

Eksploatacijske značajke trase autoceste A2 Zagreb-Macelj

Radoš, Dominik

Undergraduate thesis / Završni rad

2020

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:119:444291>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-20**



Repository / Repozitorij:

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



**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI**

Dominik Radoš

**EKSPLOATACIJSKE ZNAČAJKE TRASE
AUTOCESTE A2 ZAGREB-MACELJ**

ZAVRŠNI RAD

Zagreb, 2020.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI
ODBOR ZA ZAVRŠNI RAD

Zagreb, 26. ožujka 2020.

Zavod: **Zavod za cestovni promet**
Predmet: **Cestovne prometnice I**

ZAVRŠNI ZADATAK br. 5721

Pristupnik: **Dominik Radoš (0135250942)**
Studij: **Promet**
Smjer: **Cestovni promet**

Zadatak: **Eksploatacijske značajke trase autoceste A2 Zagreb-Macelj**

Opis zadatka:

U završnom radu treba navesti osnovne značajke autoceste A2 uključujući prometno opterećenje i stanje sigurnosti prometa. Potrebno je analizirati postojeće stanje i eksploatacijske značajke autoceste. U konačnici se očekuju prijedlozi poboljšanja na uočenim kritičnim dijelovima autoceste.

Mentor:

Predsjednik povjerenstva za
završni ispit:

izv. prof. dr. sc. Dubravka Hozjan

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI

Dominik Radoš

EKSPLOATACIJSKE ZNAČAJKE TRASE
AUTOCESTE A2 ZAGREB-MACELJ

EXPLOITATION CHARACTERISTICS OF A2
ZAGREB-MACELJ MOTORWAY

Mentor: izv. prof. dr. sc. Dubravka Hozjan

Student: Dominik Radoš

JMBAG: 0135250942

Zagreb, 2020.

EKSPLOATACIJSKE ZNAČAJKE TRASE AUTOCESTE A2 ZAGREB-MACELJ

SAŽETAK

Autocesta A2, kao dio mreže autocesta u Republici Hrvatskoj, predstavlja vrlo važan čimbenik u povezivanju s europskom prometnom mrežom koji omogućava gospodarski razvoj države. U radu su navedene opće značajke autoceste, povijesni razvoj i način njenog financiranja. Temeljem prikupljenih podataka o brojenju i strukturi prometa određene su uporabne/eksploatacijske značajke autoceste. Posebna pozornost posvećena je sigurnosti prometa na autocesti. Kako bi se povećala sigurnost i kako bi se dobio uvid u kritične dionice, potrebno je provoditi stalnu analizu prometnih nesreća. Na kraju rada donesen je zaključak na temelju provedenog istraživanja.

KLJUČNE RIJEČI: autocesta, eksploatacijske značajke, prometna nesreća, sigurnost, kritične dionice

SUMMARY

The A2 motorway, as part of the motorway network of the Republic Croatia, represents a very important factor in connecting with the European motorway network that enables the economic development of the country. General characteristics of the motorway, historical development and the way of financing are being presented in this paper. Based on the data collection of traffic count and structure, the exploitation characteristics of the motorway had been determined. Special attention is dedicated to the safety of traffic on the motorway. In order to increase the safety of the motorway and to gain insight into critical segments of the motorway, it is necessary to constantly analyse traffic accidents. At the end of this paper, a conclusion will be drawn from the conducted research.

KEYWORDS: motorway, exploitation characteristics, traffic accident, safety, critical segments of motorway

SADRŽAJ

| | |
|--|----|
| 1. UVOD | 1 |
| 2. OSNOVNE ZNAČAJKE AUTOCESTE A2..... | 3 |
| 2.1. Osnovni podaci o autocesti A2..... | 3 |
| 2.2. Razvoj autoceste A2 kroz povijest..... | 6 |
| 2.3. Koncesijsko društvo i financiranje gradnje autoceste A2..... | 7 |
| 2.4. Elementi poprečnog presjeka autoceste A2 | 8 |
| 3. STATISTIČKI PODACI O PROMETU I SIGURNOSTI PROMETA NA AUTOCESTI A2..... | 11 |
| 3.1. Prometne nesreće na autocesti A2 u razdoblju od 2014. do 2018. godine | 11 |
| 3.2. Nastradali sudionici prema težini ozljede na autocesti A2 za razdoblje od 2014. do 2018. godine..... | 13 |
| 3.3. Usporedba sigurnosti autoceste A2 s ostalim autocestama | 15 |
| 4. ANALIZA POSTOJEĆEG STANJA I EKPLOATACIJSKIH ZNAČAJKI AUTOCESTE A2 | 19 |
| 4.1. Analiza profila autoceste A2 na svim dionicama | 19 |
| 4.2. Analiza radova izvanrednog održavanja na autocesti A2..... | 20 |
| 4.3. Sigurnost prometa na autocesti A2 sukladno Pravilniku o prometnim znakovima, signalizaciji i opremi | 21 |
| 4.4. Eksploatacijske značajke autoceste A2..... | 22 |
| 4.4.1. Prometno opterećenje ceste | 23 |
| 4.4.2. Gustoća prometa..... | 28 |
| 4.4.3. Bruto tonski ekvivalent zastora kolnika | 30 |
| 4.4.4. Računska brzina | 31 |
| 4.4.5. Propusna moć ceste i razina usluge autoceste A2 | 31 |
| 4.4.6. Prijevozna sposobnost vozila..... | 36 |
| 5. KRITIČNE DIONICE S PRIJEDLOZIMA POBOLJŠANJA | 37 |
| 5.1. Analiza dionica autoceste A2 prema prikupljenim podacima..... | 38 |
| 5.2. Prikaz kritičnih dionica i prijedlog poboljšanja za dionicu A | 39 |
| 5.3. Prikaz kritičnih dionica i prijedlog poboljšanja za dionicu B | 41 |
| 5.4. Prikaz kritičnih dionica i prijedlog poboljšanja za dionicu C..... | 44 |
| 6. ZAKLJUČAK..... | 47 |
| LITERATURA | 49 |
| POPIS SLIKA | 51 |

| | |
|---|----|
| POPIS TABLICA..... | 52 |
| POPIS GRAFIKONA | 53 |
| PRILOZI..... | 54 |
| | |
| Prilog 1. Korekcijski faktor PGDP-a..... | 54 |
| Prilog 2. Smanjenje osnovne brzine prometnog toka zbog utjecaja prometnog traka | 54 |
| Prilog 3. Smanjenje osnovne brzine prometnog toka zbog utjecaja bočne zapreke. | 54 |
| Prilog 4. Korekcijski faktor konfiguracije terena. | 55 |
| Prilog 5. Određivanje ekvivalenata teških i rekreacijskih vozila. | 55 |
| Prilog 6. Prikaz postotka broja prometnih nesreća s materijalnom štetom, ozlijeđenim i poginulim osobama po stacionažama u razdoblju od 2016. do 2018 | 55 |

1. UVOD

U današnjem cestovnom prometu autocesta predstavlja najvišu klasu javnih cesta koja omogućuje veću sigurnost od ostalih vrsta cesta te protok velikog broja vozila velikim brzinama. Autoceste doživljavaju procvat u 20. stoljeću nakon što je automobil kao prijevozno sredstvo stekao popularnost pri čemu se počinju graditi kolnici od asfalta i betona.

U Republici Hrvatskoj prva autocesta izgrađena je 1971. na dionici Zagreb – Karlovac, a do kraja 2018. godine izgrađeno je približno 1.306 km.

Ovaj rad bavi se istraživanjem autoceste A2 koja je iznimno važna za Republiku Hrvatsku jer se nalazi na smjeru najvažnijih prometnih tokova koji iz sjeverozapadne i srednje Europe vode prema jugoistoku Europe i obali Jadranskog mora.

Cilj završnog rada je prikazati osnovne elemente autoceste i postojeće stanje, provesti izračun uporabnih/eksploatacijskih značajki autoceste koji potvrđuje sposobnost trase da primi određenu vrstu prometa u zadanim uvjetima, analizirati statističke podatke o sigurnosti prometa te na temelju tih podataka predložiti rješenja i mjere za poboljšanje.

Završni rad sadrži 6 poglavlja:

1. Uvod
2. Osnovne značajke autoceste A2
3. Statistički podaci o prometu i sigurnosti prometa na autocesti A2
4. Analiza postojećeg stanja i eksploatacijskih značajki autoceste A2
5. Kritične dionice s prijedlozima poboljšanja
6. Zaključak

U drugom poglavlju izložena je povijest izgradnje dionica, najvažniji opći podaci o autocesti s glavnim ciljevima i aktivnostima te elementima poprečnog presjeka.

U trećem poglavlju istraživanje se bavi statističkim podacima o broju prometnih nesreća i nastradalim sudionicima kroz prethodne godine te je napravljena usporedba s ostalim autocestama u Republici Hrvatskoj.

U četvrtom poglavlju analizira se postojeće stanje te eksploatacijske značajke autoceste koje omogućavaju odvijanje suvremenog prometa.

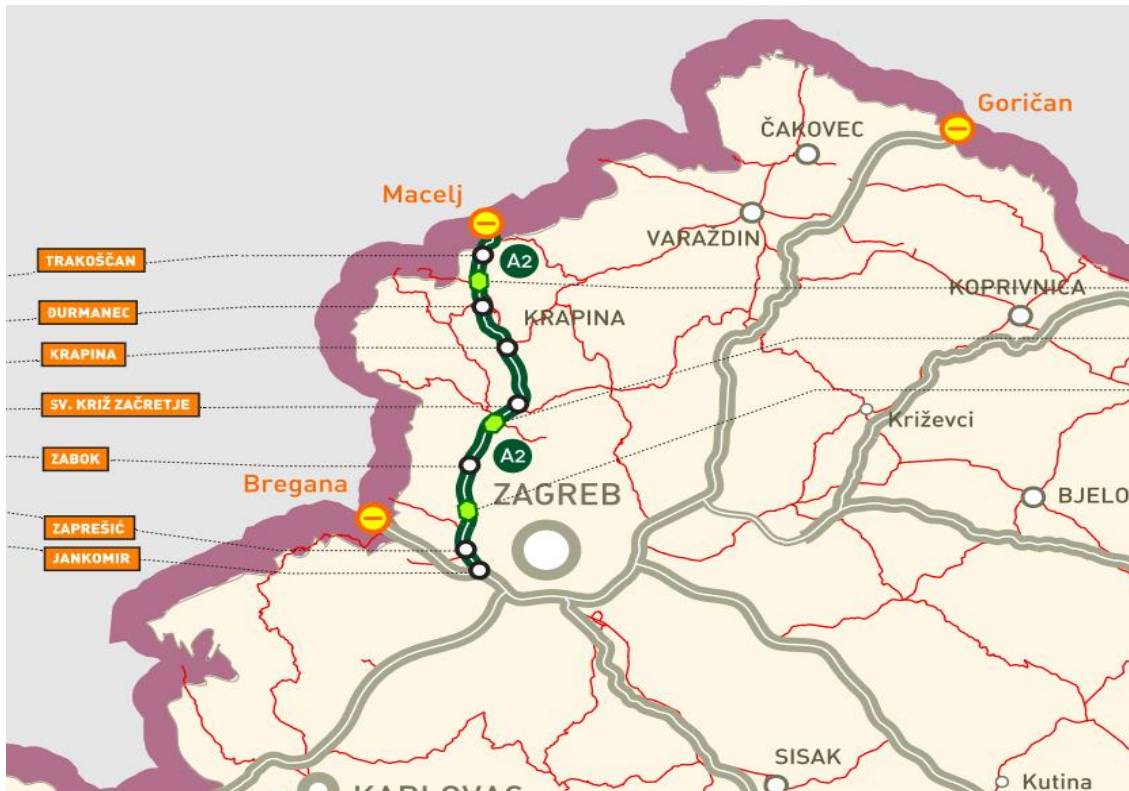
Peto poglavlje obuhvaća klasifikaciju kritičnih dionica prema prikupljenim podacima o sigurnosti prometa u razdoblju od 2016. do 2018. godine te daje prijedloge poboljšanja kojima se može utjecati na sigurnije odvijanje cestovnog prometa.

2. OSNOVNE ZNAČAJKE AUTOCESTE A2

2.1. Osnovni podaci o autocesti A2

Autocesta je javna cesta visokog učinka za isključivo motorni promet, bez raskrižja u jednoj razini te s odvojenim kolnicima za jednosmjerni promet. Autoceste imaju funkciju povezivanja Republike Hrvatske u europski prometni sustav, ostvarivanje kontinuiteta E-cesta, prometnog povezivanja regija Republike Hrvatske te omogućavanje tranzitnog prometa, a koje su razvrstane u kategoriju autocesta sukladno Zakonu o cestama [1].

Autocesta Zagreb – Macelj dio je auto-cestovne mreže autocesta Republike Hrvatske i nalazi se u Europskom prometnom koridoru X_a, dio je Pyhrnske autoceste (Nürnberg - Graz - Maribor - Zagreb), koja povezuje mrežu hrvatskih autocesta s europskom auto-cestovnom mrežom autocesta čije se pružanje može vidjeti na slici 1. Unutar mreže europskih cesta autocesta Zagreb – Macelj nosi oznaku E 59, a u mreži hrvatskih autocesta oznaku A2 [2].



Slika 1. Položaj autoceste A2 na teritoriju Republike Hrvatske, [2]

Autocesta A2 sastoji se od tri dionice čija je ukupna dužina 59,2 km, počinje u raskrižja izvan razine Jankomir, a završava u Macelju na međunarodnom graničnom prijelazu prema Sloveniji:

- dionica A koja obuhvaća dionicu Zaprešić – Jankomir duljine 7,4 km;
- dionica B duljine 33,235 km koja se sastoji od dionica B1 Zaprešić – Zabok i B2 Zabok – Krapina;
- dionica C duljine 18,614 km koja se sastoji od dionica C1 Krapina, C2 Krapina – Đurmanec i C3 Đurmanec – Macelj.

Primarni cilj autoceste A2 je unapređivanje sigurnosti prometa, propusne moći, zaštite okoliša i energetske učinkovitosti kako bi privukla što više korisnika u pogledu isplativosti njenog građenja.

Glavne aktivnosti društva „Autocesta Zagreb – Macelj d.o.o.“ koje upravlja dionicama autoceste usmjerene su na:

- redovno održavanje autoceste i svih postojećih sustava i pripadajuće opreme;
- izvanredno održavanje (sanacija objekata visokogradnje, kolničke konstrukcije, i objekata: mostovi, vijadukti, nadvožnjaci, podvožnjaci, obnova sustava naplate);
- mjere za smanjenje broja prometnih nesreća (rekonstrukcija zaštitne žičane i odbojne ograde);
- uštedu energije (pripremljena projektna dokumentacija za rekonstrukciju sustava rasvjete autoceste);
- zaštitu okoliša.

Dugoročni cilj društva „Autocesta Zagreb – Macelj d.o.o.“ koje upravlja dionicama autoceste je:

- izgradnja punog profila autoceste u duljini 3,7 km od Krapine do Đurmanca;
- uvođenje plaćanja cestarine putem ENC uređaja.

S obzirom na reljef, te za izgradnju uglavnom nepovoljne vrste tla, uz dosta visoku naseljenost i izgrađenost područja kao i visoke prometne zahtjeve autocesta

A2 (posebno dionice Jankomir – Zaprešić i Krapina – Macelj) obiluje mostovima, vijaduktima, nadvožnjacima, podvožnjacima i nužnim prolazima, jednako kao i tunelima i potpornim zidovima. Zbog zauzetosti prostora brojna su i izmještanja postojećih cesta. Na autocesti nalazi se ukupno 6 pratećih uslužnih objekata, koji su navedeni u tablici 1.

Tablica 1. Prikaz pratećih uslužnih objekata na autocesti A2, [2]

| PUO (Prateći uslužni objekt) | Koordinate ulaza na PUO | | Broj parkiranih mjesta gospodarska vozila (kamione, autobusevi) | Broj parkiranih mjesta za opasne terete | Benzinska postaja | Oprema PUO-a |
|------------------------------|-------------------------|----------------|---|---|-------------------|-------------------------------|
| | | | | | | |
| Jakovlje zapad | 45°55'46,64" N | 15°49'41,81" E | 6 | - | da | wc, kafić, trgovina |
| Jakovlje istok | 45°55'33,02" N | 15°55'11,37" E | 13 | - | da | wc, kafić, trgovina |
| Začretje zapad | 46°4'6,53" N | 15°55'8,95" E | 29 | - | da | wc, restoran, kafić, trgovina |
| Začretje istok | 46°3'57,70" N | 15°55'11,37" E | 22 | 3 | da | wc, restoran, kafić, trgovina |
| Lepa Bukva zapad | 46°14'29,97" N | 15°50'46,93" E | 3 | 2 | da | pokretne sanitarne Eko wc |
| Lepa Bukva istok | 46°14'17,29" N | 15°50'49,92" E | 9 | - | ne | kabine wc, bistro, trgovina |

Ukupna duljina objekata u trupu autoceste na dionici Jankomir – Zaprešić iznosi približno 1.526 m što predstavlja 20,6% duljine dionice. Najveći objekt je most Sava ukupne duljine 1.072 m.

Dionica autoceste Zaprešić – Veliki Ves (dionice B1 i B2) nema značajnijih objekata u trupu autoceste te je njihov udio samo 0,6% duljine dionice.

Na dionici autoceste Veliki Ves – Macelj (dionice C1, C2 i C3) projektirana su 2 mosta, 9 vijadukata, 3 nadvožnjaka i 2 podvožnjaka od kojih je najveći vijadukt Krapinčica ukupne duljine 529 m. Ukupna duljina objekata u trupu autoceste na ovim dionicama je 2.319 m što iznosi 12,46% duljine dionice. Iz tog razloga na dionici C je cijena cestarina gotovo dvostruko veća u odnosu na druge dionice. Uz 3 nadvožnjaka na ovoj dionici autoceste izgrađeno je 6 tunela od kojih je najdulji tunel Sveta Tri Kralja srednje duljine približno 1.733 m. Na dionici između tunela Brezovica i Sveta Tri Kralja autocesta je projektirana u nepotpunom profilu, kao poluautocesta, duljine 3.750 m.

Zajednički gledano objekti u trupu autoceste i tuneli protežu se na 31,91% duljine dionice između Krapine i Maclja. Sukladno zahtjevima suvremenog prometa autocesta je opremljena rasvjetom u čvorištima, tunelima i pratećim uslužnim objektima, vertikalnom signalizacijom povezanom s meteorološkim stanicama, telekomunikacijskim sustavom, prometnim i informacijskim sustavom i video-nadzorom prometa te odgovarajućom opremom u tunelima.

Istovremeno je izgrađen i dio magistralnog vodovoda uz dionicu autoceste između Krapine i Maclja te trafo-stanica Bobovje i odgovarajući dio visokonaponske prijenosne mreže na području Krapinsko-zagorske županije [2].

2.2. Razvoj autoceste A2 kroz povijest

Izniman razvoj autocesta u Republici Hrvatskoj započinje u 21. stoljeću. Mreža autocesta s naplatom iznosi ukupno 1.306,53 km, a njima upravljaju i gospodare četiri koncesionara (slika 2) [3]:

- Hrvatske autoceste d.o.o.;
- Autocesta Rijeka – Zagreb d.d.;
- Bina-Istra d.d.;
- Autocesta Zagreb – Macelj.

| Društvo | Autoceste | Km u prometu |
|--|--|--------------|
|  HRVATSKE AUTOCESTE d.o.o. |  | 918,50 |
|  AUTOCESTA RIJEKA-ZAGREB d.d. |  | 187,03 |
|  BINA-ISTRA d.d. |  | 141,00 |
|  AUTOCESTA ZAGREB-MACELJ d.o.o. |  | 60,00 |

Slika 2. Prikaz društva i mreže autocesta Republike Hrvatske, [3]

Kronološki slijed izgradnje dionica autoceste A2 započinje:

- 1990. kada je izgrađen istočni kolnik autoceste na dionici A (Jankomir – Zaprešić (7,4 km));
- 1991. izgrađena je autocesta na dionici B1 (Zaprešić – Zabok (17 km));
- 1996. izgrađena je autocesta na dionici B2 (Zabok – Krapina (16,2 km));
- 1997. zajednička izjava Vlade Republike Hrvatske i Slobodne države Bavorske o suradnji na području prometne infrastrukture;
- Sporazum Vlade Republike Hrvatske i društva „Walter Bau“ o izgradnji autoceste i mosta preko Rijeke Dubrovačke;

- 2003. Vlada Republike Hrvatske osnovala je trgovačko društvo s ograničenom odgovornošću „Autocesta Zagreb – Macelj“ i daje mu koncesiju za građenje, gospodarsko korištenje i održavanje autoceste;
- Vlada Republike Hrvatske potpisuje s društvom „Walter Bau“ ugovor o zajedničkom ulaganju i ugovor o koncesiji;
- 2004. Vlada Republike Hrvatske potpisuje s društvom „Strabag“ dopune ugovora o zajedničkom ulaganju i ugovor o koncesiji kojim „Strabag“ ulazi u društvo „Autocesta Zagreb - Macelj“.
- izgradnja nedovršenog kolnika u srpnju 2004. godine na dionici Jankomir – Zaprešić (6,4 km), dionici Velika Ves – Krapina (1,4 km), dionici Krapina – Macelj (18,6 km) te modernizacija prije izgrađenih dionica autoceste;
- 2007. godine dovršena je izgradnja preostalih nedovršenih dionica autoceste u ugovorenom roku od 33 mjeseca.

2.3. Koncesijsko društvo i financiranje gradnje autoceste A2

Koncesijsko društvo „Autocesta Zagreb - Macelj“ d.o.o. uspostavljeno je 2003. godine odlukom Vlade Republike Hrvatske i obvezom financiranja, građenja, upravljanja i održavanja autoceste do 2032. godine [2].

Republika Hrvatska ima 49% udjela, a „Strabag“ 51%, tako da društvo predstavlja oblik javno – privatnog udruživanja.

Ukupan iznos financijskih sredstava je oko 372 milijuna eura uključujući čitav projekt, od toga oko 290 milijuna eura za građenje od čega se sastoji:

- ECA (*Export Credit Agency*) kredit - 100 milijuna eura;
- GKA (*Grundkreditanstalten*) kredit - 100 milijuna eura;
- Komercijalni kredit - 100 milijuna eura;
- Kredit za obrtni kapital - 12 milijuna eura;
- Dionički kapital - 32 milijuna eura (Republika Hrvatska 49% i „Strabag“ 51%);
- Preferencijalni dionički kapital - 28 milijuna eura.

Negativna strana gradnje autoceste je što je postala autocesta s najskupljom dionicom po dužini kilometra koja se ikad gradila u Hrvatskoj. Razlog je konfiguracija terena koja zahtjeva velik broj tunela, vijadukata, zaštitu pokosa, oblaganje strmina i drugo.

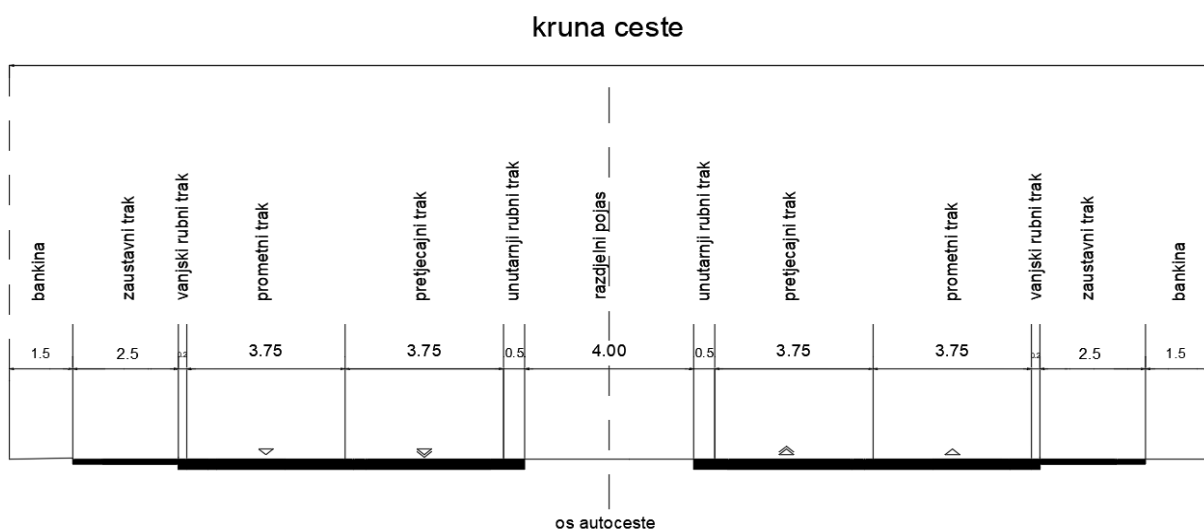
2.4. Elementi poprečnog presjeka autoceste A2

Poprečni presjek ceste predstavlja polaznu projekciju ceste u prometno-tehničkom, uporabnom i troškovnom pogledu, a u načelu, sadrži dvije kategorije elemenata [4]:

- uporabno-prometnu u ravnini kolnika,
- nosivo-konstruktivnu koja nema izravnu prometnu svrhu.

Normalni poprečni presjek autoceste A2 sadrži elemente (slika 3):

- dvije bankine
- dva vanjska rubna traka
- dva vanjska zaustavna traka
- dva kolnika (svaki za jedan smjer vožnje)
- dva unutarnja rubna traka
- srednji (zeleni) pojas



Slika 3. Prikaz elemenata u kruni poprečnog presjeka autoceste A2, [5]

Kolnik je dio cestovne površine namijenjen u prvom redu za promet vozila, s jednim ili više prometnih trakova. Broj prometnih trakova određuje se prema značenju ceste, gustoći prometa i zahtijevanoj propusnoj moći ceste. Najčešće se izvode kolnici s dvama trakovima, a s obzirom na sigurnost prometa pogodniji su kolnici s četiri traka, s odvojenim smjerovima.

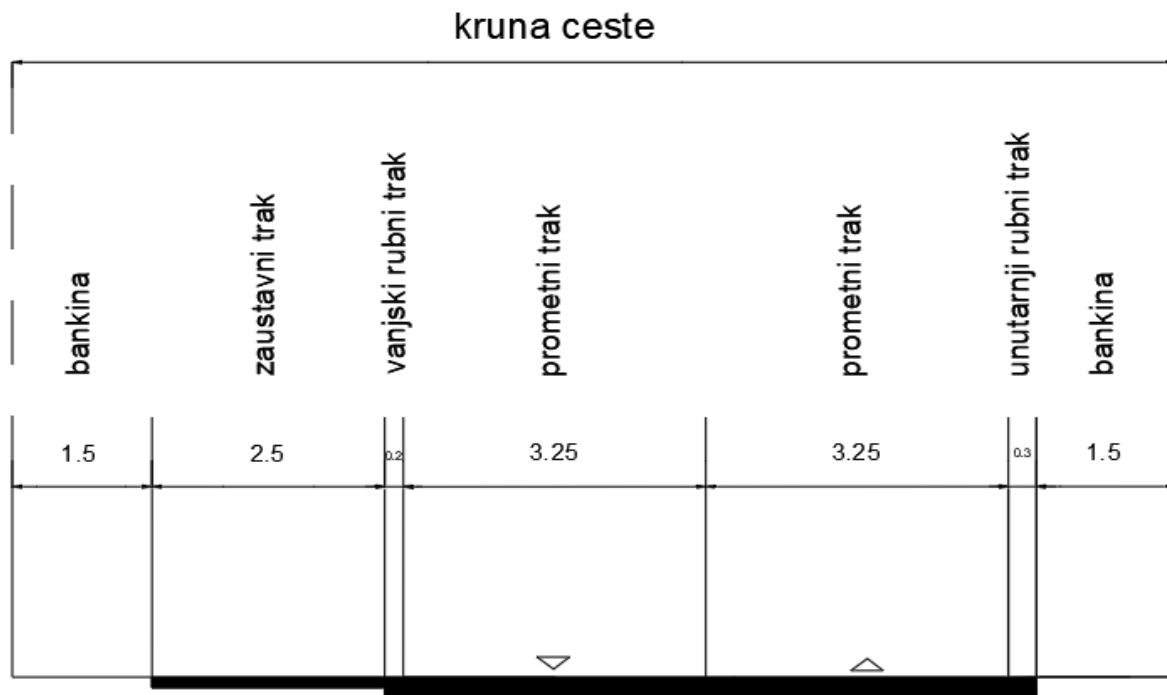
Na autocesti A2 po svakom prometnom smjeru nalaze se dva prometna traka osim na dijelu dionice C2 gdje je jedan prometni trak po smjeru. Širina prometnog traka iznosi 3,75 m na svim dionicama dok je širina prometnog traka na dionici C2 gdje iznosi 3,25 m [5].

Rubni trak je učvršćeni dio cestovnog presjeka između bankine kolnika i kolnika ili između kolnika i staze za bicikle, mopede ili pješake. Na autocesti A2 izvode se vanjski rubni trakovi širine 0,2 m na svim dionicama autoceste dok se unutarnji rubni trakovi širine 0,5 m izvode u nizinskom dijelu, a unutarnji rubni trakovi širine 0,3 m na dionici C2 [5].

Bankina je neutvrđeni ili utvrđeni dio ceste, izgrađena je od zemljanog materijala i zasijana travom. Bankina je sigurnosni element poprečnog presjeka i služi za smještaj prometnih znakova, smjerokaznih stupića, stacionažnih oznaka, zaštitnih ograda, odlaganju materijala za održavanje, a na cestama bez zaustavnog traka i zaustavljanju vozila u nuždi, a samo iznimno prometu pješaka. Širina bankine na autocesti A2 iznosi 1,5 m [5].

Traka za zaustavljanje izvodi se na autocestama, a prema potrebi i na cestama 1. razreda, za oba smjera vožnje radi zaustavljanja vozila zbog kvara, radi brisanja vjetrobrana ili zbog slabosti vozača. Širina traka za zaustavljanje na autocesti A2 je 2,50 m, a izvodi se neposredno uz rubni trak ili uz rubnu crtu s desne strane kolnika [5].

Razdjelni pojas izvodi se na cestama većeg značenja kako bi se razdijelio kolnik po smjerovima vožnje. Širina pojasa na autocestama u nizinskom terenu na autocesti A2 je 4,0 m, a u brdskom dijelu 3,0 m [5].



Slika 4. Prikaz elemenata u kruni poprečnog presjeka autoceste A2 na dionici C2, [5]

3. STATISTIČKI PODACI O PROMETU I SIGURNOSTI PROMETA NA AUTOCESTI A2

Kako bi se povećala sigurnost u prometu, potrebno je provesti brojne mjere u otklanjanju opasnosti, uložiti napor u poboljšanje prometne infrastrukture i poticanje prometne kulture svih vozača. Jedan od najvažnijih pokazatelja sigurnosti prometa broj je prometnih nesreća koji omogućava određivanje kritičkih dionica na cesti. Na temelju statističke analize podataka u Republici Hrvatskoj, može se zaključiti da su tri najčešća uzroka prometnih nesreća [6]:

- čovjek,
- vozilo,
- cesta.

3.1. Prometne nesreće na autocesti A2 u razdoblju od 2014. do 2018. godine

Istraživanje je provedeno u razdoblju od 2014. do 2018. godine u kojem se analiziraju statistički podaci broja prometnih nesreća koji su prikazani tablicom 2 te usporedba promatranih godina grafikonom 1 [7].

Tablica 2. Podaci o broju prometnih nesreća na autocesti A2 za razdoblje od 2014. do 2018. godine, [7]

| Prometne nesreće | 2014. | 2015. | 2016. | 2017. | 2018. |
|------------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| S poginulim | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 |
| S ozlijeđenim | 26 | 16 | 17 | 16 | 15 |
| S mat. štetom | 125 | 110 | 110 | 126 | 110 |
| Ukupno | 151 | 126 | 127 | 144 | 125 |

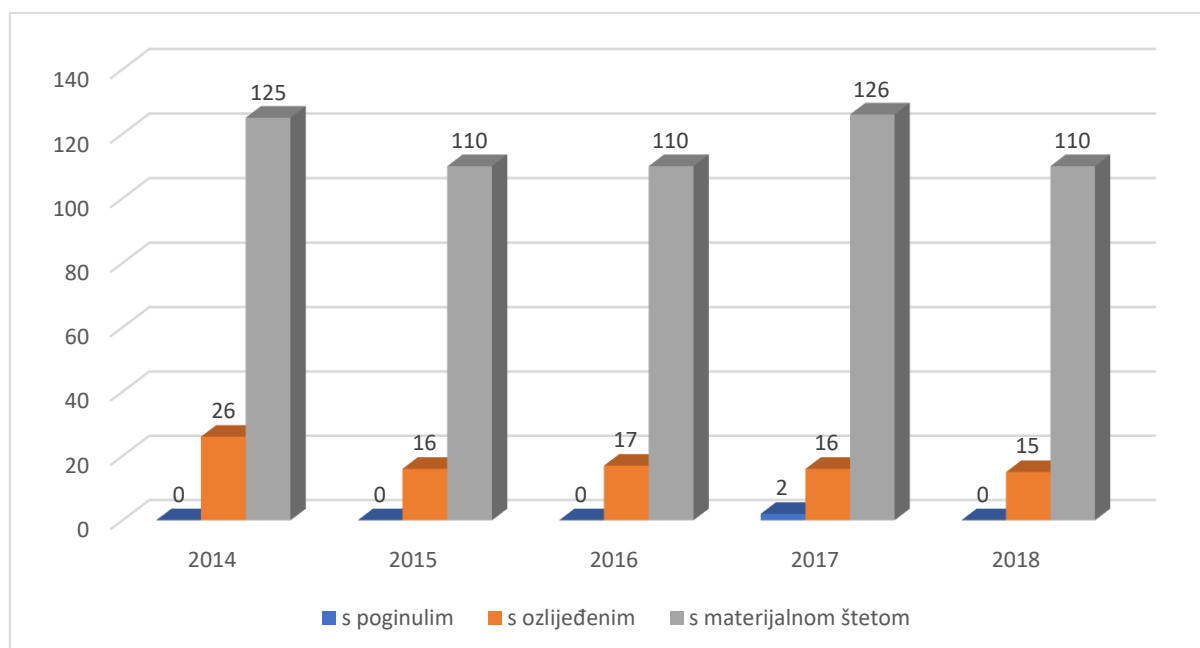
Tijekom 2014. godine na autocesti A2 dogodila se ukupno 151 prometna nesreća. Od toga nije zabilježena nijedna prometna nesreća s poginulim osobama, 26 prometnih nesreća je bilo s ozlijeđenim osobama te je zabilježeno 125 prometnih nesreća s materijalnom štetom.

Tijekom 2015. na autocesti A2 zabilježeno je ukupno 126 prometnih nesreća. Od toga nije zabilježena nijedna prometna nesreća s poginulim osobama, 16 prometnih nesreća je bilo s ozlijeđenim osobama te je zabilježeno 110 prometnih nesreća s materijalnom štetom.

Tijekom 2016. na autocesti A2 zabilježeno je ukupno 127 prometnih nesreća. Od toga nije zabilježena nijedna prometna nesreća s poginulim osobama, 17 prometnih nesreća je bilo s ozlijeđenim osobama te je zabilježeno 127 prometnih nesreća s materijalnom štetom.

Tijekom 2017. godine na autocesti A2 zabilježeno je ukupno 144 prometnih nesreća. Od toga zabilježene su 2 prometne nesreće s poginulim osobama, 16 prometnih nesreća s ozlijeđenim osobama te je zabilježeno 126 prometnih nesreća s materijalnom štetom.

Tijekom 2018. na autocesti A2 zabilježeno je ukupno 125 prometnih nesreća. Od toga nije zabilježena nijedna prometna nesreća s poginulim osobama, 15 prometnih nesreća je bilo s ozlijeđenim osobama te je zabilježeno 110 prometnih nesreća s materijalnom štetom.



Grafikon 1. Prikaz prometnih nesreća s poginulim, ozlijeđenim i materijalnom štetom za razdoblje od 2014. do 2018. godine, [7]

3.2. Nastradali sudionici prema težini ozljede na autocesti A2 za razdoblje od 2014. do 2018. godine

U ovome poglavlju analizira se sigurnost prometa na autocesti A2 prema podacima o prometnim nesrećama s nastradalim sudionicima prema težini ozljede. Podaci o broju prometnih nesreća s poginulim, teže i lakše ozlijeđenim osobama za razdoblje od 2014. do 2018. godine prikazani su u tablici 3 i grafikonu 2.

Tablica 3. Podaci o broju nastradalih sudionika prema težini ozljeda na autocesti A2 za razdoblje od 2014. do 2018. godine, [7]

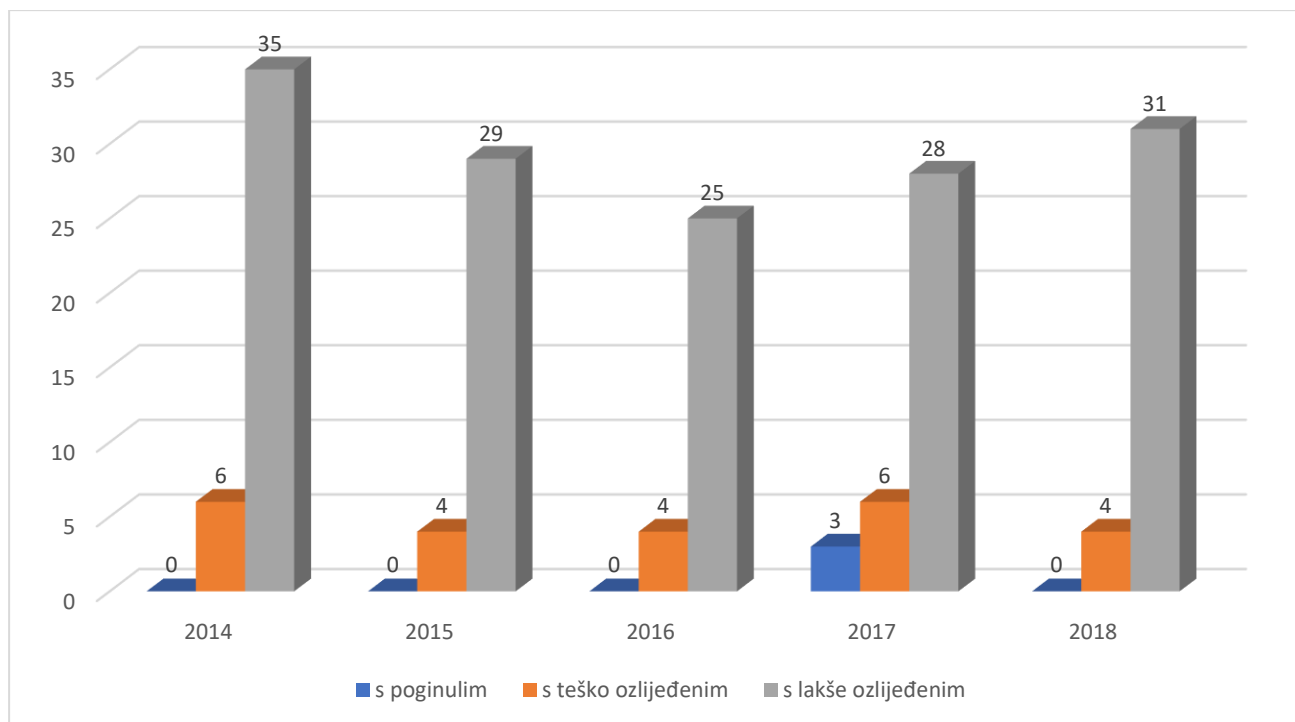
| Prometne nesreće | 2014. | 2015. | 2016. | 2017. | 2018. |
|---------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| S poginulim | 0 | 0 | 0 | 3 | 0 |
| S teško ozlijeđenim | 6 | 4 | 4 | 6 | 6 |
| S lakše ozlijeđenim | 35 | 29 | 25 | 28 | 31 |
| Ukupno | 41 | 33 | 29 | 34 | 37 |

U usporedbi podataka za 2014. i 2015. godinu, iz tablice 3 može se utvrditi da nema poginulih osoba, dok je broj teško ozlijeđenih i lakše ozlijeđenih iz 2015. godine u padu u odnosu na 2014. godinu.

U usporedbi s 2016. godinom nastavljaju se bilježiti pozitivne brojke od nijedne smrtno nastradale osobe, broj teško ozlijeđenih je također isti u odnosu na prethodne dvije godine, a broj lakše ozlijeđenih je u padu.

U 2017. godini dogodile su se prometne nesreće s 3 poginule osobe što je porast u odnosu na prethodne godine, a uz to je broj teško ozlijeđenih i lakše ozlijeđenih također u porastu.

U 2018. godini nije zabilježena nijedna poginula osoba što znači pad u odnosu na 2017. godinu. Broj teško ozlijeđenih je isti u odnosu na 2017. godinu dok je broj lakše ozlijeđenih u porastu.



Grafikon 2. Prikaz nastradalih sudionika prema težini ozljeda na autocesti A2 za razdoblje od 2014. do 2018.godine, [7]

3.3. Usporedba sigurnosti autoceste A2 s ostalim autocestama

Ukupna mreža autocesta u Hrvatskoj u 2018. godini iznosi 1.306,53 km pri čemu je najdulja dionica A1 (Zagreb - Dubrovnik) s duljinom od 480 km, dok je najkraća dionica A10 (Nova Sela - Ploče). U tablici 4 navedeni su podaci o zabilježenim prometnim nesrećama na autocesti u 2018. godini, te broju nesreća po kilometru za pojedine autoceste.

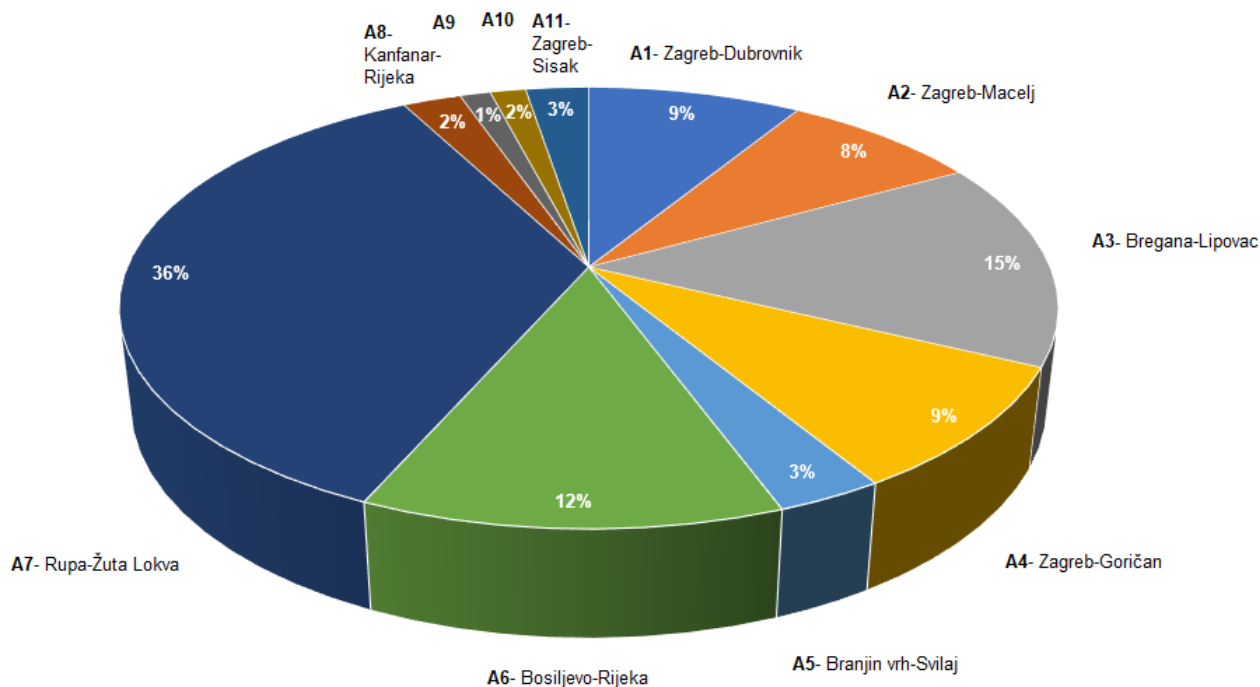
Tablica 4. Podaci o broju prometnih nesreća po kilometru dionice na svim autocestama u Republici Hrvatskoj u 2018. godini, [9]

| Autocesta | Duljina u km | Broj prometnih nesreća | Broj po km |
|-----------------------------|--------------|------------------------|------------------|
| A1 - Zagreb - Dubrovnik | 480 | 631 | 1,32 |
| A2 - Zagreb - Macelj | 60 | 74 | 1,23 |
| A3 - Bregana - Lipovac | 306 | 697 | 2,28 |
| A4 - Zagreb - Goričan | 97 | 133 | 1,37 |
| A5 - Branjin vrh - Svilaj | 59 | 28 | 0,47 |
| A6 - Bosiljevo - Rijeka | 81 | 118 | 1,84 |
| A7 - Rupa - Žuta Lokva | 28 | 150 | 5,36 |
| A8 - Kanfanar - Rijeka | 64 | 23 | 0,36 |
| A9 - Kaštel - Pula | 77 | 15 | 0,19 |
| A10 - Nova Sela - Ploče | 9 | 2 | 0,22 |
| A11 - Zagreb - Sisak | 33 | 13 | 0,39 |
| Ukupno | 1.306 | 1.884 | $\bar{x} = 1.44$ |

Tijekom 2018. godine na području Republike Hrvatske dogodilo se ukupno 1.884 prometnih nesreća te na temelju tih podataka se autoceste mogu klasificirati prema stanju sigurnosti.

Iz tablice 4 vidljivo je da autocesta A7 predstavlja jednu od najopasnijih autocesta u Republici Hrvatskoj prema broju prometnih nesreća po kilometru i to s 5,36 PN/km. Osim ove autoceste, također se autoceste A3 i A1 smatraju vrlo opasnim dionicama u kojima je zabilježeno najviše prometnih nesreća u 2018. godini.

Na autocesti A2 dogodilo se ukupno 74 prometne nesreće odnosno 1,23 prometne nesreće po kilometru dionice.



Grafikon 3. Prikaz postotka broja prometnih nesreća po kilometru dionice na svim autocestama u Republici Hrvatskoj u 2018. godini, [7]

U grafikonu 3 klasificirane su dionice od najnesigurnije do najsigurnije autoceste prema postotku broja prometnih nesreća po kilometru dionice.

Uspoređujući statističke podatke broja prometnih nesreća po kilometru, može se zaključiti da autocesta A7 ima najviše prometnih nesreća po kilometru odnosno 36% svih prometnih nesreća na mreži autocesta u Republici Hrvatskoj. Autocesta A2 zauzima sredinu tablice po broju prometnih nesreća po kilometru s 8% prometnih nesreća dok autocesta A9 zauzima posljednje mjesto što ju čini statistički najsigurnijom dionicom u 2018. godini s 1% prometnih nesreća.

Tablica 5. Podaci o broju nastradalih i poginulih osoba po kilometru dionice na svim autocestama Republike Hrvatske u 2018. godini, [7]

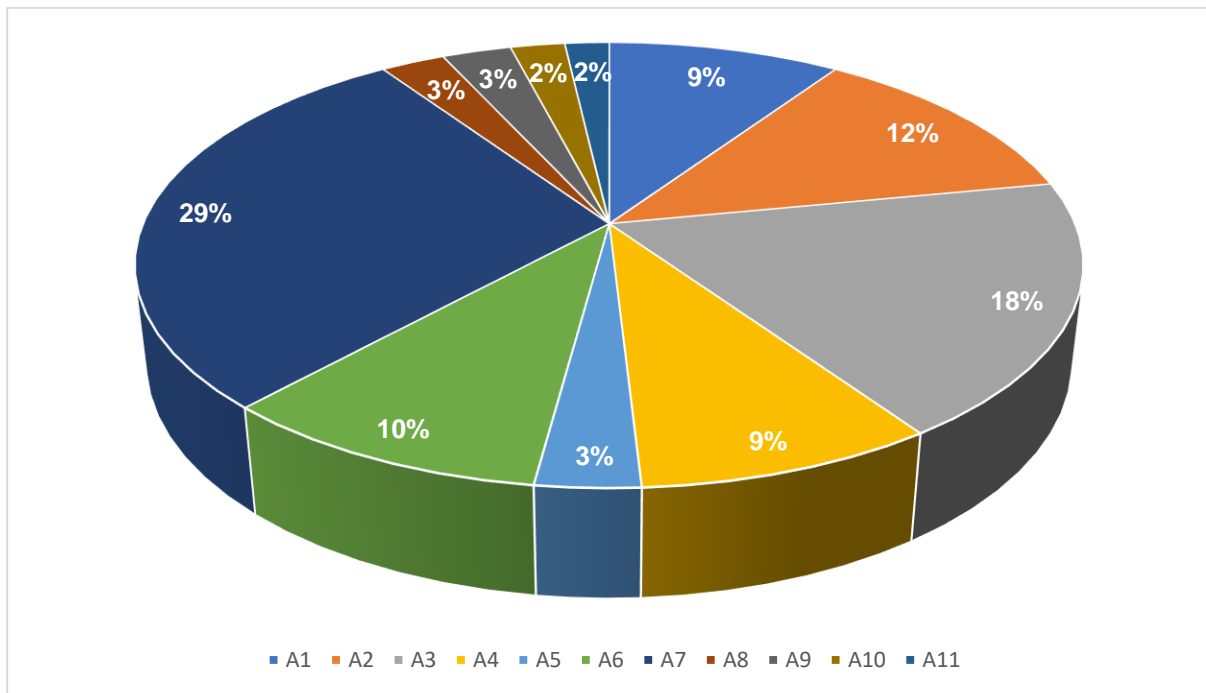
| Autocesta | Duljina u km | Broj nastradalih osoba | Broj po km | Broj poginulih |
|-----------------------------|--------------|------------------------|------------------|----------------|
| A1 - Zagreb- Dubrovnik | 480 | 227 | 0,47 | 7 |
| A2 - Zagreb - Macelj | 60 | 37 | 0,62 | 0 |
| A3 - Bregana - Lipovac | 306 | 282 | 0,92 | 17 |
| A4 - Zagreb - Goričan | 97 | 42 | 0,43 | 1 |
| A5 - Branjin vrh - Svilaj | 59 | 9 | 0,15 | 1 |
| A6 - Bosiljevo - Rijeka | 81 | 39 | 0,48 | 0 |
| A7 - Rupa - Žuta Lokva | 28 | 40 | 1,43 | 1 |
| A8 - Kanfanar - Rijeka | 64 | 8 | 0,13 | 0 |
| A9 - Kaštel - Pula | 77 | 11 | 0,14 | 1 |
| A10 - Nova sela-Ploče | 9 | 1 | 0,11 | 0 |
| A11 - Zagreb - Sisak | 33 | 3 | 0,09 | 0 |
| Ukupno | 1.306 | 699 | $\bar{x} = 0,53$ | 28 |

Tijekom 2018. godine na području Republike Hrvatske nastradalo je ukupno 699 osoba te na temelju tih podataka se autoceste također mogu klasificirati prema stanju sigurnosti ovisno o broju poginulih osoba i prema težini ozljede, kako je prikazano u tablici 5.

Iz tablice 4 i 5 vidljivo je da autocesta A3 bilježi najveći broj prometnih nesreća s 282 nastradale osobe odnosno 0,92 nastradale osobe po kilometru dionice. Vrlo je važno napomenuti da spomenuta autocesta bilježi više od polovice broja poginulih u odnosu na cjelokupnu mrežu autocesta što ju čini najopasnijom autocestom prema broju prometnih nesreća s poginulim osobama.

Prema podacima iz tablice 5 najveći broj nastradalih osoba bilježi autocesta A7 s 1,43 nastradalih po kilometru što ju čini najopasnijom dionicom autoceste prema broju nastradalih osoba po kilometru dionice.

Na autocesti A2 zabilježeno je ukupno 37 nastradalih osoba odnosno brojka od 0,62 osobe po kilometru što ju čini trećom najopasnijom dionicom u Republici Hrvatskoj po kilometru dionice i podacima navedenim u tablici 5.



Grafikon 4. Prikaz postotka broja nastradalih i poginulih osoba po kilometru dionice na svim autocestama u Republici Hrvatskoj u 2018. godini, [7]

Prema grafikonu 4, uspoređujući statističke podatke o broju nastradalih osoba po kilometru na svim autocestama u Republici Hrvatskoj, najveći postotak broja nastradalih osoba bilježi autocesta A7 s 29% što ju čini statistički najopasnijom dionicom.

Zatim ju slijedi autocesta A3 s 18% prometnih nesreća te autocesta A2, na kojoj se provodi istraživanje, s 12% prometnih nesreća s nastradalim osobama. Na posljednjem mjestu nalazi se autocesta A11 s 2% prometnih nesreća odnosno 0,09 nastradalih osoba po kilometru dionice.

4. ANALIZA POSTOJEĆEG STANJA I EKSPLOATACIJSKIH ZNAČAJKI AUTOCESTE A2

Može se reći da je postojeće stanje cijelom dužinom autoceste zadovoljavajuće. Na pojedinim dionicama vidljivi su znakovi istrošenosti tijekom godina, no redovnim i izvanrednim održavanjem, poboljšanjem kvalitete i podizanja sigurnosti određenih dionica postići će se veća sigurnost u odvijanju prometa. U ovom poglavlju detaljno će se provesti analiza postojećeg stanja uključujući analizu profila autoceste na svim dionicama, analizu radova izvanrednog održavanja, analizu sigurnosti prometa te će se izvršiti proračun uporabnih/eksploatacijskih značajki trase autoceste A2.

4.1. Analiza profila autoceste A2 na svim dionicama

Autocesta A2 projektirana je na dionici A, dionici B, dionici C1 te dionici C3 u punom profilu koja se sastoji od dva kolnika za promet u suprotnim smjerovima. U brdskom dijelu između Krapine i Đurmanca na dionici C2 izgrađen je samo jedan kolnik autoceste u duljini od 3.750 metara zbog smanjenja troškova građenja (slika 5).

Prilikom građenja autoceste na dionici C2 procjena je da se investicija neće isplatiti očekivanim odnosno nedovoljnim prometom zbog vrlo zahtjevnog dijela u kojem se nalaze dva tunela te tri vijadukta.

Prema Pravilniku o osnovnim uvjetima kojima javne ceste izvan naselja i njihovi elementi moraju udovoljavati sa stajališta sigurnosti prometa za nepotpuni profil autoceste ograničenje brzine iznosi 80 km/h, smanjena je širina prometnog traka (3,25 m) te širina unutarnjeg rubnog traka (0,3 m).

Na cijeloj dionici izvodi se dvostruka puna razdjelna linija koja označava zabranu prelaska vozila preko njih ili zabranu kretanja vozila po njima. Također, na cijeloj dionici izvodi se zaštitna odbojna ograda sa svrhom sprječavanja iskliznuća vozila s autoceste.



Slika 5. Nepotpuni profil autoceste A2 na dionici C2, [8]

4.2. Analiza radova izvanrednog održavanja na autocesti A2

Analiza postojećeg stanja i izrada programa obnove kolnika za sve dionice autoceste u ukupnoj duljini predviđena je za razdoblje od 2015. do 2032. godine. Na slici 6 vidljivo je stanje kolnika prilikom provedenog pregleda kolnika. U svrhu analize postojećeg stanja provedena su detaljna terenska i laboratorijska ispitivanja te obrada dobivenih rezultata pri čemu je izrađen program obnove pojedinih dionica. Program obnove sadržava plan homogenih dionica koje, sukladno rezultatima ispitivanja, imaju istu razinu funkcionalnih svojstava.

Program obnove za svaku dionicu određuje optimalni način obnove te period njezine obnove u svrhu održavanja unutar određenog vremenskog razdoblja. Uzimajući u obzir dobivene rezultate, predložen je program obnove koji sadrži [9]:

- rekonstrukciju punog presjeka kolnika autoceste što uključuje zamjenu CNS-a (nosivi slojevi stabilizirani cementom);
- rekonstrukciju punog presjeka kolnika autoceste što uključuje zamjenu CNS-a na prometnom traku;
- rekonstrukciju punog presjeka kolnika autoceste što uključuje ugradnju novog veznog i habajućeg sloja asfalta kao i ugradnju nosivog sloja na 40 % ukupne površine kolnika;

- rekonstrukciju punog presjeka kolnika autoceste u tunelima što uključuje ugradnju novih slojeva asfalta.



Slika 6. Pregled kolnika na autocesti A2, [9]

Vremenski raspored radova obnove za pojedine dionice:

1. kratki rok (3 – 5 godina) = dionica B1 i dionica A (smjer Zagreb),
2. srednji rok (5 – 8 godina) = dionica B2 i dionica A (smjer Macelj),
3. dugi rok (8 – 12 godina) = dionica C.

4.3. Sigurnost prometa na autocesti A2 sukladno Pravilniku o prometnim znakovima, signalizaciji i opremi

Autocestom A2 upravlja se iz modernog centra za kontrolu prometa u „COKPi Krapina“ (Centar za održavanje i kontrolu prometa Krapina). Nadzor prometa se odvija kroz nekoliko međusobno povezanih kompleksnih sustava koji pružaju veću sigurnost za korisnike autoceste.

Kamere i sustav video-nadzora osiguravaju vizualnu kontrolu nad prometnim tokovima na raskrižjima, samoj autocesti te drugim cestovnim objektima. Većina tunela

je opremljena s alarmima za detekciju (npr. ukoliko se vozilo kreće u krivom smjeru, zaustavljena vozila i slično).

Svjetlosna prometna signalizacija ima aktivne portale koji omogućavaju prikaz informacija potrebnih vozačima o vremenskim uvjetima, temperaturi, eventualnim incidentima, radovima i slično.

Na temelju sklopljenog koncesijskog ugovora tvrtka „EGIS ROAD OPERATION CROATIA d.o.o.“ odgovorna je za redovno održavanje opreme na autocesti koje uključuje sustav naplate, sustav kontrole i upravljanja prometa, sustav video-nadzora, sustave ventilacije u tunelima te sustav SOS telefona [10].

Analizom rizika je izrađena, sukladno odredbama Zakona o prijevozu opasnih tvari, kategorizacija tunela Sveta Tri Kralja u kojem se ograničava prijevoz određenih opasnih tvari. Kroz tunel Sveta Tri Kralja ograničen je transport opasnih tvari i to samo u ljetnom razdoblju od 1. srpnja do 31. kolovoza kada tunel Sveta Tri Kralja pripada D kategoriji tunela sukladno kategorizaciji prema ADR-u (*Europski sporazum o međunarodnom cestovnom prijevozu opasnih tvari*).

4.4. Eksploatacijske značajke autoceste A2

Uz planerske postavke u sklopu prometno-tehničke razdiobe ceste, za studijsko-prometnu pripremu i procjenu korisničkih svojstava nužno je utvrditi konkretne eksploatacijske pokazatelje ceste. Kako bi cesta mogla primiti određenu vrstu i veličinu prometa koji će se odvijati pod zadanim uvjetima, mora imati odgovarajuće uporabne/eksploatacijske značajke koje određuju kvalitetu ceste u prometnom smislu.

Eksploatacijske značajke ceste:

1. prometno opterećenje;
2. gustoća prometa;
3. bruto tonski ekvivalent zastora kolnika;
4. računaska brzina;
5. propusna moć ceste i razina usluge;
6. prijevozna sposobnost vozila.

4.4.1. Prometno opterećenje ceste

Pod prometnim opterećenjem ceste podrazumijeva se količina prometa izražena bruto-težinom robe, putnika i vozila što se u jedinici vremena propušta kroz promatrani presjek [4].

Prometno opterećenje dobije se brojanjem vozila što u određenom vremenu prođu kroz promatrani presjek ceste. Procjenom prosječnih težina pojedinih vozila i prosječne težine tereta kamiona dobiju se podaci o opterećenju što ga je primio kolnik u jedinici vremena.

Procjenom broja putnika u osobnim automobilima, autobusima, kamionima i ostalim vozilima dobiju se podaci o broju prevezenih putnika.

U svrhu izračunavanja prometnog opterećenja ceste provedenih u istraživanju, uzimaju se u obzir pretpostavljene vrijednosti prosječnih bruto i neto težina vozila koje su prikupljene te prikazane tablicom 6. Srednje ili prosječno prometno opterećenje Q_s prema izrazu 1 iznosi:

$$Q_s = N_1 \cdot Q_1 + N_2 \cdot Q_2 + N_3 \cdot Q_3 \text{ [brtt/dan]} \quad (1)$$

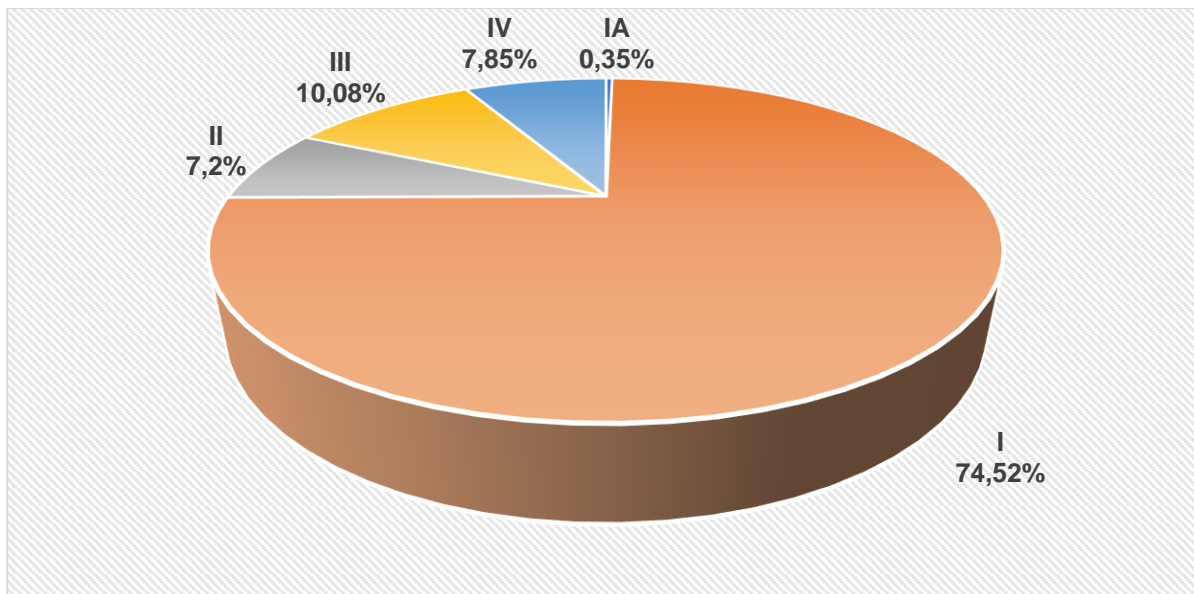
u kojoj je: N_1, N_2, N_3 - broj srodnih skupina vozila

Q_1, Q_2, Q_3 - prosječna bruto težina vozila srodnih skupina

Prometno opterećenje nije nepromijenjeno, ono se mijenja stalno tijekom godine, a ovisno je i o promjenama koje nastaju u gospodarsko - ekonomskoj strukturi kraja kojim prolazi cesta. Proračun prometnog opterećenja vrlo je važan čimbenik pri projektiranju ceste radi utvrđivanja njenih glavnih tehničkih elemenata.

Tablica 6. Podaci o pretpostavljenim vrijednostima prosječnih bruto i neto težina vozila u prometu prema prikupljenim podacima, [11]

| Skupina | Opis vozila u skupini | Prosječna neto težina(Q) | Prosječna bruto težina(G) |
|---------|--|--------------------------|---------------------------|
| IA. | motocikli, motorni tricikli i četverocikli | 0,2 kN | 0,28 kN |
| I. | motorna vozila s dvije osovine, visine do 1,90 m | 2 kN | 2,2 kN |
| II. | a) motorna vozila s dvije osovine iznad 1,90 m, kojima najveća dopuštena masa ne prelazi 3.500 kg b) motorna vozila s dvije osovine, visine ispod 1,90 m, koja vuku priključno vozilo | 3 kN | 3,3 kN |
| III. | a) motorna vozila s dvije osovine ili tri osovine, najveće dopuštene mase preko 3500 kg b) motorna vozila s dvije osovine, najveće dopuštene mase preko 3500 kg, koja vuku priključno vozilo s jednom osovinom c) motorna vozila iz II. skupine a) koja vuku priključno vozilo, neovisno o broju osovina priključnog vozila | 11 kN | 15 kN |
| IV. | a) motorna vozila s četiri ili više osovina, najveće dopuštene mase preko 3.500 kg b) motorna vozila s dvije osovine, najveće dopuštene mase preko 3.500 kg, koja vuku priključno vozilo s dvije ili više osovine c) motorna vozila s tri osovine, najveće dopuštene mase preko 3.500 kg, koja vuku priključno vozilo, neovisno o broju osovina priključnog vozila | 18 kN | 38 kN |



Grafikon 5. Prikaz omjera u postotku pojedinih vrsta vozila na autocesti A2 u 2018. godini, [12]

Analizom brojanja prometa iz 2018. godine, iz grafikona 5 vidljiv je omjer pojedinih vrsta vozila koja sudjeluju u prometu na promatranoj autocesti. Najveći je broj vozila skupine I. (74,52%), zatim slijede vozila skupine III. (10,08%), vozila skupine IV. (7,85%), vozila skupine II. (7,2 %) te vozila skupine IA. (0,35%).

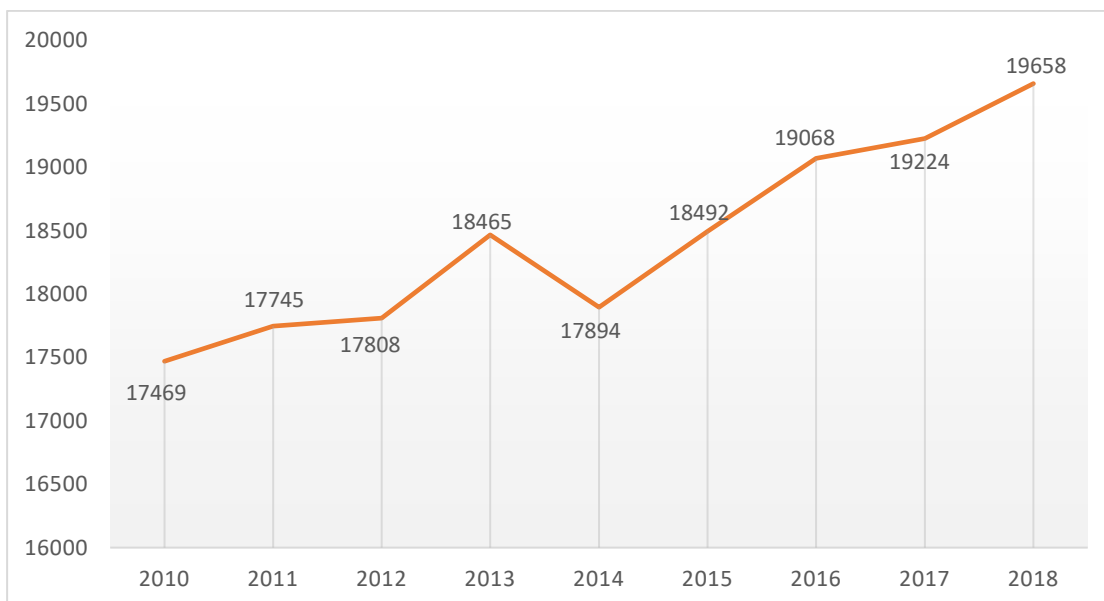
Za prometne analize iznimno je važan podatak o prosječnom dnevnom prometnom opterećenju (PDP), koji se zbog mjesečnih i dnevnih kolebanja izražava tzv. prosječnim godišnjim dnevnim prometom (PGDP). Prilikom istraživanja, zabilježeni su podaci neprekidnim automatskim brojanjem prolaska vozila na naplatnim postajama na svim izlazima autoceste Zagreb – Macelj (tablica 7) te je izvršena usporedba PGDP-a za razdoblje od 2010. do 2018. godine (grafikon 6) [12].

Tablica 7. Podaci o godišnjem izvještaju iz 2018. godine o prosječnom godišnjem dnevnom prometu, [12]

| Mjesec | Broj vozila |
|---------------|------------------|
| Siječanj | 450.763 |
| Veljača | 372.414 |
| Ožujak | 478.868 |
| Travanj | 541.549 |
| Svibanj | 608.294 |
| Lipanj | 661.306 |
| Srpanj | 924.364 |
| Kolovoz | 928.652 |
| Rujan | 677.030 |
| Listopad | 548.987 |
| Studeni | 479.990 |
| Prosinac | 503.010 |
| Ukupno | 7.175.227 |

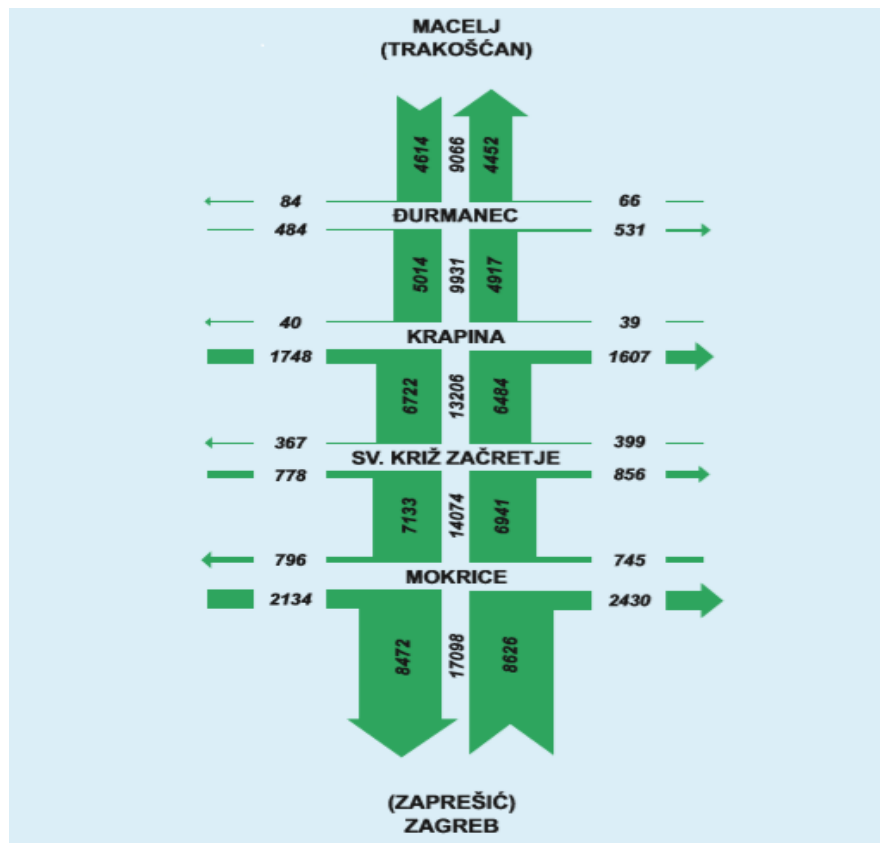
$$\text{PGDP} = \frac{\text{ukupan broj svih skupina vozila u godini dana}}{365}$$

$$= 19.658 \text{ voz/dan}$$



Grafikon 6. Podaci o prosječnom godišnjem dnevnom prometu (PGDP) za razdoblje od 2010. godine do 2018. g., [12]

Na grafikonu 6 prikazana je promjena PGDP-a na autocesti A2 u razdoblju od 2010. do 2018. godina i vidljiv je trend povećanja broja svih vozila kroz promatrane godine te se može očekivati da će se takav trend nastaviti i u idućim godinama. Najveći broj vozila u godini zabilježen je za vrijeme ljetnog razdoblja usred turističke sezone (podaci za srpanj i kolovoz u tablici 7) gdje se zbog veće gustoće prometa vozila kreću manjom računskom brzinom i uz povremene zastoje na pojedinim dionicama.



Slika 7. Prikaz prometa na autocesti A2 u 2018.godini, [12]

Broj pojedinih skupina vozila (grafikon 5) i pretpostavljenih prosječnih bruto težina vozila (tablica 6) prema PGDP-u u 2018. godini iznosi:

$$N_{IA} = 0,35\% \cdot 19.658 = 68 \text{ vozila u kojoj je: } Q_{IA} = 0,28 \text{ kN}$$

$$N_I = 74,52\% \cdot 19.658 = 14.649 \text{ vozila u kojoj je: } Q_I = 2,2 \text{ kN}$$

$$N_{II} = 7,2\% \cdot 19.658 = 1.415 \text{ vozila u kojoj je: } Q_{II} = 3,3 \text{ kN}$$

$$N_{III} = 10,08\% \cdot 19.658 = 1.981 \text{ vozila u kojoj je: } Q_{III} = 15 \text{ kN}$$

$$N_{IV} = 7,85\% \cdot 19.658 = 1.543 \text{ vozila u kojoj je: } Q_{IV} = 38 \text{ kN}$$

Na temelju dobivenih vrijednosti broja pojedinih skupina vozila i pretpostavljenih prosječnih bruto težina vozila, prosječno prometno opterećenje iznosi:

$$Q_s = N_{IA} \cdot Q_{IA} + N_I \cdot Q_I + N_{II} \cdot Q_{II} + N_{III} \cdot Q_{III} + N_{IV} \cdot Q_{IV}$$

$$Q_s = 68 \cdot 0,28 + 14.649 \cdot 2,2 + 1.415 \cdot 3,3 + 1.981 \cdot 15 + 1.543 \cdot 38$$

$$Q_s = 125.265,34 \text{ brtt/dan}$$

4.4.2. Gustoća prometa

Pod pojmom gustoća podrazumijeva se broj vozila na jedinicu duljine prometnice, po prometnom traku, po smjerovima za jednosmjerne prometnice, odnosno u oba smjera za dvosmjerne prometnice. Opća zakonitost za idealni prometni tok može se povezati izrazom 2:

$$G = \frac{Q}{V} \text{ [voz/km]} \quad (2)$$

gdje je: G – gustoća prometnog toka [voz/km]

Q – protok [voz/h]

V – brzina prometnog toka [km/h]

Pod pojmom protok vozila podrazumijeva se broj vozila koja prođu kroz promatrani presjek prometnice u jedinici vremena u jednom smjeru za jednosmjerne prometnice ili u oba smjera za dvosmjerne prometnice. Uz osnovni simbol q za označavanje protoka, također se koristi i simbol PGDP (prosječni godišnji dnevni promet).

$$q = PGDP = 19.658 \text{ voz/24h (tablica 7)}$$

U provedenom istraživanju, kao brzina prometnog toka određuje se prosječna brzina putovanja kao mjerilo kvalitete, jer se jednostavno računa analizom kretanja vozila u prometnom toku i najviše je statistički relevantna u odnosu na druge varijable. Prosječna brzina putovanja određuje se dijeljenjem promatrane duljine dionice s prosječnim vremenom putovanja vozila u prometnom toku, prema izrazu 3. Vrijeme putovanja uključuje i vrijeme stajanja uzrokovanih zastojsima u prometnom toku [13].

$$V = \frac{nL}{\sum_{i=1}^n t_i} \quad (3)$$

gdje je: V – prosječna brzina putovanja [km/h]

L – duljina promatrane dionice ceste [km]

t_i – vrijeme putovanja i-tog vozila u prometnom toku

n – ukupan broj promatranih vremena putovanja

U svrhu istraživanja, za izračun pojedinih brzina skupina vozila, uzima se duljina promatrane dionice autoceste od 59 km. Također, prema izvorima tvrtke „Autocesta Zagreb – Macelj d.o.o.“ prosječno vrijeme putovanja pojedinih skupina vozila te izračun prosječne brzine prikazano je tablicom 8.

Tablica 8. Podaci prosječnog vremena putovanja na duljini promatrane dionice pojedinih skupina vozila u prometnom toku, [11]

| Opis vozila u skupini (udio u postotku) | Duljina promatrane dionice (km) | Vrijeme putovanja i-tog vozila (h) | Prosječna brzina kretanja pojedinog vozila (km/h) |
|---|---------------------------------|------------------------------------|---|
| IA. (0,35%) | 59 | 0,5512 | 107,04 |
| I. (74,52%) | 59 | 0,5568 | 105,96 |
| II. (7,2 %) | 59 | 0,6557 | 89,98 |
| III. (10,08%) | 59 | 0,7235 | 81,54 |
| IV. (7,85%) | 59 | 0,8042 | 73,36 |

izvor: izrada autora prema prikupljenim podacima

$$V = \frac{nL}{\sum_{i=1}^n t_i}$$

$$V = \frac{100 \cdot 59}{0,35 \cdot 0,5512 + 74,52 \cdot 0,5568 + 7,2 \cdot 0,6557 + 10,08 \cdot 0,7235 + 7,85 \cdot 0,8042}$$

$$V = 98,328 \text{ km/h}$$

Na temelju izračunatih vrijednosti brzine ($V = 98,328 \text{ km/h}$) i protoka ($PGDP = 19.658 \text{ voz/h}$), gustoća prometnog toka iznosi:

$$V = 98,328 \text{ km/h}$$

$$q = PGDP = 19.658 \text{ voz/24h}$$

$$G = \frac{Q}{V} \quad (2)$$

$$G = \frac{19.658}{98,328 \cdot 24}$$

$$G = 8,33 \text{ voz/km}$$

4.4.3. Bruto tonski ekvivalent zastora kolnika

Bruto tonski ekvivalent zastora kolnika je najmanja bruto-tonaža koju određeni zastor može primiti, do njegove opće obnove, bez osjetnog pogoršanja uvjeta prometa.

Bruto tonski ekvivalent zastora kolnika služi za izbor vrste zastora kolnika pri projektiranju novih cesta. Njegova vrijednost može se dobiti iz izraza 4:

$$Q_z [\text{brtt}] = 365 \cdot Q_s [\text{brtt/dan}] \cdot n \quad (4)$$

$Q_z [\text{brtt}]$ – bruto - tonski ekvivalent zastora

$Q_s [\text{brtt/dan}]$ – prosječno dnevno prometno opterećenje

n – broj godina trajanja zastora kolnika

Na izgrađenim cestama bruto tonski ekvivalent zastora služi za približno određivanje trajanja kolničkog zastora do njegove potpune obnove. Veći dio autoceste izgrađen je između 1991. godine i 1997. godine.

$$Q_s = 125.265,34 \text{ brtt/dan prema proračunu iz poglavlja 4.4.1.}$$

$$n = 29 \text{ godina prema podacima iz poglavlja 2.1.}$$

$$Q_z = 365 \cdot Q_s \cdot n$$

$$Q_z = 365 \cdot 125.265,34 \cdot 29$$

$$Q_z = 1.325.930,02 \text{ brtt}$$

4.4.4. Računska brzina

Računska brzina (V_r) je najveća očekivana brzina koju vozilo u slobodnom prometnom toku može ostvariti uz dovoljnu sigurnost vožnje na određenom dijelu ceste ovisno o tlocrtnim i visinskim elementima tog dijela trase. Na autocestama i cestama 1. i 2. kategorije određuje se na temelju projektiranih tlocrtnih i visinski elemenata u idejnom rješenju trase [4]:

- najmanji dopušteni polumjer tlocrtnog zavoja R_{\min}
- najveći dopušteni uzdužni nagib S_{\max}

Autocesta A2 je projektirana za kretanje motornih vozila računskom brzinom od 130 km/h na nizinskom dijelu između Zagreba i Krapine te računskom brzinom od 100 km/h na brdskom dijelu između Krapine i Maclja [2].

4.4.5. Propusna moć ceste i razina usluge autoceste A2

Propusna moć ili kapacitet ceste označuje se najvećim brojem vozila koja mogu proći u jedinici vremena kroz promatrani presjek. Poznavanje propusne moći polazni je preduvjet za donošenje bitnih inženjersko-studijskih zaključaka. Danas u svijetu postoje različite metode za proračun propusne moći ceste. Tako je na temelju opsežnih ispitivanja dobivena metoda HCM (*Highway Capacity Manual*).

Razina usluge je kvalitativna mjera koja se sastoji od brojnih elemenata, kao što su: brzina vožnje, vrijeme putovanja, sloboda manevriranja, prekidi u prometu, udobnost vožnje, sigurnost vožnje i troškovi iskoristivosti vozila. U ovom poglavlju proračun kapaciteta i razine usluge provodi se za potpuni profil autoceste (95% autocestovne mreže) u idealnim prometnim uvjetima.

Za analizu i izračun razine usluge potrebno je poznavati ulazne podatke [14]:

1. prosječni godišnji dnevni promet (PGDP)
2. koeficijent K
3. koeficijent D
4. osnovna brzina slobodnog toka
4. faktor vršnog sata
5. širina prometnog traka
7. konfiguracija terena
8. udio teških vozila

Prvi korak za proračun razine usluge je poznavanje mjerodavnog prometnog opterećenja, koje se izražava u vozilima/h i na temelju kojeg se projektiraju elementi buduće prometnice. Pomoću koeficijenta K, koji predstavlja udio prosječnog godišnjeg dnevnog prometa u mjerodavnom prometnom opterećenju te koeficijenta raspodjele prometnog opterećenja po smjerovima dobiva se mjerodavno prometno opterećenje za jedan smjer vožnje [14] prema izrazu 5:

$$v = PGDP \cdot K \cdot D \text{ (voz/h) (5)}$$

Mjerodavno prometno opterećenje iznosi:

$$v = PGDP \cdot K \cdot D$$

$$v = 19.658 \cdot 0.1 \cdot 0.5$$

$$v = 982 \text{ voz/h}$$

gdje je: PGDP – prosječni godišnji dnevni promet (tablica 7)

K - korekcijski faktor (Prilog 1)

D – postotak raspodjele prometnih tokova = 0.5

Kako bi se proveo izračun kapaciteta prometnice, potrebno je dobiti vrijednost brzine slobodnog toka. Brzina slobodnog toka FFS (*Free-flow speed*) je teoretska brzina u uvjetima kada je gustoća prometa na promatranj dionici jednaka nuli, odnosno kada na dionici uopće nema drugih vozila, a može se odrediti iz izraza 6:

$$FFS = BFFS - F_{lw} - F_{lc} - 3.22TRD^{0.84} \text{ (6)}$$

pri čemu je : BFFS (*Base free-flow speed*) – osnovna brzina slobodnog toka

F_{lw} – smanjenje osnovne brzine slobodnog toka zbog širine prometnog traka (Prilog 2)

F_{lc} – smanjenje osnovne brzine slobodnog toka zbog utjecaja bočne zapreke (Prilog 3)

TRD (Total Ramp Density) – broj ulaznih i izlaznih rampi te broj raskrižja izvan razine (čvorište) u jednom smjeru vožnje za dionicu autoceste dužine od 9,65 km

Autocesta A2 u prosjeku bilježi broj ulaznih i izlaznih rampi u vrijednosti od 1,96 te broj raskrižja izvan razine od 1,14 za promatranu dionicu od 9,65 km [14], što se određuje prema izrazu 7:

$$TRD = \frac{\#broj\ ulaznih\ rampi + \#broj\ izlaznih\ rampi + \#broj\ \check{c}vori\check{s}ta}{9,65} \quad (7)$$

$$TRD = \frac{1,96 + 1,96 + 1,14}{9,65}$$

$$TRD = 0,524$$

$$FFS = BFFS - F_{lw} - F_{lc} - 3.22TRD^{0.84}$$

$$FFS = 121,34 - 0 - 0 - 1,87$$

$$FFS = 119,47 \text{ km/h}$$

Kada se dobije vrijednost brzine slobodnog toka, može se izračunati kapacitet autoceste po prometnom traku. Ukoliko je brzina slobodnog toka veća od 112,65 km/h, za kapacitet autoceste uzima se vrijednost od 2400 vozila po satu po jednom prometnom traku [14].

$$C = 2400 \text{ vozila po prometnom traku}$$

Faktor vršnog sata PHF predstavlja prometno opterećenje najopterećenijeg sata u danu (vršni sat) podijeljenog s najvećim 15-minutnim prometnim opterećenjem unutar tog istog sata. Predstavlja mjeru nestabilnosti prometne potražnje unutar vršnog sata u danu. Ukoliko nisu dostupni podaci o veličini faktora vršnog sata, za autoceste najčešće se uzima vrijednost od 0.94 [14].

Prometno opterećenje za 15 – minutni interval određuje se prema izrazu 8:

$$V_p = \frac{v}{PHF \cdot fg \cdot fhv} \quad [PAJ/h] \quad (8)$$

gdje je : V_p – prometno opterećenje 15-minutnog intervala vršnog sata

V – prometno opterećenje vršnog sata

PHF – faktor vršnog sata

f_g – faktor prilagodbe konfiguracije terena (Prilog 4)

f_{hv} – faktor prilagodbe utjecaja teških vozila

Faktor prilagodbe konfiguracije terena (f_g) iznosi (Prilog 4):

$$f_g = 1$$

Faktor prilagodbe utjecaja teških vozila (f_{hv}) određuje se prema izrazu 9:

$$f_{hv} = \frac{1}{1 + P_t (E_t - 1) + P_r (E_r - 1)} \quad (9)$$

gdje je : E_T – ekvivalent teških vozila (Prilog 5)

E_R – ekvivalent rekreacijskih vozila (Prilog 5)

P_r – udio rekreacijskih vozila (grafikon 5)

P_t – udio teških vozila (grafikon 5)

$$f_{hv} = \frac{1}{1 + 0,1008 (1,5 - 1) + 0,0785 (1,2 - 1)}$$

$$f_{hv} = 0,938$$

Prometno opterećenje za 15 – minutni interval određuje se prema izrazu 10:

$$V_p = \frac{v}{PHF \cdot f_g \cdot f_{hv}} \quad (10)$$

$$V_p = \frac{982}{0,94 \cdot 1 \cdot 0,938}$$

$$V_p = 1.113,73 \text{ PAJ/h po jednom prometnom traku}$$

Operativna brzina prema prometnom opterećenju za kretanje brzinom slobodnog toka > 112,65 km/h [14] iznosi prema izrazu 11:

$$S = FFS - 0.00001418 (V_p - 1200)^2 \quad (11)$$

$$S = FFS - 0.00001160 \cdot (V_p - 1200)^2$$

$$S = 119,47 - 0.00001160 \cdot (1.113,73 - 1200)^2$$

$$S = 119,3837 \text{ km/h}$$

Na temelju izračunatih vrijednosti prometnog opterećenja, operativne brzine te kapaciteta autoceste prema izrazu 12, određena je gustoća prometnog toka, te proračun razina usluge i vrijednost prema tablici 9 iznosi [14]:

$$x = \frac{\min(vp, c)}{S} \quad (12)$$

$$x = \frac{1.286,27}{119,3837}$$

$$x = 10,77 \text{ voz/km}$$

Tablica 9. Razina usluge autoceste prema izračunatim vrijednostima gustoće prometnog toka, [14]

| Razina usluge | A | B | C | D | E | F |
|---------------|----------|-----------------------|-----------------|-----------------|-----------------|---------|
| x | 0 – 6,83 | > 6,83 – 11,18 | > 11,18 – 16,15 | > 16,15 – 21,74 | > 21,74 – 27,95 | > 27,95 |

Iz tablice 9 vidljivo je da je za autocestu A2 razina usluge B.

4.4.6. Prijevozna sposobnost vozila

Prijevozna sposobnost vozila je prosječan broj neto-tonskih kilometara po jednom vozilu u jedinici vremena na određenoj cesti [4].

Prijevozna sposobnost vozila P_s dobije se prema jednadžbi 13:

$$P_s = V \cdot G \quad (13)$$

u kojoj je: P_s – prijevozna sposobnost vozila [$N_t \cdot \text{km/h}$]

V – prosječna brzina vozila [km/h]

G – prosječno opterećenje na vozilu [t]

Prijevozna sposobnost ovisi o značajkama vozila (snazi motora, nosivosti, vrsti vozila) i značajkama ceste (vrsti kolničkog zastora, veličini uspona, polumjeru zavoja, širini prometnih trakova, broju raskrižja i sl.).

Na temelju dobivenih vrijednosti prosječnih brzina pojedinih skupina vozila prosječna brzina prema tablici 8 iznosi:

$$\bar{V} = \frac{100 \cdot 59}{0,35 \cdot 0,5512 + 74,52 \cdot 0,5568 + 7,2 \cdot 0,6557 + 10,08 \cdot 0,7235 + 7,85 \cdot 0,8042}$$

$$\bar{V} = 98,328 \text{ km/h}$$

Na temelju dobivenih vrijednosti prosječnog opterećenja pojedinih vozila, prosječno opterećenje vozila prema tablici 6 iznosi:

$$\bar{G} = \frac{0,35 \cdot 0,2 + 74,52 \cdot 2 + 7,2 \cdot 3 + 10,08 \cdot 11 + 7,85 \cdot 18}{100}$$

$$\bar{G} = 4,229 \text{ kN}$$

Prijevozna sposobnost vozila P_s iznosi:

$$P_s = V \cdot G$$

$$P_s = 98,328 \cdot 4,229$$

$$P_s = 415,829 \text{ N}_t \cdot \text{km/h}$$

5. KRITIČNE DIONICE S PRIJEDLOZIMA POBOLJŠANJA

Identifikacija kritičnih dionica, odnosno mjesta gdje češće dolazi do nastanka prometne nesreće, predstavlja jedan od najznačajnijih čimbenika u povećanju sigurnosti prometa. Kako bi se provela kvalitetna analiza, vrlo je važno poznavati ulazne podatke poput broja prometnih nesreća, vrsti prometnih nesreća sa nastradalim sudionicima, odsječku promatrane dionice te uzroku nastanka prometne nesreće koji se nalaze u prilogu na kraju ovog rada (Prilog 6).

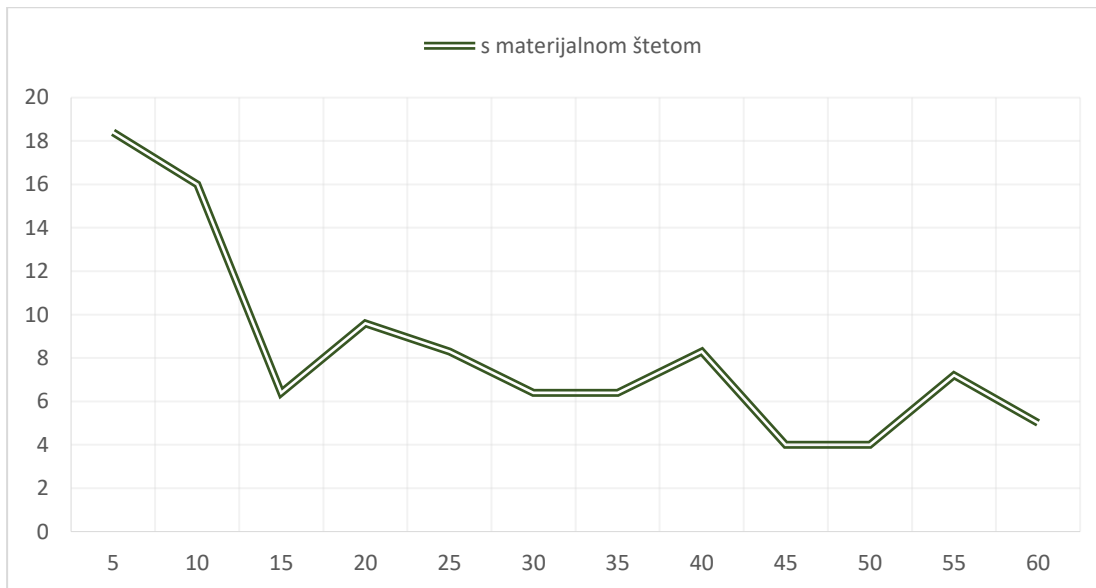
U ovome poglavlju analiziraju se podaci prikupljeni od strane Ministarstva unutarnjih poslova i tvrtke „Autocesta Zagreb – Macelj d.o.o.“ u razdoblju od 2016. do 2018. godine. Prema podacima koji su prikupljeni u izradi završnog rada, zabilježeno je ukupno 396 prometnih nesreća u kojoj se izdvaja 2017. godina gdje je vidljiv značajniji porast od 15,2% u odnosu na spomenute godine. Glavni čimbenik nastanka nesreće je čovjek koji ne dovodi samo svoj život u opasnost nego ugrožava i ostale sudionike prometa.

Nadalje, prikazana je autocesta A2 na 12 dionica u razmaku od 5 km u kojem se za svaki promatrani odsječak određuje broj prometnih nesreća s poginulim osobama, nesrećama s ozlijeđenim osobama i nastaloj materijalnoj šteti.

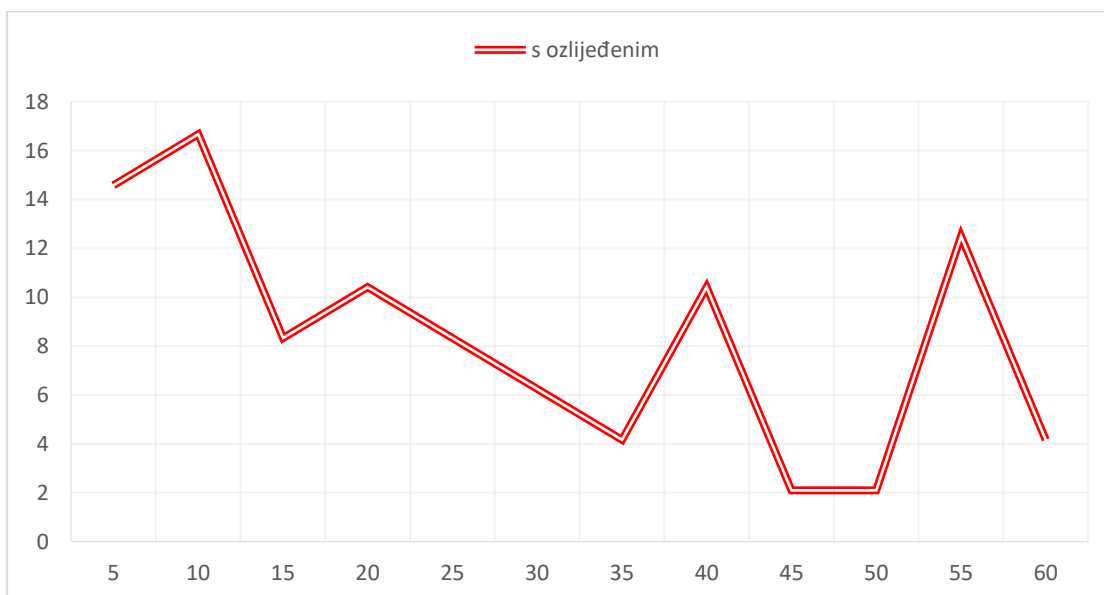
Na temelju tih podataka, podataka prikupljenih od strane Ministarstva unutarnjih poslova te podataka tvrtke „Autocesta Zagreb – Macelj d.o.o.“, grafički se prikazuju dionice autoceste s najvećim postotkom broja prometnih nesreća u kojima će se provesti klasifikacija kritičnih dionica (dionica A, dionica B i dionica C) te se na kraju daje prijedlog poboljšanja.

5.1. Analiza dionica autoceste A2 prema prikupljenim podacima

Na temelju tablice broja prometnih nesreća s poginulim osobama, nesrećama s ozlijeđenim osobama, nastaloj materijalnoj šteti te podacima prikupljenim od strane Ministarstva unutarnjih poslova i tvrtke „Autocesta Zagreb – Macelj d.o.o.“, određena je klasifikacija kritičnih dionica prikazanih grafikonima 7 i 8 za razdoblje od 2016. do 2018. godine.



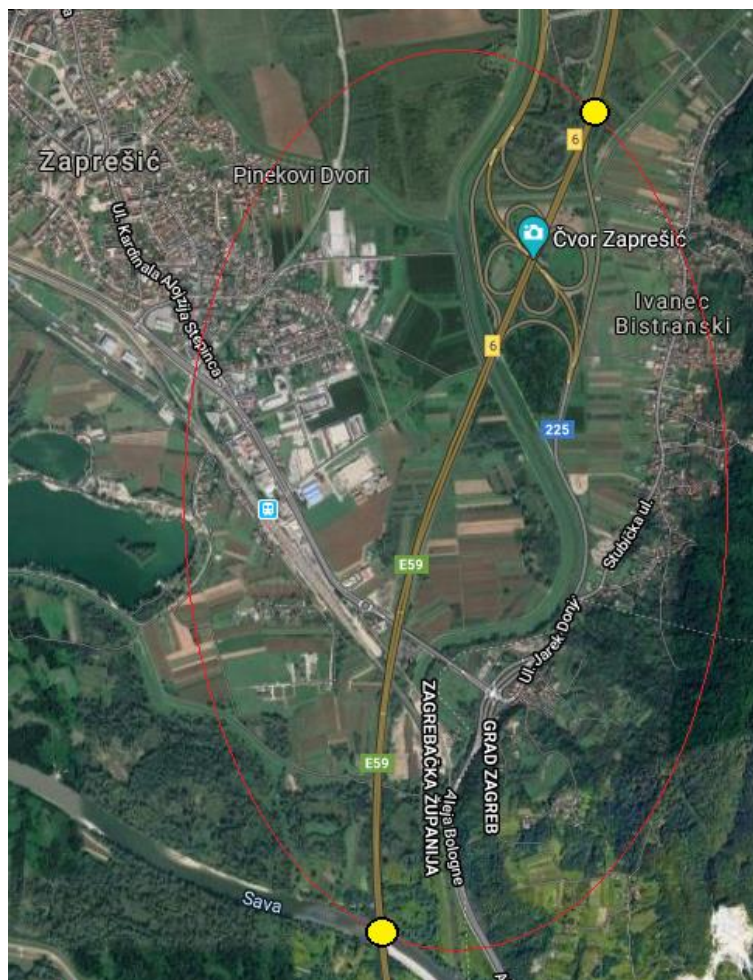
Grafikon 7. Prikaz postotka prometnih nesreća s materijalnom štetom po stacionažama za razdoblje od 2016. do 2018. godine, [Prilog 6.]



Grafikon 8. Prikaz postotka prometnih nesreća s ozlijeđenim osobama po stacionažama za razdoblje od 2016. do 2018. godine, [Prilog 6.]

5.2. Prikaz kritičnih dionica i prijedlog poboljšanja za dionicu A

Na temelju podataka o postotku broja prometnih nesreća s poginulim osobama, nesrećama s ozlijeđenima i nastaloj materijalnoj šteti (Prilog 6) provedena je klasifikacija kritičnih dionica A autoceste A2 za promatrano razdoblje od 2016. do 2018. godine. Od ukupno 8 dionica zabilježeno je da dionica A statistički bilježi najveći broj prometnih nesreća s materijalnom štetom i ozlijeđenim osobama. Prema izvorima Ministarstva unutarnjih poslova izdvajaju se kilometri dionice autoceste koja je prikazana slikom 8 između mosta Sava te dionica autoceste kod raskrižja izvan razine Zaprešić gdje se u prethodne tri godine zabilježio veći broj prometnih nesreća s težim posljedicama [15].



Slika 8. Prikaz kritične dionice između mosta Sava i raskrižja izvan razine Zaprešić,

[16]

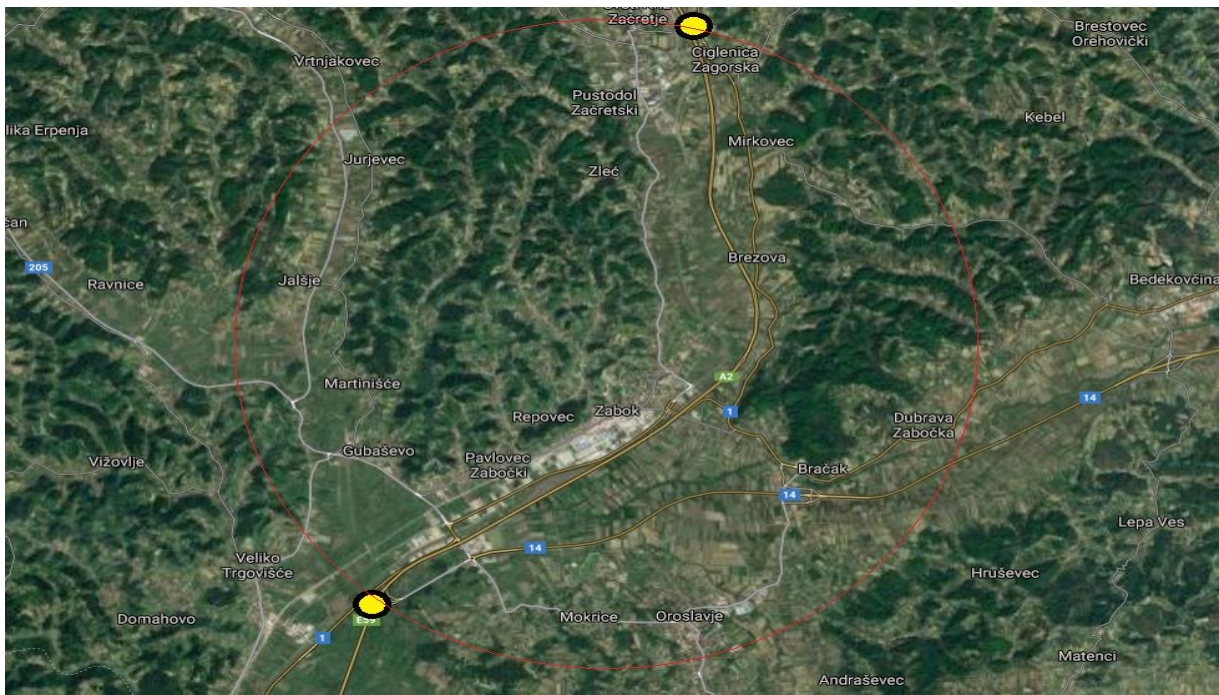
Specifičnost dionice između mosta Sava i raskrižja izvan razine Zaprešić je što je zabilježeno najveći broj prometnih nesreća čiji je krivac najvećim dijelom bio čovjek. Glavni uzrok je kretanje nedopuštenom brzinom koja nije primjerena uvjetima na cesti te nezadovoljavanje sigurnosnog razmaka prilikom kočenja pri čemu dolazi do sudara. S obzirom na to da navedena dionica bilježi najveći prosječni godišnji dnevni promet, predlaže se smanjenje brzine kako bi se vozila lakše prilagodila gustoći prometa.

Također se predlaže poticanje prometne kulture. Može zaključiti da mladi vozači predstavljaju najzastupljeniji udio prilikom kršenja prometnih propisa te se smatra da bi mladi vozači svojim odgovornijim ponašanjem doprinijeli sigurnosti prometa.

5.3. Prikaz kritičnih dionica i prijedlog poboljšanja za dionicu B

Nadalje je prema ukupnom broju prometnih nesreća s poginulim osobama, nesrećama s ozlijeđenim osobama i nastaloj materijalnoj šteti provedena klasifikacija kritičnih dionica B autoceste A2 za promatrano razdoblje od 2016. do 2018. godine. Prema izvorima Ministarstva unutarnjih poslova, od ukupno 34 dionice izdvajaju se dionice autoceste između raskrižja izvan razine Zabok i Sveti Križ Začretje te 42. kilometar odnosno dionica autoceste kod raskrižja izvan razine Krapina.

Prema podacima koji su prikupljeni prilikom istraživanja, u 2017. godini zabilježena je 1 prometna nesreća s poginulim osobama na 23. kilometru kod Stubičkog Slatina zbog nekontroliranog skretanja vozila s autoceste pri čemu se predlaže poboljšanje [17].



Slika 9. Prikaz kritične dionice između raskrižja izvan razine Zabok i Sveti Križ Začretje, [16]

Analizom promatranih dionica između raskrižja izvan razine Zabok i Sveti Križ Začretje (trasa prikazana na slici 9), može se zaključiti da se javljaju nedostaci koji onemogućavaju sigurno odvijanje cestovnog prometa. Naime, specifičnost ovih dionica je djelomičan izostanak zaštitnih odbojnih ograda koje će spriječiti mogućnost izlijetanja vozila u opasni kanal. Također je potrebna rekonstrukcija zaštitnih žičanih ograda.

Zaštitna odbojna ograda predstavlja tehničku sigurnu napravu čija je svrha spriječiti iskliznuća vozila s kolnika odnosno prihvatiti i zadržati s kolnika skrenula vozila [1]. Predlaže se da se zaštitna odbojna ograda postavi na prikazanim kritičnim dionicama (na slici 10 prikazana je kritična dionica kod mjesta Grdenci) kako bi se izbjeglo slijetanje vozila u slučaju prometne nesreće te da se zaštitne ograde produlje jer se nastavlja opasni kanal (primjer je vidljiv na slici 11).



Slika 10. Prikaz kritične dionice na 31. kilometru kod mjesta Grdenci između raskrižja izvan razine Zabok i Sveti Križ Začretje, [8]



Slika 11. Prikaz kritične dionice u blizini 23. kilometra gdje je 2017. zabilježena prometna nesreća s poginulim osobama, [8]

Također, s ciljem da se smanji utjecaj prirodnog okruženja autoceste na sigurnost u prometu, oko cijelog područja autoceste postavljena je zaštitna žičana ograda. Zaštitna žičana ograda je fleksibilna kako bi smanjila mogućnost ozljeda divljih životinja. Unatoč navedenim mjerama predostrožnosti, korisnici autoceste uvijek moraju imati u vidu postojanje rizika od ulaska divljih životinja na autocestu te je takav rizik veći oko raskrižja izvan razine gdje zaštitna žičana ograda završava.

5.4. Prikaz kritičnih dionica i prijedlog poboljšanja za dionicu C

Također je o ukupnom broju prometnih nesreća s poginulim osobama, nesrećama s ozlijeđenima i nastaloj materijalnoj šteti provedena klasifikacija kritičnih dionica C autoceste A2 za promatrano razdoblje (Prilog 6).

Na temelju Priloga 6 i prema izvorima Ministarstva unutarnjih poslova, od ukupno 17 dionica izdvajaju se dionice između tunela Sveta Tri Kralja i tunela Brezovica (prikaz dionice na slici 12) s najvećim postotkom broja prometnih nesreća s ozlijeđenim osobama prikazane slikom 12. [18].

Prema podacima koji su prikupljeni prilikom istraživanja, u 2017. godini zabilježena je 1 prometna nesreća s poginulim osobama na 56. kilometru kod odmorišta Lepa Bukva u blizini granice sa Slovenijom [15].



Slika 12. Prikaz dionice između tunela Brezovica i na ulasku u tunel Sveta Tri Kralja, [16]

Na autocesti A2 ima ukupno 6 tunela. Najduža dva tunela, Brezovica (prikaz tunela na slici 13) i Sveta Tri Kralja (prikaz tunela na slici 14), izgrađena su kao jednocjevna dok su ostala četiri izgrađena kao dvocijevna. Na temelju provedenog

istraživanja, smatra se da tuneli Brezovica i Sveta Tri Kralja ne osiguravaju potrebne uvjete sigurnosti za tunele u trans-europskoj mreži.

Razlog leži u činjenici da je broj prometnih trakova smanjen pri čemu raste opasnost od nastanka prometne nesreće koji se povezuje s brojem tunelskih cijevi. Gradnjom druge tunelske cijevi i drugih tunelskih instalacija smatra se da će se postići veća sigurnosti u slučaju opasnosti, smanjit će se gužve i zastoji u ljetnom razdoblju te će se povećati propusna moć autoceste. Iako je konfiguracija terena na dionici C složenija u odnosu na ostale, smatra se da svi uvjeti koji se odnose na promet moraju biti ujednačeniji.

Nadalje, smatra se da su ostali sigurnosni standardi na visokoj razini pri čemu se koriste moderni sustavi nadzora i upravljanja prometom, uređaji koji su sukladni Pravilniku o prometnim znakovima, signalizaciji i opremi na cesti te ostali uređaji kojima je tunel opremljen.

U dogovoru Republike Hrvatske s koncesijskim društvom očekuje se da će nakon 2022. godine započeti gradnja drugih cijevi za spomenute tunele [19].



Slika 13. Prikaz tunela Brezovica na 50. kilometru kritične dionice, [19]



Slika 14. Prikaz tunela Sveta Tri Kralja na 51. kilometru kritične dionice, [20]

6. ZAKLJUČAK

Sa sigurnošću se može reći da vožnja na autocestama predstavlja sigurniju, bržu i udobniju vožnju za razliku od ostalih cesta. Iako statistički predstavlja najmanju razinu opasnosti s obzirom na to da se na njima događa najmanji broj prometnih nesreća, posljedice znaju biti vrlo teške. Prometni propisi određuju kojih se uvjeta korisnici na autocesti moraju pridržavati, ali također postoje i pravila ponašanja te navike koje se moraju steći kako bi se očuvala sigurnost.

Autocesta A2 predstavlja najskuplju autocestu po kilometru dionice u mreži autocesta Republike Hrvatske pri čemu je vrlo važno naglasiti da nije u potpunosti građena u punom profilu, a pojedine su dionice među najzahtjevnijima za izgradnju zbog konfiguracije i sastava terena. Iako autocesta ostvaruje vrlo visok promet tijekom ljetnog razdoblja, može se zaključiti da lokalne korisnike odbija mogućnost vožnje na autocesti jer su alternativne ceste značajno jeftinije i samim time godišnji prihodi ipak ne mogu opravdati vrlo visoke troškove gradnje.

Izračunom eksploatacijskih značajki vidljivo je da je protok vozila manji od kapaciteta prometnice pri čemu se vozila kreću u zoni uvjeta slobodnog toka, no ipak operativnu brzinu ograničava ostali promet. U tim uvjetima, ograničenje manevriranja je i dalje zanemarivo, a vjerojatnost većih smanjenja brzine ili protočnosti je mala. U analizi prometnog opterećenja ceste u prometu uglavnom dominiraju osobni automobili koji potvrđuju kvalitetu autoceste sukladno najmanjoj bruto-tonaži koju kolnik može primiti. Također, tome pridonosi činjenica da je autocesta među novijim autocestama koje su izgrađene u Republici Hrvatskoj.

Provedeno istraživanje pokazalo je kako autocesta A2 u razdoblju od 2016. do 2018. godine bilježi relativno manji broj prometnih nesreća po kilometru u odnosu na ostale autoceste Republike Hrvatske te se može zaključiti kako se vodi briga o očuvanju i napretku sigurnosti. Iako su zabilježena tri smrtna slučaja u istraživanju, smatra se da autocesta A2 ipak bilježi pozitivan trend smanjivanja broja prometnih nesreća u zadnjim godinama.

Detaljnijim analiziranjem prometnih nesreća i provedenom analizom kritičnih dionica na autocesti, preporučuje se da se dionicom C vozi pod posebnim oprezom zbog smanjenja broja prometnih trakova (poprečni presjek poluautoceste) te čestog stvaranja uskog prometnog grla osobito u razdoblju turističke sezone. Ipak, može se zaključiti da ima mjesta za napredak sigurnosti prometa jer su za pojedine dionice

pripremljene odgovarajuće mjere za njihovu sanaciju prema Programu građenja i održavanja javnih cesta.

LITERATURA

- [1] URL: https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2011_07_84_1790.html
- [2] URL: <http://www.azm.hr/page.asp?pageID=35&lang=hr>
- [3] URL: <http://www.huka.hr/publikacije/nacionalno-izvjesce>
- [4] URL: I. Legac; Cestovne prometnice I; Fakultet prometnih znanosti; Sveučilište u Zagrebu; 2006.,
- [5] URL: https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2001_12_110_1829.html
- [6] Cerovec, V.: Tehnika i sigurnost prometa, Fakultet prometnih znanosti, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb, 2001.
- [7] Bilten o sigurnosti cestovnog prometa 2019., Republika Hrvatska, Ministarstvo unutarnjih poslova, Zagreb; 2020.,
- [8] Google Earth (21.07.2020.)
- [9] URL: https://www.h-a-d.hr/ak2017/20.%20Mladen%20Krpan_Glavni%20pregled%20kolnika%20na%20autocesti%20Zagreb-Macelj.pdf
- [10] URL: <https://www.egis.hr/servisi.php>
- [11] URL: <http://www.azm.hr/page.asp?pageID=37&subID=65&lang=hr>
- [12] URL: https://hrvatske-cestesce.hr/uploads/documents/attachment_file/file/485/Brojenje_prometa_na_cestama_Republike_Hrvatske_godine_2018.pdf
- [13] URL: <http://files.fpz.hr/Djelatnici/msevrovic/Teorija-prometnih-tokova-2014-skripta.pdf>
- [14] Highway Capacity Manual 2010, Transport Research Board, Washington, 2010
- [15] URL: <https://zagrebacka-policija.gov.hr/>
- [16] Google maps (20.07.2020.)
- [17] URL: https://issuu.com/zagorski_list/docs/707

[18] URL: <https://www.zagorje-international.hr/index.php/2017/08/13/u-nesreci-sudjelovalo-sest-vozila-ozlijedeno-ukupno-devet-osoba-iz-kosova-njemacke-i-ceske-troje-je-maloljetnih/>

[19] URL: <https://www.zagorje-international.hr/index.php/2019/10/22/bit-ce-potrebno-500-milijuna-kuna-nakon-2022-godine-mora-krenuti-gradnja-drugih-cijevi-tunela-brezovica-i-sv-tri-kralja-na-azm-u/>

[20] URL: <https://www.oeamtc.at/tests/assistenzsystemtest/tunneltest-2020/kroatien-sveta-tri-kralja-a-2-38471101>

POPIS SLIKA

| | |
|---|----|
| Slika 1. Položaj autoceste A2 na teritoriju Republike Hrvatske | 3 |
| Slika 2. Prikaz društva i mreže autocesta | 6 |
| Slika 3. Prikaz elemenata u kruni poprečnog presjeka autoceste A2..... | 8 |
| Slika 4. Prikaz elemenata u kruni poprečnog presjeka autoceste A2 na dionici C2. | 10 |
| Slika 5. Nepotpuni profil autoceste A2 na dionici C2..... | 19 |
| Slika 6. Pregled kolnika na autocesti A2. | 21 |
| Slika 7. Prikaz prometa na autocesti A2 u 2018.godini. | 27 |
| Slika 8. Prikaz kritične dionice između mosta Sava i raskrižja izvan razine Zaprešić | 39 |
| Slika 9. Prikaz kritične dionice između raskrižja izvan razine Zabok i Sveti Križ Začretje..... | 41 |
| Slika 10. Prikaz kritične dionice na 31. kilometru kod mjesta Grdenci između čvorišta Zabok i Sveti Križ Začretje..... | 42 |
| Slika 11. Prikaz kritične dionice na u blizini 23. kilometra gdje je 2017. zabilježena prometna nesreća s poginulim osobama | 43 |
| Slika 12. Prikaz dionice između tunela Brezovica i na ulasku u tunel Sveta Tri Kralja | 44 |
| Slika 13. Prikaz tunela Brezovica na 50. kilometru kritične dionice..... | 45 |
| Slika 14. Prikaz tunela Sveta Tri Kralja na 51. kilometru kritične dionice | 46 |

POPIS TABLICA

| | |
|--|----|
| Tablica 1. Prikaz pratećih uslužnih objekata na autocesti A2 | 5 |
| Tablica 2. Podaci o prometnim nesrećama na autocesti A2 za razdoblje od 2014. do 2018. godine..... | 11 |
| Tablica 3. Podaci o nastradalim sudionicima prema težini ozljeda na autocesti A2 za razdoblje od 2014. do 2018. godine | 13 |
| Tablica 4. Podaci o prometnim nesreća po kilometru dionice na svim autocestama u Republici Hrvatskoj u 2018. godini | 15 |
| Tablica 5. Podaci o nastradalim i poginulim osoba po kilometru dionice na svim autocestama Republike Hrvatske u 2018. godini..... | 16 |
| Tablica 6. Podaci o pretpostavljenim vrijednostima prosječnih bruto i neto težina vozila u prometu prema prikupljenim podacima..... | 24 |
| Tablica 7. Podaci o godišnjem izvještaju iz 2018. godine o prosječnom godišnjem dnevnom prometu..... | 26 |
| Tablica 8. Podaci prosječnog vremena putovanja na duljini promatrane dionice pojedinih skupina vozila u prometnom toku. | 29 |
| Tablica 9. Razina usluge autoceste prema izračunatim vrijednostima gustoće prometnog toka..... | 35 |

POPIS GRAFIKONA

| | |
|---|----|
| Grafikon 1. Prikaz prometnih nesreća s poginulim, ozlijeđenim i materijalnom štetom za razdoblje od 2014. do 2018. godine..... | 12 |
| Grafikon 2. Prikaz nastradalih sudionika prema težini ozljeda na autocesti A2 za razdoblje od 2014. do 2018.godine. | 14 |
| Grafikon 3. Prikaz postotka prometnih nesreća po kilometru dionice na svim autocestama u Republici Hrvatskoj u 2018. godini | 16 |
| Grafikon 4. Prikaz postotka nastradalih i poginulih osoba po kilometru dionice na svim autocestama u Republici Hrvatskoj u 2018. godini..... | 18 |
| Grafikon 5. Prikaz postotka pojedinih vrsta vozila na autocesti A2 u 2018. godini. . | 25 |
| Grafikon 6. Podaci o prosječnom godišnjem dnevnom prometu (PGDP) za razdoblje od 2010. godine do 2018. g. | 26 |
| Grafikon 7. Prikaz postotka prometnih nesreća sa materijalnom štetom po stacionažama u razdoblju od 2016. do 2018 godine. | 38 |
| Grafikon 8. Prikaz postotka prometnih nesreća s ozlijeđenim osobama po stacionažama u razdoblju od 2016. do 2018. godine | 38 |

PRILOZI

Prilog 1. Korekcijski faktor PGDP-a, [14]

| Korekcijski faktor (K) | |
|------------------------|------------|
| Vrsta područja | K - faktor |
| Građevinsko | 0,091 |
| Urbano | 0,093 |
| Naseljeno područje | 0,095 |
| Nenaseljeno područje | 0,1 |

Prilog 2. Smanjenje osnovne brzine prometnog toka zbog utjecaja prometnog traka, [14]

| Širina prometnog traka (m) | F_{lw} |
|----------------------------|----------|
| > 3,75 | 0 |
| >3,35 - 3,65 | 1,9 |
| >3,05 - 3,35 | 6,6 |

Prilog 3. Smanjenje osnovne brzine prometnog toka zbog utjecaja bočne zapreke, [14]

| Utjecaj bočne zapreke (m) | 2 prometna traka | 3 prometna traka | 4 prometna traka | 5 prometnih trakova |
|---------------------------|------------------|------------------|------------------|---------------------|
| >1,82 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 1,52 | 18,28 | 12,19 | 6,09 | 3,04 |
| 1,21 | 36,57 | 24,38 | 12,19 | 6,09 |
| 91,44 | 54,86 | 36,57 | 18,28 | 9,14 |
| 60,96 | 73,15 | 48,76 | 24,38 | 12,19 |
| 30,48 | 91,44 | 60,96 | 30,48 | 15,24 |
| 0 | 109,72 | 73,15 | 36,57 | 18,29 |

Prilog 4. Korekcijski faktor konfiguracije terena, [14]

| Raspon prometnog opterećenja (voz/h) | Faktor Fg | |
|--------------------------------------|------------|--------------|
| | Tip terena | |
| | nizinski | brežuljkasti |
| 0-600 | 1 | 0,77 |
| >600-1200 | 1 | 0,94 |
| >1200 | 1 | 1 |

Prilog 5. Određivanje ekvivalenata teških i rekreacijskih vozila, [14]

| Vozilo | Nizinski teren | Brežuljkasti teren | Planinski teren |
|----------------|----------------|--------------------|-----------------|
| E _T | 1,5 | 2,5 | 4,5 |
| E _R | 1,2 | 2 | 4 |

Prilog 6. Postotak broja prometnih nesreća s materijalnom štetom, ozlijeđenim i poginulim po stacionažama u razdoblju od 2016. do 2018., [2]

| Km | PN s mat. štetom | PN s ozlijeđenim | PN s poginulim |
|---------------|------------------|------------------|----------------|
| 0-5 | 18,4% | 14,58% | |
| 5-10 | 16% | 16,67% | |
| 10-15 | 6,4% | 8,33% | |
| 15-20 | 9,6% | 10,41% | |
| 20-25 | 8,3% | 8,33% | 50% |
| 25-30 | 6,4% | 6,25% | |
| 30-35 | 6,4% | 4,16% | |
| 35-40 | 8,3% | 10,41% | |
| 40-45 | 4% | 2,1% | |
| 45-50 | 4% | 2,1% | |
| 50-55 | 7,2% | 12,5% | 50% |
| 55-60 | 5% | 4,16% | |
| Ukupno | 346 | 48 | 2 |



Sveučilište u Zagrebu
Fakultet prometnih znanosti
10000 Zagreb
Vukelićeva 4

IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI I SUGLASNOST

Izjavljujem i svojim potpisom potvrđujem kako je ovaj _____ završni rad
isključivo rezultat mog vlastitog rada koji se temelji na mojim istraživanjima i oslanja se na
objavljenu literaturu što pokazuju korištene bilješke i bibliografija.

Izjavljujem kako nijedan dio rada nije napisan na nedozvoljen način, niti je prepisan iz
necitiranog rada, te nijedan dio rada ne krši bilo čija autorska prava.

Izjavljujem također, kako nijedan dio rada nije iskorišten za bilo koji drugi rad u bilo kojoj drugoj
visokoškolskoj, znanstvenoj ili obrazovnoj ustanovi.

Svojim potpisom potvrđujem i dajem suglasnost za javnu objavu _____ završnog rada
pod naslovom **Eksploatacijske značajke trase autoceste A2 Zagreb-Macelj**

na internetskim stranicama i repozitoriju Fakulteta prometnih znanosti, Digitalnom akademskom
repozitoriju (DAR) pri Nacionalnoj i sveučilišnoj knjižnici u Zagrebu.

U Zagrebu, 9/7/2020

Student/ica:

Rados

(potpis)