvalitetnijih oznaka na kolniku (oznake više retroreflektirajuće razine ili oznake tipa II) značajno povećavaju udobnost vozača – posebno onih starijih – noću i u kišnim uvjetima. Naime, simulacijskim ispitivanjem zabilježen je porast grešaka vozača od 70 % kada su oznaka bile slabo ili nikako vidljive. Osnovni nedostatak navedenog istraživanja vezan je uz ograničenosti simulacijskog alata koji nije omogućavao bilježenje važnih

parametara kao što su brzina, ubrzanje, usporavanje, kočenje, itd., a koji bi omogućili holističku procjenu utjecaja kvalitetnijih oznaka na kolniku na ponašanje vozača.

1.3.3. Utjecaj prometnih znakova na percepciju vozača i sigurnost prometa

Kako bi vozači u prometu pravovremeno vidjeli, uočili te prepoznali prometne znakove, oni – kao i oznake na kolniku – moraju imati adekvatnu razinu vidljivosti, posebno noću te biti razumljivi, jasni i čitljivi, odnosno dizajnirani sukladno ergonomskim principima.

Izravna veza između vjerojatnosti razumijevanja prometnih znakova na autocesti i mjera koje su u skladu s tri ergonomska načela (kompatibilnost, poznavanje i standardizacija sadržaja prometnih znakova) prikazana je u istraživanju iz 2006. godine [48]. Ono je provedeno u četiri različite zemlje pri čemu je sudionicima prikazano 30 različitih prometnih znakova i od njih zatraženo da opišu značenje svakog. Istraživanje je utvrdilo veliku varijabilnost u razumijevanju svakog prometnog znaka (razina razumijevanja uvelike se razlikuje od zemlje do zemlje) uz visoku korelaciju između ocjena sudionika i ocjene stručnjaka o kompatibilnosti istih. Prema preporuci autora, dizajn znakova trebao bi se voditi utvrđenim načelima ergonomije radi što boljeg razumijevanja, posebno za one vozače koji se prethodno nisu susreli s određenim prometnim znakovima.

Istraživanje iz 2012. [49] ukazuje na promjenu reakcije vozača prilikom prepoznavanja prometnih znakova koji sadrže više informacija. Istraživanje je provedeno na simulatoru vožnje i u njemu je sudjelovalo 20 ispitanika dobne skupine 22 – 30 godina vozeći dvotračnom cestom duljine 7 km. Cilj istraživanja bio je utvrditi reakciju ispitanika na prometne znakove različitih informacija pri brzini od 80 km/h, 100 km/h i 120 km/h bilježeći pritom trajanje fiksacije na određeni prometni znak, vrijeme prepoznavanja prometnog znaka, promjenu ubrzanja i bočnog pomaka vozila. Rezultati istraživanja ukazuju na veću usredotočenost na prepoznavanje prometnih znakova prilikom veće brzine vožnje dok se vrijeme fiksacije, ponovnog ubrzanja i prostornog razmaka povećava s povećanjem sadržaja informacija na prometnom znaku. S obzirom na sadržaj informacija, preporuka je da na jednom prometnom znaku ne bude više od sedam informacija.

Univerzalna metoda zamjene riječi na dopunskim pločama koje dopunjuju prometne znakove s univerzalnim simbolom dana je u istraživanju iz 2014. godine [50]. Autori preporučuju simbole (umjesto riječi na dopunskim pločama) koji su već poznati vozačima u ostalim situacijama, dok u slučaju gdje nema postojećeg simbola koji bi mogao zamijeniti tekstualnu informaciju predlažu

nove simbole koji pobliže prenose informaciju prometnog znaka koja je prethodno bila iskazana tekstualno.

Slično istraživanje [51] provedeno je 2015. godine analizom vremena prepoznavanja prometnih znakova kod mlađih i starijih vozača. U istraživanju je sudjelovalo 50 mlađih ispitanika (23 – 30 godina) te 50 starijih (65 – 91 godina) prilikom čega se pratilo njihovo vrijeme potrebno za prepoznavanje 28 prometnih znakova prezentiranih na bijeloj podlozi i u stvarnom cestovnom okruženju. Rezultati pokazuju značajno bolje i kraće vrijeme prepoznavanja kod mlađih ispitanika, dok prometno okruženje nije značajnije utjecalo na razumijevanje znaka kod obje grupe ispitanika. Na temelju ovakvih rezultata predloženo je provođenje edukacija s ciljem obnove poznavanja znakova za stariju populaciju vozača, ali i redizajniranje ili dodavanje tekstualnih i simboličkih pojašnjenja za znakove kojima je značenje pogrešno protumačeno.

Istraživanje pokreta očiju i moždanih oscilacija (EEG podaci) u odnosu na različitost simbola znakova opasnosti i njihovog različitog tumačenja proveli su autori Siswandari i Xiong [52]. Istraživanje je obuhvatilo 42 mlađa ispitanika (24 muška ispitanika prosječne starosti 21,2 godine i 18 ženskih ispitanika prosječne starosti 20,2 godine) čiji je zadatak bio utvrditi značenje 10 prometnih znakova. Znakovi su bili podijeljeni u dvije skupine u odnosu na kompleksnost simbola: lako i teško razumljivi znakovi. Rezultati pokazuju kako razina razumljivosti simbola prometnih znakova značajno utječe na pokrete očiju ispitanika, kao i na povećanu moždanu aktivnost (EEG podaci). Drugim riječima, s porastom kompleksnosti znaka treptaji oka su se usporili, otvor zjenice povećao, a vrijeme do prve fiksacije produljilo.

Razumijevanje i potrebno vrijeme razumijevanja prometnih znakova između mlađih i starijih vozača provedeno je u istraživanju objavljenom 2015. godine [53]. U njemu je sudjelovalo 100 ispitanika (50 mlađih i 50 starijih vozača) kojima je kompjutorskim programom predstavljeno 28 slika izraelskih prometnih znakova bez okruženja i u okruženju, odnosno kada su bili postavljeni na cesti. Mlađi su vozači pokazali znatno kraće vrijeme prepoznavanja, puno veću točnost te kraće vrijeme reakcije (*response time*) u odnosu na starije vozače. Autori navode kako način prezentacije prometnih znakova nije utjecao na njihovo razumijevanje niti jedne skupine, ali je prisutnost okruženja u kojem se prometni znak nalazio povećalo vrijeme potrebno za razumijevanje značenja prometnog znaka.

Utjecaj poznavanja ceste i njezina okruženja na percepciju prometnih znakova dan je u istraživanju Babića i suradnika [54]. Istraživanje je provedeno na dionici državne ceste DC 30 u

Zagrebačkoj županiji duljine 9 km i sa 143 prometna znaka (71 u jednome i 72 u drugome smjeru) uz uporabu Tobii Pro sustava za praćenje oka vozača, a time i analizu vozačeve percepcije prometnih znakova. U istraživanju je sudjelovalo 10 ispitanika koji su vozili isto vozilo na istoj ruti pet puta. Rezultati pokazuju da vozači manje percipiraju prometne znakove kako im ruta i uvjeti na cesti postaju poznatiji, odnosno, najviše su znakova percipirali tijekom svoje prve vožnje, a u svakoj sljedećoj vožnji broj percipiranih znakova se smanjivao.

1.3.4. Utjecaj opreme i mjera za smirivanje prometa na percepciju vozača i sigurnost prometa

Autori u istraživanju iz 2013. godine [55] prikazuju simulacijsko istraživanje o utjecaju mjera za smirivanje prometa u urbanim sredinama na ponašanje u vožnji i opterećenje vozača. Ovim istraživanjem ispitan je utjecaj mjera za smirivanje prometa na glavnim cestama u ruralnim i urbanim sredinama. Posebno je istražen učinak konstrukcije ulaza u urbane dijelove pomoću razdjelnih otoka i horizontalnih zavoja unutar urbanog područja na ponašanje vozača i prometno opterećenje. Ispitni uzorak sastojao se od 46 sudionika koji su bili podvrgnuti probnoj vožnji od 34 km na simulatoru vožnje kroz šest različitih situacija:

1. zavoji – prisutni i odsutni
2. razdjelni otoci – prisutni i odsutni
3. vrijeme reakcije na podražaj u perifernom vidnom polju – prisutni i odsutni.

Istraživanja pomoću srednjeg vremena odziva (RT) i vremena reakcije pokazala su da su vozači percipirali cestu izvan gradskog područja kao kognitivno manje zahtjevnu u odnosu na složeniju cestovnu okolinu unutar urbanog područja. Horizontalni zavoji koji su bili prisutni duž cijele trase urbane površine induciral su smanjenje brzine, a varijabilnost ubrzanja/usporenja i bočnog položaja vozila su se povećali. Osim toga, vrijeme odziva i reakcije bilježi dulje vrijeme reakcije kada su bili prisutni zavoji (u odnosu na njihovu odsutnost). Razdjelni otoci smanjili su brzinu (samo kratko na početku i kraju otoka) te neznatno povećali varijabilnost ubrzanja/usporenja i bočnog položaja vozila u blizini ulaza u naselje. Zaključak istraživanja je da i horizontalni zavoji i razdjelni otoci mogu poboljšati sigurnost prometa u urbanim i ruralnim sredinama.

Istraživanje iz 2014. godine [56] analizira utjecaj razdjelnih otoka primjenom simulatora vožnje s ciljem utvrđivanja efektivnosti navedenih mjera za smirivanje prometa tijekom vremena. Kao glavni motiv za provođenje istraživanja, autori naglašavaju činjenicu da su prijelazi iz ruralnih u urbana područja mjesta sklona nastanku prometnih nesreća te kako su neprimjerena brzina i nedovoljno praćenje situacije u prometu neki od ključnih uzroka nastanka takvih prometnih

nesreća. Cilj ovog istraživanja je ispitati što se događa s ponašanjem vozača kada se naviknu na mjeru smirivanja prometa, u ovom slučaju utjecaj razdjelnih otoka na prijelazu iz ruralnih u urbana područja. Tijekom razdoblja od pet uzastopnih dana, 17 sudionika bilo je podvrgnuto testiranju na 17 km dugoj dionici ceste na simulatoru vožnje s dvije konfiguracije prolaznih puteva, odnosno s prisutnim i odsutnim razdjelnim otocima. Rezultati ukazuju da je prisutnost razdjelnih otoka potaknulo smanjenje brzine vožnje koje se održalo tijekom svih pet dana ispitivanja. Iako su sudionici bili skloni ponovnom ubrzanju nakon prolaska pokraj središnjeg razdjelnog otoka, uvijek su se vozili brzinom određenom ograničenjem.

1.4. Osnovna hipoteza

Na temelju pregleda dosadašnjih istraživanja može se zaključiti da prometna signalizacija predstavlja izrazito važne elemente cestovne infrastrukture koji mogu – ako su pravilno dizajnirani i postavljeni – pozitivno utjecati na ponašanje vozača, a time i cjelokupnu sigurnost cestovnog prometa. Iako je većina istraživanja vezana uz utjecaj signalizacije i opreme na ponašanje vozača provedena na simulatoru vožnje, samo je manji dio njih analizirao njihov utjecaj u noćnim uvjetima kada prometna signalizacija predstavlja ključni izvor informacija.

Upravo je iz tog razloga cilj istraživanja u sklopu ove doktorske disertacije utvrditi povezanost između psihofizičkog opterećenja vozača i kvalitete (vidljivosti) prometne signalizacije u noćnim uvjetima primjenom simulatora vožnje, ETG naočala i EEG uređaja. Primjenom navedene suvremene istraživačke opreme omogućeno je mjerenje, odnosno utvrđivanje načina na koji vidljivost prometne signalizacije utječe na ponašanje vozača iz čega proizlazi glavna i pomoćne hipoteze istraživanja.

Glavna hipoteza istraživanja:

- Moguće je utvrditi odnos kvalitete prometne signalizacije i psihofizičkog opterećenja vozača u noćnim uvjetima vožnje.

Pomoćne hipoteze istraživanja:

- Kvaliteta prometne signalizacije u noćnim uvjetima uzrokuje promjene ponašanja vozača koje se očituju u promjeni brzine vožnje, bočnom položaju vozila te promjeni dinamike pokreta oka;
- Usporedbom psihofizičkog opterećenja vozača u dnevnim i noćnim uvjetima vožnje moguće je staviti u odnos utjecaj kvalitete prometne signalizacije na sigurnost prometa u noćnim uvjetima;

- Uključivanjem čimbenika s definiranom jačinom utjecaja na psihofizičko opterećenje vozača moguća je pouzdanija procjena razine kvalitete prometne signalizacije.

1.5. Metode istraživanja

Na temelju definiranog predmeta istraživanja, hipoteza, ciljeva istraživanja i znanstvenog doprinosa rada primijenjene su različite znanstvene metode. Metodom kompilacije i povijesne metode u vidu preuzimanja tuđih stavova, razmišljanja, zaključaka i spoznaja analizirani su rezultati prethodnih znanstvenoistraživačkih i stručnih radova te praktičnih primjera. Predmet istraživanja kao i način prikupljanja, mjerenja i analize podataka potrebnih za izradu ove doktorske disertacije pojašnjeni su metodom deskripcije. Metodom mjerenja prikupljeni su relevantni podaci pojedinog ispitanika zabilježeni prilikom vožnje na simulatoru vožnje uzimajući u obzir i podatke zabilježene putem naočala za praćenje pogleda (ETG naočala) te elektroencefalografa (EEG uređaja). Nakon provedenih mjerenja, metodama analize i sinteze te statističkom metodom određen je utjecaj pojedinog čimbenika na psihofizičko stanje vozača. Induktivnom i deduktivnom metodom oblikovane su nove činjenice i izvedeni pojedinačni zaključci na području utjecaja vidljivosti prometne signalizacije u uvjetima smanjene vidljivosti na psihofizičko stanje vozača.

1.6. Kompozicija rada

Doktorska će se disertacija sastojati od osam poglavlja.

Uvodnim razmatranjem argumentiran je i prikazan znanstveni problem, svrha i ciljevi istraživanja te su izneseni očekivani rezultati istraživanja u ovoj doktorskoj disertaciji. Navedena su i analizirana recentna znanstvena istraživanja koja su vezana uz problematiku disertacije te je dan očekivani znanstveni doprinos u polju tehnologija prometa i transport uz mogućnost primjene i implementacije rezultata istraživanja.

U drugom su poglavlju pod naslovom *Čimbenici sigurnosti cestovnog prometa* opisana i definirana generalna razmatranja vezana uz utjecaj čovjeka, ceste i okoline te vozila na sigurnost cestovnog prometa. S ciljem povećanja sigurnosti cestovnog prometa analizirani su i opisani suvremeni koncepti i strategije s fokusom na poboljšanje cestovne infrastrukture, prometne signalizacije i opreme.

U trećem su poglavlju pod naslovom *Definicija i podjela prometne signalizacije i opreme* definirani osnovni pojmovi, prikazana je njihova osnovna funkcionalna podjela u skladu sa zakonskom i podzakonskom regulativom u Republici Hrvatskoj te su navedeni materijali i elementi

neophodni za postizanje minimalne razine vidljivosti u noćnim uvjetima i uvjetima smanjene vidljivosti.

U četvrtom su poglavlju pod naslovom *Utjecaj vizualne percepcije i vidljivosti u noćnim uvjetima vožnje na psihofizičko stanje vozača* definirani i navedeni osnovni pojmovi vezani uz vizualnu percepciju i proces vizualne percepcije, prikazani osnovni zahtjevi za vožnju s aspekta psihofizičkoga opterećenja vozača te opisani vidljivost i percepcija u noćnim uvjetima vožnje.

U petom je poglavlju pod naslovom *Metodologija istraživanja* navedena i ukratko objašnjena znanstvenoistraživačka oprema i procedura ispitivanja. Prikazan je i elaboriran scenarij na simulatoru vožnje za provođenje istraživanja uz navođenje relevantnih varijabli istraživanja i statističkih metoda za obradu rezultata.

U šestom je poglavlju pod naslovom *Analiza dobivenih rezultata* detaljno opisana metodologija prikupljanja, analize i obrade podataka sa simulatora vožnje, naočala za praćenje pogleda (ETG naočala) i elektroencefalografa (EEG uređaj).

Sedmo poglavlje pod naslovom *Diskusija dobivenih rezultata* podrazumijeva analizu podataka dobivenih preklapanjem prikupljenih podataka sa simulatora vožnje, ETG naočala i EEG uređaja. Također će se iznijeti ograničenja prilikom znanstvenoga istraživanja, predložiti smjernice za buduća istraživanja te istaknuti originalnost rada.

Osmo poglavlje prikazuje diskusiju dobivenih rezultata provedenim istraživanjem. Analizom rezultata dobivenih preklapanjem svih prikupljenih podataka potvrdili su se zadani ciljevi i znanstvene hipoteze rada uz napomenuta ograničenja istraživanja koja predstavljaju temelj, odnosno planove i smjernice za buduća istraživanja.

U zaključnom dijelu disertacije navedene su spoznaje koje su dobivene tijekom utvrđivanja povezanosti kvalitete prometne signalizacije i psihofizičkog opterećenja vozača u noćnim uvjetima, prikazani dobiveni rezultati provedenog istraživanja po pojedinim poglavljima doktorske disertacije te definiran znanstveni doprinos i mogućnost primjene dobivenih rezultata.

1.7. Očekivani rezultati istraživanja

Na temelju dobivenih rezultata istraživanja (podaci sa simulatora vožnje, ETG naočala i EEG uređaja) pokušat će se dokazati da psihofizičko stanje vozača ovisi o skupu čimbenika kao što su: kvaliteta prometne signalizacije, brzina vožnje, dob i vozačko iskustvo, uvjeti vidljivosti, vizualna percepcija te ostali čimbenici koji bi mogli imati utjecaj.

Utvrđivanjem povezanosti između psihofizičkog opterećenja vozača i kvalitete prometne signalizacije dobit će se pouzdana procjena adekvatne kvalitete (razine vidljivosti) prometne signalizacije nužne za osiguravanje zadovoljavajuće razine sigurnosti cestovnog prometa.

1.8. Očekivani znanstveni doprinos

Na temelju postavljenih hipoteza, definiranih ciljeva i rezultata provedenog istraživanja očekuje se sljedeći znanstveni doprinos:

1. Utvrđivanje povezanosti između psihofizičkog opterećenja vozača i kvalitete prometne signalizacije u noćnim uvjetima
2. Utvrđivanje čimbenika koji utječu na psihofizičko opterećenje vozača u noćnim uvjetima
3. Određivanje optimalne razine kvalitete prometne signalizacije u noćnim uvjetima u svrhu povećanja sigurnosti cestovnog prometa.

1.9. Primjena rezultata istraživanja

Dobivene spoznaje istraživanjem povezanosti između psihofizičkog opterećenja vozača i kvalitete (razine vidljivosti) prometne signalizacije u noćnim uvjetima pomoći će u definiranju učinkovitijeg (racionalnijeg u odnosu na povećanje sigurnosti prometa) sustava održavanja prometne signalizacije, posebice u najrizičnijim prometnim situacijama kao što su: opasni zavoji, raskrižja, nailasci na pješake, prijelazi između ruralnih i urbanih dijelova cesta, itd. Osim učinkovitijeg sustava održavanja prometne signalizacije, rezultati istraživanja predstavljaju korisne smjernice prilikom izrade zakonskih regulativa, smjernica i strategija usmjerenih na sigurnost cestovnog prometa.

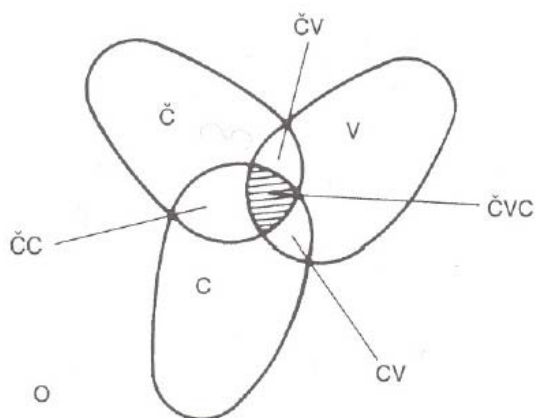
2. ČIMBENICI SIGURNOSTI CESTOVNOG PROMETA

Budući da više od 90 % informacija u prometu sudionici dobivaju vizualnim putem, vidljivost je pojam koji se u prometu često susreće. Iz navedene se činjenice može zaključiti kako je uloga vida ključna prilikom upravljanja vozilom i prikupljanja informacija tijekom vožnje [56]. Sam pojam vidljivosti u kontekstu prometa označava udaljenost na kojoj je moguće uočiti neku situaciju, sudionika u prometu ili objekt te se kao takav razlikuje od pojma uočljivosti.

Uočljivost se može definirati kao karakteristika nekog objekta ili stanje koje determinira hoće li se uhvatiti pozornost promatrača koji taj objekt ili situaciju nije očekivao. Na uočljivost utječe niz vizualnih značajki koje uključuju boju, uzorak, nijanse, svjetlost, kontrast, jedinstvenost, pokret, veličinu te relativnu lokaciju objekta ili situacije u odnosu na pozadinu, odnosno okolinu [57].

Tijekom dana vozači imaju mogućnost uočiti i obraditi sve – za upravljanje vozilom – važne vizualne informacije. U sumrak i noću sposobnost vida znatno se smanjuje. Za razliku od vožnje danju, kada je ograničen rad mozga jedini ograničavajući čimbenik, noću smanjena vidljivost dodatno sužava protok i količinu informacija.

Kao što je u uvodnom dijelu disertacije navedeno, na sigurnost cestovnog prometa utječe niz, u određenoj mjeri međusobno povezanih čimbenika koji se mogu kategorizirati u pet osnovnih skupina: čovjek, vozilo, cesta, promet na cesti i incidentni čimbenik (Slika 1.) [58].



Slika 1. Vennov dijagram međusobno povezanih čimbenika sigurnosti cestovnog prometa

Izvor: [58]

Grafičkim preklapanjem pojedinih čimbenika (Slika 1.) prikazuje se presjek utjecaja pojedinih čimbenika sigurnosti prometa. Ako dođe do preklapanja „slabosti“ svakog pojedinog čimbenika,

tada dolazi i do smanjenja sigurnosti prometa, a samim time i povećane mogućnosti nastanka prometne nesreće. S obzirom na ljudsku prirodu i sklonost pogreškama, zasigurno je najveći udio prometnih nesreća uzrokovan ljudskim faktorom. Prosječno se smatra da je za oko 85 % prometnih nesreća kriv čovjek, dok ostali čimbenici čine 15 % [58].

Međutim, novija istraživanja ukazuju na to da ljudske pogreške nisu uvijek pravi uzrok nesreća, odnosno da su one u određenoj mjeri izazvane manjkom adekvatnih informacija vezanih uz elemente ceste i njezine okoline. Budući da se komunikacija, odnosno prenošenje informacija između upravitelja cesta i sudionika u prometu u najvećoj mjeri ostvaruje putem prometne signalizacije, jasna je važnost njene kvalitete (razine vidljivosti) za cjelokupnu sigurnost prometnog sustava. Kako bi vozač mogao za vrijeme vožnje kvalitetno vidjeti postavljenu prometnu signalizaciju, najveći utjecaj na vozilu imaju prednja svjetla vozila koja šalju svjetlosni snop prema prometnoj signalizaciji i vjetrobranskom staklu kroz koje vozač prima reflektirano svjetlo natrag.

Novi pristup razmatranju uzroka nastanka prometnih nesreća analizira koliko je pojedini čimbenik sigurnosti prometa imao potencijalni utjecaj na nastanak pojedine prometne nesreće. Prema studiji iz 2020. godine [59], smatra se kako je čovjek u 57 % slučajeva potencijalni uzrok teških prometnih nesreća. U kombinaciji s cestom, on predstavlja potencijalni uzrok od 35 % teških prometnih nesreća dok ta brojka u kombinaciji s vozilom iznosi 6 % (Slika 2.).

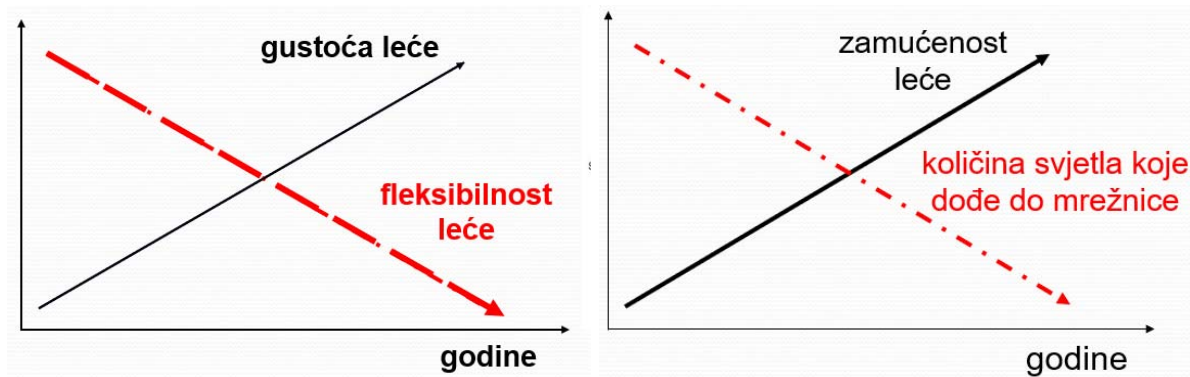


Slika 2. Udio nesreća sa smrtno stradalima i teško ozlijeđenima prema čimbeniku čovjek-cesta-vozilo (2010. – 2018.)

Izvor: [59]

2.1. Ljudski faktor kao čimbenik sigurnosti cestovnog prometa

Psihofizičko stanje vozača važan je čimbenik koji utječe na to kako će i kada vozač vidjeti te reagirati na postavljenu prometnu signalizaciju. Stanje vozača vezano je uz njegovu dob i određene privremene ili stalne utjecaje koji mijenjaju vozačevu sposobnost percepcije. Kod starijih vozača smanjena je kvaliteta vizualnih i kognitivnih sposobnosti, zbog čega je potrebno osigurati kvalitetnu i adekvatnu vidljivost prometne signalizacije kako bi vožnja noću i u uvjetima smanjene vidljivosti bila „udobnija“. Starenjem raste gustoća i zamućenost leće u oku te se gubi na njenoj fleksibilnosti što na kraju rezultira smanjenjem količine svjetlosti koja dolazi do mrežnice (Slika 3.) [57]. Navedeni problemi u konačnici mogu negativno utjecati na cjelokupnu sigurnost prometa, naročito u vizualno zahtjevnim uvjetima kao što je noć, kiša, magla, itd. Vizualnom oštrinom omogućuje se razabiranje finih detalja, stoga smanjenje oštine vida uvelike utječe na vozačevu sposobnost čitanja i razumijevanja prometne signalizacije, kao i na lakoću kojom se mogu otkriti i identificirati razni uvjeti. Također, minimalna razina osvjetljenja na koju se oko može prilagoditi, kao i vrijeme prilagodbe s jedne razine na drugu povećava se s godinama. Nakon duže vožnje pojavljuje se umor kod vozača zbog čega se smanjuje koncentracija, a pojavljuju se i pogrešno reagiranje te smanjenje oštine vida i drugih elementarnih funkcija vida.



Slika 3. Uzroci smanjenja vizualnih sposobnosti kod starijih ljudi

Izvor: [57]

Osim dobi, veliki utjecaj na vozačevu percepciju imaju alkohol, opijati, umor te ostali privremeni čimbenici. Alkohol i većina opijata umanjuju sposobnost vizualne percepcije te time skraćuju vrijeme reakcije, umanjuju koncentraciju i pozornost, otežavaju i usporavaju obradu i razumijevanje podataka koji su dobiveni putem osjetila, povećavaju samopouzdanje što može dovesti do rizične vožnje, uspavljaju vozača, itd. [57] i [58]. Upravo je vozačima pod navedenim utjecajima kvalitetna prometna signalizacija izrazito značajna, što dokazuju i znanstvena

istraživanja u kojima je zabilježena pozitivna promjena ponašanja vozača pod različitim utjecajima u slučaju kada su oznake na kolniku bile kvalitetno izvedene.

2.2. Cesta i okolina ceste kao čimbenik sigurnosti cestovnog prometa

Tehnički nedostaci ceste često su uzrok nastanka prometnih nesreća, a njihova pojava najčešće se bilježi prilikom projektiranja i pri njihovoj izvedbi. Utjecaj konstrukcijskih elemenata na sigurnost prometa dolazi do izražaja pri oblikovanju dimenzija i konstruktivnih obilježja ceste, stoga cestu kao čimbenik sigurnosti prometa obilježavaju njezini sljedeći podsustavi [58]:

- trasa ceste
- tehnički elementi ceste
- stanje kolnika
- prometna signalizacija i oprema ceste
- rasvjeta ceste
- križanja
- utjecaj bočne zapreke
- održavanje ceste.

S obzirom na predmet i cilj istraživanja, u ovoj disertaciji fokus je stavljen na utjecaj prometne signalizacije i opreme, jednog od podsustava kojim cesta kao čimbenik utječe na sigurnost prometa. Kvalitetnom prometnom signalizacijom i opremom te njihovim pravilnim postavljanjem povećava se sigurnost prometa posebice pri velikim brzinama kretanja i velikoj gustoći prometa.

Širina kolnika ima za posljedicu pomicanje prometnih znakova postavljenih na bankini bliže ili dalje od prometne trake u kojoj vozač vozi. Kod većine sustava farova vozila, udaljavanje znaka prema van rezultira malom promjenom u osvjetljavanju farovima, ali često je u takvim slučajevima potrebno postaviti veći znak kako bi se postigla potrebna udaljenost uočavanja prije nego se znak pomakne predaleko prema van. Ulazni kut svjetlosti na znak u navedenoj se situaciji također povećava što može u određenoj mjeri umanjiti vozačev osjećaj retrorefleksije znaka. Ostali su čimbenici, kao što je potencijalno blokiranje vidika od strane velikih vozila, problem za razmatranje na cestama s više prometnih traka.

Okolina ceste koja sadrži predmete koji odvlače pozornost često se naziva „vizualni nered“ i nerijetka je u današnjim uvjetima vožnje. Za osvijetljeno, urbano područje vrlo složenog okruženja koje se sastoji od osvjetljenja kolnika, osvijetljenih reklamnih znakova, parkirališta i pročelja

trgovina te stalnog prometa iz suprotnog pravca bilo je potrebno povećanje od sedam do deset puta u usporedbi s mračnim, ruralnim područjem. Složenost okoline uvelike utječe na vidljivost prometne signalizacije i opreme [57]. Mjesta niske složenosti zahtijevaju prometnu signalizaciju manje kvalitete (niže razine vidljivosti) dok mjesta visoke složenosti zahtijevaju veću kvalitetu (razinu vidljivosti). Kontrast prometne signalizacije u odnosu na okolni prostor, adaptacija oka na višu razinu ambijentalnog osvjetljenja i povećana složenost vožnje čimbenici su koji objašnjavaju očiti gubitak sposobnosti za otkrivanje prometne signalizacije kod vozača.

Kako bi ceste odgovorile svojoj primarnoj zadaći, a to je nesmetano i sigurno odvijanje prometa, one moraju biti na propisanoj tehničkoj i uporabnoj razini što se postiže kontinuiranim provođenjem mjera i postupaka održavanja cestovne mreže kao trajnog procesa [60]. Održavanje okoline ceste također je od presudnog značaja jer njezino neadekvatno održavanje u pravilu rezultira zaklanjanjem i oštećenjem prometne signalizacije i opreme na cestama kao što je prikazano na Slici 4.



Slika 4. Zaklonjeni prometni znakovi zbog neadekvatnog održavanja okoline ceste

2.3. Vozilo kao čimbenik sigurnosti cestovnog prometa

Tehnički nedostaci vozila kao čimbenika sigurnosti cestovnog prometa najčešće se očituju u njihovim konstrukcijskim i eksploatacijskim karakteristikama. Elementi vozila koji utječu na sigurnost cestovnog prometa dijele se na aktivne i pasivne. U aktivne elemente sigurnosti ubrajaju se kočioni sustav, upravljački mehanizam, pneumatici, svjetlosni i signalni uređaji, uređaji koji povećavaju vidno polje vozača, konstrukcija sjedala, napredni sustavi pomoći vozaču, itd. te

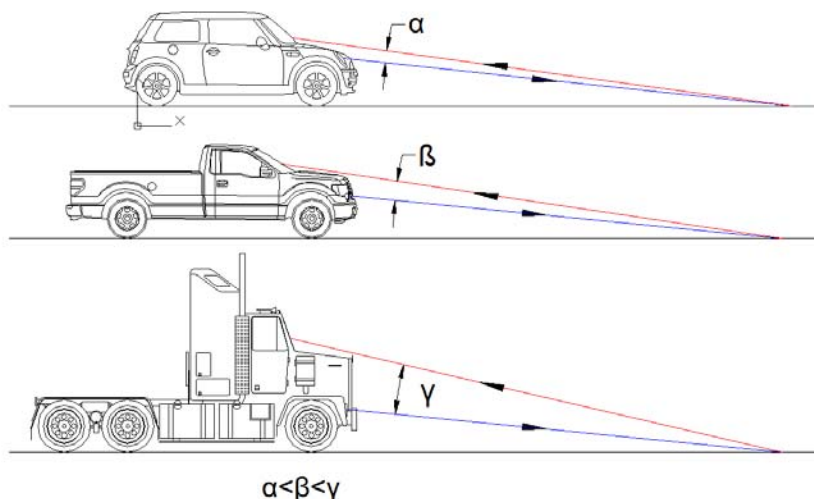
predstavljaju tehnička rješenja vozila čija je zadaća smanjiti mogućnost nastanka prometne nesreće.

Pasivna rješenja imaju zadaću ublažiti posljedice nastale prometne nesreće, a uključuju karoseriju vozila, vrata, sigurnosne pojaseve, naslone za glavu, vjetrobranska stakla i zrcala, položaj motora, spremnika, rezervnog kotača i akumulatora, odbojnik te sigurnosni zračni jastuk nesreće [58].

S obzirom na postavljeni predmet i cilj istraživanja ove disertacije, osnovni elementi kojima vozilo utječe na vidljivost su tip vozila, kvaliteta svjetala i vjetrobransko staklo.

Osvjetljenje uzrokovano prednjim svjetlima vozila osnovna je komponenta rezultirajuće luminacije retroreflektiranog prometnog znaka. Propisi vezani uz svjetla vozila bave se dugim i kratkim svjetlima te specificiraju fotometrički izlaz kratkog svjetla u pravcu ceste, kao i u pravcu nadolazećih vozača. Izlazno svjetlo fara ovisi o mnogim kvalitativnim karakteristikama elemenata svjetlosnog sustava kao što su snaga lampe (u vatima), tip svjetlosnog sustava, konstrukcija i kvaliteta odraza reflektora, čistoća površine leće i cilja na koji je svjetlost lampe usmjerena, itd. Prljava prednja svjetla umanjuju protok svjetla te time mogu, ovisno o stupnju prljavštine, utjecati na vidljivost ispred vozila. Starenje prednjih svjetala također u određenoj mjeri može imati negativan utjecaj no danas je, zbog kvalitetnije izrade svjetala, taj utjecaj manji. Nadalje, vjetrobranska stakla moraju zadovoljiti niz kriterija, a posebno specijalne kriterije koji služe kao zaštita u sudarima. Osnovna zadaća vjetrobranskog stakla je sprječavanje naleta vjetra, letećih predmeta i čestica na vozila, uz istodobno pružanje adekvatne vidljivosti vozaču kako bi mogao percipirati cestu i okolinu ceste. Učinak starenja prednjih stakala kojim se utječe na smanjenje vidljivosti uvjetovan je ogrebotinama, udarcima kamenčića i pješčane abrazije, abrazivnim djelovanjem brisača, ali i slojevima nečistoće.

Na vidljivost prometne signalizacije, a time i sveopću sigurnost cestovnog prometa, s aspekta vozila utječe i tip vozila jer se mijenja geometrija gledanja. Upadni kut svjetla na prometnu signalizaciju uvjetovan je visinom svjetla vozila dok kut promatranja ovisi i o visini sjedišta vozača. Tako, na primjer, vozači kamiona imaju veći kut promatranja prometne signalizacije zbog čega je njihov „osjećaj“ retrorefleksije oznaka manji u odnosu na vozače osobnih automobila (Slika 5.) [61].



Slika 5. Utjecaj visine (tipa) vozila na ulazni i reflektirani kut svjetlosti u slučaju oznaka na kolniku

Izvor: [61]

2.4. Suvremeni koncepti povećanja sigurnosti cestovnog prometa

S ciljem reduciranja broja prometnih nesreća, a time i broja smrtno stradalih osoba, pokrenuto je nekoliko multinacionalnih programa sigurnosti cestovnog prometa koji imaju za cilj u potpunosti eliminirati broj smrtno stradalih i/ili ozbiljno ozlijeđenih u cestovnom prometu. „Vision Zero“ je višenacionalni projekt sigurnosti cestovnog prometa kojemu je cilj uspostava sustava cestovnog prometa bez smrtnih slučajeva ili ozbiljnih ozljeda koje uključuju. Projekt je započeo u Švedskoj, a parlament ga je odobrio u listopadu 1997. te donio odluku da je poboljšanje sigurnosti cestovnog prometa zadatak od nacionalnog značenja u koji moraju biti uključeni svi koji na bilo koji način sudjeluju u cestovnom prometu [62]. Rad na poboljšanju sigurnosti prometa treba organizirati tako da se omogući: smanjivanje faktora rizika za nastajanje prometnih nesreća, provođenje mjera za poboljšanje svih dijelova sustava te plansko i koordinirano djelovanje na svim razinama i unutar svih elemenata sustava. Sve aktivnosti vezane za planiranje, izgradnju i održavanje te kontrolu cestovnog sustava bazirane su na ovom principu koji je obvezan za sve njegove sudionike. Osnovno načelo vizije je da se „život i zdravlje nikad ne mogu razmjenjivati za druge koristi unutar društva“ zbog čega Švedska danas pripada svjetskom vrhu po sigurnosti prometa na cestama. Unatoč tome što su određene zemlje primijenile neke ideje iz projekta „Vision Zero“, rezultati u bogatim zemljama prikazuju izvanredan napredak u smanjenju smrtnih slučajeva u prometu, dok

siromašnije zemlje imaju tendenciju povećanja broja smrtnih slučajeva uslijed povećanja motorizacije i nedovoljne implementacije strategije [63].

U suradnji s nacionalnim automobilskim organizacijama i lokalnim vlastima, Europski program ocjene cesta („EuroRAP“ – međunarodna neprofitna organizacija registrirana u Belgiji 2002. godine) ocjenjuje ceste u Europi radi analize i utvrđivanja sigurnosti cestovne mreže u slučaju nastanka prometne nesreće. Program je trenutno aktivan u 29 zemalja, većinom u Europi [64].

Međunarodni program ocjene cesta („iRAP“) je registrirana dobrotvorna organizacija posvećena spašavanju života sigurnijom cestovnom mrežom, a financijski ga podržava Fondacija FIA za automobile i društvo i Fond za sigurnost cestovnog prometa. „iRAP“ je osnovan 2006. godine unutar krovne organizacije „EuroRAP“, „usRAP“ i „AusRAP“ te radi olakšavanja rada u siromašnijim zemljama. Programi ocjene cesta (RAP) trenutno su aktivni u više od 70 zemalja diljem Europe, Azije, Tihog oceana, Sjeverne, Srednje i Južne Amerike i Afrike. RAP programi razvili su standardizirane protokole za prikaz razine sigurnosti ceste koji omogućavaju razumijevanje za sve uključene zemlje članice.

Kvalitetna prometna signalizacija može, uz relativno mala financijska ulaganja, ostvariti značajne pozitivne učinke na sigurnost prometa, a kombinacija prometne signalizacije i cestovne opreme predstavlja jedan od temeljnih elemenata koncepta SER-a („self-explaning roads“). Po definiciji [65], samoobjašnjavajuće ceste su ceste koje svojim oblikom potiču sigurnost prometa svih sudionika u prometu. Osnovno polazište za razvoj koncepta SER-a je razumijevanje percepcije, ponašanja i očekivanja vozača s ciljem dizajniranja što razumljivije i dosljednije ceste, njezinih elemenata te okoline.

Glavni cilj koncepta SER-a je adekvatan dizajn cestovnog okruženja koji je usklađen s očekivanjima korisnika ceste i omogućava im intuitivno shvaćanje nadolazeće situacije. To podrazumijeva kombinaciju različitih konfiguracija i dizajna ceste, prometne signalizacije i opreme za smirivanje prometa te cestovnog okruženja kako bi vozači što jasnije razumjeli opasnosti na cestama kojima voze.

Izraz „self-explaning roads“ [66] počeo se koristiti početkom devedesetih godina u Nizozemskoj kada je došlo do preispitivanja politike sigurnosti prometa, što je u konačnici dovelo do usvajanja načela „intrinzična sigurnost“, čiji je cilj bio zamijeniti tradicionalnu politiku smanjenja prometnih nesreća sustavom koji je usmjeren na sprječavanje nastanka prometnih nesreća.

Začetnicima izraza SER smatraju se Theeuwes, J. i Godthelp, H. [67] koji su 1992. godine objavili članak pod nazivom “Begrijpelijkheid van de weg” što u prijevodu znači „Razumljive ceste“. Pojam „self-explaning roads“ definira svaki pothvat na cesti koji je u skladu s očekivanjima korisnika ceste tako da omogućuje njihovo sigurno kretanje uporabom jednostavnog dizajna.

Ubrzo se koncept SER-a proširio diljem svijeta te se zbog svog pozitivnog utjecaja na sigurnost prometa počinje integrirati u nacionalne smjernice i strategije većine razvijenih zemalja kao što su Nizozemska, Danska, Njemačka, Velika Britanija, Australija, itd. Tako se npr. od 2005. godine u Njemačkoj koncept SER-a primjenjuje u nacionalnim smjernicama za ruralne ceste primjenom različitih oblika i dizajna prometne signalizacije te opreme na cesti, sve s ciljem smanjenja brzine vožnje kroz naseljena mjesta [68], [69] i [70], dok se u Australiji SER koncept prihvaća 2009. godine u sklopu inicijative „Sigurna infrastruktura sustava“ [71].

U skladu s navedenim konceptima, mjere za povećanje sigurnosti cestovnog prometa obuhvaćaju podsustav prometne signalizacije i opreme na cestama koji uključuju: opremu za označavanje zavoja ceste, uzdužne oznake (često specifičnog dizajna) za označavanje razdjelnog i rubnog dijela kolnika, prometne znakove, obradu površine kolnika (boja i hrapavost), poprečne oznake (oznaka za usporenje), signalizaciju i opremu za smirivanje prometa različitih oblika i dizajna (optičke trake, trake za zvučno upozoravanje vozača i vibracijske trake) te izvođenje središnjeg otoka odgovarajućeg oblika i dizajna.

Glavni cilj navedenih koncepata je razviti adekvatan dizajn cestovnog okruženja koji je usklađen s očekivanjima korisnika ceste te siguran za njihovo kretanje. Prometni inženjeri suočeni s ovim izrazom kombiniraju različite oblike i dizajne cesta, prometne signalizacije i opreme za smirivanje prometa te cestovnog okruženja kako bi vozačima što jasnije i intuitivnije prenijeli informacije o nadolazećoj situaciji. Često njihova rješenja sa stajališta dizajna znatno odstupaju od propisanih pravilnika i smjernica, ali – u odnosu na pozitivne učinke glede sigurnosti prometa u pravilu – budu prihvaćena i implementirana. Osim povećane vidljivosti oznaka na kolniku tijekom uvjeta smanjene vidljivosti, one mogu biti izrađene i u 3D obliku. Primjer takvih oznaka na kolniku na području RH prikazan je na slikama 6. i 7. Jedan od osnovnih principa povećanja cestovne sigurnosti podrazumijeva smanjenje brzine kretanja vozila. U današnje vrijeme smanjenje brzine vozila vrši se prisilnim fizičkim mjerama koje su u suprotnosti s načelima brojnih programa čije se mjere za povećanje sigurnosti prometa baziraju na poticanju vozača na prirodno usvajanje ponašanja u skladu s dizajniranim rješenjima i funkcijom smanjenja brzine kretanja vozila prilikom

nailaska na potencijalno opasnu situaciju na cesti. Osim navedenog, u današnje vrijeme velika pozornost pridaje se i okruženju ceste prilikom projektiranja novih prometnica.



Slika 6. 3D pješački prijelaz u Rovinju

Izvor: [72]



Slika 7. 3D signalizacija za pogrešan smjer na autocestama

Izvor: [73]

3. DEFINICIJA I PODJELA PROMETNE SIGNALIZACIJE I OPREME

Pod pojmom prometna signalizacija u širem se smislu podrazumijevaju prometni signalizacijski uređaji u cestovnom, željezničkom i pomorskom prometu te prometu unutarnjim vodama, a u užem smislu on se odnosi na cestovnu signalizaciju.

Pravilnikom o prometnim znakovima, signalizaciji i opremi na cestama (NN 92/19, Zagreb, 30.09.2019.) propisuje se namjena, vrsta, značenje, oblik, boja, dimenzije, karakteristike i postava prometnih znakova, signalizacije i opreme na cestama koji se koriste za cestovni promet.

Prema navedenom pravilniku prometne znakove, signalizaciju i opremu cesta čine:

1. Prometni znakovi, i to:

- znakovi opasnosti
- znakovi izričitih naredbi
- znakovi obavijesti
- znakovi obavijesti za vođenje prometa
- dopunske ploče
- promjenjivi prometni znakovi.

2. Prometna svjetla, i to:

- prometna svjetla za upravljanje prometom
- prometna svjetla za upravljanje prometom pješaka i biciklista
- prometna svjetla za upravljanje javnim gradskim prometom
- prometna svjetla za označavanje prijelaza ceste preko željezničke pruge
- prometna svjetla za obilježavanje radova na cesti i drugih zapreka i oštećenja kolnika.

3. Oznake na kolniku i drugim prometnim površinama, i to:

- uzdužne oznake na kolniku
- poprečne oznake na kolniku
- ostale oznake na kolniku i drugim prometnim površinama.

4. Prometna oprema cesta, i to:

- oprema za označavanje ruba kolnika
- oprema za označavanje vrha prometnog otoka

- oprema, znakovi i oznake za označavanje zavoja, radova, zapreka i oštećenja kolnika
- oprema za vođenje i usmjeravanje prometa u zoni radova na cesti, zapreka, privremenih opasnosti i oštećenja kolnika
- branici i polubranici
- prometna zrcala
- zaštitne odbojne ograde
- oprema protiv zasljepljivanja
- zaštitne žičane ograde
- pješačke i biciklističke ograde
- ublaživači udara
- oprema za ručno upravljanje prometom
- pokazivač smjera vjetra
- mjerni, upravljački i nadzorni uređaji (brojači prometa, meteorološke postaje, video nadzor i dr.).

5. Oprema i mjere za smirivanje prometa

6. Cestovna rasvjeta.

S obzirom na cilj doktorske disertacije, u daljnjim poglavljima dana je klasifikacija te su ukratko opisane zadaće i funkcije prometne signalizacije i opreme na cestama te opreme i mjere za smirivanje prometa.

3.1. Prometni znakovi

Općenito, prometni se znakovi mogu definirati kao skup posebno kodiranih oznaka namijenjenih učesnicima u prometu koje se, u odnosu na prometne površine, nalaze u vertikalnoj ravnini, a čije su glavne funkcije: upravljanje, reguliranje, orijentiranje/usmjeravanje te informiranje [74].

Prometni znakovi pružaju podatke o uvjetima na prometnicama, a njihovo prihvaćanje i poštivanje rezultira sigurnim i udobnim putovanjem u svim uvjetima danju i noću. Vizualna informacija prometnih znakova daje sudionicima u prometu osnovne upute koje se tiču odabira rute, sigurnosti na raskrižjima, upozorenja u vezi fizičkih zapreka na cesti i označavanja sigurnog pravca putovanja. Kontakt vozača i prometnog znaka događa se u tri faze [61]:

- Uočavanje – otkrivanje i registriranje najmanje površine koju ljudsko oko može otkriti u kontaktu s okolinom, no ne i oblika, boje i simbola znaka.
- Prepoznavanje – raspoznavanje znaka po boji i obliku, čime se automatski raspoznaje vrsta poruke koju znak nosi (opasnost, naredba, informacija), ali ne samog simbola.
- Čitanje – najvažnija faza je da vozač prepozna poruku. To je najsloženija faza jer do izražaja dolazi oblik i veličina simbola i slova, međusobni raspored i kontrast između podloge, simbola i slova.

Samo trajanje kontakta ovisi o nizu čimbenika kao što su: brzina vožnje, psihofizičko stanje vozača, vrsti znaka, njegovim dimenzijama, bojama i kvaliteti, poziciji znaka u odnosu na prometnicu, itd. [75], [76] i [77].

Kako bi prometni znakovi mogli prenijeti informaciju, vozači ih moraju – ne samo danju, nego i noću – pravovremeno vidjeti, uočiti i prepoznati. Vidljivost prometnih znakova tijekom dana, ali i u uvjetima smanjene vidljivosti ovisi o velikom broju čimbenika koji se mogu svrstati u nekoliko grupa: osnovne karakteristike prometnih znakova, ceste, vozača i vozila te vremenski uvjeti i uvjeti na cestama. Da bi prometni znakovi kao i oznake na kolniku bili vidljivi danju, noću i pri otežanim vremenskim uvjetima, moraju imati dobra reflektirajuća svojstva. Za izradu prometnih znakova najčešće se koriste retroreflektirajući materijali sa sferičnim (staklene kuglice) ili prizmatičnim reflektorima koji su ugrađeni u postojan i transparentni materijal. Takvi su retroreflektirajući materijali debljine od 0,14 do 0,22 mm i proizvode se u svim bojama koje se koriste u prometnoj signalizaciji [61]. Ovisno o razini retrorefleksije, prometni se znakovi izrađuju od tri klase retroreflektirajućeg materijala [78]:

1. Retroreflektirajući materijali klase I izrađeni su od trajnog materijala s uvezanim staklenim mikrokuglicama i uspješno se koriste za izradu prometnih znakova od 1959. godine. S obzirom na to da im je koeficijent retrorefleksije u prosjeku oko 70 cd/lx/m^2 (sferična retrorefleksija), odnosno oko 150 cd/lx/m^2 uz primjenu prizmatičnih retroreflektora, ovi materijali primjenjuju se i danas u područjima gdje je promet slabijeg intenziteta s manjim brzinama vožnje.

2. Retroreflektirajući materijali klase II sadrže učahurene staklene mikrokuglice koje su trostruko sjajnije od materijala klase I te su jasno vidljivi, čak iz širokoga kuta gledanja. Koeficijent retrorefleksije im je oko 250 cd/lx/m^2 (sferična retrorefleksija), a kao i materijali klase I, danas se proizvode s prizmatičnim retroreflektorima koeficijenta retrorefleksije oko 500 cd/lx/m^2 .

3. Materijali klase III izrađeni su od vrlo učinkovitih mikrop prizma zahvaljujući kojima su više nego trostruko sjajnije od materijala klase II i čak deseterostruko sjajnije od retroreflektirajućih folija klase I. Retrorefleksija ovih materijala iznosi oko 800 cd/lx/m^2 te vozačima omogućuju adekvatnu vidljivost u svim dnevnim, noćnim i lošim vremenskim uvjetima.

Usporedba kvalitete retrorefleksije navedenih materijala u noćnim uvjetima prikazana je na Slici 8.



Slika 8. Prikaz prometnog znaka STOP izrađenog od retroreflektirajućeg materijala klase I, klase II i klase III

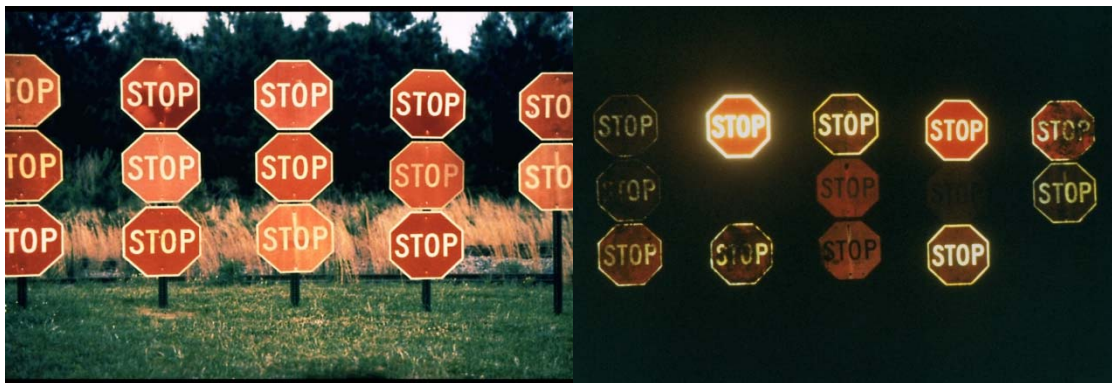
Izvor: [79]

Tijekom vremena prometni znakovi se zbog utjecaja atmosferilija troše te njihova kvaliteta degradira, odnosno dolazi do smanjenja razine njihove vidljivosti (Slika 9.) i razumijevanja zbog čega se znak teže uočava te postaje manje čitak za sve veći broj vozača. To se stanje progresivno pogoršava zbog čega znak postaje neučinkovit te ga je na kraju potrebno zamijeniti novim.

Kako bi se odredila kvaliteta prometnog znaka, a time i trenutak kada znak postaje neučinkovit, nužno je ispitati njegovu vidljivost noću, odnosno izmjeriti koeficijent retrorefleksije (R_A) koji predstavlja omjer između jačine svjetlosti (J) retroreflektirajućeg materijala u smjeru promatranja s ostvarenim osvjetljenjem (E) na reflektirajuću površinu na površini (A) kao što je prikazano u izrazu [1], a izražava se u cd/lx/m^2 (kandela po luksu po metru kvadratnom) [78]:

$$R = \frac{J}{E \cdot A} \quad (1)$$

Vidljivost, a samim time i prepoznatljivost prometnih znakova u dnevnim je uvjetima relativno jednaka, no noću snaga retrorefleksije predstavlja ključni čimbenik za njihovo pravovremeno uočavanje i prenošenje odgovarajuće poruke (Slika 9.).



a)

b)

Slika 9. Vidljivost prometnih znakova različitih starosti u dnevnim (a) i u noćnim uvjetima (b)

Izvor: [79]

3.2. Oznake na kolniku

Oznake na kolniku predstavljaju dio prometne signalizacije koji korištenjem i kombinacijom crta, natpisa i simbola oblikuju prometnu površinu te se kao takve ne mogu nadomjestiti drugim znakovima ili propisima. Oznake imaju jednaku pravnu vrijednost kao i prometni znakovi i prometna svjetlosna signalizacija te se mogu postavljati samostalno ili u kombinaciji s njima ako je potrebno da se značenje tih znakova jače istakne, odnosno potpunije odredi ili objasni [60].

Iako se podjela oznaka na kolniku može izvesti prema raznim kriterijima kao što su trajnost (životni vijek), retroreflektivne značajke, vrsta materijala, način aplikacije, itd., njihova osnovna podjela proizlazi iz njihove funkcije te se u tom smislu prema Pravilniku o prometnim znakovima, opremi i signalizaciji na cestama [80] oznake dijele na:

- uzdužne oznake na kolniku
- poprečne oznake na kolniku
- ostale oznake na kolniku i predmetima uz rub kolnika.

Oznake na kolniku izrađuju se od nekoliko vrsta materijala čiji su osnovni zadaci osigurati što bolju vidljivost (naročito u lošim vremenskim uvjetima), trajnost te zadovoljavajuću vrijednost koeficijenta trenja klizanja. Materijali se međusobno razlikuju prema načinu aplikacije, vijeku trajanja, cijeni i strukturi, a dijele se na [61]:

- bojane oznake
- oznake od plastičnih materijala
- oznake izrađene trakom.

Najzastupljeniji materijal za izvođenje oznaka na kolniku su boje koje su u širokoj primjeni od 1950-tih. Sastoje se od tri osnovne komponente: veziva (osnovni materijal), pigmenata i otapala. S obzirom na vrstu veziva, dijele se na boje na bazi otapala i boje na bazi vode [81]. Iako najraširenije, boje predstavljaju najlošiji materijal za izradu oznaka na kolniku zbog relativno kratkog vijeka trajanja te slabog koeficijenta retrorefleksije, posebno u mokrim uvjetima u kojima sloj vode, zbog tankoslojnosti materijala, prekriva retroreflektirajući materijal umanjujući tako retroreflektirajuća svojstva. Upravo u tim nepovoljnim uvjetima oznake na kolniku trebaju biti najveća pomoć sudionicima u prometu, što zbog navedenog životnog vijeka oznake na kolniku izvedene bojom ne mogu osigurati. Njihova osnovna prednost u odnosu na druge materijale je niska cijena, zbog koje su i dalje najupotrebljavaniji materijal u RH.

Oznake izrađene od plastičnih materijala predstavljaju višekomponentni sustav koji se u pravilu sastoji od sintetičkih veziva, prirodnih i umjetnih smola, pigmenata, punila i perli koje se dodaju u sam materijal te prilikom izvođenja [82]. Pripadaju u skupinu debeloslojnih oznaka, debljine nanosa između jednog i šest milimetara, ovisno o tome jesu li profilirane ili neprofilirane. Oznake na kolniku izvedene plastičnim materijalima mogu se postavljati na kolnik hladne ili na povišenoj temperaturi te se s time u vezi mogu podijeliti u dvije osnovne skupine [61]:

- hladna plastika i
- termoplastika.

Ovisno o skupini kojoj pripadaju, njihova se priprema za primjenu, kao i sama primjena razlikuju. Vijek trajanja im je relativno dug, između dvije i pet godina, upravo zbog debljine nanosa te same strukture materijala [83]. U cilju povećanja retrorefleksije (noćne vidljivosti), oznake izvedene plastičnim materijalima mogu se izvoditi i kao aglomeratne (strukturne oznake) oznake tipa II s poboljšanom vidljivošću u mokrim ili kišnim noćnim uvjetima [84].

Oznake izrađene trakom su tvornički unaprijed izrađene oznake koje se pričvršćuju na površinu ceste pomoću ljepila ili raznim toplinskim postupcima. Upravo zato što su tvornički proizvedene, navedene oznake imaju najbolja reflektivna svojstva, ali je njihova cijena najviša te se zbog toga najčešće upotrebljavaju u područjima gdje je potrebno osigurati vrlo visoku retrorefleksiju kao, npr., kod privremene regulacije prometa. Trake za izradu oznaka na kolniku mogu se izvesti kao dugotrajne ili kratkotrajne oznake koje se međusobno razlikuju strukturalno i bojom.

Na vidljivost oznaka na kolniku utječe veliki broj čimbenika među kojima su najznačajniji: dizajn oznaka na kolniku, vremenski i uvjeti na cestama, tip vozila i kvaliteta svjetla, stanje vozača,

kvaliteta retroreflektirajućeg materijala te način izvođenja određenog materijala. Izostankom jednog ili više navedenih čimbenika znatno pada vidljivost samih oznaka na kolniku što je prikazano na Slici 10. Zadovoljavajuća vidljivost oznaka na kolniku za vrijeme dnevnih uvjeta i uvjeta smanjene vidljivosti (noćni uvjeti) prikazana je na slikama 10 a i 10 c. Prikaz loše vidljivosti oznaka na kolniku za vrijeme uvjeta smanjene vidljivosti (noćni uvjeti + atmosferski uvjeti) dan je na Slici 10 b.



Slika 10. Dobra vidljivost oznaka na kolniku u dnevnim uvjetima (a), loša vidljivost oznaka na kolniku u noćnim uvjetima (b) i dobra vidljivost oznaka na kolniku u noćnim uvjetima (c)

3.3. Prometna oprema

Opremu i zaštitu ceste čine svi uređaji i sredstva koji omogućuju sigurno kretanje vozila i obavještavaju vozača o uvjetima odvijanja prometa. Adekvatna i kvalitetna prometna oprema povećava sigurnost vozača što je posebno važno pri velikim brzinama kretanja vozila i velikim gustoćama prometa.

Pravilnikom o prometnim znakovima, signalizaciji i opremi na cestama (NN 92/19, Zagreb, 30.09.2019.) definira se oznaka, oblik, boja, svrha označavanja, posebni zahtjevi za opremu i mjere za smirivanje prometa, a čine je:

- optičke bijele crte upozorenja
- trake za zvučno upozoravanje
- vibracijske trake
- umjetne izbočine
- uzdignute plohe na kolniku
- stupići za zaprečivanje prolaza i usmjeravanje vozila
- preventivni radarski mjerači s pokazivačem brzine kretanja vozila.

Sustav smirivanja prometa temelji se na povećanju sigurnosti prometa, a postiže se smanjivanjem brzine kretanja vozila u stambenim zonama te u blizini vrtića i škola primjenom [2] optičkih bijelih crta upozorenja, traka za zvučno upozoravanje, vibracijskih traka, umjetnih izbočina te uzdignutih ploha na kolniku.

Smirivanjem prometa ujedno je moguće postići i smanjenje buke ograničavanjem brzine kretanja samog vozila, a same se mjere međusobno razlikuju prema vrsti materijala za njihovu izradu stvarajući pritom zvučni ili vibracijski efekt, ili se za izradu koriste razni građevinski elementi.

4. UTJECAJ VIZUALNE PERCEPCIJE I VIDLJIVOSTI U NOĆNIM UVJETIMA VOŽNJE NA PSIHOFIZIČKO STANJE VOZAČA

Vidljivost predstavlja pojam povezan sa zaprimanjem svjetlosnih signala kroz organ vida, odnosno oči promatrača. Promatrač uočava svoju okolinu zahvaljujući vidljivoj svjetlosti i njenoj refleksiji, odnosno odbijanju ravnih valova na graničnoj površini dvaju sredstava pri kojoj je reflektirana svjetlost uvijek manjeg intenziteta nego upadna jer dio energije upadne svjetlosti prelazi u drugo sredstvo (apsorbira se) [85].

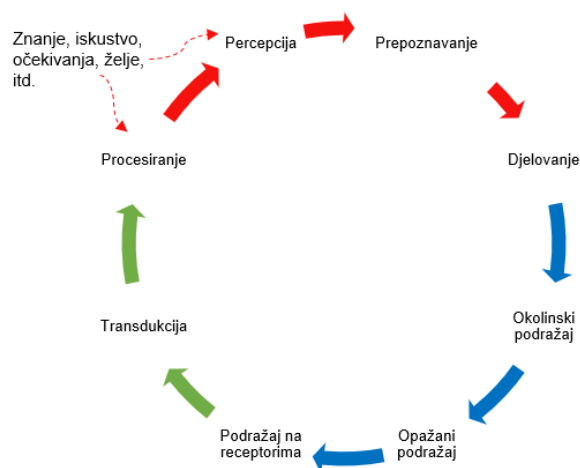
Budući da čovjek prilikom vožnje više od 90 % informacija dobiva putem vida, sigurnost cestovnog prometa uvelike ovisi o pravovremenosti informacije koju vozač dobiva, a koja se u najvećoj mjeri prenosi prometnom signalizacijom, naročito u uvjetima smanjene vidljivosti. U navedenim je uvjetima količina vizualnih informacija ograničena (najčešće samo na svjetla vozila), što u konačnici uvelike utječe na kvalitetu vizualne percepcije čovjeka. Naime, smanjenjem vizualnih informacija sužuje se i skraćuje vidno polje (naročito periferni vid), otežava percepcija boja i tekstura te umanjuje sposobnost prepoznavanja objekata zbog smanjenog kontrasta između objekta i okoline. Upravo u takvim uvjetima kvalitetna i pravilno postavljena prometna signalizacija uvelike doprinosi pravovremenoj percepciji nadolazeće situacije i prilagodbi ponašanja vozača.

4.1. Općenito o vizualnoj percepciji

Kako bi čovjek shvatio značenje neke situacije, pojave ili objekta, prvotno ih mora percipirati. Percepcija je nesvjesni složeni proces aktivnog prikupljanja, organiziranja i interpretiranja primljenih osjetilnih informacija te njihovog uspoređivanja s već postojećim informacijama koji omogućuje pojedincu upoznavanje i prepoznavanje značenja predmeta, pojava i događaja u okolini. Temelji se na informacijama prikupljenima iz okoline, ali i na postojećem iskustvu, znanju, emocijama, očekivanjima, itd. Ako se govori o informacijama prikupljenima putem vida, radi se o vizualnoj percepciji, odnosno sposobnosti tumačenja okruženja obradom podataka koji se nalaze u vidljivom svjetlu [85]. Vizualna percepcija je od velikog značenja za mnoge ljudske aktivnosti jer je usko povezana s razinom pažnje, odabirom i aktiviranjem elemenata memorije, a isto tako i s centralnom obradom informacija koja vodi do donošenja odluka te samih motoričkih radnji [57].

Što će točno privući oko predstavlja složen proces koji ovisi o nizu čimbenika koji uključuju obilježja okoline, kao i znanje i ciljeve promatrača. Naime, kako je oko vrlo znatiželjno, bit će privučeno svim netipičnim stvarima u okolini. Primjerice, velike i sjajne reklame uz cestu, žarke

boje u relativno monotonj okolini, nagla „kretanja“ u okolini, itd. Također, pokreti oka uvelike su vezani uz aktivnosti, odnosno zadatke koje osoba treba obavljati, kao i poznavanje okoline u kojoj se nalazi. S iskustvom i poznavanjem rute, često mnogi aspekti vožnje postanu automatizirani u prometu. Manjak vozačeve aktivne pažnje te automatiziranje procesa vožnje za sobom vuče i određeni rizik vezan uz nepercipiranje određenih elemenata ceste, predmeta, drugih vozila i pješaka. Upravo te pogreške najčešći su uzrok prometnih nesreća [86] i [87]. Na Slici 11. prikazan je shematski prikaz procesa vizualne percepcije gdje plave strelice označavaju podražaje, zelene procesuiranje, a crvene perceptivnu reakciju.



Slika 11. Vizualna percepcija

Izvor: [85]

Tijekom vožnje u noćnim uvjetima, mogućnost uočavanja i identificiranja prostornih detalja na većim udaljenostima ograničena je na objekte osvijetljene prednjim svjetlima vozila i retroreflektivnim ili osvijetljenim uređajima. Za objekte obasjane prednjim svjetlima vozila, maksimalna udaljenost opažanja ograničena je na vodeći rub uzorka svjetala [57]. Prema tome, nedovoljna razina osvijetljenja ograničava uporabu perifernog vida tijekom prikupljanja podataka izvan područja osvijetljenog prednjim svjetlima, stoga je zastupljenije korištenje centralnog i fokusiranog vida. Osim navedenog, noću je smanjena i mogućnost percepcije dubine, kao i raspoznavanja boja [88]. Iz svega navedenog može se zaključiti da vizualna percepcija predstavlja važan element sigurnosti u cestovnom prometu jer je većina informacija koje sudionici prometnog sustava dobivaju iz okoline vizualnog karaktera. Upravo zbog toga je – za sigurnost cestovnog prometa – nužno poznavanje procesa vizualne percepcije.

4.2. Proces vizualne percepcije

Proces vizualne percepcije je proces koji se neprestano odvija, on je nešto što nam je urođeno i o čemu u principu ne razmišljamo. Način na koji čovjek obrađuje informacije i percipira okolinu još uvijek nije u potpunosti razjašnjen i shvaćen, no suvremena istraživanja u području kognitivne psihologije rezultirala su značajnim napretkom i razumijevanjem procesa percepcije.

Vrijeme vozačeve percepcije i reakcije (eng. *driver perception and reaction time* – PRT) fokus je brojnih istraživanja jer je to vrijeme direktno povezano sa sigurnošću cestovnog prometa. Pod navedenim pojmom podrazumijeva se vrijeme koje je potrebno vozaču da uoči neki objekt (faza detekcije), shvati njegovo značenje (faza identifikacije), odredi smjer djelovanja, tj. što želi učiniti (faza donošenja odluke) te vrijeme potrebno da se započne s radnjom za koju se odlučio (faza reakcije) [57].

Faza detekcije započinje kada objekt od interesa (npr. svjetla vozila koja indiciraju kočenje, prepreka na cesti i sl.) uđe u vidno polje vozača te završava kada vozač detektira, odnosno shvati da je neki objekt pred njim. Nakon što je detektiran, objekt mora biti identificiran, pri čemu je potrebna dobra vidljivost kako bi vozač mogao odlučiti treba li poduzeti neku akciju ili se pojava može ignorirati. Nakon što je objekt identificiran, vozač mora odlučiti kako će odgovoriti na situaciju. Odgovor ovisi o stanju vozača, dinamici vozila te uvjetima okoline. Primjerice, varijante odgovora mogu biti da vozač ne reagira, upozori zvučnim ili svjetlosnim signalom vozača drugog vozila ili pješake ili izvede manevar izbjegavanja prepreke na cesti, odnosno kočenja pred njom. S povećanjem broja mogućih varijanti odluke, povećava se i PRT [89].

Nakon donošenja odluke o djelovanju, vozač mora planirano izvršiti radnju. Vrijeme u ovoj fazi procesa uključuje vrijeme potrebno da mozak pošalje signale mišićima i vrijeme odaziva mišića s prikladnim intenzitetom. U trenutku kada vozač počinje vršiti donesenu odluku, završava se PRT, odnosno vrijeme percepcije i reakcije. PRT u obzir uzima samo vrijeme potrebno za vozačevu mentalnu obradu prepreke i odluke te vrijeme do početka izvršenja odluke, no ne i vrijeme reakcije vozila, odnosno vrijeme odziva sastavnih dijelova automobila [87].

Različita empirijska istraživanja procjenjuju trajanje vremena percepcije i reakcije na 0,75 – 1,5 sekundi [90], [91] i [92]. Ovo se vrijeme razlikuje ovisno o raznim čimbenicima, uključujući vidljivost, kontekst situacije, lokaciju opasnosti u vozačevom vidnom polju te ostale psihofizičke karakteristike čovjeka. Dokazano je kako neočekivani događaji zahtijevaju dulje vrijeme percepcije i reakcije u odnosu na situacije koje su očekivane [89].

4.3. Psihofizičke karakteristike vozača

Psihofizičke osobine vozača od velikog su utjecaja na sigurnost prometa te se prilikom upravljanja vozilom posebno ističu sljedeće psihofizičke osobine [58]:

1. Funkcija organa osjeta – zahvaljujući organima osjeta koji podražuju živčani sustav nastaje osjet vida, sluha, ravnoteže, mirisa... Živčani sustav obuhvaća skup organa koji upravljaju svim funkcijama organizma, odnosno omogućuje njihovo međusobno usklađivanje prema okolini u kojoj se nalaze. Zamjećivanje okoline i predmeta u njoj omogućuju organi osjeta koji putem raznih procesa obavješćuju o vanjskom svijetu i promjenama unutar tijela. Sukladno navedenom, može se reći da su za upravljanje vozilom izrazito važni osjeti vida, sluha, ravnoteže, mirisa te mišićni osjeti. Osjet vida je, kao što je već rečeno, najvažniji, dok osjet sluha u znatno manjem postotku utječe na sigurnost prometa u odnosu na osjet vida. Njegova je zadaća vezana uz kontrolu rada motora, za određivanje smjera i udaljenosti vozila pri kočenju i slično. Provedena istraživanja pokazuju da ljudi sa slabim sluhom izazivaju relativno mali broj prometnih nesreća pri čemu takav nedostatak nadoknađuju povećanim naprezanjem vida [93]. Osjet ravnoteže također je važan za sigurnost kretanja vozila, osobito kod vozača motocikala. Pomoću osjeta ravnoteže uočava se nagib ceste, ubrzanje ili usporenje vozila, bočni pritisak u zavoju i slično. Centar za ravnotežu smješten je u unutarnjem uhu. Osjet mirisa ima relativno mali utjecaj na sigurnost prometa te dolazi do izražaja u posebnim slučajevima kao što je dulje kočenje (miris guma vozila, kočionog sustava...), u slučaju zapaljenja instalacije vozila i sl. Mišićni osjet dobiva podražaj putem osjetnih stanica u mišiću. On daje vozaču obavijest o djelovanju vanjskih sila zbog promjene brzine i o silama koje nastaju pritiskom na kočnicu, spojku i slično.

2. Psihomotoričke sposobnosti – omogućuju uspješno izvođenje pokreta koji zahtijevaju brzinu, preciznost i usklađen rad raznih mišića. Psihomotoričke sposobnosti, važne pri upravljanju vozilom, su brzina reagiranja, brzina izvođenja pokreta rukom te sklad pokreta i opažanja.

Brzina reakcije, odnosno vrijeme reagiranja ovisi o individualnim osobinama vozača: godinama starosti, jačini podražaja, složenosti prometne situacije, fizičkom i psihičkom stanju te stabilnosti vozača, koncentraciji i umoru vozača, brzini vožnje, preglednosti ceste, klimatskim uvjetima i drugim uvjetima na cesti, itd. U suvremenoj literaturi često se kao standard navodi vrijeme jednostavne reakcije od 1 sekunde (s) [91], [92]. Međutim, s obzirom da se pri vožnji nikad ne može predvidjeti koja će reakcija biti potrebna, takve jednostavne reakcije ne zadovoljavaju sigurnosne zahtjeve. Upravljanje i izbjegavanje određenih situacija zahtijeva vrijeme za

odlučivanje jer vozači moraju prepoznati ono što vide. Stoga je 5 s realno vrijeme predviđanja za veće udaljenosti, a 3 s predstavljaju apsolutni minimum. Pri brzini od 100 km/h, 5 s omogućuju udaljenost predviđanja od 140 m, a 3 s samo 84 m [94].

3. Mentalne sposobnosti – sposobnosti koje uključuju mišljenje, pamćenje, inteligenciju, učenje i sl. Mentalne sposobnosti variraju od osobe do osobe, a njihova osnovna zadaća očituje se u uspješnom prilagođavanju na okolicu i okolnosti u njoj. Mentalno nedovoljno razvijenu osobu obilježava pasivnost svih psihičkih procesa, a time i nemogućnost prilagođavanja uvjetima na cesti. Najvažnija mentalna osobina je inteligencija, odnosno sposobnost snalaženja u novonastalim situacijama uporabom novih i do tada nenaučenih reakcija. Inteligentan će vozač brzo uočiti bitne odnose u složenoj dinamičkoj prometnoj situaciji i predvidjeti moguće ponašanje drugih sudionika u prometu te donijeti odgovarajuću odluku dok su kod intelektualno nedovoljno razvijene osobe ti procesi spori i pasivni [95].

4.4. Osnovni zahtjevi za vožnju s aspekta psihofizičkog opterećenja vozača

Sagledavanjem osnovnih čimbenika sigurnosti cestovnog prometa može se reći kako čovjek u najvećoj mjeri utječe na sigurno odvijanje prometa. Za postizanje optimalne ravnoteže između osnovnih čimbenika sigurnog odvijanja prometa (vozač-cesta-vozilo) potrebna je usklađenost tehničkih karakteristika vozila te karakteristika ceste i okoline sa psihofizičkim mogućnostima vozača. Osim osnovnih informacija, vozači prilikom vožnje primaju i dodatne informacije iz okoline, naročito kod izvanrednih situacija (loše vremenske prilike, iznenadne prepreke, smanjena vidljivost...) koje u određenoj mjeri utječu na način i vrijeme reakcije. Vozači odlučuju kako postupiti upravo na temelju ranije opisane obrade zaprimljenih informacija. Stoga za sigurno odvijanje prometa, pored zahtjeva koje moraju ispuniti čimbenici vozilo i cesta, vozači kao ključni čimbenik moraju posjedovati [96]:

- potreban nivo opće i tehničke inteligencije – posjedovanje smisla za pravilno i brzo rješavanje trenutno nastalih tehničkih prometnih ili drugih problema u oku vožnje
- dobru i pravovremenu koordinaciju pokreta
- sposobnost pravilnog i pravovremenog refleksnog reagiranja na razne situacije u toku vožnje
- potpunu psihofizičku stabilnost i u izvanrednim i otežanim prometnim situacijama – česte situacije koje direktno utječu na sigurnost prometa i dovode vozače do „ispita

sposobnosti“ (meteorološke situacije poput kiše, poledice, snijega, magle, visoke temperature...)

- sposobnost zadržavanja psihofizičke stabilnosti pri neispunjavanju nekih neophodnih očekivanih zahtjeva vozača od strane okoline
- sposobnost osnovnih psihofizičkih funkcija koje su manje ili jednake tzv. „psihofizičkoj“ sekundi – vrijeme potrebno za obavljanje procesa opažanja, shvaćanja, prosuđivanja, odaziva mišića i reagiranja.

Također, prilikom vožnje se u i/ili iz okoline pojavljuju predvidivi i nepredvidivi elementi koji utječu na vozačevu reakciju. U predvidive elemente mogu se svrstati trenutno stanje na cesti, kao i trenutno stanje vozila, osnovni zahtjevi okoline, način vožnje i dr. S obzirom na sigurnost prometa, nepredvidivi elementi najčešće se ne mogu klasificirati i u tom smislu predstavljaju najveću prijetnju jer je psihofizička sposobnost vozača jedini čimbenik o kojem ovisi cjelokupna sigurnost prometa u tom trenutku. U takvoj situaciji ponašanje i reakcija vozača u prometu zavisi o potrebnom stupnju obučenosti vozača, potrebnoj brzini prenošenja informacije, tjelesnoj i zdravstvenoj sposobnosti te stabilnom emocionalnom stanju [96].

4.5. Vidljivost i percepcija u noćnim uvjetima vožnje

Za razliku od vožnje danju, kada je ograničen rad mozga jedini ograničavajući čimbenik, noću smanjena vidljivost dodatno sužava protok informacija. Noćni uvjeti vožnje i vidljivosti postavljat će različite zahtjeve vozaču koji od njega traže odvojeno razmatranje određenog broja čimbenika koji su karakteristični za navedene uvjete. Nedovoljna razina osvjetljenja stvara određena ograničenja u perifernom vidu, odnosno nemogućnost zapažanja izvan područja osvjetljenog prednjim svjetlima vozila. Iz navedenog razloga vidno polje vozača tijekom vožnje u noćnim uvjetima ograničeno je na relativno kratko područje ispred vozila, odnosno usredotočenje vozača je više prema desnoj strani ceste u području na manje od 25 metara ispred vozila [97]. Tijekom vožnje u dnevnim uvjetima moguće je razaznati mnoštvo detalja u okolini zahvaljujući visokoj razini ambijentalnog osvjetljenja dok je za vrijeme vožnje u noćnim uvjetima razaznavanje detalja u okolini izvan dosega prednjih svjetala nemoguće. Nadalje, percepcija udaljenosti te procjena brzine kojom se drugi automobili kreću i približavaju drugim vozilima noću je osjetno smanjena [56]. Studije provedene s ciljem istraživanja kritičnih elemenata u noćnoj vožnji pokazale su da su, prema mišljenju vozača, kritični elementi vezani uz tok i druge geometrijske karakteristike ceste (npr. rub ceste i vozne trake, ograničavajuće oznake) [57], [98]. Nadalje, vožnja u noćnim uvjetima

rezultira naglim promjenama u razini adaptacije vidnog sustava uzrokovane blještanjem vozila iz suprotnog smjera kretanja, ulaskom i izlaskom iz područja s cestovnom rasvjetom, itd. Brzina adaptacije ponajprije ovisi o intenzitetu svjetla kojem je ljudsko oko izloženo. Prosječno vrijeme prilagodbe oka na svjetlo traje između 1 i 4 minute, dok za tamu ono iznosi između 5 i 9 minuta [99]. Vrijeme potrebno za potpunu prilagodbu oka na tamu ovisi o količini svjetlosti kojoj je ono prethodno bilo izloženo, a u pravilu traje i po nekoliko sati [100].

S obzirom da vozači percipiraju prometnu signalizaciju kroz tri osnovne faze (uočavanje, prepoznavanje i čitanje), postoji veća vjerojatnost za njihovo produljenje u noćnim uvjetima vožnje, dok u nekim slučajevima dolazi i do potpune ne-percepcije. Jedan od bitnih faktora koji pri vožnji noću dodatno utječu na vidljivost, a time i percepciju vozača, je i pojava zaslepljenja vozača pri mimoilaženju, a može se klasificirati kao direktna (druga vozila, neadekvatna rasvjeta) ili indirektna (bljesak od mokrog/zaleđenog kolnika, itd.). Iz navedenih razloga postavljanje javne rasvjete – a u većini slučajeva i adekvatne prometne signalizacije s ciljem povećanja sigurnosti prometa – osigurava adekvatnu vidljivost stalnih elemenata ceste i bilo kakvog privremenog stanja na koje bi se moglo naići u noćnim uvjetima vožnje. Brojna istraživanja [9], [98] i [100], ali i iskustvo na području prometne signalizacije pokazuju kako na većini cesta izvan naseljenih područja vozač može nastaviti vožnju noću uz ograničene vizualne informacije koje mu pružaju prednja svjetla vozila, a postavljanjem adekvatne retroreflektirajuće prometne signalizacije za regulaciju prometa u takvim situacijama značajno se doprinosi sigurnosti vožnje, odnosno povećanju sigurnosti cijelog prometnog sustava.

5. METODOLOGIJA ISTRAŽIVANJA

U ovom poglavlju doktorske disertacije navedena je i definirana znanstvenoistraživačka oprema te je prikazan i opisan dizajn scenarija na simulatoru vožnje s ciljem određivanja utjecaja psihofizičkoga opterećenja vozača i kvalitete prometne signalizacije u noćnim uvjetima vožnje. Također, navedena je i opisana procedura provođenja ispitivanja s naglaskom na varijable istraživanja i primijenjene statističke metode.

5.1. Znanstvenoistraživačka oprema

5.1.1. Simulator vožnje

Izraz „simulator vožnje“ izvorno se koristio za strojeve koji su sadržavali softver za mjerenje ponašanja vozača automobila u simuliranom okruženju. Povijesni razvoj simulatora započeo je prije Drugog svjetskog rata kada su se razvijali, proizvodili i koristili za obuku pilota zrakoplovstva s ciljem smanjenja operativnih troškova [101].

Prvi suvremeni simulator vožnje za cestovni promet proizveden je početkom 70-ih godina te je imao jedan zaslon ispred vjetrobranskog stakla Volkswagen vozila (Slika 12.). Potaknut njemačkim izumom, ubrzo nakon toga u Švedskoj i Nizozemskoj započinje razvoj novog i složenog dizajna simulatora vožnje s većinom karakteristika današnjih simulatora [101].



Slika 12. Primjeri prvih simulatora vožnje

Izvor: [101]

Sustavni razvoj simulatora doveo je do pojave njihovih različitih verzija pri čemu svaki ima drugačiju topologiju pa tako danas postoje [102]:

1. Neinteraktivni simulatori – uglavnom nemaju pohranjene složene prometne situacije nego se oslanjaju na prethodno definirane scenarije bez previše kompleksnih radnji za vozača. Većinom

se takvi simulatori koriste u psihologiji za određivanje točnog vremena početka sna korištenjem metode elektroencefalografije (EEG-a);

2. Simulatori računalnih igrica – simulatori sa sofisticiranim i visoko detaljiziranim grafičkim podlogama namijenjeni zabavi;

3. Virtualni simulatori – računalni simulatori koji koriste virtualne naočale (VR) pri čemu se ulazni podaci uobičajeno unose preko upravljača automobila. Ovakva vrsta simulatora omogućuje ispitaniku sagledavanje stvarne situacije u potpuno modeliranom 3D sučelju te interakciju s unutrašnjim elementima vozila, no ne omogućuje upravljanje vozačkim upravljačem, pedalama i mjenjačem;

4. Cijela vozila kao simulatori vožnje – navedeni simulatori sastoje se od cijele automobilske konstrukcije (ili djelomično izrezanih nepotrebnih dijelova vozila zbog prostornih i težinskih ograničenja) i smatraju se odličnim simulatorima koji se mogu koristiti s i bez pokretne platforme. Ovakva vrsta simulatora najbliže opisuje stvarnu situaciju jer je ispred automobila postavljen veliki ekran koji okružuje prednji dio automobila te pokriva vidno polje od čak 210 stupnjeva;

5. Simulatori na pokretnoj podlozi – temelje se na naprednom kretanju konstrukcijske podloge sukladno načinu i uvjetima vožnje. Ovakav sustav omogućuje kretanje i naginjanje u sva tri smjera, što predstavlja njegovu glavnu prednost u odnosu na ostale simulatore.

Prva primjena simulatora bila je vezana uz automobilsku industriju radi utvrđivanja načina na koji ispitanici upravljaju vozilom te reagiraju na uređaje u vozilu. Međutim, u posljednja dva desetljeća došlo je do značajnog porasta korištenja simulatora vožnje u znanstvenoistraživačke svrhe. Prvi razlog tome je unaprjeđenje i razvoj računalnog sustava u kontekstu veće brzine obrade podataka i boljih grafičkih animacija koje su dovele do smanjenja troškova. Drugi razlog je potreba za unaprjeđenjem i razumijevanjem obrazaca ponašanja vozača i prometne sigurnosti u kontroliranim uvjetima pod nadzorom voditelja ispitivanja. Napredak današnjih simulatora je upravo u tome da je moguće kontrolirati stupanj realnosti vozačeva okruženja što za posljedicu ima relevantne rezultate, prenosive i primjenjive u stvarnom svijetu. Danas se simulatori koriste za trening i procjenu sposobnosti vozača, istraživanje učinaka pospanosti, umora i distrakcije na vrijeme reakcije i percepcije ostalih informacija na cesti tijekom vožnje, djelovanje alkohola i opijata na ponašanje u vožnji, selektivne pozornosti tijekom vožnje, itd. [103]

S obzirom na sve navedeno, može se zaključiti da su ključne prednosti uporabe simulatora vožnje vezane uz mogućnost eksperimentalne kontrole, efikasnosti i jednostavnosti provođenja

istraživanja i prikupljanja podataka te cjelokupne sigurnosti. Naime, za razliku od istraživanja u realnom okruženju, studije provedene na simulatoru vožnje omogućuju ispitanicima ponašanje i reagiranje bez posljedica, odnosno u sigurnom okruženju. Također, simulatori vožnje istraživačima omogućuju pouzdano upravljanje, standardizaciju i preslikavanje stvarnih uvjeta vožnje i poteškoća u vožnji u virtualno okruženje, osiguravajući na taj način iste uvjete za sve ispitanike.

Usprkos mnogim prednostima, postoje i određeni nedostaci korištenja simulatora. Glavni nedostatak je taj da se stvarni svijet zbog svoje složenosti nikada neće moći u potpunosti preslikati u virtualni, zbog čega uvijek postoji određena dvojba vezana uz to koliko i u kojoj mjeri ponašanje na simulatoru odgovara onome u stvarnom svijetu. Naime, ispitanici nemaju pravi dojam o brzini kretanja vozila na simulatoru što ih potiče da voze brže nego što bi inače vozili u stvarnim uvjetima. Isto se može primijeniti i na položaj vozila u prometnoj traci za vrijeme vožnje pa se može dogoditi da ispitanici prelaze razdjelnu crtu ili skrenu s ceste na bankinu. Nadalje, nedostaci simulatora vezani su i uz relativno visoke inicijalne troškove te mogućnosti pojave simptomatske bolesti (blaga dezorijentacija, smetnje, mučnina, pa čak i povraćanje) kod određenog broja ispitanika.

Za potrebe ovog istraživanja korišten je statički simulator vožnje tvrtke Carnetsoft B. V. (Slika 13.), koji se sastoji od vozačkog dijela (sjedalo s pedalama, upravljačem i mjenjačem) te tri međusobno povezana zaslona, veličine 32'' i rezolucije 1920 x 1080, na kojima se prikazuje određen scenarij te pruža interaktivan prikaz stvarnosti s 210° okoline preko šest kanala (lijevi, srednji i desni pogled plus tri retrovizora na svakom monitoru). Simulacijski softver pokreće operacijski sustav Windows 10 (64 bita) na računalu koje sadrži 8 GB unutarnje memorije i 4 GB memorije za pohranu video snimki koristeći „frame rate“ (FPS) od 30 Hz.



Slika 13. Prikaz simulatora vožnje korištenog za potrebe provođenja istraživanja

Računalna podrška simulatora u sebi sadrži unaprijed definirane scenarije, ali omogućuje i izradu novih ovisno o potrebama. Sama struktura scenarija sastoji se od slojeva podijeljenih u četiri razine: topologija, logika, fizička i vizualna razina.

Topologija uključuje lokaciju komponenata i priključaka na prometnu mrežu oslanjajući se na udaljenost linija, relativnu poziciju osi ceste, širinu ceste i udaljenost do sredine ceste. Logika sadržava elemente informacija u cestovnom okruženju, odnosno prometnu signalizaciju za određivanje prednosti prolaska, smjera kretanja i autorizacije vozila. Fizička razina obuhvaća karakteristike elemenata, to jest površinski materijal ceste i prepreka, dok se vizualnom razinom prikazuju 3D elementi (širina i tekstura oznaka na kolniku, 3D objekti, visinski profil ceste i slično).

Simulirani scenariji prikazuju se na tri povezana zaslona od kojih središnji sadrži najviše informacija te je ključan za provođenje simulacije (Slika 14.). Svaki zaslon omogućuje pogled izvan vozila i praćenje prometa bočnim zrcalima. Na središnjem zaslonu nalazi se pokazatelj ubrzanja, brojač okretaja, pokazatelj razine goriva u spremniku, lijevi i desni pokazivač smjera, pokazivač osvjettljenja ceste i pokazatelj korištenja parkirne kočnice.



Slika 14. Prikaz virtualnog okruženja simulatora vožnje

Izvor: [104]

Za svaki scenarij moguće je odabrati način rada, odnosno vožnje (automatski, ručno ili prethodno definirano simulatorom), a izvedba ispitanika nakon testiranog scenarija promatra se na tri razine:

1. Kontrolna razina kojom se očekuje da je ispitanik dovoljno upoznat s funkcijama koje se nalaze unutar vozila te može upravljati njime svojim snalaženjem;
2. Razina sudionika na kojoj se sagledavaju njegove posebne vještine te snalaženje u raznim prometnim situacijama poput one u kojoj slijedi vozilo ispred, poštuje prometna pravila i ograničenja, pretječe druga vozila, poštuje prava prednosti na raskrižjima i vozi autocestom;

3. Razina posebnih okolnosti u kojoj se razmatra ponašanje ispitanika u kompleksnim situacijama poput vožnje u uvjetima smanjene vidljivosti, na mokrom i skliskom kolniku te tijekom noći.

Opisani simulator korišten je kao istraživački alat u nekoliko istraživanja vezanih za ponašanje vozača i sigurnost cestovnog prometa [105], [106], [107] i [108].

5.1.2. *Metoda praćenja pogleda vozača (eye tracking)*

Uz simulator vožnje kao osnovni alat, za potrebe ovog istraživanja korištene su i naočale kojima se bilježi kretanje pogleda vozača tijekom vožnje (Slika 15.). Budući da više od 90 % informacija u prometu čovjek zaprima putem vida, primjena metode praćenja pogleda vozača u velikoj mjeri doprinosi utvrđivanju vozačeva vizualnog pregledavanja ceste i okoline te načina na koji kvaliteta prometne signalizacije i opreme utječe na vozača.



Slika 15. Naočale za bilježenje pogleda vozača tijekom vožnje na simulatoru

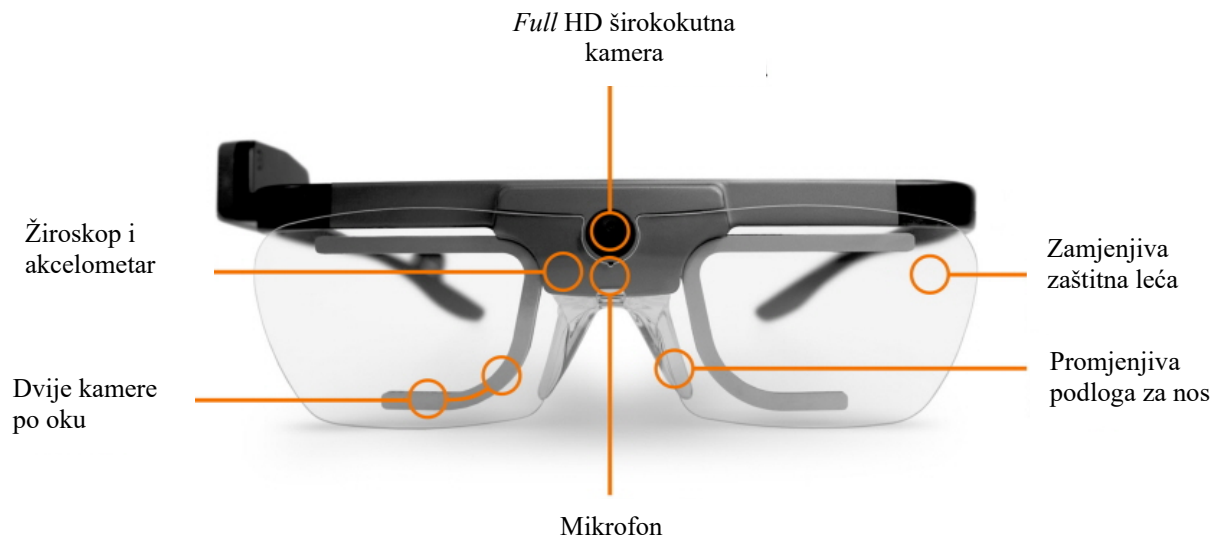
Metoda praćenja pogleda vozača (eng. *eye tracking*) predstavlja jedan od načina kojim se utvrđuje u kojem smjeru i što točno osoba gleda tijekom testiranja ili vožnje, odnosno ona služi kao jednostavan, ali značajan alat za prikupljanje podataka o usmjerenosti pogleda prema području interesa. Sama metoda temelji se na dvije vrste bilježenja kretanja pogleda. Jedan od načina odnosi se na mjerenje pozicije oka u odnosu na glavu, dok se drugi način oslanja na mjerenje položaja oka u prostoru ili točke usmjerenosti pogleda. U samim počecima većina istraživanja bila je povezana

sa psihologijom i fiziologijom, gdje je fokus stavljen na proučavanje funkcioniranja ljudskog oka te perceptivnih i kognitivnih procesa. Prvi načini praćenja pogleda ispitanika temeljili su se na invazivnom pristupu primjenom elektroda na koži blizu oka ispitanika. Prvi neinvazivni uređaj za praćenje pogleda izumio je Guy Thomas Buswell koristeći svjetlosne zrake koje su se reflektirale u oku i snimale na film [109]. No, usprkos objektivnim i preciznim izlaznim rezultatima prvih uređaja za praćenje pogleda, oni su bili izrazito neudobni zbog čega su se početkom 20. stoljeća razvili uređaji i metode koje su se oslanjale na fotografiju i refleksiju svjetla od rožnice.

Napredak istraživanja i razvoj metodologije praćenja pogleda nastavljen je tijekom 1970-ih i 1980-ih godina te su se uređaji za praćenje pogleda tehnički poboljšavali, što se posebno odnosilo na njihovu preciznost i sposobnost razlikovanja pokreta oči i glave. Razvoj računala doveo je do mogućnosti praćenja pogleda oka u stvarnom vremenu te praćenja pogleda osobe na temelju snimljenog videa (videookulografija).

Danas se za istraživanja pogleda čovjeka koristi neinvazivna oprema u obliku naočala ili fiksnih „eye trackera“ koji prate pogled ispitanika. Navedena je metodologija, zbog svog jednostavnog i neinvazivnog pristupa, zastupljena u raznim medicinskim, znanstvenim i drugim granama života, poput psihologije, psiholingvistike, neuropsihologije [110], u sportu [111] i marketingu [112].

U ovoj doktorskoj disertaciji korištene su Tobii Pro Glasses 2 naočale (Slika 16.). Osnovni elementi sustava čine naočale s instaliranim kamerama, uređaj za snimanje i računalna jedinica s instaliranim softverom u kojem se snimaju, bilježe i pohranjuju prikupljeni podaci. Naočale čine osnovni dio sustava jer se njima preko postavljenih kamera snima svaki pokret oka ispitanika, a dizajnom gotovo odgovaraju klasičnim dioptrijskim naočalama. One sadrže četiri kamere za snimanje oka (za svako oko po dvije) te četiri senzora (žiroskop i akcelometar). Kamerom postavljenom na prednjoj strani naočala omogućeno je snimanje prostora ispred ispitanika s HD rezolucijom od 1920*1080 piksela i pokrivenošću vidnog polja od 160° vodoravno i 70° okomito, dok su preostale kamere koje snimaju kretanje oka postavljene u leći naočala. Osim kamera, naočale sadrže i mikrofoni kojim je moguće snimiti zvuk prilikom ispitivanja čime se omogućuje detaljna obrada viđenog popraćena ispitanikovim komentarima. Kako bi naočale mogle prikupljati i bilježiti podatke, one moraju biti spojene s glavnim uređajem za snimanje u kojem se nalazi memorijska (SD) kartica na kojoj ostaje trajan zapis provedenog ispitivanja. Naočale za praćenje pogleda korištene u ovom projektu prikazane su na Slici 16.



Slika 16. Tobii Pro Glasses 2 naočale za praćenje pogleda

Izvor: [113]

Glavni uređaj je žičano povezan s naočalama za praćenje pogleda te se napaja punjivim Li-Ionskim baterijama čime je omogućeno njegovo korištenje u raznim uvjetima i realnim situacijama. Navedeni sustav podrazumijeva i instalacijski alat postavljen na računalnoj jedinici koji je izravno povezan s glavnim uređajem. Za kontrolu snimanja, kalibraciju i uvid u usmjerenost pogleda ispitanika u realnom vremenu koristi se prijenosno računalo (tablet).

5.1.3. *Elektroencefalograf (EEG uređaj) za mjerenje kognitivnog opterećenja ispitanika*

Elektroencefalografija je odvođenje i registracija promjene bioelektričnih potencijala koji nastaju aktivnošću mozga [114]. Promjene potencijala odvođe se (s pomoću 16 ili više elektroda) s mekog oglavka, a zatim se preko sustava pojačala prenose u uređaj za registraciju. Valovi koje EEG uređaj bilježi međusobno se razlikuju u frekvenciji, amplitudi, raspodjeli i učestalosti te se sukladno navedenom dijele na [114] :

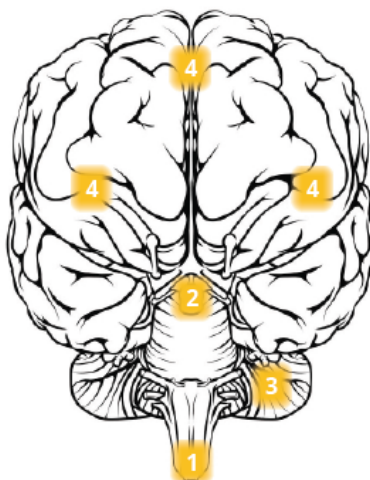
1. Alfa-valove, frekvencije od 8 do 13 u sekundi. Čine fiziološki osnovni ritam mozga u mirovanju te su najizraženiji iznad zatiljnih regija mozga.
2. Beta-valove, frekvencije od oko 14 do 30 u sekundi. Prilikom mirovanja često su znatno niži od alfa-valova te uglavnom prisutni u centralnim i čeonim područjima mozga. Osobito su izraženi prilikom promjene osjetnih podražaja, u psihičkoj napetosti, ali i nekim intoksikacijama.

3. Theta-valove, frekvencije od 4 do 7 u sekundi. Veća rasprostranjenost ovih valova ili asimetrično pojavljivanje znak je difuznog ili žarišnog usporenja u EEG-u i ima patološke značajke.
4. Delta-valove, frekvencije od 0,5 do 3 u sekundi. Predstavljaju patološke valove te su fiziološki prisutni samo u snu.

S obzirom na visoku vremensku razlučivost i bilježenje kognitivnih procesa u vremenskom okviru, mjerenje neuronske aktivnosti bilježi sitne signale s površine vlasišta, a relativno jeftin, lagan i prijenosni EEG uređaj predstavlja vrlo pogodan alat za proučavanje neurokognitivnog procesa ljudskog ponašanja.

Sukladno pojedinim funkcijama koje mozak obavlja, njegovu osnovnu podjelu (Slika 17.) čine sljedeće regije [115]:

1. Moždano deblo – donji i najstariji dio mozga, koji se sastoji od srednjeg mozga, ponsa i medulle. Često ga nazivaju „gmazov“ mozak, a njegova osnovna funkcija je da kontrolira autonomne tjelesne procese poput otkucaja srca, disanja, funkcije mokraćnog mjehura i osjećaja ravnoteže.
2. Limbički sustav – evolucijski vrlo stara struktura smještena duboko u mozgu, čestog naziva „emocionalni mozak“ u odnosu na funkciju prilikom napetih i uzbudljivih situacija.
3. Cerebellum ili „mali mozak“ – sastoji se od dvije hemisfere presavijenih površina. Osnovna funkcija vezana mu je uz regulaciju i kontrolu finih pokreta, držanja i ravnoteže te sadrži oko 80 % svih moždanih neurona.
4. Cerebrum ili korteks – najveći dio mozga sastavljen od dvije hemisfere koje nisu izravno povezane nego neizravno komuniciraju putem dugotrajnih veza preko talamusa i drugih cerebelarnih struktura. Zadužen je za obavljanje viših funkcija kao što su misao, odabir radnji i kontrola.



Slika 17. Podjela mozga na regije

Izvor: [115]

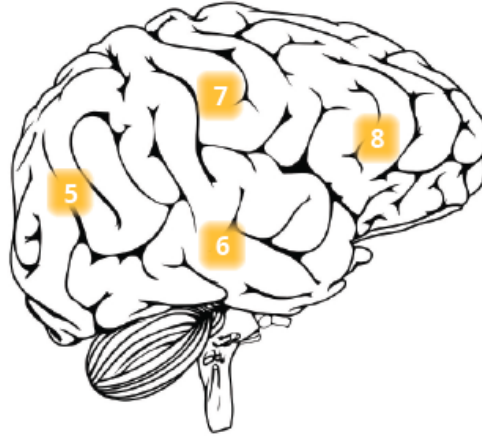
Cerebrum ili korteks dijeli se (Slika 18.) na četiri odsjeka, odnosno režnja [115]: okcipitalni (5), temporalni (6), parijetalni (7) i čeon (8).

Okcipitalni režanj smješten je u najkraćem stražnjem dijelu lubanje i glavni je centar za vizualnu obradu, uključujući vizualno-prostornu obradu na niskoj razini (orijentacija, prostorna frekvencija), razlikovanje boja i percepciju pokreta. Temporalni režanj odgovoran je za dugoročno pamćenje. Duboke temporalne strukture uključuju hipokampus, središnju strukturu za navigaciju, kodiranje i pretraživanje biografske memorije. Također, lijevi temporalni režanj koristi se za razumijevanje jezika, obradu i komunikaciju. Oštećenje ovih regija uzrokuje deficit u čitanju ili govoru.

Parijetalni (tjemeni) režanj integrira informacije dobivene iz vanjskog okruženja i povratne osjetne informacije dobivene od udova, mišića, glave, očiju, itd. On omogućuje obavljanje aktivnosti koje zahtijevaju pokrete odnosno koordinaciju ruku ili očiju jer vrši obradu, pohranu i procesiranje određenog predmeta u smislu njegova oblika, veličine i orijentacije u prostoru. Oštećenja na parijetalnom režnju rezultiraju poremećajem u motoričkom ponašanju i objektivno orijentiranim radnjama (pogrešna koordinacija očiju, ruku, nogu, itd.).

Čeon (frontalni) režanj nalazi se u čeonom (prednjem) dijelu lubanje te sadrži većinu dopaminski osjetljivih neurona. Frontalni režanj zadužen je za provedbu voljnih pokreta, odnosno ima vrlo važnu ulogu za planiranje i izvršavanje naučenih i svjesnih radnji. Blago oštećenje frontalnog režnja rezultira vidljivom promjenom ponašanja ljudi dok su kod većih oštećenja ljudi skloni olakoj rastresenosti, neodgovarajućoj euforiji, svadljivosti, vulgarnosti i grubosti.

Iako postoje desne i lijeve palete za svaki režanj, postoje posebne razlike između hemisfera. Ponekad je desna hemisfera povezana s kreativnošću i maštom, dok je lijeva hemisfera povezana s logičkim sposobnostima kao što su numerička i prostorna spoznaja.



Slika 18. Osnovna podjela korteksa

Izvor: [115]

Za izradu doktorske disertacije odnosno provedbu istraživanja koje podrazumijeva mjerenje kognitivnog opterećenja ispitanika koristio se prijenosni elektroencefalograf (EEG uređaj) proizvođača Neuroelectrics Enobio. Enobio EEG je nosivi bežični elektrofiziološki senzorski sustav za snimanje EEG-a koji uz integrirani korisnički sustav omogućuje konfiguraciju, snimanje i vizualizaciju 24-bitnih EEG podataka pri 500 S/s uključujući spektrogram i 3D vizualizaciju spektralnih značajki u stvarnom vremenu. Uređaj je medicinski certificiran za klinička medicinska i znanstvena istraživanja te mu je dodijeljena Klasa II a uređaja prema klasifikaciji Council Directive 93/42/EEC za medicinske uređaje [116].

Enobio EEG uređaj sastoji se od nekoliko glavnih i pomoćnih komponenata. Neoprenska (neopren kao materijal je sintetička guma dobivena polimerizacijom kloroprena) kapa (Slika 19.) koristi se za precizno postavljanje elektroda duž vlasišta.



Slika 19. Neuroelectrics neoprenska kapa za postavu elektroda i glavne jezgre sustava

Izvor: [117]

Necbox je glavna jezgra sustava odnosno upravljačka jedinica koja se pričvršćuje na neoprensku kapu gdje uz pomoć posebnog konektora (8-, 20- ili 32-pinski konektor, ovisno o broju postavljenih elektroda) povezuje i očitava signale s postavljenih elektroda. Napajanje upravljačke jedinice osigurano je putem baterija dok je konekcija s računalom omogućena bežičnom (*wi-fi*) vezom koja uz pomoć softverskog sučelja omogućuje praćenje i vizualizaciju EEG-a u stvarnom vremenu (mapiranje moždanih aktivnosti, spektrogram, grafikon snage, podatke akcelerometra...).

Ovisno o modelu, Enobio uređaj (glavna jezgra sustava) omogućuje ukupnu konekciju od 8, 20 ili 32 elektrode koje se mogu postaviti na vlasištu uz obaveznu uporabu vodljive paste (gela). Takve vrste elektroda (Slika 20.) nazivaju se vlažne elektrode i najčešće se izrađuju od srebra (Ag) s tankim slojem klorida (AgCl). U optimalnim uvjetima elektrode, vodljiva pasta i koža/vlasište na koje se postavljaju djeluju kao kondenzator i prigušuju prijenos niskih frekvencija. Elektrode se na vlasište postavljaju prema međunarodno priznatom sustavu 10-20 [76].



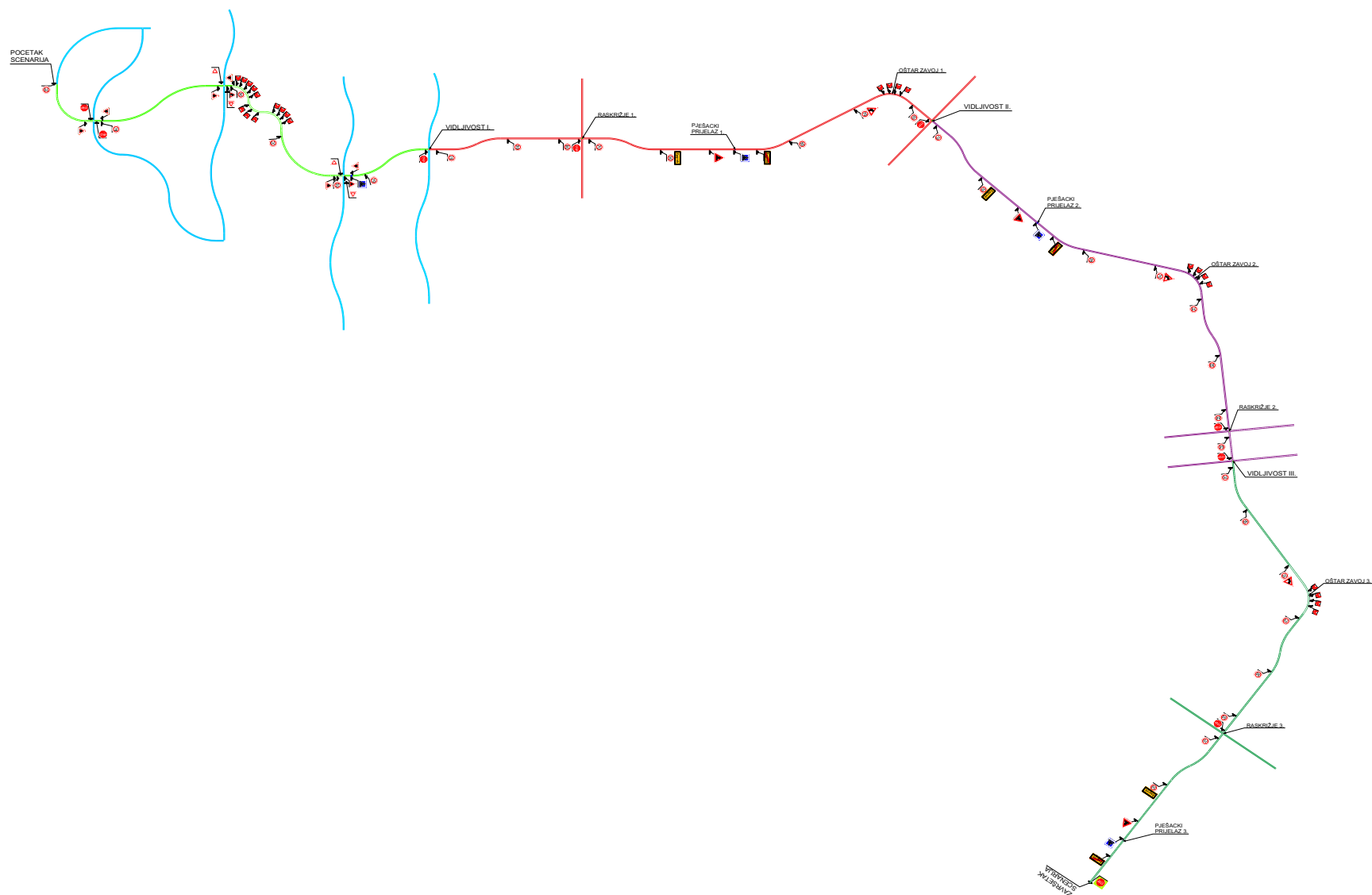
Slika 20. EEG elektrode

Izvor: [119]

Mjerenje kognitivnog opterećenja ispitanika za potrebe ovog istraživanja provedeno je uz primjenu pet elektroda koje omogućavaju mjerenje svih tipova moždanih valova u rezoluciji od 120 Hz uz mogućnost filtriranja. Mjerenje je izvršeno na parijetalnom (tjemenom) režnju uz korištenje theta-valova.

5.2. Dizajn scenarija za simulator vožnje

Scenarij na simulatoru vožnje, korišten za provođenje istraživanja u sklopu ove doktorske disertacije, dizajniran je kao dvosmjerna cesta kroz naseljeni i nenaseljeni dio. Širina kolnika iznosila je 6,50 m, odnosno širina jedne kolničke trake bila je 3,25 m (kolnička traka + zaustavna traka). Ukupna dužina ceste iznosila je 12,50 km od čega je 2,90 km bilo predviđeno za zagrijavanje (prilagodba na simulator vožnje) sudionika te 9,60 km za testnu vožnju. Testni dio scenarija podijeljen je u tri jednako dugačke te identično dizajnirane dionice ovisno o vidljivosti prometne signalizacije i opreme: 1) Vidljivost I – slaba vidljivost, 2) Vidljivost II – srednja vidljivost, 3) Vidljivost III – jaka vidljivost. Kao što je navedeno, dionice su bile međusobno identične, a u svakoj su bile definirane četiri najčešće rizične situacije za sigurnost prometa: četverokraka raskrižja, pješački prijelazi, oštri zavoji i ravni dijelovi ceste (Slika 21.). Redoslijed rasporeda dionica u scenariju, kao i navedenih rizičnih situacija bio je nasumičan za svakog ispitanika kako bi se izbjegao utjecaj „učenja“ na očekivanje i ponašanje ispitanika, a time i konačne rezultate istraživanja.



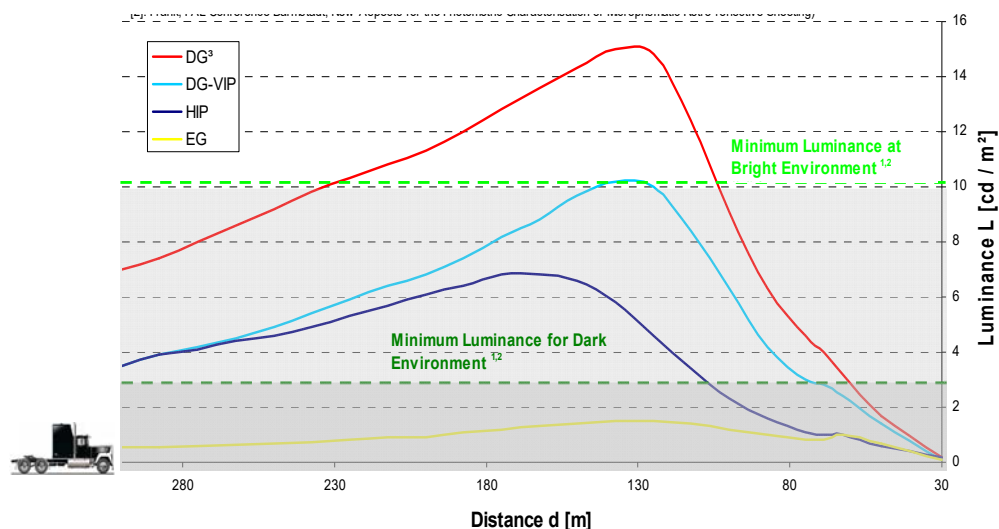
Slika 21. Dizajn scenarija za simulator vožnje (raspored „vidljivosti“ mijenjao se po ispitanicima)

Područje interesa, odnosno prikupljanje relevantnih podataka započelo je 200 m prije nailaska ispitanika na postavljenu rizičnu situaciju za sigurnost prometa (raskrižje, pješački prijelaz, ravni dio ceste i oštar zavoj), a završilo nakon njihovog prolaska. U područjima interesa (200 m prije nailaska na rizičnu situaciju) ukupno je bilo postavljeno 33 prometnih znakova (u smjeru vožnje) različitih klasa retroreflektirajućeg materijala (razine vidljivosti) (Tablica 1.). U zoni prije raskrižja postavljena su dva znaka izričitih naredbi (B30 – ograničenje brzine, 60 km/h i B02 – obavezno zaustavljanje), dva znaka za označavanje pješačkog prijelaza (A21 – približavanje označenom pješačkom prijelazu i C02 – pješački prijelaz), jedan znak izričite naredbe na ravnom dijelu ceste (B30 – ograničenje brzine, 90 km/h) te šest prometnih znakova prilikom nailaska na oštar zavoj (A05-1 – opasan zavoj, B30 – ograničenje brzine, 60 km/h, četiri K10-1 – ploča za označavanje zavoja prilikom slabe i srednje razine vidljivosti i četiri K11-1 – ploča za označavanje zavoja prilikom jake razine vidljivosti). Za svaku razinu vidljivosti ukupno je postavljeno 11 znakova.

Tablica 1. Broj prometnih znakova po kategoriji i klasi vidljivosti u odnosu na područje interesa pojedine rizične situacije za sigurnost prometa

Kategorija znaka	VIDLJIVOST I -Klasa I-P		VIDLJIVOST II -Klasa II-P		VIDLJIVOST III -Klasa III		Postotni udio %
	Dimenzije (cm)	Broj znakova	Dimenzije (cm)	Broj znakova	Dimenzije (cm)	Broj znakova	
Znakovi opasnosti	90 x 90 x 90	2	90 x 90 x 90	2	90 x 90 x 90	2	24,4%
Znakovi izričitih naredbi	Ø 90	4	Ø 90	4	Ø 90	4	36,3%
	60 x 60		60 x 60		60 x 60		
Znakovi obavijesti	60 x 60	1	60 x 60	1	60 x 60	1	3,0 %
	120 x 75		120 x 75		120 x 75		
Prometna oprema: Ploče za označavanje zavoja – K11-1	60 x 60	4	60 x 60	4	60 x 60	4	36,3%
Ukupni broj prometnih znakova	33						

Razina vidljivosti prometnih znakova (tri razine vidljivosti u noćim uvjetima vožnje) u scenariju određena je retroreflektirajućim materijalom od kojeg se prometni znakovi izrađuju te u skladu s minimalnim i optimalnim zahtjevima za njihovim osvjetljenjem u odnosu na udaljenost izvora svjetlosti (prednja svjetla vozila) [120] i [121] (Slika 22.).

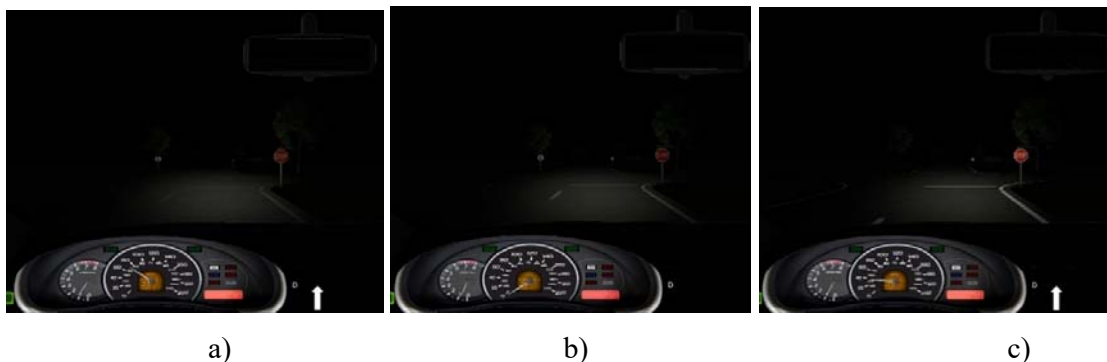


Slika 22. Krivulje osvjetljenja za pojedinu vrstu retroreflektirajućeg materijala – minimalna svjetlina potrebna vozaču

Izvor: [122]

Što se tiče oznaka na kolniku, cesta je bila označena razdjelnom i rubnim bijelim linijama širine 15 cm. Razina njihove vidljivosti određena je njihovom bojom i retroreflektivnim značajkama koje u odgovarajućem omjeru stvaraju kontrast između podloge i oznaka na njima. Za potrebe ovog istraživanja razina vidljivosti oznaka na kolniku (tri razine vidljivosti u noćim uvjetima vožnje) određena je prema istraživanju Pikea i suradnika [123] pri čemu je omjer između podloge i oznaka na kolniku za najmanju razinu vidljivosti u noćnim uvjetima vožnje iznosio 1:2,5.

Pregled različitih razina vidljivosti prometne signalizacije za potrebe ovog istraživanja dan je na Slici 23.



Slika 23. Slaba razina vidljivosti (a), srednja razina vidljivosti (b) i jaka razina vidljivosti prometne signalizacije pred raskrižjem na simulatoru vožnje

Scenarij je simulirao noćne uvjete, a na svim raskrižjima u scenariju ispitanici su imali obavezu zaustavljanja, tj. nisu imali prednost prolaska, pri čemu su se određena raskrižja

koristila za prelazak iz jedne razine vidljivosti prometne signalizacije u drugu (veću ili manju). Takvim načinom istraživanja analiziran je utjecaj razine vidljivosti prometne signalizacije u odnosu na psihofizičko opterećenje vozača u noćnim uvjetima vožnje.

5.3. Procedura ispitivanja

S obzirom na proglašenu pandemiju uzrokovanu virusom COVID-19, poštivane su sve sigurnosne mjere: upute o ponašanju ispitanika objašnjene su prije pristupanju laboratoriju, ostvaren je minimalni kontakt između ispitanika i istraživača, istraživačka oprema dezinficirana je nakon svakog ispitanika te su prozračeni prostori namijenjeni prijmu ispitanika i provođenju ispitivanja. Istraživanje je provedeno sukladno Etičkom kodeksu Fakulteta prometnih znanosti [Prilog 1.] i relevantnim zakonskim odredbama [124].

Na početku samog istraživanja ispitanicima je pojašnjena istraživačka oprema te metodologija istraživanja no ne i njegov cilj, kako se ne bi utjecalo na konačne rezultate. Nakon toga je ispitanicima pojašnjeno kako je tijekom vožnje na simulatoru moguća pojava blažih “mučnina” kod malog postotka vozača simulatora (5 %) te da će se u slučaju pojave glavobolje, nelagode, mučnine ili sličnih simptoma istraživanje prekinuti. Ispitanici su zamoljeni da prilikom ispitivanja voze što „prirodnije“, odnosno načinom koji smatraju da je prikladan te da, koliko je moguće, što manje pomiču glavom kako bi podaci vezani uz pogleda ispitanika bili što točniji i relevantniji. Nadalje, ispitanici su zamoljeni da tijekom vožnje voze isključivo uz upaljena „kratka“ svjetla na vozilu. Ispitanicima je također naglašeno da se ispitivanjem ne ocjenjuje njihova kvaliteta vožnje te da u slučaju kršenja prometnih propisa neće biti kažnjeni. Uz sve navedeno, ispitanicima je pojašnjeno i kako se istraživanje provodi sukladno Etičkom kodeksu Fakulteta prometnih znanosti, da će svi prikupljeni podaci biti kodirani te se neće objavljivati pod njihovim imenom i prezimenom.

Prije početka istraživanja ispitanici su bili zamoljeni da pročitaju i – osim ako nemaju neki objektivan razlog za nesudjelovanje – potpišu “Suglasnost za sudjelovanje u istraživanju” [Prilog 2.] te popune obrazac kojim su prikupljeni njihovi osnovni podaci: datum i godina rođenja, spol, datum stjecanja vozačke dozvole, vlastita procjena vozačke sposobnosti, sudjelovanje u prometnim nesrećama (kao vozači), učestalost vožnje, procjena godišnje prijeđenih kilometara te eventualni problemi s vidnim sustavom (dioptrijska te ostale očne mane) [Prilog 3.]. Nadalje, ispitanici su ispunili obrazac vezan uz samoprocjenu budnosti i psihofizičko stanje prije i nakon vožnje na simulatoru vožnje [125], [Prilog 4.] i [Prilog 5.].

Nakon popunjavanja obrazaca, ispitanici su zamoljeni da sjednu za simulator i namjestite sjedalo onako kako im najviše odgovara. Zatim je ispitanicima „namještena“ istraživačka

oprema: naočale za praćenje pogleda (ETG) i EEG uređaj. Prije početka vožnje, u laboratoriju su ugašena svjetla kako okolinska svjetlost ne bi utjecala na rezultate ispitivanja.

U prvom dijelu scenarija ispitanici su se nekoliko minuta adaptirali na noćne uvjete te „upoznavali“ sa simulatorom vozeći dio scenarija za zagrijavanje. Tom im je prilikom rečeno da slobodno naglo ubrzavaju, usporavaju, skreću lijevo-desno, itd., kako bi dobili što bolji „osjećaj“ za simulator. Nakon zagrijavanja (koje je trajalo 3 – 5 minuta), ispitanicima je naglašeno da počinje „stvarni“ dio scenarija.

Ispitivanje je sveukupno trajalo oko 17 minuta po ispitaniku („zagrijavanje“ + „stvarna vožnja“). Mjenjač na simulatoru je automatski te ispitanici nisu morali mijenjati brzine tijekom vožnje.

Nakon ispitivanja, ispitanici su ponovno ispunili obrazac [Prilog 5.] o samoprocjeni budnosti i trenutnom psihofizičkom stanju.

5.4. Varijable istraživanja i primijenjene statističke metode

Zahvaljujući primijenjenoj znanstvenoistraživačkoj opremi, točnije njenim mogućnostima (simulator vožnje, naočale za praćenje pogleda i EEG uređaj) prikupljeni su podaci vezani za brzinu vožnje, akceleraciju i deceleraciju, lateralni položaj vozila, osnovne očne pokrete (fiksacija i sakade te broj pogleda prema elementima prometne signalizacije) te kognitivno opterećenje, odnosno električnu aktivnost mozga. Dobiveni podaci predstavljaju osnovne varijable istraživanja prema kojima će se utvrditi povezanost između psihofizičkoga opterećenja vozača i kvalitete (razine vidljivosti) prometne signalizacije u noćnim uvjetima vožnje. Nazivi, definicije i jedinice korištenih varijabli prikazani su u Tablici 2.

Tablica 2. Nazivi, definicije i jedinice varijabli

NAZIV VARIJABLE	DEFINICIJA	JEDINICA
Brzina vožnje	<i>Promjena položaja objekta u jedinici vremena.</i>	<i>km/h</i>
Akceleracija/deceleracija	<i>Promjena brzine u jedinici vremena.</i>	<i>m/s²</i>
Lateralni položaj	<i>Položaj vozila određen udaljenošću od sredine prednjeg branika vozila do sredine desne rubne linije. Negativna vrijednost – pomak vozila je udesno (prema rubnoj liniji). Pozitivna vrijednost – pomak vozila je prema sredini ceste (razdjelnoj liniji).</i>	<i>m</i>
Fiksacije – broj i trajanje	<i>Stanje oka kada je ono „mirno“, odnosno kada se privremeno umiri prilikom promatranja objekta ili riječi kod čitanja.</i>	<i>N i (ms)</i>
Sakade – broj i trajanje	<i>Kretanje oka između dvije fiksacije.</i>	<i>N i (ms)</i>
Kognitivno opterećenje	<i>Moždani el. impulsi koji ukazuju na procese, odnosno reakcije mozga za vrijeme određenih aktivnosti ili izloženosti određenom podražaju.</i>	<i>Hz</i>

Kao što je navedeno u poglavlju 5.2., scenarij se sastojao od tri nasumično raspoređene dionice, svaka sa svojom razinom vidljivosti prometne signalizacije i opreme, a koje su bile međusobno odvojene raskrižjem. Mjerenje navedenih varijabli (Tablica 2.) započelo je 200 m prije nailaska ispitanika na svaku postavljenu rizičnu situaciju (raskrižje, pješački prijelaz, ravni dio ceste i oštar zavoj), a završilo nakon njihovog prolaska. Simulatorom vožnje mjereni su i zabilježeni podaci o brzini vožnje, akceleraciji/deceleraciji te lateralni položaj, naočalama za praćenje pogleda bilježili su se specifični pokreti oka u vidu fiksacija i sakada na određene elemente prometne signalizacije dok je u isto vrijeme encefalograf (EEG uređaj) bilježio kognitivno opterećenje ispitanika.

U svrhu mjerenja kognitivnog opterećenja ispitanika korišteni su theta-valovi pri čemu je izvršeno mjerenje na tjemenu režnju uz pomoć pet elektroda [126], [127], [128] i [129].

U metodu obrade sirovih podataka (svih kanala EEG uređaja) bila je uključena:

- Upotreba *demeaning* i *detrending* funkcije za prepoznavanje i odbacivanje artifakata mjerenja. Zadana vrijednost od 0.1 Hz odabrana je kako bi se izbjegle distorzije u signalu [130], stoga je filtriranje niskih frekvencija (u ovom slučaju ispod 0.1 Hz) izvršeno pomoću „Butterworth *high-pass* filtera“. Filtriranje „šuma“ pomoću „Butterworth filtera“ u ovom istraživanju provedeno je za frekvenciju od 50 Hz uz odbacivanje artifakta koji se odvijaju prema parametru praga od 400 μ V. Sve točke (rezultati mjerenja) iznad ovog praga smatraju se ekstremnim vrijednostima i uklanjaju iz daljnje analize. Za provjeru kvalitete signala računa se postotak uklonjenih podataka (visok postotak označava lošu kvalitetu signala). Zadana

vrijednost praga (400 μV) odabrana je kako bi se sačuvala tipična amplituda EEG signala odraslog čovjeka (raspon od 10 do 100 μV) [131].

- Izračun procjene *power spectral density* (PSD – snaga mjenog signala u odnosu na frekvenciju) odvija se pomoću (brze) Fourierove transformacije (FFT – zapis periodičke funkcije kao suma sinusa različitih amplituda, faza i frekvencija) [132]. U osnovi, filtrirani signal se dijeli u 2 sekunde vremenske serije (s preklapanjem od 1 sekunde). Svaka se serija zatim dijeli u 3 prozora u trajanju od 1 sekunde (preklapanje od 0,5 sekunde), a dobiveni PSD rezultat se objedinjuje.

Za svaku se rizičnu situaciju (područje interesa kod raskrižja, pješačkog prijelaza, ravnog dijela ceste te oštrog zavoja) računala prosječna vrijednost i standardna devijacija navedenih varijabli, a sami podaci su ekstrahirani pomoću računalnih alata za obradu podataka pojedine istraživačke opreme na način da su označeni „početci“ i „završetci“ pojedine dionice. Na temelju prikupljenih podataka, u poglavljima koji slijede prikazani su statistički obrađeni rezultati koji uključuju deskriptivnu analizu podataka svih ispitanika, analizu podataka dobivenih na simulatoru vožnje (ANOVA test nad varijablama dobivenim simulatorom vožnje), analizu rezultata podataka prikupljenih *eye tracking* tehnologijom (ANOVA test za određivanje razlike između broja fiksacija, trajanja fiksacija te broja sakada između vožnji s različitom razinom vidljivosti elemenata prometne signalizacije) i analizu rezultata kognitivnog opterećenja ispitanika (ANOVA test korišten za utvrđivanje statistički značajne razlike između uvjeta slabe, srednje i visoke razine vidljivosti elemenata prometne signalizacije).

6. ANALIZA DOBIVENIH REZULTATA

Kao što je prethodno navedeno, ispitanici su na simulatoru vožnje vozili scenarij s prethodno pripremljenim različitim razinama vidljivosti elemenata prometne signalizacije i opreme. Tijekom vožnje na scenariju, razina vidljivosti elemenata prometne signalizacije (oznaka na kolniku i prometnih znakova) mijenjala se kroz tri prethodno definirane dionice ceste (scenarij je uključio za sigurnost prometa najčešće rizične situacije: raskrižja, pješačke prijelaze, ravni dio ceste te vožnju kroz zavoje). Podaci koji su se prikupljali tijekom vožnje kroz tri karakteristične dionice vezani su uz brzinu vožnje, akceleraciju i deceleraciju, lateralni položaj vozila, osnovne očne pokrete (fiksacija i sakade te broj pogleda prema elementima prometne signalizacije) te kognitivno opterećenje, odnosno električnu aktivnost mozga. U poglavljima koji slijede prikazana je analiza i statistička obrada dobivenih rezultata.

6.1. Deskriptivna analiza podataka ispitanika

Za potrebe ovog istraživanja angažirano je 45 ispitanika različitih dobnih skupina s važećom vozačkom dozvolom označenih kodnom oznakom (S01 – S45) [Prilog 6.]. Kod troje ispitanika mjerenje kognitivnog opterećenja nije bilo uspješno stoga je u konačnici istraživanje obuhvatilo 42 ispitanika. Najmlađi ispitanik imao je 21, a najstariji 66 godina starosti uz prosječnu vrijednost od 35 godina ($\bar{x} = 35,13$; raspon = 21,26 – 66,07; SD = 11,50) dok postotni udio na temelju spolne podjele iznosi 40 % žena te 60 % muškaraca. Sudionici uključeni u ovo istraživanje predstavljaju većinu hrvatskih vozača – više od 60 % vozača u Hrvatskoj starosti je između 25 i 50 godina od čega 59 % čine muškarci.

Vozačko iskustvo ispitanika u prosjeku je iznosilo petnaest godina ($\bar{x} = 15,59$; raspon = 0,55 - 47,31; SD = 11,25) pri čemu su svoju vozačku sposobnost u prosjeku ocijenili s ocjenom 4,15 (raspon ocjena: 1 – vrlo loše; 2 – loše; 3 – dobro; 4 – vrlo dobro; 5 – odlično). Prema vlastitoj procjeni, ispitanici u prosjeku prelaze 17 546,70 kilometara automobilom godišnje (SD = 12 591,90; raspon = 100 – 60 000), pri čemu 84,44 % ispitanika vozi svakodnevno, 6,67 % nekoliko puta mjesečno, 4,44 % nekoliko puta tjedno te isto toliko (4,44 %) par puta godišnje.

6.2. Simulator vožnje

Simulatorom vožnje prikupljeni su podaci o brzini vožnje, akceleraciji i deceleraciji te lateralnom položaju. Navedeni podaci bilježeni su kroz tri različite razine vidljivosti pri čemu je svaka sadržavala po četiri najčešće rizične situacije za sigurnost prometa: četverokrako raskrižje, pješački prijelaz, oštar zavoj i ravni dio ceste.

6.2.1. Brzina vožnje

Gledajući na razini cijelog scenarija, prosječna je brzina vožnje za dio sa slabom razinom vidljivosti iznosila 64,63 km/h, srednjom 65,52 km/h te jakom razinom vidljivosti 66,16 km/h. Provedenom analizom varijance utvrđen je statistički značajan glavni efekt vidljivosti prometne signalizacije na prosječnu brzinu vožnje ($F = 4,00$; $df1 = 1,94$; $df2 = 85,30$; $p = 0,023$; $\eta^2 = 0,083$).

S obzirom na razine vidljivosti i postavljene rizične situacije, detaljnijom analizom može se zaključiti kako je najmanja prosječna brzina zabilježena prilikom slabe razine vidljivosti prometne signalizacije, dok je najveća brzina vožnje zabilježena kod jake razine vidljivosti u svim postavljenim rizičnim situacijama za sigurnost prometa. Iako je na deskriptivnoj razini prosječna brzina rasla u odnosu na vidljivost, interakcijski efekt između razine vidljivosti prometne signalizacije i postavljenih rizičnih situacija za sigurnost prometa nije bio statistički značajan ($F = 1,44$; $df1 = 3,17$; $df2 = 139,24$; $p = 0,232$; $\eta^2 = 0,032$). Drugim riječima, brzina vožnje sudionika razlikovala se u odnosu na razinu vidljivosti prometne signalizacije, neovisno o postavljenoj rizičnoj situaciji u kojoj je zabilježena.

Aritmetičke sredine i standardne devijacije prosječne brzine vožnje u odnosu na razinu vidljivosti prometne signalizacije i postavljene rizične situacije za sigurnost prometa prikazane su u Tablici 3.

Tablica 3. Prosječna brzina (km/h) u odnosu na situaciju i razinu vidljivosti

Rizične situacije	Slaba vidljivost		Srednja vidljivost		Jaka vidljivost	
	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>
Raskrižje	58,39	12,78	57,60	11,23	59,47	12,56
Pješački prijelaz	45,86	6,66	45,72	6,22	46,65	7,45
Ravni dio	79,41	12,13	81,14	10,40	84,02	9,46
Zavoj	73,65	11,80	76,21	10,87	75,81	10,26

6.2.2. Akceleracija i deceleracija

a) Akceleracija

Prosječna akceleracija, neovisno o postavljenoj rizičnoj situaciji za sigurnost prometa, za scenarij slabe razine vidljivosti iznosila je $0,57 \text{ m/s}^2$, srednje razine vidljivosti $0,56 \text{ m/s}^2$, a jake razine vidljivosti $0,57 \text{ m/s}^2$. Viša prosječna akceleracija zabilježena je kod raskrižja i pješačkog prijelaza u uvjetu slabe i jake razine vidljivosti, dok je najviša zabilježena u uvjetu srednje razine vidljivosti. Ipak, glavni efekt uvjeta vidljivosti prometne signalizacije nije bio statistički značajan ($F = 1,02$; $df1 = 1,92$; $df2 = 84,37$; $p = 0,363$; $\eta^2 = 0,023$), kao ni interakcijski efekt između uvjeta vidljivosti prometne signalizacije i postavljenih rizičnih situacija za sigurnost prometa ($F = 0,16$; $df1 = 4,10$; $df2 = 180,22$; $p = 0,987$; $\eta^2 = 0,004$).

Prosječna akceleracija u odnosu na razinu vidljivosti prometne signalizacije i postavljenih rizičnih situacija za sigurnost prometa prikazana je u Tablici 4.

Tablica 4. Prosječna akceleracija (m/s^2) s obzirom na situaciju i razinu vidljivosti

Rizične situacije	Slaba vidljivost		Srednja vidljivost		Jaka vidljivost	
	M	SD	M	SD	M	SD
Raskrižje	0,701	0,456	0,727	0,355	0,716	0,324
Pješački prijelaz	0,778	0,350	0,847	0,347	0,796	0,323
Ravni dio	0,351	0,144	0,391	0,229	0,363	0,174
Zavoј	0,231	0,154	0,234	0,151	0,225	0,118

Post hoc usporedbe prosječne akceleracije u postavljenim rizičnim situacijama prikazane su u Tablici 4. Provedenim testiranjima nije utvrđena statistički značajna razlika u prosječnoj akceleraciji prilikom nailaska ispitanika na raskrižja i pješačke prijelaze, međutim, u ove je dvije situacije prosječna akceleracija bila statistički značajno viša u odnosu na ravni dio ceste i zavoje. Također, prosječna je akceleracija bila statistički značajno viša kada su ispitanici vozili ravnim dijelom ceste u odnosu na vožnju kroz zavoje.

b) Deceleracija

Prosječna deceleracija, neovisno o postavljenoj rizičnoj situaciji za sigurnost prometa, za scenarij slabe razine vidljivosti iznosila je $-0,94 \text{ m/s}^2$, srednje razine vidljivosti $-0,89 \text{ m/s}^2$, a jake razine vidljivosti $-1,00 \text{ m/s}^2$. S obzirom da je najviša brzina vožnje zabilježena u uvjetima jake vidljivosti, razina deceleracije u navedenim je uvjetima također bila najveća. Nadalje, veća prosječna deceleracija zabilježena je kod situacija raskrižja i pješačkog prijelaza u svim razinama vidljivosti prometne signalizacije pri čemu je ona nešto veća u situaciji raskrižja. Niža

prosječna deceleracija zabilježena je u situacijama ravnog dijela ceste i oštrog zavoja u svim razina vidljivosti prometne signalizacije.

Prosječna deceleracija u odnosu na razinu vidljivosti prometne signalizacije i postavljene rizične situacije za sigurnost prometa prikazana je u Tablici 5.

Tablica 5. Prosječna deceleracija (m/s^2) u odnosu na razinu vidljivosti prometne signalizacije i postavljenu rizičnu situaciju za sigurnost prometa

Rizične situacije	Slaba vidljivost		Srednja vidljivost		Jaka vidljivost	
	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>
Raskrižje	-2,259	1,116	-2,167	0,833	-2,443	0,924
Pješački prijelaz	-1,590	0,723	-1,388	0,657	-1,717	0,936
Ravni dio	-0,219	0,202	-0,248	0,270	-0,223	0,240
Zavoj	-0,536	0,234	-0,523	0,174	-0,601	0,325

Provedenom analizom varijance utvrđen je statistički značajan glavni efekt razine vidljivosti prometne signalizacije na prosječnu deceleraciju pri vožnji ($F = 4,19$; $df1 = 1,96$; $df2 = 86,28$; $p = 0,019$; $\eta^2 = 0,087$). S druge strane, interakcijski efekt između razine vidljivosti prometne signalizacije i postavljenih rizičnih situacija za sigurnost prometa nije bio statistički značajan ($F = 0,99$; $df1 = 3,23$; $df2 = 88,55$; $p = 0,403$; $\eta^2 = 0,022$).

Prosječne deceleracije u uvjetima različite razine vidljivosti prometne signalizacije ispitane su serijom *post hoc* testova, a rezultati prikazani u Tablici 6. Provedenim testiranjima nije utvrđena statistički značajna razlika u prosječnoj deceleraciji između uvjeta slabe i srednje razine vidljivosti, kao ni između uvjeta slabe i jake razine vidljivosti. Međutim, u uvjetu jake razine vidljivosti prosječna je deceleracija bila viša nego u uvjetu srednje razine vidljivosti zbog veće prosječne brzine vožnje.

Tablica 6. *Post hoc* usporedbe prosječne deceleracije u uvjetima različite razine vidljivosti

Vidljivost A	Vidljivost B	<i>p</i>
Slaba vidljivost ($M = -1,157$)	Srednja vidljivost ($M = -1,082$)	0,555
	Jaka vidljivost ($M = -1,246$)	0,445
Srednja vidljivost ($M = -1,082$)	Jaka vidljivost ($M = -1,246$)	0,012

6.2.4. Lateralni pomak

Variranje u lateralnom položaju određeno je putem standardne devijacije, a deskriptivna statistika s obzirom na postavljenu rizičnu situaciju i razinu vidljivosti prometne signalizacije. Prema Tablici 7., najveće variranje u lateralnom položaju zabilježeno u uvjetu slabe vidljivosti prometne signalizacije (u situaciji zavoja) dok je ono najmanje u uvjetu srednje i jake razine vidljivosti (situacija pješačkog prijelaza).

Tablica 7. Standardna devijacija lateralnog položaja (m) u odnosu na postavljenu situaciju i razinu vidljivosti prometne signalizacije

Rizične situacije	Slaba vidljivost		Srednja vidljivost		Jaka vidljivost	
	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>
Raskrižje	0,151	0,077	0,145	0,069	0,146	0,090
Pješački prijelaz	0,142	0,079	0,124	0,060	0,127	0,065
Ravni dio	0,225	0,101	0,208	0,094	0,194	0,078
Zavoj	0,291	0,103	0,295	0,110	0,291	0,100

Variranje u lateralnom položaju nije se statistički značajno razlikovalo u uvjetima različite razine vidljivosti prometne signalizacije, $F = 1,54$; $df_1 = 1,90$; $df_2 = 83,77$; $p = 0,222$; parcijalna $\eta^2 = 0,034$, no između promatranih situacija utvrđena je statistički značajna razlika u variranju ovog parametra, $F = 78,30$; $df_1 = 2,26$; $df_2 = 99,64$; $p < 0,001$; parcijalna $\eta^2 = 0,640$. Interakcijski efekt između vidljivosti i situacije nije bio statistički značajan, $F = 0,59$; $df_1 = 4,22$; $df_2 = 185,88$; $p = 0,680$; parcijalna $\eta^2 = 0,013$.

Najniže variranje u lateralnom položaju utvrđeno je u situacijama raskrižja i pješačkog prijelaza te *post hoc* usporedbama između ovih dviju situacija nije utvrđena statistički značajna razlika (Tablica 8.). Variranje u lateralnom položaju u uvjetu ravnog dijela ceste bilo je statistički značajno više u odnosu na variranje u uvjetima raskrižja i pješačkog prijelaza. Konačno, variranje u lateralnom položaju bilo je statistički značajno više u uvjetu zavoja u odnosu na sve ostale situacije.

Tablica 8. *Post hoc* usporedbe variranja u lateralnom položaju u različitim situacijama

Situacija A	Situacija B	<i>p</i>
Raskrižje (M = 0,147)	Pješački prijelaz (M = 0,131)	0,212
	Ravnica (M = 0,209)	< 0,001
	Zavoj (M = 0,292)	< 0,001
Pješački prijelaz (M = 0,131)	Ravnica (M = 0,209)	< 0,001
	Zavoj (M = 0,292)	< 0,001
	Zavoj (M = 0,292)	< 0,001
Ravnica (M = 0,209)	Zavoj (M = 0,292)	< 0,001

6.3. Elektroencefalografija – EEG

Rezultat kognitivnog opterećenja zabilježen tijekom ovog istraživanja izračunat je kao aktivnost mozga u tjemnom režnju, prema već spomenutoj metodi obrade podataka. Osim načina mjerenja kognitivnog opterećenja, dosadašnja istraživanja [133], [134] i [135] pojašnjavaju skalu kognitivnog opterećenja pa se tako:

1. Optimalno kognitivno opterećenje kreće blizu 0, odnosno osoba je u granicama normalnog kognitivnog opterećenja i bez većeg napora interpretira stimulus kojem je izložena;
2. Rezultati iznad 0,20 označavaju početni visoki te porastom vrijednosti vrlo visoki kognitivni napor gdje osoba „troši“ više mentalnih resursa da razumije i interpretira informaciju/stimulus kojem izložena;
3. Rezultati ispod -0,10 ukazuju na početak smanjene aktivnosti i graničnu zonu dosade koja može utjecati na pospanost, odnosno definira moment u kojem osoba mentalno „odluta“ (iako ima vizualnu pažnju na stimulusu, mozak procesira neku drugu informaciju).

U skladu s navodima, u Tablici 9. prikazane su aritmetičke sredine kognitivnog opterećenja (*z-score*) ispitanika ovisno o rizičnoj situaciji i razini vidljivosti prometne signalizacije.

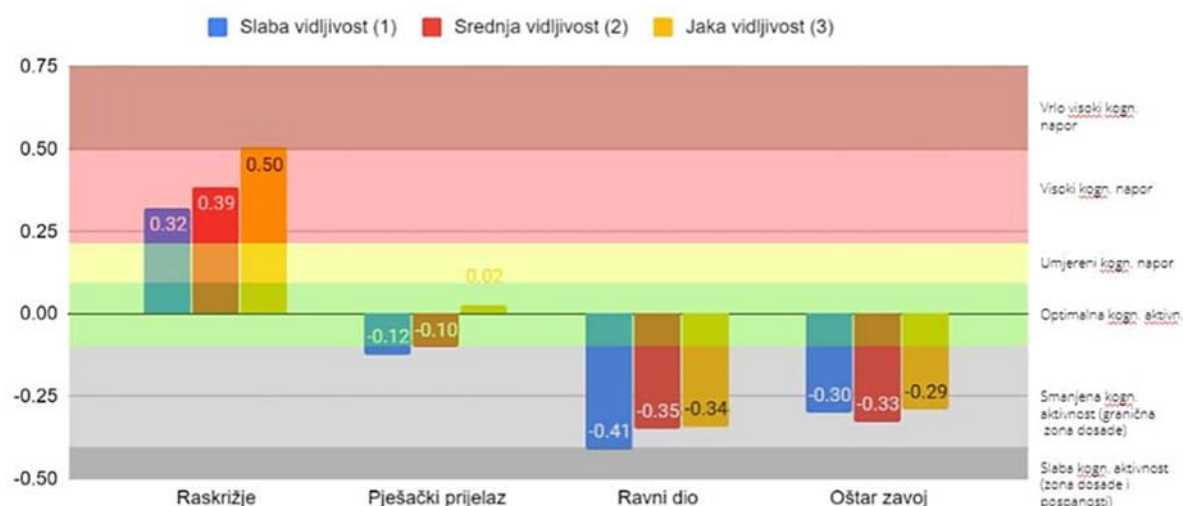
Tablica 9. Aritmetičke sredine kognitivnog opterećenja (*z-score*) prema svim elementima ceste (raskrižje, pješački prijelaz, ravni dio ceste i oštar zavoj) ovisno o razini vidljivosti prometne signalizacije

Rizična situacija	Slaba vidljivost (M)	Srednja vidljivost (M)	Jaka vidljivost (M)
Raskrižje	0,32	0,39	0,50
Pješački prijelaz	-0,12	-0,10	0,02
Ravni dio	-0,41	-0,35	-0,34
Oštar zavoj	-0,30	-0,33	-0,29

Sumirani rezultati Tablice 9. prikazani su na Slici 24. Najviše kognitivno opterećenje bilježe raskrižja, tj. visoki kognitivni napor zabilježen je uslijed razmišljanja o najboljem trenutku prolaska kroz raskrižje, donošenja odluke i samog prolaska kroz raskrižje neovisno o razini vidljivosti prometne signalizacije. Zbog kompleksnosti situacije koju uzrokuje niz kognitivnih procesa u tim trenucima, raskrižja imaju razinu opterećenja iznad normalnih (uobičajenih) vrijednosti. Nadalje, primjenom ANOVA-e utvrđena je statistički značajna razlika ($p < 0,05$) između kognitivnog napora u raskrižju u uvjetu slabe vidljivost ($M = 0,32$, $SD = 1,09$) i jake vidljivosti ($M = 0,50$, $SD = 1,15$). Statistički značajna razlika ($p > 0,05$) nije zabilježena između kognitivnog napora u situaciji raskrižja između slabe vidljivosti ($M = 0,32$, $SD = 1,09$) i srednje vidljivosti ($M = 0,39$, $SD = 1,11$) kao ni između kognitivnog napora u raskrižju u uvjetu srednje ($M = 0,39$, $SD = 1,11$) i jake vidljivosti ($M = 0,50$, $SD = 1,15$).

Nadalje, statistički značajna razlika ($p < 0,05$) postoji između kognitivnog napora na pješačkom prijelazu u uvjetu slabe ($M = -0,12$, $SD = 0,89$) i jake vidljivosti ($M = 0,02$, $SD = 0,96$), pri čemu vožnja u situaciji pješačkog prijelaza u uvjetu jake vidljivosti predstavlja optimalno kognitivno opterećenje. Statistički značajna razlika ($p > 0,05$) nije zabilježena između kognitivnog napora u situaciji pješačkog prijelaza između slabe ($M = -0,12$, $SD = 0,89$) i srednje vidljivosti ($M = -0,10$, $SD = 0,91$) kao ni između srednje ($M = -0,10$, $SD = 0,91$) i jake vidljivosti ($M = 0,02$, $SD = 0,96$).

U slučaju vožnje po ravnim dijelovima ceste i ostrim zavojima, statistički značajna razlika nije zabilježena niti u jednome od uvjeta vidljivosti.



Slika 24. Kognitivno opterećenje (*z-score*) po četiri elementa ceste (raskrižje, pješački prijelaz, ravni dio ceste i oštar zavoj) ovisno o razini vidljivosti prometne signalizacije

Zbog individualnih razlika između ispitanika u aktivnosti mozga prilikom vožnje i razlika u iskustvu vožnje, podaci su pretvoreni u kompozitni rezultat standardiziranih vrijednosti svakog ispitanika. Također je napravljena korekcija rezultata u svrhu neutraliziranja efekta umora u kasnijim fazama vožnje uz pomoć ponderiranja, ovisno o protoku vremena. Prosječno je kognitivno opterećenje – u uvjetima učenja, slabe, srednje i jake vidljivosti signalizacije na cesti – u ovisnosti o postavljenoj rizičnoj situaciji na sigurnost prometa prikazano na Slici 25. Veći kognitivni napor (*z-score* 0,24) zabilježen u fazi učenja odnosno prilagođavanja ispitanika na simulator, dok je optimalna kognitivna aktivnost (*z-score* -0,06) postignuta prilikom vožnje ispitanika uvjetima kada je razina vidljivosti prometne signalizacije bila najveća. Slaba i srednja razina vidljivosti prometne signalizacije bilježe smanjenu kognitivnu aktivnost prilikom čega određeni uzorak dobivenih mjerenja u srednjoj razini vidljivosti bilježi optimalnu kognitivnu aktivnost.



Slika 25. Kognitivno opterećenje u uvjetima učenja, slabe, srednje i jake vidljivosti signalizacije na cesti

Na razini cijelog scenarija, rezultati ANOVA-e pokazali su statistički značajnu razliku između kognitivnog opterećenja između slabe i jake vidljivosti elemenata prometne signalizacije ($F = 5.834$, $p < 0.05$). U uvjetu slabe vidljivosti zabilježeno je niže kognitivno opterećenje ($M = -0.14$, $SD = 0.90$) u odnosu na uvjet s jakom vidljivosti signalizacije ($M = -0.06$, $SD = 0.99$). Statistički značajna razlika između uvjeta sa slabo vidljivom signalizacijom i uvjeta sa srednje vidljivom signalizacijom ($F = 3.162$, $p > 0.05$) nije zabilježena kao ni između uvjeta srednje i uvjeta s jako vidljivom signalizacijom ($F = 1.284$, $p > 0.05$).

Iz svega navedenog može se zaključiti kako razina vidljivosti prometne signalizacije pozitivno utječe na kognitivno opterećenje ispitanika. Najmanje kognitivno opterećenje zabilježeno je u uvjetu slabe razine vidljivosti prometne signalizacije označavajući graničnu zonu dosade/ne zainteresiranosti za ispitanike, dok je optimalna kognitivna aktivnost (interpretiranje postavljenih problema bez većeg napora) zabilježena za vrijeme jake razine vidljivosti prometne signalizacije. Uvjet srednje razine vidljivosti bilježi granične rezultate između smanjene aktivnosti i optimalne kognitivne aktivnosti.

6.4. Praćenje oka vozača – *eye tracking*

Specifični pokreti oka tijekom vožnje u simuliranim uvjetima na simulatoru vožnje prikupljeni su primjenom Tobii Pro naočala za praćenje pogleda vozača. Kao što je opisano u poglavlju 5.4., prikupljeni podaci vezani su uz ukupni broj fiksacija i sakada, broj pogleda na razdjelnu te lijevu i desnu rubnu liniju te broj pogleda na prometne znakove, označavajući pritom postotak primijećenih prometnih znakova.

6.4.1. Broj fiksacija

Prosječni broj fiksacija oka u pojedinoj situaciji pri svakoj razini vidljivosti prikazan je u Tablici 10. iz koje se može uočiti da su ispitanici prije nailaska na rizične situacije prilikom vožnje na dijelu scenarija koji karakterizira slaba vidljivost prometne signalizacije imali u prosjeku najviše fiksacija (32,84 fiksacije). S druge strane, u uvjetima srednje i jake vidljivosti ispitanici su imali gotovo isti prosječni broj fiksacija (31,42 i 31,26). Najveći prosječni broj fiksacija zabilježen je u situaciji oštrog zavoja pri slaboj razini vidljivosti prometne signalizacije, dok je najmanji prosječni broj fiksacija zabilježen u situaciji ravnog dijela ceste gotovo podjednako u srednjoj i jakoj razini vidljivosti prometne signalizacije.

Tablica 10. Prosječni broj fiksacija u odnosu na razinu vidljivosti prometne signalizacije i postavljenu rizičnu situaciju za sigurnost prometa

Rizične situacije	Slaba vidljivost		Srednja vidljivost		Jaka vidljivost	
	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>
Raskrižje	30,56	11,07	31,53	11,89	28,78	10,43
Pješački prijelaz	36,40	10,49	37,89	8,63	37,40	12,27
Ravni dio	26,29	10,70	23,40	8,64	24,42	9,38
Zavoj	38,13	14,95	32,89	13,25	34,47	14,33

Provedenom analizom (ANOVA) nije utvrđen statistički značajan glavni efekt razine vidljivosti prometne signalizacije na broj fiksacija oka ($F = 1,51$; $df_1 = 1,82$; $df_2 = 80,12$; $p = 0,229$; $\eta^2 = 0,033$), no utvrđen je statistički značajan interakcijski efekt između razine vidljivosti prometne signalizacije i postavljene rizične situacije na broj fiksacija ($F = 3,05$; $df_1 = 4,56$; $df_2 = 200,46$; $p = 0,014$; $\eta^2 = 0,065$). Drugim riječima, učinak razine vidljivosti prometne signalizacije na broj fiksacija ovisio je o postavljenoj rizičnoj situaciji. Kako bi se utvrdilo u kojoj je mjeri interakcijski efekt značajan, provedena je analiza jednostavnih efekata kako bi se usporedio broj fiksacija pri različitim razinama vidljivosti prometne signalizacije u svakoj postavljenoj rizičnoj situaciji (Tablica 11.).

U postavljenim situacijama raskrižja, pješačkog prijelaza te ravnog dijela ceste nije utvrđena statistički značajna razlika u broju fiksacija u odnosu na razinu vidljivosti prometne signalizacije. Međutim, u situaciji zavoja broj fiksacija bio je statistički značajno veći u uvjetu slabe razine vidljivosti u odnosu na uvjet srednje vidljivosti. Iako je na deskriptivnoj razini broj fiksacija u uvjetu slabe razine vidljivosti bio viši i u odnosu na uvjet jake razine vidljivosti, ta

razlika nije dosegla statističku značajnost. Između uvjeta srednje i jake razine vidljivosti nije utvrđena statistički značajna razlika u broju fiksacija.

Tablica 11. Usporedba broja fiksacija pri različitim razinama vidljivosti u pojedinoj situaciji

Vidljivost A	Vidljivost B	<i>p</i>
Raskrižje		
Slaba vidljivost ($M = 30,56$)	Srednja vidljivost ($M = 31,53$)	$> 0,999$
	Jaka vidljivost ($M = 28,78$)	0,963
Srednja vidljivost ($M = 31,53$)	Jaka vidljivost ($M = 28,78$)	0,291
Pješački prijelaz		
Slaba vidljivost ($M = 36,40$)	Srednja vidljivost ($M = 37,89$)	0,945
	Jaka vidljivost ($M = 37,40$)	$> 0,999$
Srednja vidljivost ($M = 37,89$)	Jaka vidljivost ($M = 37,40$)	$> 0,999$
Ravni dio		
Slaba vidljivost ($M = 26,29$)	Srednja vidljivost ($M = 23,40$)	0,115
	Jaka vidljivost ($M = 24,42$)	0,865
Srednja vidljivost ($M = 23,40$)	Jaka vidljivost ($M = 24,42$)	$> 0,999$
Zavoj		
Slaba vidljivost ($M = 38,13$)	Srednja vidljivost ($M = 32,89$)	0,002
	Jaka vidljivost ($M = 34,47$)	0,165
Srednja vidljivost ($M = 32,89$)	Jaka vidljivost ($M = 34,47$)	$> 0,999$

6.4.2. *Broj sakada*

Najveći prosječni broj sakada zabilježen je tijekom slabe razine vidljivosti, dok su u uvjetima srednje i jake razine vidljivosti prometne signalizacije ispitanici u prosjeku imali gotovo identičan broj sakada. S obzirom na to da su sakade očni pokreti između pojedinih fiksacija, navedeni su rezultati u skladu s razlikama u broju fiksacija između pojedinih razina vidljivosti. Aritmetičke sredine i standardne devijacije prosječnog broja sakada u odnosu na razinu vidljivosti prometne signalizacije i postavljenu rizičnu situaciju za sigurnost prometa prikazane su u Tablici 12.

Tablica 12. Prosječni broj sakada u odnosu na razinu vidljivosti prometne signalizacije i postavljenu rizičnu situaciju za sigurnost prometa

Rizične situacije	Slaba vidljivost		Srednja vidljivost		Jaka vidljivost	
	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>
Raskrižje	46,78	20,17	46,49	20,35	43,24	16,81
Pješački prijelaz	49,42	21,66	48,62	18,23	49,00	23,45
Ravni dio	36,62	19,33	33,33	17,70	33,33	15,43
Zavoj	52,89	25,48	45,40	23,90	46,93	23,91

Iako su zabilježene manje razlike između broja sakada u pojedinim uvjetima, a razlike se nisu pokazale kao statistički značajne, može se zaključiti da se broj sakada nije značajno mijenjao ovisno o razinama vidljivosti prometne signalizacije ($F = 2,39$; $df_1 = 1,86$; $df_2 = 81,81$; $p = 0,102$; $\eta^2 = 0,052$). Također nije utvrđen niti statistički značajan interakcijski efekt između razine vidljivosti prometne signalizacije i postavljene rizične situacije za sigurnost prometa na broj sakada ($F = 1,58$; $df_1 = 4,53$; $df_2 = 199,38$; $p = 0,175$; $\eta^2 = 0,035$).

6.4.3. Broj pogleda na oznake na kolniku

a) Broj pogleda na lijevu rubnu liniju

Ispitanici su u prosjeku imali gotovo jednak broj pogleda na lijevu rubnu liniju u uvjetima srednje i jake vidljivosti, dok je taj broj nešto manji za uvjet slabe vidljivosti prometne signalizacije. U Tablici 13. prikazan je broj pogleda na lijevu rubnu liniju u odnosu na razinu vidljivosti prometne signalizacije i postavljenu rizičnu situaciju za sigurnost prometa.

Tablica 13. Prosječni broj pogleda na lijevu rubnu liniju u odnosu na razinu vidljivosti prometne signalizacije i postavljenu rizičnu situaciju za sigurnost prometa

Rizične situacije	Slaba vidljivost		Srednja vidljivost		Jaka vidljivost	
	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>
Raskrižje	0,40	0,54	0,67	0,80	0,38	0,54
Pješački prijelaz	1,04	1,09	1,29	1,20	1,22	0,90
Ravni dio	0,09	0,29	0,16	0,42	0,22	0,77
Zavoj	0,02	0,15	0,20	0,46	0,16	0,37

Provedenim testiranjem utvrđen je marginalno statistički značajan glavni efekt razine vidljivosti prometne signalizacije na broj pogleda na lijevu rubnu liniju ($F = 2,99$; $df_1 = 1,98$; $df_2 = 87,01$; $p = 0,056$; $\eta^2 = 0,064$), dok interakcijski efekt razine vidljivosti prometne signalizacije i postavljene rizične situacije nije bio statistički značajan ($F = 0,74$; $df_1 = 3,80$; $df_2 = 167,21$; $p = 0,560$; $\eta^2 = 0,017$).

Budući da je glavni efekt vidljivosti bio marginalno statistički značajan, broj pogleda na lijevu rubnu liniju pri različitim razinama vidljivosti prometne signalizacije dodatno je uspoređen serijom *post hoc* testova uz Bonferronijevu korekciju razine statističke značajnosti (Tablica 14.). Broj pogleda na lijevu rubnu liniju na deskriptivnoj je razini bio najmanji u uvjetu slabe razine vidljivosti, nakon čega je slijedio onaj s jakom razinom vidljivosti, a najveći broj pogleda na lijevu rubnu liniju zabilježen je u slučaju uvjeta srednje razine vidljivosti prometne signalizacije. Pri tome se broj pogleda na lijevu rubnu liniju statistički značajno razlikovao u uvjetu slabe razine vidljivosti u odnosu na uvjet srednje razine vidljivosti prometne signalizacije.

Tablica 14. *Post hoc* usporedbe broja pogleda na lijevu rubnu liniju u uvjetima različite razine vidljivosti prometne signalizacije

Vidljivost A	Vidljivost B	<i>p</i>
Slaba vidljivost ($M = 0,39$)	Srednja vidljivost ($M = 0,58$)	0,048
	Jaka vidljivost ($M = 0,49$)	0,502
Srednja vidljivost ($M = 0,58$)	Jaka vidljivost ($M = 0,49$)	0,935

b) Broj pogleda na razdjelnu liniju

Najveći prosječni broj pogleda na razdjelnu liniju zabilježen je u uvjetima jake vidljivosti prometne signalizacije, dok je kod slabe i srednje razine vidljivosti zabilježen gotovo identičan broj pogleda. Broj pogleda na razdjelnu liniju u odnosu na razinu vidljivosti prometne signalizacije i postavljenu rizičnu situaciju za sigurnost prometa prikazan je u Tablici 15.

Tablica 15. Prosječni broj pogleda na razdjelnu liniju u odnosu na razinu vidljivosti prometne signalizacije i postavljenu rizičnu situaciju za sigurnost

Rizične situacije	Slaba vidljivost		Srednja vidljivost		Jaka vidljivost	
	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>
Raskrižje	2,18	1,30	2,47	1,58	2,64	1,21
Pješački prijelaz	3,93	1,42	3,96	1,57	4,07	1,18
Ravni dio	3,24	2,06	2,91	1,62	3,36	1,80
Zavoj	2,96	1,92	2,69	1,86	3,31	1,62

Ipak, između uvjeta različite razine vidljivosti prometne signalizacije nije utvrđena statistički značajna razlika u broju pogleda na razdjelnu liniju ($F = 2,38$; $df_1 = 1,93$; $df_2 = 84,81$; $p = 0,101$; $\eta^2 = 0,051$). Interakcijski efekt između razine vidljivosti prometne signalizacije i postavljene rizične situacije na broj pogleda na razdjelnu liniju također nije bio statistički značajan.

c) Broj pogleda na desnu rubnu liniju

Prosječni broj pogleda na rubnu desnu liniju najviše je ostvaren u uvjetima jake vidljivosti, dok je taj broj u uvjetima slabe i srednje vidljivosti nešto manji, no ne statistički značajno ($F = 0,36$; $df_1 = 1,99$; $df_2 = 87,52$; $p = 0,695$; $\eta^2 = 0,008$). Osim što se broj pogleda na desnu rubnu liniju nije razlikovao između uvjeta vidljivosti signalizacije, kod interakcijskog efekta između razine vidljivosti prometne signalizacije i postavljenih rizičnih situacija za sigurnost prometa također nije zabilježena statistički značajna razlika ($F = 0,48$; $df_1 = 4,74$; $df_2 = 208,61$; $p = 0,784$; $\eta^2 = 0,011$).

Prosječan broj pogleda na desnu rubnu liniju (uz pripadnu standardnu devijaciju) pri svakoj od razina vidljivosti prometne signalizacije i postavljenoj rizičnoj situaciji za sigurnost prometa prikazan je u Tablici 16.

Tablica 16. Prosječni broj pogleda na desnu rubnu liniju u odnosu na razinu vidljivosti prometne signalizacije i postavljene rizične situacije za sigurnost prometa

Rizične situacije	Slaba vidljivost		Srednja vidljivost		Jaka vidljivost	
	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>
Raskrižje	2,69	1,29	2,89	1,64	2,71	1,84
Pješački prijelaz	3,69	1,49	3,69	1,38	3,71	1,59
Ravni dio	2,49	1,60	2,33	1,80	2,78	1,92
Zavoj	5,78	2,57	5,56	2,74	5,80	2,69

6.4.4. Broj i postotak pogleda na prometne znakove

Tijekom vožnje, odnosno nailaska na rizične situacije, ispitanici su pogledali prosječno najviše prometnih znakova kada su oni imali najbolju vidljivost. Sličan je prosjek ostvaren i u uvjetima srednje vidljivosti dok je najmanji broj pogledanih znakova zabilježen tijekom uvjeta slabe vidljivosti.

Broj pogleda na prometne znakove u odnosu na razinu vidljivosti prometne signalizacije i postavljenu rizičnu situaciju za sigurnost prometa prikazan je u Tablici 17.

Tablica 17. Prosječni broj pogleda na prometne znakove u odnosu na razinu vidljivosti prometne signalizacije i postavljenu rizičnu situaciju za sigurnost prometa

Rizične situacije	Slaba vidljivost		Srednja vidljivost		Jaka vidljivost	
	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>
Raskrižje	1,56	0,81	1,91	1,02	1,80	1,39
Pješački prijelaz	1,84	1,07	2,11	1,17	2,27	1,27
Ravni dio	0,53	0,55	0,87	0,59	0,87	0,73
Zavoj	0,96	0,48	1,13	0,66	1,16	0,64

Provedenom analizom varijance utvrđeno je da između uvjeta različite razine vidljivosti prometne signalizacije postoji statistički značajna razlika u broju pogleda na prometne znakove ($F = 8,10$; $df_1 = 1,91$; $df_2 = 84,11$; $p = 0,001$; $\eta^2 = 0,155$). Interakcijski efekt između razine vidljivosti prometne signalizacije i postavljene rizične situacije na broj pogleda na prometne znakove nije bio statistički značajan ($F = 0,37$; $df_1 = 4,84$; $df_2 = 213,09$; $p = 0,866$; $\eta^2 = 0,008$).

Daljnijim usporedbama broja pogleda na prometne znakove pri različitim razinama vidljivosti prometne signalizacije utvrđeno je da je on u uvjetu slabe razine vidljivosti statistički značajno manji nego u uvjetima srednje i jake razine vidljivosti. Između uvjeta srednje i onoga jake razine vidljivosti nije utvrđena statistički značajna razlika u broja pogleda na prometne znakove (Tablica 18.).

Tablica 18. *Post hoc* usporedbe broja pogleda na prometne znakove u uvjetima različite razine vidljivosti prometne signalizacije

Vidljivost A	Vidljivost B	<i>p</i>
Slaba vidljivost ($M = 1,22$)	Srednja vidljivost ($M = 1,51$)	0,003
	Jaka vidljivost ($M = 1,52$)	0,001
Srednja vidljivost ($M = 1,51$)	Jaka vidljivost ($M = 1,52$)	$> 0,999$

S obzirom na to da se broj postavljenih znakova razlikovao između pojedinih situacija (raskrižje – dva znaka, pješački prijelaz – dva znaka, zavoj – šest znakova, ravni dio ceste – jedan znak), analizirao se i postotak uočenih prometnih znakova u pojedinom interesnom području (200 m prije nailaska na navedene rizične situacije). Prosječan postotak primijećenih prometnih znakova u odnosu na razinu vidljivosti prometne signalizacije i postavljenu rizičnu situaciju za sigurnost prometa prikazan je u Tablici 19.

Tablica 19. Postotak primijećenih prometnih znakova u odnosu na razinu vidljivosti prometne signalizacije i postavljenu rizičnu situaciju za sigurnost prometa

Rizične situacije	Slaba vidljivost		Srednja vidljivost		Jaka vidljivost	
	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>
Raskrižje	64,4%	33,1%	65,6%	35,1%	67,8%	30,4%
Pješački prijelaz	70,0%	32,7%	74,4%	27,4%	81,1%	30,7%
Ravni dio	51,1%	50,6%	75,6%	43,5%	73,3%	44,7%
Zavoj	46,7%	22,4%	43,3%	17,2%	52,2%	26,0%

Najveći prosječni postotak pogledanih prometnih znakova (68,60 %) zabilježen je kada su isti imali najveću razinu vidljivosti. Zatim slijedi srednja razina vidljivosti (64,72 %), dok je najmanji prosječni postotak pogledanih znakova zabilježen u uvjetima slabe vidljivosti (58,05 %).

Nadalje, između uvjeta različite razine vidljivosti prometne signalizacije utvrđena je statistički značajna razlika u postotku primijećenih prometnih znakova ($F = 4,24$; $df_1 = 2,00$; $df_2 = 87,94$; $p = 0,017$; $\eta^2 = 0,088$), dok interakcijski efekt između razine vidljivosti prometne signalizacije i postavljenih rizičnih situacija na postotak primijećenih prometnih znakova nije bio statistički značajan ($F = 2,12$; $df_1 = 4,43$; $df_2 = 194,86$; $p = 0,073$; $\eta^2 = 0,046$).

Daljnijim usporedbama postotka pogledanih prometnih znakova u uvjetima različite razine vidljivosti prometne signalizacije utvrđeno je da između uvjeta slabe i srednje razine vidljivosti nema statistički značajne razlike, kao niti između uvjeta srednje i jake razine vidljivosti. Međutim, postotak pogledanih prometnih znakova bio je statistički značajno niži u uvjetu slabe razine vidljivosti u odnosu na uvjet jake razine vidljivosti prometne signalizacije (Tablica 20.). Tablica 20. *Post hoc* usporedbe postotka primijećenih prometnih znakova u uvjetima različite razine vidljivosti prometne signalizacije

Vidljivost A	Vidljivost B	<i>p</i>
Slaba vidljivost ($M = 58,1\%$)	Srednja vidljivost ($M = 65,3\%$)	0,146
	Jaka vidljivost ($M = 68,1\%$)	0,019
Srednja vidljivost ($M = 65,3\%$)	Jaka vidljivost ($M = 68,1\%$)	> 0,999

7. DISKUSIJA DOBIVENIH REZULTATA

Cilj je istraživanja provedenog u okviru ove doktorske disertacije utvrditi povezanost između psihofizičkog opterećenja vozača i kvalitete (vidljivosti) prometne signalizacije u noćnim uvjetima vožnje primjenom simulatora vožnje, ETG naočala i EEG uređaja. S obzirom na postavljeni cilj, analizirani su svi relevantni čimbenici koji utječu na ponašanje vozača prilikom vožnje u noćnim uvjetima radi unaprjeđenje elemenata prometne signalizacije s naglaskom na povećanje sigurnosti cestovnog prometa. Prije izrade plana provođenja ovakve vrste istraživanja analizirana su dosadašnja istraživanja u znanstvenoj literaturi te je vrlo važno napomenuti kako ovakva vrsta istraživanja do sada, koliko je poznato autoru, nije provedena, čime ono postaje prvo istraživanje u sklopu razumijevanja psihofizičkoga opterećenja vozača i kvalitete vidljivosti prometne signalizacije u noćnim uvjetima vožnje.

U okviru ovog istraživanja ukupno je sudjelovalo 42 ispitanika koji predstavljaju većinu hrvatskih vozača – više od 60 % vozača u Hrvatskoj starosti je između 25 i 50 godina od čega 59 % čine muškarci. Tijekom vožnje na scenariju, razina vidljivosti elemenata prometne signalizacije (oznaka na kolniku i prometnih znakova) mijenjala se kroz tri prethodno definirane dionice ceste koje su sadržavale potencijalno rizične situacije (raskrižja, pješačke prijelaze, ravni dio ceste i vožnju kroz zavoje). U istraživanju su pomoću simulatora vožnje prikupljeni podaci vezani uz brzinu vožnje, akceleraciju i deceleraciju te lateralni položaj vozila, dok su pomoću naočala za praćenje pogleda bilježeni broj fiksacija i sakada te broj pogleda u elemente prometne signalizacije (oznake na kolniku i prometne znakove). Nadalje, elektroencefalografom su prikupljeni podaci vezani uz kognitivno opterećenje.

Što se tiče brzine vožnje, ona se pokazala kao statistički značajna varijabla u odnosu na razinu vidljivosti. Naime, tijekom vožnje dijelom scenarija sa slabom razinom vidljivosti brzina je u prosjeku iznosila 64,63 km/h, u slučaju srednje razine vidljivosti 65,52 km/h te 66,16 km/h tijekom jake razine vidljivosti. Iako je na deskriptivnoj razini prosječna brzina statistički rasla uz kvalitetniju signalizaciju, navedeno povećanje iznosi nešto više od 2 %¹ te s praktične strane ne predstavlja značajan rizik za sigurnost prometa.

Usporedbom rezultata prosječne akceleracije nije utvrđena statistički značajna razlika u odnosu na postavljenu razinu vidljivosti. Statistički značajna razlika utvrđena je između prosječne deceleracije i postavljene razine vidljivosti. Najviša prosječna deceleracija (-1,00 m/s²) zabilježena je tijekom vožnje uz prisutnost jake razine vidljivosti kada je i brzina vožnje bila najviša, dok je najmanja zabilježena kod srednje razine vidljivosti (-0,89 m/s²). Dostupna

¹ Postotna razlika između prosječne brzine vožnje uz jaku i slabu vidljivost.

literatura [136], [137] i [138] sugerira kako je prihvatljiva razina deceleracije, s aspekta sigurnosti prometa, između -0.85 m/s^2 i -1.8 m/s^2 iz čega se može zaključiti da su dobivene razine deceleracije u rasponu prihvatljivog, odnosno da su ispitanici čak i u slučaju najveće deceleracije (jaka razina vidljivosti) sigurno usporavali.

Zabilježeni lateralni pomak vozila (ulijevo i udesno) nije se pokazao statistički značajan u odnosu na postavljenu razinu vidljivosti, što znači da ispitanici nisu drugačije pozicionirali vozilo ovisno o vidljivosti prometne signalizacije. Dosadašnja istraživanja sugeriraju kako oznake mogu utjecati na lateralni pomak ako stvaraju „vizualnu iluziju“ te time sužavaju prometnu traku. Naime, s povećanjem širine oznaka na kolniku (npr. s 10 cm na 15 cm ili 20 cm) vozači imaju tendenciju pozicioniranja vozila bliže rubu ceste čime se umanjuje rizik od sudara s vozilom iz suprotnog smjera, ali se isto tako u određenoj mjeri povećava rizik izlijetanja s ceste [8] i [11]. Također, različite „specijalne“ oznake u vidu „ribljih kosti“, „zmajevih zuba“ te „obojanog“ središnjeg dijela ceste također su pokazale sličan utjecaj na lateralni položaj vozila u određenim rizičnim situacijama (najčešće zavojima) [30], [32], [139] i [140]. Ipak, treba naglasiti da su rezultati ovog istraživanja vezani uz lateralni položaj i utjecaj vidljivosti signalizacije ipak u određenoj mjeri u suprotnosti s istraživanjem [11], u kojemu je također pomoću simulatora vožnje utvrđeno kako sa smanjenjem vidljivosti oznaka vozači vozilo pozicioniraju bliže rubu kolnika. S obzirom na razlike u samoj metodologiji istraživanja (npr. razinama vidljivosti), navedeni rezultati nisu u potpunosti usporedivi te je za donošenje jasnijih zaključaka o utjecaju vidljivosti oznaka na kolniku na lateralni pomak u noćnim uvjetima nužno provesti dodatna istraživanja.

Iz analize očnih pokreta ispitanika, ovisno o razini vidljivosti prometne signalizacije, može se zaključiti kako značajna razlika u broju fiksacija i sakada te pogleda na razdjelnu i rubnu desnu liniju u odnosu na razinu vidljivosti nije zabilježena. Navedeno sugerira da su i u najlošijim uvjetima vidljivosti oznake bile dovoljno vidljive ispitanicima. S druge strane, statistički značajna razlika zabilježena je između broja pogleda na rubnu lijevu liniju te za prometne znakove. Statistička razlika kod broja pogleda na rubnu lijevu liniju zabilježena je samo između slabe i srednje vidljivosti što s praktične strane ne predstavlja značajan rezultat (statistička značajnost je granična). S druge strane, statistička značajnost u broju pogleda prometnih znakova zabilježena je između slabe vidljivosti i ostalih uvjeta (srednja i jaka vidljivost). S obzirom na to da se broj prometnih znakova razlikovao između pojedinih rizičnih situacija, analizom postotka znakova koje su ispitanici pogledali tijekom vožnje utvrđeno je da postoji statistički značajna razlika između slabe i jake vidljivosti. Navedeni rezultat ukazuje na to da će vidljivost signalizacije (barem prometnih znakova) utjecati na vizualno „skeniranje“

okoline od strane vozača. Nadalje, kako se informacije o nadolazećoj situaciji u najvećoj mjeri prenose prometnim znakovima, navedeni rezultati ukazuju na to da su znakovi s „većom vidljivošću“ više privlačili pogled ispitanika. Iako to samo po sebi ne znači da su percipirali i razumjeli značenje navedenih znakova, pokreti očiju u pravilu su vezani uz pažnju [141] i [142] iz čega se može zaključiti da su ispitanici barem dio pažnje usmjerili na znak.

S obzirom na ispunjavanje određenih zadataka prenijetih prometnom signalizacijom, zabilježeno kognitivno opterećenje sudionika pokazalo se statički značajno između uvjeta slabe i jake razine vidljivosti prometne signalizacije. Razlika između uvjeta slabe i srednje kao i između srednje i jake razine vidljivosti prometne signalizacije nije se pokazala statistički značajnom. Optimalna kognitivna aktivnost (*z-score* -0,06) postignuta je prilikom vožnje ispitanika u uvjetima kada je razina vidljivosti prometne signalizacije bila najveća. Slaba i srednja razina vidljivosti prometne signalizacije bilježe smanjenu kognitivnu aktivnost prilikom čega određeni uzorak dobivenih mjerenja u srednjoj razini vidljivosti bilježi optimalnu kognitivnu aktivnost. Navedeni rezultati sugeriraju da prometna signalizacija zaista predstavlja ključne izvore informacija vozaču u noćnim uvjetima te da vozači uz prisutnu kvalitetniju (vidljiviju) signalizaciju usmjeravaju pogled u smjeru signalizacije. Ovisno o vrsti situacije u kojoj se nalaze, to usmjeravanje se mijenja, pa je npr. u slučaju zavoja pogled vozača više usmjeren na desnu rubnu liniju, dok je prilikom nailaska na raskrižje pogled više usmjeren na prometne znakove. Dostupna literatura ukazuje na to da usmjerenost pogleda u određenoj mjeri povećava kognitivno opterećenje, a time i oprez vozača, što je u konačnici povezano s „pravilnijim“ upravljanjem vozila te održavanjem lateralnog položaja [143], [144] i [145].

Utjecaj razine vidljivosti prometne signalizacije na kognitivno opterećenje kod ispitanika promatran je i kroz četiri rizične situacije s kojima su se ispitanici susreli tijekom vožnje:

1. Situacija raskrižja bilježi razinu kognitivnog opterećenja iznad normalnih vrijednosti u slučaju jake vidljivosti. Dostupna znanstvena literature sugerira kako lagani i uvježbani zadaci imaju nisko kognitivno opterećenje jer su za njihovu izvedbu potrebni mali kognitivni resursi, dok teški, neuvježbani i brzo pojavni zadaci imaju visoko kognitivno opterećenje jer zahtijevaju visoke kognitivne resurse [135], [146] i [147]. Drugim riječima, dobiveni rezultati sugeriraju kako je kvalitetnija prometna signalizacije bila uočljivija vozačima te ih je na vrijeme upozorila i potaknula na razmišljanje o nadolazećoj situaciji. Iako statistički nije značajan u odnosu na razinu vidljivosti prometne signalizacije, zabilježeni veći broj fiksacija i sakada ispitanika u navedenoj rizičnoj situaciji u određenoj mjeri utječe na povećanje kognitivnog opterećenja jer ljudsko oko bilježi velike promjene interesnog područja, posebice u noćnim uvjetima tražeći određeni kontrast između okoline i promatranog predmeta. Navedeno potvrđuje i studija iz

1996. godine [148] ističući kako je povećana aktivnost očiju vozača povezana s boljim uzorkovanjem vizualne scene te većom obradom informacija iz okoline. Osim navedenog, jaka vidljivost prometne signalizacije pruža adekvatne informacije vozačima na većoj udaljenosti čime je opravdan veći broj fiksacija i sakada, što je i u skladu sa spoznajama iz studije iz 2019. godine [149]. Potvrda navedenog leži i u činjenici da su ispitanici najviše prometnih znakova pogledali upravo tijekom vožnje po dijelu scenarija s jakom razinom vidljivosti (67,8 %).

2. Situacija pješačkog prijelaza bilježi gotovo jednake rezultate kao i situacija raskrižja pri čemu je umjereni kognitivni napor zabilježen u situaciji jake, a optimalni za vrijeme srednje razine, dok je za vrijeme slabe razine vidljivosti prometne signalizacije on bio na granici između optimalnog i smanjenog. Kognitivno opterećenje sudionika može se pritom objasniti istim načelom kao i u situaciji raskrižja gdje jača razina vidljivosti prometne signalizacije stvara interesno područje ispitanika s ciljem prikupljanja što više informacija o potencijalno rizičnoj situaciji za sigurnost prometa.

3. Situacija oštrog zavoja bilježi smanjenu kognitivnu aktivnost i u odnosu na postavljene razine vidljivosti ne bilježi statistički značajnu razliku. Iako je zabilježena smanjena kognitivna aktivnost, na deskriptivnoj razini vidljiva je blaga razlika između svake razine vidljivosti prometne signalizacije. U situaciji slabe razine vidljivosti zabilježeno je veće kognitivno opterećenje u odnosu na srednju razinu. Situacija jake razine vidljivosti bilježi veće kognitivno opterećenje u odnosu na prethodne dvije što ponovno ukazuje na pozitivan utjecaj prometne signalizacije na kognitivno opterećenje sudionika. Prilikom kretanja kroz oštar zavoj uz najvidljiviju signalizaciju sudionici su se najviše fokusirali na rubnu desnu liniju (pružanje zavoja bilo je udesno) što dokazuje i zabilježeni broj pogleda (u prosjeku 5,80 pogleda). Navedeno je u skladu s dosadašnjim spoznajama da vozači prilikom prolaska kroz zavoj usmjeravaju pogled prema desnom rubu ceste pokušavajući tako identificirati „buduću“ putanju kretanja [149], [150] i [151]. Kako oznake na kolniku u noćnim uvjetima predstavljaju vizualnu vodilju vozačima, njihova vidljivost je od ključnog značaja jer će se kvalitetno vidljive oznake jače isticati u odnosu na mračnu okolinu čime će jasnije ocrtavati smjer pružanja ceste te time „više“ privlačiti pozornost vozača.

4. Vožnja u situaciji ravnog dijela ceste bilježi najmanje kognitivno opterećenje sudionika (pripada zoni dosade i pospanosti) pri čemu statistički značajna razlika, u odnosu na razinu vidljivosti prometne signalizacije, nije značajna. Ipak, na deskriptivnoj je razini kognitivno opterećenje raslo s porastom razine vidljivosti te je njegova najviša vrijednost (*z-score* -0,34) zabilježena u uvjetu jake razine vidljivosti prometne signalizacije sugerirajući ponovno da kvalitetnija prometna signalizacija pozitivno utječe na pažnju vozača.

Iz svega se navedenoga može zaključiti kako razina vidljivosti prometne signalizacije pozitivno utječe na psihofizičko opterećenje vozača, odnosno pobuđuje njegovu pažnju pružajući mu „vizualno vođenje“ tijekom vožnje. Navedeno sugerira da će uz kvalitetniju signalizaciju vozači pravovremeno dobiti nužne i točne informacije o nadolazećoj situaciji što će im u konačnici pomoći u donošenju pravilne odluke, odnosno u prilagođavanju njihova ponašanja ovisno o rizičnosti situacije. Dosadašnja istraživanja bazirana na analizi kvalitete prometne signalizacije i učestalosti prometnih nesreća potvrđuju kako se broj prometnih nesreća u pravilu smanjuje ako prometna signalizacija zadovoljava minimalne propisane razine kvalitete [152], [153], [154], [155], [156] i [157].

7.1. Ograničenja znanstvenog istraživanja

Iako dobiveni rezultati istraživanja u ovoj doktorskoj disertaciji pobliže objašnjavaju određene spoznaje (čimbenike) o utjecaju kvalitete (razine vidljivosti) prometne signalizacije na ponašanje vozača, kao i na njihovo psihofizičko opterećenje prilikom vožnje u noćnim uvjetima, navedeno istraživanje ima i određena ograničenja.

Ograničenja se prvenstveno očituju u primjeni „statičnog“ simulatora vožnje. Naime, istraživanje u simuliranim uvjetima omogućuje interaktivno rekonstruiranje cjelokupnog prometnog okruženja te provedbu istraživanja bez ikakvih posljedica za ispitanike, no ipak ne pruža u potpunosti stvarni osjećaj vožnje. Međutim, simulator korišten u ovom istraživanju korišten je i validiran kroz niz istraživanja vezanih uz ljudski faktor [105],[106], [107] i [108]. Također, sama spoznaja o provođenju istraživanja – naročito uz primjenu različite istraživačke opreme – očekivano je u određenoj mjeri utjecala na ispitanike, odnosno krajnji rezultat, što je potvrđeno u prijašnjim istraživanjima [158]. Navedeni utjecaj pokušao se svesti na minimum upoznavanjem sudionika s metodologijom te vožnjom „probne“ vožnje na simulatoru.

Nadalje, stvaran „osjećaj“ retrorefleksije prometne signalizacije ne može se u potpunosti simulirati pomoću simulatora. Modeliranje retrorefleksije, odnosno vidljivosti prometnih znakova izvršeno je na temelju informacija dobivenih od proizvođača retroreflektirajućih materijala koje su bazirane na internim testiranjima. S druge strane, vidljivost oznaka na kolniku modelirana je prema preporukama iz literature vezanima uz adekvatnu razinu kontrasta između oznake i kolnika. Ipak, treba uzeti u obzir da u stvarnim uvjetima vidljivost prometne signalizacije može varirati u ovisnosti i nizu različitih čimbenika.

Ograničenje ovog istraživanja odnosi se i na broj i strukturu ispitanika. Naime, istraživanje je obuhvatilo ispitanike u rasponu od 21 do 66 godina, no prosječna starost iznosi 35 godina. Iako navedeno predstavlja određeno ograničenje, ovo istraživanje uključuje veći uzorak (broj

sudionika) u odnosu na dosadašnja istraživanja [14], [16] i [29], a sama struktura ispitanika predstavlja prosječnu strukturu vozača u RH.

U konačnici, cilj istraživanja bio je utvrditi način na koji vidljivost prometne signalizacije utječe na vozača u noćnim uvjetima te su u sklopu toga simulirane različite rizične situacije u prometu. Ipak, simulirane situacije predstavljaju samo dio situacije za koje je utvrđeno da su rizične te je za dobivanje jasnije slike utjecaja prometne signalizacije i njene vidljivosti na sigurnost prometa u noćnim uvjetima nužno obuhvatiti širi skup različitih situacija.

7.2. Buduća istraživanja

U skladu s navedenim ograničenjima, ali i dobivenim spoznajama ovog istraživanja, predlaže se provedba istraživanja u realnim uvjetima odnosno vožnja noću određenim (odabranim) dijelom ceste uz primjenu znanstvenoistraživačkog alata. Pod određenim dijelom ceste podrazumijeva se dionica ceste minimalnog sigurnosnog rizika kako za sudionike u istraživanju, tako i za ostale korisnike navedene ceste uz prisutnost nekoliko specifičnih rizičnih situacija za sigurnost prometa označenih različitom razinom vidljivosti prometne signalizacije. S obzirom na to da čovjekov vizualni sustav degradira sa starošću, što se naročito očituje u noćnim uvjetima, u istraživanje je također potrebno uključiti više ispitanika starije dobne skupine. Provedeno istraživanje u realnim uvjetima interakcijskom rekonstrukcijom navedene ceste i njezina okruženja potrebno je provesti i u simuliranim uvjetima uz bilježenje svih relevantnih podataka. Time bi se omogućila komparativna analiza dobivenih podataka u realnim i simuliranim uvjetima s ciljem što jasnijeg konteksta razumijevanja psihofizičkoga opterećenja vozača pri različitoj razini vidljivosti prometne signalizacije u funkciji povećanja sigurnosti prometa. Nadalje, buduća bi istraživanja trebala uključiti i niz drugih rizičnih situacija koje nisu bile predmet ovog istraživanja.

7.3. Originalnost rada

S obzirom na pozitivan utjecaj prometne signalizacije na sigurnost prometa, dokazan kroz niz znanstvenih i stručnih studija, vrlo je mali broj spoznaja o utjecaju kvalitete (razine vidljivosti) prometne signalizacije na ponašanje vozača, kao i njegovo psihofizičko opterećenje prilikom vožnje u noćnim uvjetima.

Definirati psihofizičko opterećenje vozača, što prilikom upravljanja vozilom uključuje najvažnije psihofizičke osobine odnosno funkciju organa osjeta te psihomotoričke i mentalne sposobnosti, znači utvrditi odnos intenziteta podražaja (u ovom slučaju utjecaj prometne

signalizacije) i korespondentnih intenziteta osjeta duž cijelog raspona mogućih osjetnih reakcija (praćenje pogleda vozača i mjerenje električke moždane aktivnosti).

Pod pojmom „kvaliteta prometne signalizacije“ misli se na vidljivost prometne signalizacije koja u noćnim uvjetima osigurava da ona bude pravovremeno uočena od strane vozača. Vidljivost prometne signalizacije u noćnim uvjetima postiže se uporabom retroreflektirajućih materijala koji emitirana svjetla vozila reflektiraju prema svome izvoru, tj. vozaču. Što je veći koeficijent retrorefleksije, veća je noćna vidljivost, a time i kvaliteta prometne signalizacije.

U skladu s navedenim razlozima te uz pomoć suvremene istraživačke opreme, cilj istraživanja ove doktorske disertacije bio je usmjeren na utvrđivanje načina na koji prometna signalizacija utječe na ponašanje vozača, njegovo psihofizičko opterećenje te cjelokupnu sigurnost cestovnog prometa u noćnim uvjetima vožnje. Originalnost ovog istraživanja očituje se u objedinjavanju rezultata dobivenih znanstvenoistraživačkom opremom, odnosno kombinacijom više izvora informacija o psihofizičkom stanju vozača tijekom vožnje u noćnim uvjetima, čime se omogućila cjelovita analiza ključnih čimbenika s definiranom jačinom utjecaja na psihofizičko opterećenje vozača. Navedeni oblik istraživanja do sada nije proveden, što u kombinaciji više izvora informacija o stanju (kognitivnom opterećenju) vozača tijekom vožnje u noćnim uvjetima predstavlja iskorak u ovoj doktorskoj disertaciji.

8. ZAKLJUČAK

Budući da više od 90 % informacija u prometu sudionici dobivaju vizualnim putem, vidljivost je pojam koji se u prometu često susreće. Sam pojam vidljivosti u kontekstu prometa označava „sigurnu“ udaljenost na kojoj je moguće uočiti neku situaciju, sudionika u prometu ili određeni objekt. Tijekom dana vozači imaju mogućnost uočiti i obraditi sve, za upravljanje vozilom važne vizualne informacije, dok se u sumrak te posebice noću sposobnost vida znatno smanjuje. Za razliku od vožnje danju, kada je ograničen rad mozga jedini ograničavajući čimbenik, noću smanjena vidljivost dodatno sužava protok i količinu informacija. Upravo u takvim situacijama, kvalitetna prometna signalizacija (horizontalna i vertikalna) prenosi obavijest o trenutačnom ili budućem stanju prometnoga sustava, brzini kretanja i položaju korisnika u sustavu, preporučenom i obveznom načinu kretanja i dr. Kako bi prometna signalizacija bila vidljiva danju, noću i pri otežanim vremenskim uvjetima, ona mora imati dobra retroreflektirajuća svojstva. Pod pojmom retrorefleksije podrazumijeva se snaga retrorefleksije, odnosno omjer između jačine svjetlosti retroreflektirajućeg materijala u smjeru promatranja s ostvarenim osvjetljenjem na reflektirajuću površinu. Upravo iz tog razloga snaga retrorefleksije prometne signalizacije u noćnim uvjetima vožnje predstavlja ključni čimbenik za pravovremeno uočavanje i prenošenje odgovarajuće poruke.

S obzirom na to da se nalaze u centralnom vidnom polju vozača, oznake na kolniku kao dio prometne signalizacije obilježavaju konture ceste te pružaju informacije nužne za vizualno vođenje. Iako je utjecaj oznaka na percepciju i ponašanje vozača teško točno utvrditi, dosadašnja istraživanja upućuju na to da oznake u određenoj mjeri (oblikom, bojom, inovativnim dizajnom, itd.) utječu na ponašanje vozača u vidu promjene bočnoga položaja vozila te brzine vožnje. Pravovremeno uočavanje, prepoznavanje te na kraju čitanje prometnih znakova usko je povezano s razinom vidljivosti (posebno noću), ali i njihovim dizajnom u skladu s ergonomskim principima. Rezultati provedenih istraživanja ukazuju na veću usredotočenost na prepoznavanje prometnih znakova prilikom veće brzine vožnje dok se vrijeme fiksacije, ponovnog ubrzanja i prostornog razmaka povećava s povećanjem sadržaja informacija na prometnom znaku.

Provedena istraživanja potvrdila su pozitivan utjecaj prometne signalizacije na sigurnost cestovnog prometa iako još uvijek nema dovoljno spoznaja o utjecaju kvalitete (razine vidljivosti) prometne signalizacije na ponašanje vozača kao i njegovo psihofizičko opterećenje u noćnim uvjetima vožnje. Na temelju navedenih ograničenja dosadašnjih istraživanja, ali i

analize metodologije i dobivenih rezultata proizlazi i cilj istraživanja u sklopu ove doktorske disertacije.

Glavni je cilj ovog istraživanja utvrditi povezanost između psihofizičkoga opterećenja vozača i kvalitete (razine vidljivosti) prometne signalizacije u noćnim uvjetima primjenom simulatora vožnje, ETG naočala i EEG uređaja. U okviru ovog istraživanja ukupno je sudjelovalo 42 ispitanika koji predstavljaju većinu hrvatskih vozača – više od 60 % vozača u Hrvatskoj starosti je između 25 i 50 godina od čega 59 % čine muškarci. Primjena navedene suvremene istraživačke opreme omogućila je mjerenje odnosno utvrđivanje načina na koji vidljivost prometne signalizacije utječe na ponašanje vozača bilježenjem promjene relevantnih čimbenika definiranih kao nezavisne varijable, i to u: brzini vožnje, akceleraciji i deceleraciji, bočnom položaju vozila, kognitivnom opterećenju (*z-score*) te promjeni dinamike pokreta oka (broj sakada i fiksacija te broj pogleda na prometnu signalizaciju). Nakon provedenih mjerenja, metodama analize i sinteze te statističkom metodom određen je utjecaj pojedinog čimbenika na psihofizičko stanje vozača. Induktivnom i deduktivnom metodom oblikovane su nove činjenice i izvedeni pojedinačni zaključci na području utjecaja vidljivosti prometne signalizacije u uvjetima smanjene vidljivosti na psihofizičko stanje vozača pri čemu su se brzina vožnje, deceleracija, kognitivno opterećenje i broj pogleda na prometnu signalizaciju pokazali statistički značajnim varijablama. Zabilježena akceleracija, lateralni pomak vozila, broj fiksacija i sakada te broj pogleda na razdjelnu i rubnu desnu liniju u odnosu na razinu vidljivosti nisu se pokazali statistički značajnim.

Vidljivo viši rezultati kognitivnog opterećenja (*z-score* 0,24) zabilježeni su u fazi učenja odnosno prilagođavanja sudionika na simulator, dok je optimalna kognitivna aktivnost (*z-score* -0,06) postignuta prilikom vožnje ispitanika u uvjetima kada je razina vidljivosti prometne signalizacije bila najveća. Slaba i srednja razina vidljivosti prometne signalizacije bilježe smanjenu kognitivnu aktivnost prilikom čega određeni uzorak dobivenih mjerenja u srednjoj razini vidljivosti bilježi optimalnu kognitivnu aktivnost. Nedostatak uočljive prometne signalizacije u noćnim uvjetima vožnje snižava kognitivno opterećenje i radi toga može potaknuti uspavanost, a s druge strane preveliki kognitivni napor (u fazi učenja) može značiti nedostatak kognitivnih resursa za praćenje postavljenih prometnih pravila. Stoga je prilikom govora o kognitivnom opterećenju potrebno uspostaviti optimalnu razinu.

Što se tiče brzine vožnje, ista se pokazala kao statistički značajna varijabla u odnosu na razinu vidljivosti. Naime, tijekom vožnje dijelom scenarija sa slabom razinom vidljivosti brzina je u prosjeku iznosila 64,63 km/h, u slučaju srednje razine vidljivosti 65,52 km/h te 66,16 km/h tijekom jake razine vidljivosti. Iako je na deskriptivnoj razini prosječna brzina statistički rasla

uz kvalitetniju signalizaciju, navedeno povećanje iznosi nešto više od 2 % te s praktične strane ne predstavlja značajan rizik za sigurnost prometa. Statistički značajna razlika utvrđena je između prosječne deceleracije i postavljene razine vidljivosti. Najviša prosječna deceleracija ($-1,00 \text{ m/s}^2$) zabilježena je tijekom vožnje uz prisutnost jake razine vidljivosti kada je i brzina vožnje bila najviša, dok je najmanja zabilježena kod srednje razine vidljivosti ($-0,89 \text{ m/s}^2$). Analizom dostupne literature prihvatljiva razina deceleracije u pravilu se kreće između -0.85 m/s^2 i -1.8 m/s^2 iz čega se može zaključiti da su dobivene razine deceleracije u rasponu prihvatljivog, odnosno da su ispitanici čak i u slučaju najveće deceleracije (jaka razina vidljivosti) sigurno usporavali.

Statistički značajna razlika zabilježena je između broja pogleda na rubnu lijevu liniju te za prometne znakove. Statistička razlika kod broja pogleda na rubnu lijevu liniju zabilježena je samo između slabe i srednje vidljivosti što s praktične strane ne predstavlja značajan rezultat (statistička značajnost je granična) te je potrebno detaljnije razmatranje (istraživanje provedeno u stvarnim i simuliranim uvjetima) kako bi se odredio točan utjecaj oznaka na kolniku na ponašanje vozača.

S druge strane, nailaskom na pojedinu rizičnu situaciju, sudionici su u prosjeku najviše prometnih znakova pogledali kada su isti imali najbolju razinu vidljivosti. Sličan prosjek je ostvaren i u uvjetima srednje vidljivosti dok je najmanji broj pogledanih znakova zabilježen tijekom uvjeta slabe razine vidljivosti. Daljnjim usporedbama broja pogleda na prometne znakove pri različitim razinama vidljivosti prometne signalizacije utvrđeno je da je on u uvjetu slabe razine vidljivosti statistički značajno manji nego u uvjetima srednje i jake razine vidljivosti. Između uvjeta srednje i onoga jake razine vidljivosti nije utvrđena statistički značajna razlika u broja pogleda na prometne znakove. Najveći prosječni postotak pogledanih prometnih znakova (68,60 %) zabilježen je kada su isti imali najveću razinu vidljivosti. Zatim slijedi srednja razina vidljivosti (64,72 %), dok je najmanji prosječni postotak pogledanih znakova zabilježen u uvjetima slabe vidljivosti (58,05 %).

Nadalje, između uvjeta različite razine vidljivosti prometne signalizacije utvrđena je statistički značajna razlika u postotku primijećenih prometnih znakova ($F = 4,24$; $df_1 = 2,00$; $df_2 = 87,94$; $p = 0,017$; $\eta^2 = 0,088$), dok interakcijski efekt između razine vidljivosti prometne signalizacije i postavljenih rizičnih situacija na postotak primijećenih prometnih znakova nije bio statistički značajan ($F = 2,12$; $df_1 = 4,43$; $df_2 = 194,86$; $p = 0,073$; $\eta^2 = 0,046$). Daljnjim usporedbama postotka pogledanih prometnih znakova u uvjetima različite razine vidljivosti prometne signalizacije utvrđeno je da između uvjeta slabe i srednje razine vidljivosti nema statistički značajne razlike, kao niti između uvjeta srednje i jake razine vidljivosti. Međutim,

postotak pogledanih prometnih znakova bio je statistički značajno niži u uvjetu slabe razine vidljivosti u odnosu na uvjet jake razine vidljivosti prometne signalizacije.

Iz navedenoga se može zaključiti da su ovom doktorskom disertacijom potvrđene znanstvene hipoteze istraživanja:

1. Utvrđen je odnos kvalitete (razine vidljivosti) prometne signalizacije i psihofizičkog opterećenja vozača u noćnim uvjetima vožnje.
2. Kvaliteta (razina vidljivosti) prometne signalizacije u noćnim uvjetima uzrokuje promjene ponašanja vozača koje se očituju u promjeni brzine vožnje, deceleraciji, kognitivnom opterećenju i promjeni dinamike pokreta oka u vidu broja pogleda na prometne znakove te u postotku primijećenih prometnih znakova.

Također, ovim su istraživanjem potvrđeni znanstveni doprinosi u polju tehnologija prometa i transporta definirani na temelju postavljenih hipoteza, ciljeva i rezultata istraživanja i to:

1. Pojašnjen je utjecaj razine vidljivosti prometne signalizacije na psihofizičko opterećenje vozača u noćnim uvjetima vožnje.
2. Utvrđeni su čimbenici, zavisne varijable koje utječu na psihofizičko opterećenje vozača u noćnim uvjetima.
3. Dobivena je jasnija slika određivanja optimalne razine vidljivosti prometne signalizacije u (za sigurnost prometa) najrizičnijim situacijama prilikom vožnje u noćnim uvjetima.

Ukupni rezultat ovog istraživanja upućuje na pozitivan utjecaj razine vidljivosti u odnosu na kognitivno opterećenje ispitanika. Najveća razina vidljivosti prometne signalizacije dovela je kognitivno opterećenje ispitanika na optimalnu razinu pružajući im minimalni napor za vožnju kroz postavljene rizične situacije. S druge strane, najmanje kognitivno opterećenje zabilježeno je u uvjetu slabe razine vidljivosti prometne signalizacije označavajući graničnu zonu dosade/ne zainteresiranosti za ispitanike, dok uvjet srednje razine vidljivosti bilježi granične rezultate između smanjene aktivnosti i optimalne kognitivne aktivnosti.

Iz svega se navedenoga može zaključiti kako je istraživanje provedeno u okviru ove doktorske

disertacije ispunilo svoje ciljeve te su dobivene spoznaje povezanosti između psihofizičkog opterećenja vozača i kvalitete (razine vidljivosti) prometne signalizacije u noćnim uvjetima vožnje. Rezultati ovog istraživanja idu u prilog postavljanju jače razine vidljivosti prometne signalizacije na cesti s ciljem postizanja optimalne kognitivne aktivnosti. Dakle, postavljanje jače razine vidljivosti nije nužno zbog niskog ili visokog kognitivnog opterećenja nego zbog njegova dovođenja na optimalnu razinu definirajući učinkovitiji (racionalniji u odnosu na povećanje sigurnosti prometa) sustav održavanja prometne signalizacije, posebice u

najrizičnijim prometnim situacijama kao što su: opasni zavoji, raskrižja, nailasci na pješake, prijelazi između ruralnih i urbanih dijelova cesta, itd. Osim učinkovitijeg sustava održavanja prometne signalizacije, rezultati istraživanja predstavljaju korisne smjernice prilikom izrade zakonskih regulativa, smjernica i strategija usmjerenih na sigurnost cestovnog prometa.

POPIS LITERATURE

- [1] COMMUNICATION FROM THE COMMISSION TO THE EUROPEAN PARLIAMENT, THE COUNCIL, THE EUROPEAN ECONOMIC AND SOCIAL COMMITTEE AND THE COMMITTEE OF THE REGIONS, ANNEX 1, COM (2018) 293 final, Brussels, 17.5.2018, https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar%3A0e8b694e-59b5-11e8-ab41-01aa75ed71a1.0003.02/DOC_2&format=PDF (27.12.2019.)
- [2] Bilten o sigurnosti cestovnog prometa 2018. (2019). Republika Hrvatska, Ministarstvo unutarnjih poslova, XLV. godina, Zagreb.
- [3] Nacionalni program sigurnosti cestovnog prometa Republike Hrvatske 2011. – 2020. godine (2011). Vlada Republike Hrvatske, NN 59/2011, Zagreb.
- [4] SENSor Star Rating Report – CROATIA (2015). Faculty of Traffic and Transport Sciences, University of Zagreb.
- [5] Dudek, C. L., Huchingson, R. D. & Woods, D. L. (1986). Evaluation of temporary pavement marking patterns in work zones: Proving Ground Studies. Transportation Research Record. 1086: 12–20.
- [6] Dudek, C. L., Huchingson, R. D. & Creasey, F. T. (1987). Temporary pavement markings for work zones. Report. Transportation Research Board National Research Council. Washington DC, USA.
- [7] Harkey, D. L., Mera, R. & Byington, S. R. (1993). Effect of nonpermanent pavement markings on driver performance. Journal of the Transportation Research Board, 1409: 52–57.
- [8] Lundkvist, S. O., Ytterbom, U., Runersjoe, L. (1990). Continuous Edgeline on Nine-meter-wide Two-lane Roads. Izvještaj. Swedish Road and Traffic Research Institute, Linkoping, Švedska.
- [9] Davidse, R., Driel, C., Goldenbeld, C. (2004). The Effect of Altered Road Markings on Speed and Lateral Position. Izvještaj. Institute for Road Safety Research, Leidschendam, Nizozemska.
- [10] Park, E. S. et al. (2012). Safety effects of wider edge lines on rural, two-lane highways. Accident Analysis & Prevention. 48(9): 317–325. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2012.01.028>
- [11] Chang, K. et al. (2018). Effects of longitudinal pavement edgeline condition on driver lane deviation. Accident Analysis & Prevention. 128: 87–93. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2019.03.011>

- [12] Maroney, S. & Dewar, R. (1988). Alternatives to enforcement in modifying the speeding behavior of drivers. *Transportation Research Record*. 1111: 121–125. <http://onlinepubs.trb.org/Onlinepubs/trr/1987/1111/1111-014.pdf>
- [13] Daniels, S. et al. (2010). Additional road markings as an indication of speed limits: Results of a field experiment and a driving simulator study. *Accident Analysis & Prevention*. 42(3): 953–960. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2009.06.020>.
- [14] Ding, H. et al. (2013). Experimental research on the effectiveness of speed reduction markings based on driving simulation: A case study. *Accident Analysis & Prevention*. 60: 211–218. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2013.08.007>.
- [15] Ding, H. et al. (2014). Experimental research on the effectiveness and adaptability of speed reduction markings in downhill sections on urban roads: A driving simulation study. *Accident Analysis & Prevention*. 75: 119–127. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2014.11.018>.
- [16] Ding, H. et al. (2016). Evaluation research of the effects of longitudinal speed reduction markings on driving behavior: A driving simulator study. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 13(11): 1170. <https://doi.org/10.3390/ijerph13111170>.
- [17] Yotsutsuji, H., Kitamura, K. & Kita, H. (2015). An experimental study on the effect of sequential transverse and lateral markings on perceived speed on a single-lane straight road. *Journal of Ergonomics*. S3: 010. <https://doi.org/10.4172/2165-7556.S3-010>.
- [18] Charlton, S. G., Starkey, N. J. & Malhotra, N. (2018). Using road markings as a continuous cue for speed choice. *Accident Analysis & Prevention*. 117: 288–297. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2018.04.029>.
- [19] Hussain, Q., Alhajyaseen, W., Reinolsmann, N., Brijs, K. (2021). Optical pavement treatments and their impact on speed and lateral position at transition zones: A driving simulator study. *Accident Analysis & Prevention* 150 (2): 105916, February 2021, DOI: 10.1016/j.aap.2020.105916
- [20] Shinar, D., Rockwell, T., Mallecki, J. (1980). The Effects of Changes in Driver Perception on Rural Curve Negotiation, *Ergonomics*, 23(3): 263-275. DOI: 10.1080/00140138008924739.
- [21] Agent, K., Creasy, T. (1986). Delineation of Horizontal Curves. *Izvještaj*. Kentucky Transportation Research Program, Lexington, SAD.
- [22] Comte, S. L. & Jamson, A. H. (2000). Traditional and innovative speed-reducing measures for curves: An investigation of driver behaviour using a driving simulator. *Safety Science*. 36(3): 137–150. [https://doi.org/10.1016/S0925-7535\(00\)00037-0](https://doi.org/10.1016/S0925-7535(00)00037-0).

- [23] Charlton, S. G. (2004). Perceptual and attentional effects on drivers' speed selection at curves. *Accident Analysis & Prevention*. 36(5): 877–884. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2003.09.003>.
- [24] Charlton, S. G. (2007). The role of attention in horizontal curves: A comparison of advance warning, delineation, and road marking treatments. *Accident Analysis & Prevention*. 39(5): 873–885. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2006.12.007>.
- [25] Katz, B. J., Duke, D. E. & Rakha, H. A. (2006). Design and evaluation of peripheral transverse bars to reduce vehicle speeds. In *Proceedings of the 85th Annual Meeting of the Transportation Research Board*. Washington, DC, str. 14.
- [26] Rosey, F. et al. (2008). Impact of perceptual treatments on lateral control during driving on crest vertical curves: A driving simulator study. *Accident Analysis & Prevention*. 40(4): 1515–1523. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2008.03.019>
- [27] Coutton-Jean, C. et al. (2009). The role of edge lines in curve driving. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*. 12(6): 483–493. <https://doi.org/10.1016/j.trf.2009.04.006>.
- [28] Auberlet, J. M. et al. (2012). The impact of perceptual treatments on driver's behavior: From driving simulator studies to field tests – first results. *Accident Analysis & Prevention*. 45: 91–98. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2011.11.020>.
- [29] Montella, A. et al. (2015). Effects of traffic control devices on rural curves driving behaviour. *Journal of the Transportation Research Board*. 2492(1): 10–22. <http://dx.doi.org/10.3141/2492-02>.
- [30] Ariën, C., Brijs, K., Vanroelen G., Ceulemans, W., Jongen, E.M.M., Daniels, S., Brijs, T., Wets, G. (2016). The effect of pavement markings on driving behaviour in curves: a simulator study. *Ergonomics*, vol. 60, issue 5, June 2016, 701–713.
- [31] Calvi, A. (2019). Investigating the effectiveness of perceptual treatments on a crest vertical curve: A driving simulator study. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*. 58: 1074–1086. <https://doi.org/10.1016/j.trf.2018.06.002>.
- [32] Hussain, A. H. et al. (2019). Impact of perceptual countermeasures on driving behavior at curves using driving simulator. *Traffic Injury Prevention*. 20(1) :93-99 <https://doi.org/10.1080/15389588.2018.1532568>.
- [33] Godley, S. T. et al. (1999). Perceptual countermeasures: experimental research. Report. Monash University Accident Research Centre, Clayton, Australia, str. 84. <https://pdfs.semanticscholar.org/12f6/8ff72e6c497b7d21cdb0a9e137ca3a8391d5.pdf> (27.12.2019.)

- [34] Thompson, T., Burris, M. & Carlson, P. (2006). Speed changes due to transverse rumble strips on approaches to high-speed stop-controlled intersections. *Journal of the Transportation Research Board*. 1973: 1–9. <http://dx.doi.org/10.3141/1973-03>.
- [35] Montella, A. et al. (2011). Simulator evaluation of drivers' speed, deceleration and lateral position at rural intersections in relation to different perceptual cues. *Accident Analysis & Prevention*. 43(6): 2072–2084. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2011.05.030>.
- [36] Zamora, J., Allaby, P. & Charters, D. (2011). Evaluation of peripheral and transverse pavement markings for speed reduction. In *Proceedings of the 21st Canadian multidisciplinary road safety conference*, Halifax, Nova Scotia.
- [37] Aktan, F. & Schnell, T. (2004). Performance Evaluation of Pavement Markings Under Dry, Wet, and Rainy Conditions in the Field. *Journal of the Transportation Research Board*. 1877(1): 38–49. <https://doi.org/10.3141/1877-05>.
- [38] Graham, J., Harrold, J. & King, L. (1996). Pavement marking retroreflectivity requirements for older drivers. *Journal of the Transportation Research Board*. 1529(1): 65–70. <https://doi.org/10.1177/0361198196152900108>.
- [39] Zwahlen, H. & Schnell, T. (1997). Driver Eye-Scanning Behavior as Function of Pavement Marking Configuration. *Journal of the Transportation Research Board*. 1605: 62–72. <https://doi.org/10.3141/1605-08>.
- [40] Zwahlen, H. & Schnell, T. (2000). Minimum In-Service Retroreflectivity of Pavement Markings. *Journal of the Transportation Research Board*. 1715: 60–70. <https://doi.org/10.3141/1715-09>.
- [41] Loetterle, F., Beck, R. & Carlson, P. J. (2000). Public perception of pavement-marking brightness. *Journal of Transportation Research Board*. 1715: 51–59. <https://doi.org/10.3141/1715-08>.
- [42] Parker, N. & Meja, M. (2003). Evaluation of performance of permanent pavement markings. *Journal of Transportation Research Board*. 1824: 123–132. <https://doi.org/10.3141/1824-14>.
- [43] Debaillon, C. et al. (2007). Updates to research on recommended minimum levels for pavement marking retroreflectivity to meet driver night visibility needs. Report. Federal Highway Administration, Georgetown Pike, SAD, str. 46.
- [44] Gibbons, R. & Hankey, J. (2007). Wet night visibility of pavement markings: Dynamic experiment. *Journal of the Transportation Research Board*. 2015 (1): 73–80. <https://doi.org/10.3141/2015-09>.

- [45] Higgins, L. et al. (2009). Nighttime visibility of prototype work zone markings under dry, wet-recovery, and rain conditions. *Journal of the Transportation Research Board*. 2107 (1): 69–75. <https://doi.org/10.3141/2107-07>.
- [46] Gibbons, R., Williams, B. & Cottrell, B. (2012). Refinement of drivers' visibility needs during wet night conditions. *Journal of the Transportation Research Board*. 2272 (1): 113–120. <https://doi.org/10.3141/2272-13>.
- [47] Diamandouros, K. & Gatscha, M. (2016). Rainvision: The Impact of Road Markings on Driver Behaviour - Wet Night Visibility. *Transportation Research Procedia*, Vol. 14, 2016, 4344–4353. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2016.05.356>.
- [48] Ben-Bassat, T., Shinar, D. (2006). Ergonomic Guidelines for Traffic Sign Design Increase Sign Comprehension. *Human Factors*, Vol. 48, No. 1, Spring 2006, 182–195. DOI: 10.1518/001872006776412298.
- [49] Sun, L., Yao L., Rong J., Lu J., Liu B., Wang S. (2012). Simulation Analysis on Driving Behavior during Traffic Sign Recognition. *International Journal of Computational Intelligence Systems*, Vol. 4, No. 3, ISSN: 1875–6891, 12 Mar 2012.
- [50] Viganò R., Rovida E. (2014). A Proposed Method About the Design of Road Signs. *Journal of Transportation Safety & Security*, ISSN: 1943-9962, DOI: 10.1080/19439962.2014.902413, 21 Mar 2014.
- [51] Ben-Bassat, T., Shinar, D. (2015). The effect of context and drivers' age on highway traffic signs comprehension. *Transportation Research Part F 33*, Elsevier Ltd, Available online 31 July 2015, 117–127.
- [52] Siswandari Y., Xiong, S. (2015). Eye movements and brain oscillations to symbolic safety signs with different comprehensibility. *Journal of Physiological Anthropology*, 2015, 34–42. DOI 10.1186/s40101-015-0081-3.
- [53] European Commission, Road safety: Europe's roads are getting safer but progress remains too slow, Brussels, 11 June 2020.
- [54] Babić, D., Babić, D., Ščukanec, A. (2017). The Impact of Road Familiarity on the Perception of Traffic Signs – Eye Tracking Case Study. “Environmental Engineering” 10th International Conference, Vilnius Gediminas Technical University, Lithuania, 27 - 28 April 2017.
- [55] Ariën, C., Cornu, J., Brijs, K., Brijs, T., Vanroelen G., Jongen, E. M. M., Daniels, S., Wets, G. (2013). A simulator study on the impact of traffic calming measures in urban areas on driving behavior and workload. *Elsevier, Accident Analysis & Prevention*, Vol. 61, December 2013, 43–53.

- [56] Ariën, C., Brijs, K., Brijs, T., Ceulemans, W., Vanroelen G., Jongen, E. M. M., Daniels, S., Wets, G. Does the effect of traffic calming measures endure over time? - A simulator study on the influence of gates. Elsevier, Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour, Vol. 22, January 2014, 63–75.
- [57] Pašagić, S. (2004). Vizualne informacije u prometu. Fakultet prometnih znanosti, Zagreb.
- [58] Cerovac, V. (2001). Tehnika i sigurnost prometa. Fakultet prometnih znanosti, Zagreb.
- [59] Analiza kritičnih čimbenika nastanka prometnih nesreća. Zavod za prometno planiranje, Fakultet prometnih znanosti, 2020.
- [60] Legac, I. (2006). Cestovne prometnice I: javne ceste. Fakultet prometnih znanosti, Zagreb.
- [61] Ščukanec, A. (2003). Primjena retroreflektirajućih materijala u funkciji cestovnoprometne sigurnosti. Doktorska disertacija. Fakultet prometnih znanosti, Zagreb.
- [62] Goodyear, S. (2014). The Swedish Approach to Road Safety: The Accident Is Not the Major Problem. CityLab, Washington, D.C., The Atlantic Monthly Group, December 5, 2014.
- [63] Tingvall, C., Haworth, N. (2016). Vision Zero - An ethical approach to safety and mobility. Monash University Accident Research Center, Monash University, Australia, December 2016.
- [64] Road network safety ratings. European Commission. Retrieved February 2017. https://ec.europa.eu/transport/road_safety/specialist/knowledge/safetyratings/safety_ratings_in_use/road_network_safety_ratings_en (27.12.2019.)
- [65] ROAD ERA NET, Joint Research Programme SPACE - Speed Adaptation Control by Self Explaining Roads. Literature Review and Treatment Information, Project Nr.: 823153, June 2010. <http://www.fehrl.org/library?id=6697> (27.12.2019.)
- [66] ERA-NET ROAD II, Joint Research Programme, FP7-TRANSPORT - Specific Programme "Cooperation", European (7th RTD Framework Programme), December 2011. <https://cordis.europa.eu/project/id/235474/reporting> (27.12.2019.)
- [67] Theeuwes, J. and Godthelp, H. Begrijpelijkheid van de weg (Self-explaining roads). Izvješće. Soesterberg, TNO Institute for Perception, IZF 1992 C-8.
- [68] Weber, R., Hartkopf, G. (2005). New design guidelines – a step towards self-explaining roads? Proceedings of 3rd International Symposium on Highway Geometric Design, Transportation Research Board, Washington DC.
- [69] Richter, T. Zierke, B. (2009). Safe design of rural roads by normalized road characteristics. European Transport Conference, Netherlands
- [70] Matena, S. Weber, R. (2010). Selbsterklärende Straßen – Vergleich der Ansätze in Europa. Straße und Autobahn, 2010 (1), 25–33.

- [71] Turner, B., Tziotis, M., Cairney, P., Jurewicz, C. (2009). Safe system infrastructure: national roundtable report. Report ARR370. Australian Road Research Board, Vermont, Australia.
- [72] <https://www.glasistre.hr/istra/prvi-u-istri-rovinj-dobio-3d-pjesacki-prijelaz-koji-usporava-automobile-nevjerojatan-koncept-koji-pjesake-u-prometu-cini-sigurnijima-no-ikada-610048> (pristupljeno: 24.03.2020.).
- [73] <https://npscp.info/component/k2/item/137-hrvatska-prva-uvodi-3d-signalizaciju-za-pogresan-smjer-na-autocestama> (pristupljeno: 24.03.2020.).
- [74] Stanić, B., Zdravković, P. S., Vukanović, S., Milosavljević, S. (2003). Elementi saobraćajnog projektovanja – vertikalna signalizacija. Univerzitet u Beogradu, Saobraćajni fakultet.
- [75] Ben-Bassat, T., Shinar D. (2006). Ergonomic Guidelines for Traffic Sign Design Increase Sign Comprehension. *Human Factors*, Vol. 48, No. 1, Spring 2006, 182–195. DOI: 10.1518/001872006776412298
- [76] (American Electroencephalographic Society (1994). American Electroencephalographic Society. Guideline thirteen: Guidelines for standard electrode position nomenclature. *Journal of Clinical Neurophysiology*, 11, 111–113.
- [77] Fitzpatrick K., Chrysler S. T., Brewer M. A., Nelson A., Iragavarapu V. (2013). Simulator Study of Signs for a Complex Interchange and Complex Interchange Spreadsheet Tool. Texas Transportation Institute.
- [78] HRN EN 12899-1:2008 - Stalni okomiti cestovni prometni znakovi -- 1. dio: Stalni znakovi
- [79] 3M. guidance for improving roadway safety understanding minimum retroreflectivity standards. <http://www.egroupnet.com/3M/tss/minimumreflectivity/specifications.asp?pg=2> (pristupljeno: 03.01.2018.).
- [80] Pravilnik o prometnim znakovima, opremi i signalizaciji na cestama. Ministarstvo mora, turizma, prometa i razvitka, NN 92/19, Zagreb, 30.09.2019.
- [81] Babić, D., Burghardt, T. E., Babić, D. (2015). Application and Characteristics of Waterborne Road Marking Paint. *International Journal for Traffic and Transport Engineering*, 5(2), 150–169. DOI: 10.7708/ijtte.2015.5(2).06
- [82] Hawkins, G. H. (2000). Evolution of the U. S. pavement marking system. Texas Transportation Institute, Texas.
- [83] Babić, D. (2018). Model predviđanja trajanja oznaka na kolniku. Doktorska disertacija. Fakultet prometnih znanosti, Zagreb.

- [84] <https://www.goodreads.com/book/show/36248092-forensic-vision-with-application-to-highway-safety-3rd-edition-with-sup> (pristupljeno: 24.03.2020.).
- [85] Goldstein, E. B. (2011). Osjeti i percepcija. Udžbenici Sveučilišta u Zagrebu, prijevod 7. izd., Naklada Slap, Jastrebarsko. ISBN: 978-953-191-567-0.
- [86] Iden, R., Shappell S. (2006). A Human Error Analysis of U.S. Fatal Highway Crashes 1990–2004. Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting, October 2006. DOI:10.1177/154193120605001761
- [87] Stanton, N., A., Salmon P., M. (2009). Human error taxonomies applied to driving: A generic driver error taxonomy and its implications for intelligent transport systems. Safety Science 47(2): 227–237, February 2009. DOI: 10.1016/j.ssci.2008.03.006.
- [88] DiLaura, D. et al. (2011). The Lighting Handbook: Tenth edition. Illuminating Engineering Society, New York, SAD.
- [89] Khan, F. S.; Cades, D. M.; Krauss, D. A. (2017). Cyclists and Pedestrians vs. Cars: Cars Win! A Human Factors Perspective. IDC Quarterly 22 (3)
- [90] Summala, H. (2000). Brake Reaction Times and Driver Behavior Analysis. Transportation Human Factors 2(3): 217–226, September 2000. DOI: 10.1207/STHF0203_2
- [91] Jurecki R., S., Stańczyk, T., L., Jaśkiewicz, M. (2017). Driver's reaction time in a simulated, complex road incident. Transport 32(1): 44–54, September 2017. DOI: 10.3846/16484142.2014.913535
- [92] Drożdżel, P., Tarkowski, S., Rybicka, I. (2020). Drivers 'reaction time research in the conditions in the real traffic. Open Engineering, Vol. 10, Issue 1, January 2020. DOI:<https://doi.org/10.1515/eng-2020-0004>.
- [93] Hamilton, P. T. (2015). Communicating through Distraction: A Study of Deaf Drivers and Their Communication Style in a Driving Environment. Rochester Institute of Technology, RIT Scholar Works, November 2015. DOI: <https://scholarworks.rit.edu/theses>
- [94] Road Safety Annual Report 2017. ITF (2018), OECD Publishing, Pariz. <http://dx.doi.org/10.1787/irtad-2017-en>
- [95] Danciu, B., Popa, C. Micle M., I., Preda, G. (2012). Psychological risk factors for road safety, Procedia - Social and Behavioral Sciences, Vol. 33, 2012, 363–367, <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2012.01.144>.
- [96] Lindov, O. (2012). Saobraćajna kultura. Fakultet za saobraćaj i komunikacije i Pedagoški fakultet Univerziteta u Sarajevu, Sarajevo.
- [97] Rockwell, T. H., Ernst, R. L., Rulon, M. J. (1970). Visual Requirements in Night Driving. NCHRP Report 99, Highway Research Board, Washington D.C.

- [98] Wood J., M. (2019). Nighttime driving: visual, lighting and visibility challenges. Wiley Online Library, December 2019. <https://doi.org/10.1111/opo.12659>
- [99] Štriga M. (1985). Fiziologija oka. Oftalmologija, Jumeana, Zagreb, 106.
- [100] Sensory Reception: Human Vision: Structure and Function of the Human Eye (1987). Encyclopædia Britannica, vol. 27, 1987.
- [101] Bouchner, P. (2006). Interactive driving simulators - History, design and their utilization in area of HMI research. International Journal of Systems Applications, Engineering & Development, 10: 179–188.
- [102] Fisher, L. D., Rizzo, M., Caird, J. K., Lee, J. D. (2011). Handbook of Driving Simulation for Engineering, Medicine And Psychology. CRC Press, Taylor&Francis Group, 2011.
- [103] Blana, E. (1996). A Survey of Driving Research Simulators Around the World. Izveštaj (Working Paper 481). Institute of Transport Studies, University of Leeds, Velika Britanija.
- [104] <https://cs-driving-simulator.com/images/ruralNL01.jpg> (pristupljeno: 20.10.2018.).
- [105] Van Winsum, W. (2019). A threshold model for stimulus detection in the peripheral detection task. Transp. Res. Part F 2019, 65, 485–502, doi:10.1016/j.trf.2019.08.014.
- [106] Van Winsum, W. (2018). The effects of cognitive and visual workload on peripheral detection in the detection response task. Human Factors 2018, 60, 855–869, doi:10.1177/0018720818776880.
- [107] Wechsler, K., Drescher, U., Janouch, C., Haeger, M., Voelcker-Rehage, C., Bock, O. (2018). Multitasking during simulated car driving: A Comparison of young and older persons. Front. Psychol. 2018, doi:10.3389/fpsyg.2018.00910.
- [108] Rodseth, J., Washabaugh, E. P., Al Haddad, A., Kartje, P., Tate, D. G., Krishnan, C. (2017). A novel low-cost solution for driving assessment in individuals with and without disabilities. Appl. Ergon. 2017, 65, 335–344, doi:10.1016/j.apergo.2017.07.002.
- [109] Buswell G. (1922). Fundamental reading habits: A study of their development. The University of Chicago, SAD.
- [110] Tommaso, D., D., Wykowska, A. (2019). TobiiGlassesPySuite: An open-source suite for using the Tobii Pro Glasses 2 in eye-tracking studies. ETRA 19, Association for Computing Machinery, Denver, 2019. ISBN 978-1-4503-6709-7/19/06, <https://doi.org/10.1145/3314111.3319828>
- [111] Aksum K., M., Magnaguagno, L., Bjørndal, C., T., Jordet, G. (2020). What Do Football Players Look at? An Eye-Tracking Analysis of the Visual Fixations of Players in 11 v 11 Elite Football Match Play. Front Psychol, vol. 11, 2020, doi: 10.3389/fpsyg.2020.562995

- [112] Yasui, Y., Tanaka, J., Kakudo, M., Tanaka, M. (2019). Relationship between preference and gaze in modified food using eye tracker. *Journal of Prosthodontic Research*, Elsevier, Vol. 63, Issue 2, April 2019, 210–215, <https://doi.org/10.1016/j.jprior.2018.11.011>
- [113] <https://www.tobiipro.com/product-listing/tobii-pro-glasses-2/#Features> (pristupljeno: 26.02.2020.)
- [114] Brinar, V. i suradnici (2019). *Neurologija za medicinare*. Drugo, obnovljeno i dopunjeno izdanje. Medicinska naklada, Zagreb.
- [115] EEG Pocket Guide (2017.). *iMotions - Biometric Research Platform.pdf* (pristupljeno: 11.03.2020.).
- [116] Neuroelectronics Barcelona SLUEnobio, Neuroelectronics User Manual. Barcelona, 2018.
- [117] https://www.neuroelectronics.com/img/product/product_enobio_20.jpg (pristupljeno 11.03.2020.)
- [118] American Electroencephalographic Society (1994). American Electroencephalographic Society. Guideline thirteen: Guidelines for standard electrode position nomenclature. *Journal of Clinical Neurophysiology*, 11, 111–113.
- [119] <https://www.neuroelectronics.com/img/component/ElectrodeCableSetEN20.jpg> (pristupljeno: 11.03.2020.)
- [120] Schmidt-Clausen, H. J. (1991). Retro-reflective Road Traffic Signs: Minimum and Optimal Luminance Requirements. International Road Federation (IRF), Geneva.
- [121] Frank, H. (2001). New Aspects for the Photometric Characterisation of Microprismatic Retro-reflective Sheeting. PAL Conference Darmstadt, München.
- [122] Kramp, W. (2006). Why do I need better/brighter Traffic signs?. Display & Graphics Laboratory, TSS Division.
- [123] Pike, A. M., Barrette, T. P., Carlson, P. J. (2018). Evaluation of the Effects of Pavement Marking Characteristics on Detectability by Adas Machine Vision. Final report prepared for the National Cooperative Highway Research Program, Transportation Research Board of The National Academies of Sciences, Engineering and Medicine, Project No. 20–102 (06), May 2018.
- [124] Zakon o provedbi opće uredbe o zaštiti podataka (2018). NN 42/2018, Zagreb.
- [125] Kennedy, R. S. et al. (1993). Simulator Sickness Questionnaire: An Enhanced Method for Quantifying Simulator Sickness. *The International Journal of Aviation Psychology*, 3:3, 203–220, DOI: 10.1207/s15327108ijap0303_3.
- [126] Gevins, A. S., Smith, M. E. (2003) Neurophysiological measures of cognitive workload during human-computer interaction. *Theor. Issues Ergon. Sci.* 4, 113–131.

- [127] Holm, A., Lukander, K., Korpela, J., Sallinen, M., Müller, K.M. (2009). Estimating brain load from the EEG. *Sci. World J.* 9, 639651.
- [128] Vidulich, M. A., Tsang, P. S. (2012). Mental workload and situation awareness. *Handbook of Human Factors and Ergonomics*. John Wiley & Sons, Inc., 243–273.
- [129] Puma, S., Matton, N., Paubel, P. V., Raufaste, É., El-Yagoubi, R. (2018). Using theta and alpha band power to assess cognitive workload in multitasking environments. *Int. J. Psychophysiol.* 123, 111–120.
- [130] Tanner, D., Morgan-Short, K., Luck, S. J. (2015). How Inappropriate High-Pass Filters Can Produce Artifactual Effects and Incorrect Conclusions in ERP Studies of Language and Cognition. *Psychophysiology* 52 (8), 997–1009.
- [131] Aurlieu, H. (2004). EEG Background Activity Described by a Large Computerized Database. *Clinical Neurophysiology: Official Journal of the International Federation of Clinical Neurophysiology*, 115 (3), 665–73.
- [132] Rayes, F., Short, M., Meyer, J., and Llaneras, R. (2019). Effectiveness of Workload-Based Drowsy Driving Countermeasures. *SAE Technical Paper 2019-01-1228*. <https://doi.org/10.4271/2019-01-1228>.
- [133] Sweller, J., Ayres, P., Kalyuga, S. (2003). *Cognitive load theory*. Springer, New York.
- [134] Kuhl, T., Scheiter, K., Gerjets, P., Edelman, J. (2011). The influence of text modality on learning with static and dynamic visualizations. *Computers in Human Behavior*, 27, 2011, 29–35.
- [135] Schmeck, A., Opfermann, M., Gog, T., V., Paas, F., Leutner, D. (2015). Measuring cognitive load with subjective rating scales during problem solving: differences between immediate and delayed ratings. *Springer Science + Business Media Dordrecht, Instr Sci* 2015, 43, 93–114. DOI 10.1007/s11251-014-9328-3.
- [136] Altamira, A. et al. (2014). Acceleration and deceleration patterns on horizontal curves and their tangents on two-lane rural roads. Presented at the 93rd Transportation Research Board Meeting, Washington DC, USA, January 12–16.
- [137] Almeida, R., Vasconcelos, L., Bastos Silva, A. (2018). Design consistency index for two-lane roads based on continuous speed profiles. *Promet – Traffic&Transportation*. 30(2): 231–239. <https://doi.org/10.7307/ptt.v30i2.2573>.
- [138] Hu, W. & Donnell, E. T. (2010). Models of acceleration and deceleration rates on a complex two-lane rural highway: Results from a nighttime driving experiment. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*. 13(6): 397–408. <http://dx.doi.org/10.1016/j.trf.2010.06.005>.

- [139] Calvi, A. (2015). A study on driving performance along horizontal curves of rural roads. *Journal of Transportation Safety & Security*. 7(3): 243–267. <https://doi.org/10.1080/19439962.2014.952468>.
- [140] Babić, D., Brijs, T. (2021). Low-cost road marking measures for increasing safety in horizontal curves: A driving simulator study. *Accident Analysis & Prevention*, 153:106013. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2021.106013>
- [141] Shepherd, M., Findlay, J. M. & Hockey, R. J. (1986). The Relationship Between Eye Movements and Spatial Attention. *Journal of Experimental Psychology*. 38 (2): 475-491. <https://doi.org/10.1080/14640748608401609>.
- [142] Zhao, M., Gersch, T. M., Schitzer, B. S., Doshier, B. A. & Kowler, E. (2012). Eye Movements and Attention: The Role of Pre-saccadic Shifts of Attention in Perception, Memory and the Control of Saccades. *Vision Research*, 74 (1): 40–60. <https://doi.org/10.1016/j.visres.2012.06.017>.
- [143] Cooper, J. M., Medeiros-Ward, N., Strayer, D. L. (2013). The impact of eye movements and cognitive workload on lateral position variability in driving. *Human Factors*, 55, 1001–1014.
- [144] Hammel, K. R., Fisher, D. L., Pradhan, A. K. (2002). Verbal and spatial loading effects on eye movements in driving simulators: A comparison to real world driving. In *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society 46th Annual Meeting* (pp. 2174–2178). Santa Monica, CA: Human Factors and Ergonomics Society.
- [145] Harbluk, J. L., Noy, Y. I., Trbovich, P. L., Eizenman, M. (2007). An on-road assessment of cognitive distraction: Impacts on drivers' visual behavior and braking performance. *Accident Analysis & Prevention*, 39, 372–379.
- [146] Sweller, J. (1988). Cognitive load during problem solving: Effects on learning. *Cognitive science* (12:2), 257–285.
- [147] Đapo, N., Marković, M., Đokić, R. Kognitivno opterećenje i eksterna reprezentacija pravila rješavanja problema "hanojskih tornjeva". Odsjek za psihologiju, Filozofski fakultet Univerziteta u Sarajevu, Bosna i Hercegovina. Izvorni znanstveni rad, UDK – 159.95.072-057.875, *Psihologijske teme*, 26 (2017), 2, 261–282.
- [148] Galley, N. & Andres, G. (1996). Saccadic Eye Movements and Blinks During Long-Term Driving on the Autobahn with Minimal Alcohol Ingestion. *Vision in Vehicles*. 5: 381–388.
- [149] Ministarstvo unutarnjih poslova (2019). Analitički postupci utvrđivanja utjecaja čimbenika cesta, čovjek, vozilo na događanje prometnih nesreća, Knjiga 3: Razumijevanje

ponašanja vozača kao faktora sigurnosti cestovnog prometa. Nacionalni program sigurnosti cestovnog prometa Republike Hrvatske 2011. – 2020., Zagreb.

[150] Lappi, O., Lehtonen, E., Pekkanen, J., Itkonen, T. H. (2013). Beyond the tangent point–gaze targets in naturalistic driving. *J Vis*, 2013, 13: 11–18.

[151] Lappi, O. (2014). Future path and tangent point models in the visual control of locomotion in curve driving. *J Vis*, 2014, 14: 1–22.

[152] Xu, X., Šarić, Ž., Zhua, F., Babić, D. (2018). Accident severity levels and traffic signs interactions in state roads: a seemingly unrelated regression model in unbalanced panel data approach. *Accident Analysis & Prevention*, 120: 122–129. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2018.07.037>

[153] Šarić, Ž., Xu, X., Duan, L., Babić, D. (2018). Identifying the safety factors over traffic signs in state roads using a panel quantile regression approach. *Traffic Injury Prevention*, 19(6): 607–614. <https://doi.org/10.1080/15389588.2018.1476688>.

[154] Ferko, M., Stažnik, A., Modrić, M., Dijanić, H. (2019). The Impact of Traffic Sign Quality on the Frequency of Traffic Accidents. *Promet – Traffic&Transportation*, 31(5): 549–558. <https://doi.org/10.7307/ptt.v31i5.3023>.

[155] National Cooperative Highway Research Program (2002). Longterm pavement marking practices chapter four: traffic crashes and pavement markings. Izvješće. Washington DC, SAD.

[156] Smadi, O. (2010). Pavement markings and safety. Izvješće. Center for Transportation Research and Education, IA, SAD, str. 70.

[157] Carlson, P., Park, E. S. i Kang, D. H. (2013). Investigation of longitudinal pavement marking retroreflectivity and safety. *Journal of the Transportation Research Board*, vol. 2337, August 2013, 59–66.

[158] Hussain, Q., Alhajyaseen, W. K. M., Pirdavani, A., Reinolsmann, N., Brijs, K., Brijs, T. (2019). Speed perception and actual speed in a driving simulator and real-world: A validation study. Elsevier, *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, vol. 62, April 2019, 637–650.

POPIS SLIKA I TABLICA

Popis slika:

Slika 1. Vennov dijagram međusobno povezanih čimbenika sigurnosti cestovnog prometa ..	22
Slika 2. Udio nesreća sa smrtno stradalima i teško ozlijeđenima prema čimbeniku čovjek-cesta-vozilo (2010. - 2018.).....	23
Slika 3. Uzroci smanjenja vizualnih sposobnosti kod starijih ljudi	24
Slika 4. Zaklonjeni prometni znakovi zbog neadekvatnog održavanja okoline ceste.....	26
Slika 5. Utjecaj visine (tipa) vozila na ulazni i reflektirani kut svjetlosti u slučaju oznaka na kolniku.....	28
Slika 6. 3D pješački prijelaz u Rovinju.....	31
Slika 7. 3D signalizacija za pogrešan smjer na autocestama	31
Slika 8. Prikaz prometnog znaka STOP izrađenog od retroreflektirajućeg materijala klase I, klase II i klase III.....	35
Slika 9. Vidljivost prometnih znakova različitih starosti u dnevnim (a) i u noćnim uvjetima (b)	36
Slika 10. Dobra vidljivost oznaka na kolniku u dnevnim uvjetima (a), loša vidljivost oznaka na kolniku u noćnim uvjetima (b) i dobra vidljivost oznaka na kolniku u noćnim uvjetima (c) ..	38
Slika 11. Vizualna percepcija.....	41
Slika 12. Primjeri prvih simulatora vožnje.....	47
Slika 13. Prikaz simulatora vožnje korištenog za potrebe provođenja istraživanja	49
Slika 14. Prikaz virtualnog okruženja simulatora vožnje.....	50
Slika 15. Naočale za bilježenje pogleda vozača tijekom vožnje na simulatoru	51
Slika 16. Tobii Pro Glasses 2 naočale za praćenje pogleda	53
Slika 17. Podjela mozga na regije	55
Slika 18. Osnovna podjela korteksa	56
Slika 19. Neuroelectrics neoprenska kapa za postavu elektroda i glavne jezgre sustava	57
Slika 20. EEG elektrode	58
Slika 21. Dizajn scenarija za simulator vožnje (raspored „vidljivosti“ se mijenjao po ispitanicima).....	59
Slika 22. Krivulje osvjjetljenja za pojedinu vrstu retroreflektirajućeg materijala – minimalna svjetlina potrebna vozaču	61
Slika 23. Slaba razina vidljivosti (a), srednja razina vidljivosti (b) i jaka razina vidljivosti prometne signalizacije pred raskrižjem na simulatoru vožnje	61

Slika 24. Kognitivno opterećenje (<i>z-score</i>) po četiri elementa ceste (raskrižje, pješački prijelaz, ravni dio ceste i oštar zavoј) ovisno o razini vidljivosti prometne signalizacije.....	73
Slika 25. Kognitivno opterećenje u uvjetima učenja, slabe, srednje i jake vidljivosti signalizacije na cesti.....	74

Popis tablica:

Tablica 1. Broj prometnih znakova po kategoriji i klasi vidljivosti u odnosu na područje interesa pojedine rizične situacije za sigurnost prometa.....	60
Tablica 2. Nazivi, definicije i jedinice varijabli	64
Tablica 3. Prosječna brzina (km/h) u odnosu na situaciju i razinu vidljivosti	67
Tablica 4. Prosječna akceleracija (m/s^2) u odnosu na situaciju i razinu vidljivosti	68
Tablica 5. Prosječna deceleracija (m/s^2) u odnosu na razinu vidljivosti prometne signalizacije i postavljenu rizičnu situaciju za sigurnost prometa	69
Tablica 6. <i>Post hoc</i> usporedbe prosječne deceleracije u uvjetima različite razine vidljivosti .	70
Tablica 7. Standardna devijacija lateralnog položaja (m) u odnosu na postavljenu situaciju i razinu vidljivosti prometne signalizacije.....	70
Tablica 8. <i>Post hoc</i> usporedbe variranja u lateralnom položaju u različitim situacijama	71
Tablica 9. Aritmetičke sredine kognitivnog opterećenja (<i>z-score</i>) prema svim elementima ceste (raskrižje, pješački prijelaz, ravni dio ceste i oštar zavoј) ovisno o razini vidljivosti prometne signalizacije	72
Tablica 10. Prosječni broj fiksacija u odnosu na razinu vidljivosti prometne signalizacije i postavljenu rizičnu situaciju za sigurnost prometa	75
Tablica 11. Usporedba broja fiksacija pri različitim razinama vidljivosti u pojedinoj situaciji	76
Tablica 12. Prosječni broj sakada u odnosu na razinu vidljivosti prometne signalizacije i postavljenu rizičnu situaciju za sigurnost prometa	77
Tablica 13. Prosječni broj pogleda na lijevu rubnu liniju u odnosu na razinu vidljivosti prometne signalizacije i postavljenu rizičnu situaciju za sigurnost prometa	77
Tablica 14. <i>Post hoc</i> usporedbe broja pogleda na lijevu rubnu liniju u uvjetima različite razine vidljivosti prometne signalizacije.....	78
Tablica 15. Prosječni broj pogleda na razdjelnu liniju u odnosu na razinu vidljivosti prometne signalizacije i postavljenu rizičnu situaciju za sigurnost	78
Tablica 16. Prosječni broj pogleda na desnu rubnu liniju u odnosu na razinu vidljivosti prometne signalizacije i postavljene rizične situacije za sigurnost prometa	79

Tablica 17. Prosječni broj pogleda na prometne znakove u odnosu na razinu vidljivosti prometne signalizacije i postavljenu rizičnu situaciju za sigurnost prometa	80
Tablica 18. <i>Post hoc</i> usporedbe broja pogleda na prometne znakove u uvjetima različite razine vidljivosti prometne signalizacije.....	80
Tablica 19. Postotak primijećenih prometnih znakova u odnosu na razinu vidljivosti prometne signalizacije i postavljenu rizičnu situaciju za sigurnost prometa	81
Tablica 20. <i>Post hoc</i> usporedbe postotka primijećenih prometnih znakova u uvjetima različite razine vidljivosti prometne signalizacije.....	81

POPIS PRILOGA

Prilog 1.: Mišljenje Etičkog povjerenstva Fakulteta prometnih znanosti za izvođenje znanstvenog istraživanja

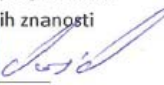


Klasa: 035-01/20-01/07
Ur. Broj: 251-76-01-20-5
Zagreb, 02.07.2020.

Etičko povjerenstvo Fakulteta prometnih znanosti Sveučilišta u Zagrebu, povodom zamolbe Mario Fiolić, mag. ing. traff. za odobrenje znanstvenog istraživanja na elektroničkoj sjednici održanoj dana 02.07.2020. godine, donijelo je sljedeće

MIŠLENJE

Temeljem uvida u dostavljene materijale – problem, ciljevi, hipoteze i način provođenja eksperimenata vezanih uz predloženo istraživanje voditelja projekta **Mario Fiolić, mag. ing. traff.**, pod nazivom: *Utvrdjivanje povezanosti psihofizičkoga opterećenja vozača i kvalitete prometne signalizacije u noćnim uvjetima*, Povjerenstvo je zaključilo da se u predloženom znanstvenom istraživanju poštuju i primjenjuju etička i profesionalna načela te se **daje suglasnost za njegovo izvođenje.**

Predsjednik Etičkog povjerenstva
Fakulteta prometnih znanosti

dr. sc. Mario Čosić

FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI
Vukelićeva 4
10000 Zagreb; pp 170
Republika Hrvatska

Tel.: +385 1 2380 222 (centrala); +385 1 2302 005 (studentska referada); +385 1 2313 300 (dekanat) / fax: ++385 1 2336 415
+385 1 2380 355 (zastupništvo) / e-mail: fpx@fpz.hr / www.fpz.hr / MB: 3260771 / Žiro račun: 2360000-1103425998



Prilog 2.: Suglasnost za sudjelovanje u znanstvenom istraživanju

Oznaka ispitanika: _____

SUGLASNOST

za sudjelovanje u znanstvenom istraživanju

Potpisom ove suglasnosti izražavam svoj pristanak za sudjelovanje u istraživanju i potvrđujem:

- da sam upoznat s procedurom, metodologijom, opremom i svrhom istraživanja (ukoliko spoznaja o istoj ne utječe na rezultate istraživanja)
- da sam informiran da je moje sudjelovanje u istraživanju dobrovoljno te da će se analiza rezultata provoditi na anonimiziranim podacima, odnosno da se moj identitet neće koristiti u formalnim ili neformalnim publikacijama u pisanom, zvučnom ili video formatu, bez eksplicitnog pisanog dopuštenja
- da se obvezujem savjesno izvršavati zadaće u okviru istraživanja
- da neću formalno objavljivati prikazanu tehnologiju, metodologiju ili rezultate istraživanja u pisanom, zvučnom ili video formatu te da neću dijeliti informacije o tehnologiji, metodologiji, sadržaju ili rezultatima istraživanja s ostalim sudionicima u istraživanju prije okončanja istraživanja te na taj način utjecati na ostale sudionike istraživanja
- da se odričem materijalnih, novčanih i ostalih vidova kompenzacije za vrijeme utrošeno tijekom istraživanja
- da sam svjestan prava odustajanja (u bilo kojem trenutku)
- da sam upoznat da su istraživači obvezni pridržavati se Etičkog kodeksa i da su dužni zaštititi tajnost podataka.

Datum:

Potpis sudionika

Prilog 3.: Ispitni obrazac za testiranje na simulatoru vožnje

PROMETNA SIGNALIZACIJA - TESTIRANJE NA SIMULATORU VOŽNJE									
ISPITNI OBRAZAC									
OZNAKA ISPITNIKA: _____									
SPOL: M Ž									
DATUM I GOD. ROĐENJA: _____									
DATUM I GODINA STJECANJA VOZAČKE DOZVOLE: _____									
VLASTITA PROCJENA VOZAČKE SPOSOBNOSTI: 1 2 3 4 5 (1 - vrlo loše; 2 - loše; 3 - dobro; 4 - vrlo dobro; 5 - odlično)									
KOLIKO ČESTO VOZITE: A) SVAKODNEVNO B) PAR PUTA TJEDNO C) PAR PUTA MJESEČNO D) PAR PUTA GODIŠNJE									
VAŠA PROCJENA PRIJEĐENIH KM GODIŠNJE _____									
DIOPTRIJA: DA NE DESNO _____ LIJEVO _____									
NAOČALE: DA NE LEĆE: DA NE									
DRUGE MANE ILI BOLESTI OKA: _____ _____									
OSTALE NAPOMENE: _____									

Prilog 4.: Upitnik prije vožnje na simulatoru vožnje

TESTIRANJE NA SIMULATORU VOŽNJE

Upitnik PRIJE vožnje - OPĆE STANJE ISPITANIKA

Kennedy, Lane, Berbaum & Lilienthal (1993.)

Molimo Vas, zaokružite odgovor koji opisuje u kojoj mjeri je trenutno kod Vas prisutan svaki od navedenih simptoma:

Opća nelagoda	Ništa	Blago	Umjereno	Značajno
Umor	Ništa	Blago	Umjereno	Značajno
Glavobolja	Ništa	Blago	Umjereno	Značajno
Naprezanje očiju	Ništa	Blago	Umjereno	Značajno
Otežano fokusiranje	Ništa	Blago	Umjereno	Značajno
Pojačana slina	Ništa	Blago	Umjereno	Značajno
Znojenje	Ništa	Blago	Umjereno	Značajno
Mučnina	Ništa	Blago	Umjereno	Značajno
Otežano koncentriranje	Ništa	Blago	Umjereno	Značajno
Pritisak u glavi ("teška glava")	Ništa	Blago	Umjereno	Značajno
Zamagljen vid	Ništa	Blago	Umjereno	Značajno
Ošamućenost (otvorene oči)	Ništa	Blago	Umjereno	Značajno
Ošamućenost (zatvorene oči)	Ništa	Blago	Umjereno	Značajno
Vrtoglavica*	Ništa	Blago	Umjereno	Značajno
Osjetljivost ("svjesnost") želuca**	Ništa	Blago	Umjereno	Značajno
Podrigivanje	Ništa	Blago	Umjereno	Značajno

* Vrtoglavica se doživljava kao gubitak orijentacije u odnosu na okomiti (uspravni) položaj.

** Osjetljivost ("svjesnost") želuca obično se koristi za označavanje osjećaja nelagode koji prethodi mučnini.

Kennedy, R.S., Lane, N.E., Berbaum, K.S. & Lilienthal, M.G. (1993). Simulator Sickness Questionnaire: An enhanced method for quantifying simulator sickness. *International Journal of Aviation Psychology*, 3(3), 203-220

Prilog 5.: Upitnik nakon vožnje na simulatoru vožnje

TESTIRANJE NA SIMULATORU VOŽNJE

Upitnik NAKON vožnje - OPĆE STANJE ISPITANIKA

Kennedy, Lane, Berbaum & Lilienthal (1993.)

Molimo Vas, zaokružite odgovor koji opisuje u kojoj mjeri je trenutno kod Vas prisutan svaki od navedenih simptoma:

Opća nelagoda	Ništa	Blago	Umjereno	Značajno
Umor	Ništa	Blago	Umjereno	Značajno
Glavobolja	Ništa	Blago	Umjereno	Značajno
Naprezanje očiju	Ništa	Blago	Umjereno	Značajno
Otežano fokusiranje	Ništa	Blago	Umjereno	Značajno
Pojačana slina	Ništa	Blago	Umjereno	Značajno
Znojenje	Ništa	Blago	Umjereno	Značajno
Mučnina	Ništa	Blago	Umjereno	Značajno
Otežano koncentriranje	Ništa	Blago	Umjereno	Značajno
Pritisak u glavi ("teška glava")	Ništa	Blago	Umjereno	Značajno
Zamagljen vid	Ništa	Blago	Umjereno	Značajno
Ošamućenost (otvorene oči)	Ništa	Blago	Umjereno	Značajno
Ošamućenost (zatvorene oči)	Ništa	Blago	Umjereno	Značajno
Vrtoglavica*	Ništa	Blago	Umjereno	Značajno
Osjetljivost ("svjesnost") želuca**	Ništa	Blago	Umjereno	Značajno
Podrigivanje	Ništa	Blago	Umjereno	Značajno

* Vrtoglavica se doživljava kao gubitak orijentacije u odnosu na okomiti (uspravni) položaj.

** Osjetljivost ("svjesnost") želuca obično se koristi za označavanje osjećaja nelagode koji prethodi mučnini.

Kennedy, R.S., Lane, N.E., Berbaum, K.S. & Lilienthal, M.G. (1993). Simulator Sickness Questionnaire: An enhanced method for quantifying simulator sickness. *International Journal of Aviation Psychology*, 3(3), 203-220

Prilog 6.: Tablica o podacima sudionika istraživanja

ISPITANIK	DATUM TESTIRANJA	SPOL	DATUM ROĐENJA ISPITANIKA	STAROST ISPITANIKA	DATUM STJECANJA VOZAČKE DOZVOLE	VOZAČKO ISKUSTVO (GOD)	VLASTITA PROCJENA VOZAČKE SPOSOBNOSTI (1-5)	UČESTALOST VOŽNJE	PROCJENA PRIJEĐENIH KM/GOD
S01-A	6.7.2020.	Muški	7.12.1992.	27,58	11.2.2011.	9,40	4	Svakodnevno	30.000
S02-A	6.7.2020.	Muški	26.8.1987.	32,86	13.9.2006.	13,81	5	Svakodnevno	20.000
S03-A	6.7.2020.	Muški	25.3.1988.	32,28	18.5.2006.	14,13	5	Svakodnevno	20.000
S04-A	6.7.2020.	Muški	18.11.1954.	65,63	15.3.1973.	47,31	3	Svakodnevno	15.000
S05-A	6.7.2020.	Ženski	24.4.1964.	56,20	20.10.1983.	36,71	4	Svakodnevno	10.000
S06-A	6.7.2020.	Ženski	19.7.1983.	36,96	21.7.2001.	18,96	4	Svakodnevno	30.000
S07-A	6.7.2020.	Muški	13.4.1984.	36,23	14.3.2003.	17,31	5	Svakodnevno	10.000
S08-B	6.7.2020.	Muški	7.7.1997.	23,00	11.9.2015.	4,82	5	Svakodnevno	15.000
S09-B	6.7.2020.	Ženski	1.4.1999.	21,26	20.4.2017.	3,21	3	Svakodnevno	15.000
S10-B	6.7.2020.	Muški	13.6.1992.	28,06	10.7.2010.	9,99	5	Svakodnevno	60.000
S11-B	6.7.2020.	Muški	10.12.1987.	32,57	10.12.2003.	16,57	4	Svakodnevno	30.000
S12-B	6.7.2020.	Ženski	20.9.1997.	22,79	6.10.2015.	4,75	3	Par puta mjesečno	500
S13-B	6.7.2020.	Ženski	19.1.1995.	25,46	14.4.2015.	5,23	5	Svakodnevno	1.000
S14-B	6.7.2020.	Ženski	14.1.1993.	27,48	1.6.2011.	9,10	4	Svakodnevno	20.000
S15-C	6.7.2020.	Muški	7.9.1990.	29,83	17.12.2019.	0,55	4	Svakodnevno	15.000
S16-C	7.7.2020.	Ženski	3.4.1994.	26,26	4.5.2012.	8,18	4	Par puta mjesečno	5.000
S17-C	7.7.2020.	Ženski	15.1.1994.	26,48	23.1.2012.	8,46	4	Svakodnevno	15.000
S18-C	7.7.2020.	Muški	4.1.1996.	24,51	27.2.2014.	6,36	5	Svakodnevno	10.000
S19-C	7.7.2020.	Ženski	16.6.1977.	43,06	28.12.2009.	10,53	3	Svakodnevno	6.000
S20-C	7.7.2020.	Muški	17.4.1997.	23,22	24.9.2015.	4,79	3	Par puta godišnje	1.000
S21-C	7.7.2020.	Muški	15.3.1995.	25,31	27.6.2013.	7,03	5	Svakodnevno	25.000
S22-D	7.7.2020.	Muški	12.1.1997.	23,49	20.6.2017.	3,05	5	Svakodnevno	15.000
S23-D	7.7.2020.	Ženski	18.6.1993.	27,05	31.1.2013.	7,44	4	Svakodnevno	11.000
S24-D	7.7.2020.	Ženski	7.4.1981.	39,25	24.9.1999.	20,79	4	Svakodnevno	10.000
S25-D	7.7.2020.	Muški	19.11.1987.	32,63	27.1.2006.	14,44	4	Svakodnevno	40.000
S26-D	7.7.2020.	Muški	13.2.1991.	29,40	26.6.2009.	11,03	4	Svakodnevno	15.000
S27-D	7.7.2020.	Muški	26.12.1987.	32,53	12.7.2007.	12,99	5	Svakodnevno	50.000
S28-E	7.7.2020.	Ženski	20.6.1958.	62,05	27.1.1985.	35,44	3	Par puta mjesečno	100
S29-E	7.7.2020.	Muški	13.6.1954.	66,07	18.5.1973.	47,14	4	Par puta tjedno	5.000
S30-E	7.7.2020.	Muški	6.3.1958.	62,34	10.3.1979.	41,33	5	Par puta godišnje	1.000
S31-E	7.7.2020.	Muški	16.8.1979.	40,89	20.8.1997.	22,88	5	Svakodnevno	30.000
S32-E	8.7.2020.	Muški	25.11.1973.	46,62	2.12.1991.	28,60	3	Svakodnevno	15.000
S33-E	8.7.2020.	Ženski	18.3.1981.	39,31	20.7.1999.	20,97	4	Svakodnevno	15.000
S34-E	8.7.2020.	Ženski	11.6.1985.	35,08	4.12.2006.	13,59	3	Svakodnevno	10.000
S35-E	8.7.2020.	Ženski	29.5.1989.	31,11	2.6.2007.	13,10	5	Svakodnevno	15.000
S36-F	8.7.2020.	Ženski	29.5.1989.	31,11	3.10.2012.	7,76	5	Svakodnevno	20.000
S37-F	8.7.2020.	Ženski	7.11.1989.	30,67	19.1.2009.	11,47	4	Svakodnevno	20.000
S38-F	8.7.2020.	Ženski	22.12.1987.	32,54	31.3.2006.	14,27	4	Svakodnevno	10.000
S39-F	8.7.2020.	Muški	16.8.1987.	32,89	13.9.2005.	14,82	4	Svakodnevno	30.000
S40-F	8.7.2020.	Muški	27.8.1987.	32,86	7.11.2006.	13,67	5	Svakodnevno	14.000
S41-F	8.7.2020.	Muški	24.5.1989.	31,12	28.5.2007.	13,11	4	Svakodnevno	30.000
S42-F	8.7.2020.	Muški	28.5.1979.	41,11	1.6.1997.	23,10	4	Svakodnevno	25.000

S43-F	8.7.2020.	Muški	31.5.1987.	33,11	21.10.2005.	14,71	3	Par puta tjedno	10.000
S44-F	8.7.2020.	Muški	5.4.1976.	44,26	17.5.1994.	26,14	4	Svakodnevno	30.000
S45-F	8.7.2020.	Muški	21.1.1984.	36,46	5.2.2008.	12,43	5	Svakodnevno	15.000

ŽIVOTOPIS I POPIS RADOVA AUTORA



Mario Fiolić rođen je 18. srpnja 1987. godine u Zagrebu, Republika Hrvatska. Osnovnu školu završio je u Zagrebu, a 2006. godine maturirao s odličnim uspjehom u srednjoj Tehničkoj školi Ruđera Boškovića u Zagrebu. Godine 2006. upisuje Fakultet prometnih znanosti u Zagrebu, gdje je na preddiplomskom studiju diplomirao s izvrsnim uspjehom u rujnu 2009. godine. Iste godine počinje pohađati i diplomski studij na kojem je diplomirao s izvrsnim uspjehom u rujnu 2011. i time stekao zvanje magistar inženjer prometa. Budući da se nalazio unutar 10% najboljih redovitih studenata, tijekom preddiplomskoga i diplomskoga studija dobivao je državnu stipendiju Ministarstva znanosti i obrazovanja.

Od rujna 2010. godine aktivno sudjeluje na projektu dinamičkog ispitivanja retrorefleksije oznaka na kolniku u Zavodu za prometnu signalizaciju na Fakultetu prometnih znanosti, a 2011. godine pohađao je i položio teorijsku i praktičnu obuku za mjerenje koeficijenta dnevne i noćne vidljivosti horizontalne signalizacije statičkim i dinamičkim retroreflektometrom.

U listopadu 2011. godine zaposlio se na Fakultetu prometnih znanosti u Zavodu za prometnu signalizaciju kao stručni suradnik te radi na projektima ispitivanja prometne signalizacije i sudjeluje u izvođenju vježbi na kolegijima Zavoda. U prosincu 2011. godine upisuje poslijediplomski doktorski studij (polje: tehnologija prometa i transport) pri Fakultetu prometnih znanosti Sveučilišta u Zagrebu.

U ožujku 2015. godine zaposlio se na Fakultetu prometnih znanosti u Zavodu za prometnu signalizaciju kao asistent i aktivno sudjeluje u projektima Zavoda, izvođenju vježbi na kolegijima Zavoda te prisustvuje brojnim radionicama i stručnim osposobljavanjima vezanima uz rad pri Zavodu.

Dana 21. srpnja 2021. uspješno brani doktorsku disertaciju pod nazivom „Utvrđivanje povezanosti psihofizičkoga opterećenja vozača i kvalitete prometne signalizacije u noćnim uvjetima“.

Član je Hrvatske komore inženjera tehnologije prometa i transporta te Hrvatske udruge diplomiranih inženjera i inženjera Fakulteta prometnih znanosti Sveučilišta u Zagrebu.

Aktivno se koristi engleskim jezikom u govoru i pismu te se u svojem radu aktivno koristi računalom.

POPIS OBJAVLJENIH RADOVA

1. Babić, Dario; Fiolić, Mario; Babić, Darko; Gates, Timothy. Road markings and their impact on driver behaviour and road safety: A systematic review of current findings. // Journal of advanced transportation, 7843743 (2020), 7843743, 19 doi:10.1155/2020/7843743 (međunarodna recenzija, članak, znanstveni).
2. Babić, Darko; Babić, Dario; Cajner, Hrvoje; Sruk, Ana; Fiolić, Mario. Effect of Road Markings and Traffic Signs Presence on Young Driver Stress Level, Eye Movement and Behaviour in Night-Time Conditions: A Driving Simulator Study. // Safety, 6 (2020), 2; 24, 17 doi:10.3390/safety6020024 (međunarodna recenzija, članak, znanstveni).
3. Babić, Darko; Ščukanec, Anđelko; Fiolić, Mario; Babić, Dario; Čavka, Magdalena. Standardizacija prometnih znakova i oznaka na kolniku na području EU. // Ceste i mostovi: glasilo Hrvatskog društva za ceste, 2020 (2020), 172–175 (članak, stručni).
4. Babić, Dario; Babić, Darko; Fiolić, Mario; Šnajder, Valentina; Kučina, Ivana. Distrakcije vozača-Problem suvremenog prometnog sustava. // Ceste i mostovi: glasilo Hrvatskog društva za ceste, 2020 (2020), 188–192 (članak, stručni).
5. Babić, Darko; Babić, Dario; Fiolić, Mario; Krasić, Davor. Model for determination the contribution of adverse events during dynamic measurement of road marking retroreflection. // International Journal for Traffic and Transport Engineering, 9 (2019), 2; 145–153 doi:10.7708/ijtte.2019.9(2).01 (recenziran, članak, znanstveni).
6. Babić, Dario; Ščukanec, Anđelko; Babić, Darko; Fiolić, Mario. Model for predicting road markings service life. // Baltic journal of road and bridge engineering, 14 (2019), 3; 341–359 doi:10.7250/bjrbe.2019-14.447 (međunarodna recenzija, članak, znanstveni).
7. Topolšek, Darja; Babić, Dario; Fiolić, Mario. The Effect of Road Safety Education on the Relationship Between Driver's Errors, Violations and Accidents: Slovenian Case Study. // European transport research review, 11 (2019), 18; 1–8 doi:10.1186/s12544-019-0351-y (međunarodna recenzija, članak, znanstveni).
8. Babić, Darko; Modrić, Maja; Babić, Dario; Fiolić, Mario. Evaluating the influence of road markings' retroreflectivity on road safety in low visibility conditions. // Proceedings of the International Scientific Conference "Science and Traffic Development" (ZIRP 2019), Zagreb: Faculty of Transport and Traffic Sciences, University of Zagreb, 2019, str. 23–30 (poster, međunarodna recenzija, cjeloviti rad (*in extenso*), znanstveni).
9. Bubalo, Tomislav; Jakara, Martina; Fiolić, Mario. Multicriteria Analysis of the Public City Transport Network for the Possible Introduction of Electric Busses. // Proceedings of the

- 27th Symposium on Electronics in Transport "Internet of Things in Intelligent Transport Systems and Services" (ISEP 2019) / Rijavec, Robert; Godec, Andrej; Pavel, Meše; Kos, Serdo; Anžek, Mario (ur.). Ljubljana: Electrotechnical Association of Slovenia, ITS Slovenia, 2019, 05, 6 (predavanje, međunarodna recenzija, cjeloviti rad (*in extenso*), znanstveni).
10. Babić, Dario; Ščukanec, Anđelko; Babić, Darko; Fiolić, Mario. Novi pristupi istraživanju utjecaja prometne signalizacije na sigurnost prometa. // Ceste i mostovi: glasilo Hrvatskog društva za ceste, 1 (2019), 111–117 (članak, stručni).
 11. Babić, Darko; Fiolić, Mario; Babić, Dario. Control Measurements of Road Markings Retroreflection as a Quality Increasing Tool. // The Proceedings of the Fourth International Conference on Traffic and Transport Engineering Beograd: City Net Scientific Research Center Ltd. Belgrade, 2018, str. 810–816 (predavanje, međunarodna recenzija, cjeloviti rad (*in extenso*), znanstveni).
 12. Fiolić, Mario; Babić, Dario; Babić, Darko; Ščukanec, Anđelko. Determining the "Peak Point" of Road Markings Retroreflection. // Proceedings of the International Scientific Conference "Science and Traffic Development" (ZIRP 2018) Zagreb: Fakultet prometnih znanosti, 2018, str. 93-99 (predavanje, međunarodna recenzija, cjeloviti rad (*in extenso*), znanstveni).
 13. Ščukanec, Anđelko; Patrlj, Milan; Fiolić, Mario; Babić, Dario. Predicting Traffic Signs Functional Service Life Using Survival Analysis Method. // Proceedings of the 5th International Conference on Road and Rail Infrastructure / Lakušić, Stjepan (ur.). Zagreb: Faculty of Civil Engineering, University of Zagreb, 2018, str. 957–963 doi:10.5592/CO/CETRA.2018.672 (poster, međunarodna recenzija, cjeloviti rad (*in extenso*), ostalo).
 14. Babić, Darko; Fiolić, Mario; Babić, Dario; Ščukanec, Anđelko. Testing the Quality of Traffic Signs and Road Markings: Republic of Croatia Case Study. // Transport Research Arena 2018 Beč, Austrija, 2018. (poster, međunarodna recenzija, neobjavljeni rad, znanstveni).
 15. (Vilnius Gediminas Technical University) Babić, Dario; Fiolić, Mario; Žilioniene, Daiva. Evaluation of static and dynamic method for measuring retroreflection of road markings. // Građevinar, 69 (2017), 10; 907–914 doi:10.14256/JCE.2010.2017 (recenziran, prethodno priopćenje, znanstveni).
 16. Fiolić, Mario; Habuzin, Igor; Dijanić, Helena; Sokol, Hrvoje. The Influence of Drying of the Road Marking Materials on Traffic During the Application of Markings. // New

- Solutions and Innovations in Logistics and Transportation, Opatija, Hrvatska: Faculty of Transport and Traffic Sciences University of Zagreb, 2017, str. 101–109. (<https://www.bib.irb.hr/926100>) (predavanje, međunarodna recenzija, cjeloviti rad (*in extenso*), znanstveni).
17. Babić, Dario; Ščukanec, Anđelko; Fiolić, Mario. Predicting state of traffic signs using logistic regression. // International Journal for Traffic and Transport Engineering (IJTTE), 6 (2016), 3; 280–288 doi:10.7708/ijtte.2016.6(3).04 (recenziran, članak, znanstveni).
 18. Banović, Branimir; Fiolić, Mario; Babić, Darko. Value Assessment of Traffic Signs Retroreflection in Their Life Cycle. // ZIRP 2016: Perspectives on Croatian 3PL Industry in Acquiring International Cargo Flows Zagreb Zagreb, 2016, str. 1–9. (<https://www.bib.irb.hr/831488>) (ostalo, međunarodna recenzija, cjeloviti rad (*in extenso*), znanstveni).
 19. Babić, Darko; Fiolić, Mario; Prusa, Petr. Impact of Heavy Vehicle Visibility on Traffic Safety. // Proceedings of the International Scientific Conference - ZIRP 2014, Development Possibilities of Croatian Transport System - Anniversary of EU Membership, Zagreb: Fakultet prometnih znanosti, 2014, str. 125–133. (<https://www.bib.irb.hr/694389>) (predavanje, međunarodna recenzija, cjeloviti rad (*in extenso*), znanstveni).
 20. Babić, Darko; Fiolić, Mario; Prusa, Petr Mobile. Laser Scanning Method for Road Markings Data Collection. // Proceedings of the International Scientific Conference - ZIRP 2014, Development Possibilities of Croatian Transport System - Anniversary of EU Membership Zagreb: Fakultet prometnih znanosti, 2014, str. 135–143. (<https://www.bib.irb.hr/694391>) (predavanje, međunarodna recenzija, cjeloviti rad (*in extenso*), znanstveni).
 21. Babić, Darko; Fiolić, Mario; Prusa, Petr. The Role of Traffic Signalization on Reduction of Accidents on the Croatian Roads. // Proceedings of the International Scientific-Technical Conference Trans&MOTAUTO'14 Varna, Bulgaria: Scientific-Technical Union of Mechanical Engineering, 2014, str. 52–56. (<https://www.bib.irb.hr/714479>) (predavanje, međunarodna recenzija, cjeloviti rad (*in extenso*), znanstveni).
 22. Babić, Dario; Ščukanec, Anđelko; Fiolić, Mario. Traffic Sign Analysis as a Function of Traffic Safety on Croatian State Road D3. // Proceedings of the Second International Conference on Traffic and Transport Engineering / Assist. Prof. Dr Olja Čokorilo (ur.). Beograd: City Net Scientific Research Center Ltd. Belgrade, 2014, str. 275-283. (<https://www.bib.irb.hr/736840>) (predavanje, međunarodna recenzija, cjeloviti rad (*in extenso*), znanstveni).

23. Babić, Darko; Fiolić, Mario; Prusa, Petr. Evaluation of Road Markings Retroreflection Measuring Methods. // International Scientific Forum, ISF 2013 Tirana, Albania: European Scientific Institute, 2013, str. 104-114. (<https://www.bib.irb.hr/690287>) (predavanje, međunarodna recenzija, cjeloviti rad (*in extenso*), znanstveni).
24. Fiolić, Mario; Ščukanec, Marko; Sokol, Hrvoje. Future modern concepts for road markings. // Međunarodno znanstveno-stručno savjetovanje Planiranje i razvoj ekološki održivog prometnog sustava (ZIRP 2013): zbornik radova = International Scientific Conference Planning and development of sustainable transport system / Stanislav, Pavlin ; Šafran, Mario (ur.). Zagreb: Fakultet prometnih znanosti, 2013, str. 138–144. (<https://www.bib.irb.hr/634753>) (ostalo, međunarodna recenzija, cjeloviti rad (*in extenso*), znanstveni).
25. Babić, Dario; Ščukanec, Marko; Fiolić, Mario. Analysis of Road Markings Retroreflection on Croatian State Roads. // Međunarodno znanstveno-stručno savjetovanje "Planiranje i razvoj ekološki održivog prometnog sustava": zbornik radova = International Scientific Conference "Planning and Development of Sustainable Transport System", proceedings / Pavlin, Stanislav; Šafran, Mario (ur.). Zagreb: Fakultet prometnih znanosti, 2013, str. 25–30. (<https://www.bib.irb.hr/626874>) (ostalo, međunarodna recenzija, cjeloviti rad (*in extenso*), znanstveni).
26. Fiolić, Mario; Babić, Dario; Ščukanec, Marko. Analysis of the methods for testing the quality of road markings. // International conference on traffic and transport engineering (ICTTE 2012): proceedings / Čokorilo, Olja (ur.). Beograd: Scientific Research Center (et al.), 2012, str. 539–544. (<https://www.bib.irb.hr/610812>) (predavanje, međunarodna recenzija, cjeloviti rad (*in extenso*), znanstveni).
27. Rožić, Tomislav; Fiolić, Mario; Bačura, Matko. The logistics concept of optimized retro-reflection dynamic test of road marks on the roads in the Republic of Croatia. // Scientific journal on transport and logistics, 3 (2012), 2; 128–135. (<https://www.bib.irb.hr/607494>) (podatak o recenziji nije dostupan, članak, znanstveni).