

Građevinsko-prometni elementi u funkciji sigurnosti odvijanja prometa na auto-cestama

Frković, Matija

Master's thesis / Diplomski rad

2022

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

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:157:488030>

Rights / Prava: [Attribution 4.0 International](#)/[Imenovanje 4.0 međunarodna](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2024-08-09**



Repository / Repozitorij:

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



image not found or type unknown

**SVEUČILIŠTE U RIJECI
GRAĐEVINSKI FAKULTET**

Matija Frković

**Građevinsko-prometni elementi u funkciji sigurnosti odvijanja prometa
na autocestama**

Diplomski rad

Rijeka, 2022.

**SVEUČILIŠTE U RIJECI
GRAĐEVINSKI FAKULTET**

**Diplomski sveučilišni smjer
Smjer: Urbano inženjerstvo
Prometna tehnika**

**Matija Frković
JMBAG: 0114029562**

**Građevinsko-prometni elementi u funkciji sigurnosti odvijanja prometa
na autocestama**

Diplomski rad

Rijeka, rujan 2022.

IZJAVA

Diplomski rad izradio sam samostalno, u suradnji s mentoricom i uz poštivanje pozitivnih građevinskih propisa i znanstvenih dostignuća iz područja građevinarstva. Građevinski fakultet u Rijeci je nositelj prava intelektualnog vlasništva u odnosu na ovaj rad.

Matija Frković

U Rijeci, 27.10.2022.

ZAHVALA

Zahvaljujem mentorici prof. dr. sc. Aleksandri Deluka – Tibljaš, komentoru mag.ing.aedif. Davoru Hrvatinu i kolegi mag.ing.aedif. Ivanu Klasiću što su svojim iskusnim savjetima, smjericama i uložnim vremenom doprinijeli izradi ovog diplomskog rada.

Također, zahvala ide svim kolegama inženjerima iz tvrtke Signalinea d.o.o., na uložnom trudu, vremenu i ustupljenim materijalima koji su bili od velike koristi za izradu ovog diplomskog rada.

Veliko hvala ide svim mojim dragim kolegama i prijateljima koje sam stekao na fakultetu te mojoj obitelji koja mi je bila bezuvjetna podrška tijekom mog studiranja.

Diplomski rad nastao je kao rezultat rada u okviru projekta „Unaprjeđenje modela stjecanja stručnih kompetencija učenjem uz rad kroz izradu diplomskog rada (GraDiS)“.

Voditelj projekta: izv. prof. dr. sc. Silvija Mrakovčić

Financijer projekta: Sveučilište u Rijeci - programska linija A3 Praktične kompetencije za budućnost.

SAŽETAK

Prometna sigurnost jedna je od ključnih stavki funkcioniranja i pouzdanosti cestovnog prometnog sustava. Posljedice koje ostavljaju prometne nesreće neželjeni su dio kojeg se nastoji izbjeći djelovanjem na svim razinama, počevši od projektiranja prometne infrastrukture do djelovanja na pojedinca u svrhu shvaćanja ljudskih pogrešaka koje dovode do kobnih odluka s posljedicom nastanka prometne nesreće. Glavni naglasak u ovome radu je utjecaj građevinsko – prometnih elemenata na sigurnost odvijanja prometa na autocestama. Analiziran je utjecaj korištenja trajnih materijala za horizontalnu signalizaciju te uloga metode hrapavljenja u vidu poboljšanja hvatljivosti kolnika. Kroz navedene analize dokazat će se pozitivan učinak unaprijeđenja građevinsko – prometnih elemenata u vidu poboljšanja sigurnosti u prometu.

Ključne riječi: autocesta, horizontalna signalizacija, svojstva hvatljivosti kolnika, programi sigurnosti, prometna sigurnost, zaštitni cestovni sustavi

SUMMARY

Road traffic safety is one of the key elements of the functioning and reliability of the road transport system. The consequences left by road traffic accidents are an unwanted part that is tried to be avoided by actions at all levels, starting from the design of traffic infrastructure to acting on the individual in order to understand human mistakes that lead to fatal decisions resulting in the occurrence of a road traffic accident. The main emphasis in this work is the influence of construction and traffic elements on the safety of traffic on highways. The influence of the use of permanent materials for horizontal signalization and the role of the roughing method in terms of improving the grip of the pavement were analyzed. Through the aforementioned analyses, the positive effect of the improvement of construction and traffic elements in the form of improved traffic safety will be proven.

Key words: highway, road marking, grip properties of pavement, road restraint, safety programs, traffic safety, road restraint systems

SADRŽAJ

SAŽETAK.....	IX
SUMMARY	IX
POPIS SLIKA	XIII
POPIS TABLICA.....	XV
POPIS GRAFOVA.....	XVI
1. UVOD	1
2. SIGURNOST PROMETA NA AUTOCESTI	3
2.1. Uvodno o autocestama	3
2.2. Sigurnost prometa	7
2.3. Programi sigurnosti prometa	10
2.3.1. Švedski program sigurnosti- Vizija Nula	10
2.3.2. Nizozemski program sigurnosti cestovnog prometa - Održiva sigurnost.....	13
2.4. Nacionalni program sigurnosti RH	17
3. GRAĐEVINSKO-PROMETNI ELEMENTI SIGURNOSTI NA AUTOCESTI.....	21
3.1. Horizontalna signalizacija.....	21
3.1.1. Funkcija i vrste horizontalne signalizacije	22
3.1.2. Utjecaj horizontalne signalizacije od trajnih materijala na sigurnost prometa na autocesti	28
3.1.3. Analiza i usporedba mjerenja trenja na horizontalnim oznakama od trajnih materijala i boje.....	32
3.2. Zaštitni cestovni sustavi na autocesti	40
3.2.1. Uloga zaštitnih odbojnih ograda na autocesti.....	40
3.2.2. Uloga ostalih elemenata zaštitnih cestovnih sustava na autocesti.....	45
3.3. Hvatljivost kolnika	48
3.3.1. Teorija hvatljivosti	48
3.3.2. Ispitivanje svojstva hvatljivosti	56
3.3.3. Utjecaj i mjere poboljšanja hvatljivosti na autocesti.....	62
3.3.4. Analiza mjerenja LFC i MPD na određenim dionicama autoceste	67
4. ZAKLJUČAK	77
5. LITERATURA.....	79

POPIS SLIKA

Slika 1. Karakteristični presjek autoceste [2].....	3
Slika 2. Križanja sporednih pravaca s glavnim pravcem kod neprekinutih prometnih tokova [4]	4
Slika 3. Primjeri raskrižja izvan razine [4].....	5
Slika 4. Trase autocesta u RH [5].....	6
Slika 5. Udjeli država prema 3 različita parametra [7].....	8
Slika 6. Primjer hijerarhijske podjele cesta [13]	17
Slika 7. Uzdužna oznaka na autocesti [19].....	23
Slika 8. Postupak uklanjanja starih oznaka [19].....	24
Slika 9. Strukturirana horizontalna oznaka [19].....	29
Slika 10. Profilirana horizontalna oznaka [19].....	30
Slika 11. Skid Resistance - klatno [21]	33
Slika 12. Korelacija za prevođenje SRT vrijednosti u koeficijent trenja [17].....	34
Slika 13. Pješački prijelaz na Kukuljanovu.....	35
Slika 14. Pješački prijelaz na ulazu u KBC.....	36
Slika 15. Pješački prijelaz rotor Pećine.....	37
Slika 16. Pješački prijelaz Laginjina ulica	38
Slika 17. Pješački u Laginjinoj ulici.....	39
Slika 18. Vrsta vozila obzirom na brzinu, kut udara i masu vozila [18]	41
Slika 19. Razine zadržavanja obzirom na tip ispitnog vozila [18]	41
Slika 20. Razredi radne širine [18].....	42
Slika 21. Grafički prikaz radne širine, dinamičkog progiba i prodiranja vozila [18].....	42
Slika 22. Prikaz razina ozbiljnosti udara [18]	43
Slika 23. Primjer zaštitne odbojne ograde na autocesti [19]	45
Slika 24. Terminal klase P4 na autocesti [19]	46
Slika 25. Prijelazni element između dvaju sustava zaštitnih ograda [19]	47
Slika 26. Ublaživač udara [19].....	48
Slika 27. Dodir pneumatika kotača vozila i podloge [23].....	49
Slika 28. Adhezijske sile trenja između pneumatika i kolnika [17].....	50
Slika 29. Histerezna sila trenja između pneumatika i kolnika [17].....	51
Slika 30. Makrotekstura i mikrotekstura [17]	54
Slika 31. Utjecaj površine na koeficijent trenja [17].....	55
Slika 32. Dinamički uređaj – skidometar [23]	57

Slika 33. Uređaj Scrim [21].....	58
Slika 34. SARSYS Volvo friction tester (SVFT) [24]	59
Slika 35. Mjerno vozilo opremljeno laserskim profilometrom [25].....	60
Slika 36. Prikaz vrijednosti MTD i ETD [25]	61
Slika 37. Uzorak asfalta [26].....	61
Slika 38. Primjer stroja za povećanje hvatljivosti	64
Slika 39. Stroj za visokotlačni pritisak vodenim mlazom [24]	65
Slika 40. Stroj za hrapavljenje trimiks metodom [27].....	66
Slika 41. Glodalica za freziranje asfaltne površine [27].....	66
Slika 42. Surface friction trailer [28].....	68

POPIS TABLICA

Tablica 1. Širine prometnog traka za razne brzine Vp i terenske prilike [2].....	4
Tablica 2. Postotak nesreća po pojedinim vrstama javnih cesta u RH za razdoblje 2018. – 2021. godine [9]	9
Tablica 3. Prometne nesreće na autocestama i brzim cestama za razdoblje od 2018. - 2021. godine [9]	10
Tablica 4. Načela Održive sigurnosti [13]	15
Tablica 5. Sigurne brzine obzirom na vrste cesta [13]	16
Tablica 6. Broj prometnih nesreća prije i poslije poboljšanja horizontalnih oznaka na autocesti A556 u Ujedinjenom Kraljevstvu [20].....	29
Tablica 7. Inicijalne (početne) vrijednosti karakterističnih debeloslojnih oznaka na kolniku u novogradnji ili obnovi ceste [18]	31
Tablica 8. Vrijednosti karakterističnih debeloslojnih oznaka na kolniku tijekom garancijskog roka [18]	31
Tablica 9. Određivanje mjernih odsječaka [18]	32
Tablica 10. Klasifikacija vrijednosti SRT-a prema normi HRN EN 1436:2018.....	34
Tablica 11. Rezultati mjerenja SRT-a klatnom.....	35
Tablica 12. Duljine kočenja ovisno o uvjetima na cesti [23]	53
Tablica 13. Duljine kočenja u mokrim uvjetima na cesti [23]	53
Tablica 14. Razradba hvatljivosti površine kolnika na temelju koeficijenta trenja [17]	57
Tablica 15. Vrijednosti koeficijenta trenja (LFC) prema COST 354.....	68
Tablica 16. Vrijednosti srednje dubine profila (MPD) prema COST 354	69

POPIS GRAFOVA

Grafikon 1. Krivulja prometnih nesreća sa smrtnom posljedicom za razdoblje 2006. – 2020. [12]	13
Grafikon 2. Trend broja smrtno stradalih na hrvatskim prometnicama [15].....	18
Grafikon 3. Udio pojedine vrste vozila u prometnim nesrećama s poginulim osobama [15]	19
Grafikon 4. Utjecaj stanja vozne površine na adhezijsku i histereznu komponentu sile trenja [17]	52
Grafikon 5. Rezultati mjerenja koeficijenta trenja (LFC) 1.dionice prije sanacije	69
Grafikon 6. Rezultati mjerenja koeficijenta trenja (LFC) 1.dionice nakon sanacije	70
Grafikon 7. Rezultati mjerenja koeficijenta trenja (LFC) 2.dionice prije sanacije	71
Grafikon 8. Rezultati mjerenja koeficijenta trenja (LFC) 2.dionice nakon sanacije.....	72
Grafikon 9. Rezultati mjerenja MPD na voznom traku prije hrapavljenja.....	73
Grafikon 10. Rezultati mjerenja MPD na preticajnom traku prije hrapavljenja	73
Grafikon 11. Rezultati mjerenja MPD na voznom traku poslije hrapavljenja	74
Grafikon 12. Rezultati mjerenja MPD na preticajnom traku poslije hrapavljenja	75
Grafikon 13. Usporedba rezultata LFC prije i poslije sanacije	76

1. UVOD

Motorni promet danas ima funkciju povezivanja različitih točaka u prostoru te u tom smislu cestovna mreža ima funkciju osiguranja tranzita i pristupa uz zadovoljavajuću razinu prometne sigurnosti. Autoceste, kategorički najbitnija prometnica u sustavu prometne mreže ima funkciju povezivanja različitih točki na većem prostoru uz uvjet prometne infrastrukture koja osigurava razvijanje većih brzina time i brže povezivanje međusobno udaljenijih lokacija. Također funkcija bržeg tranzita autocestom omogućena je što takve prometnice tangiraju rubove gradskih cjelina ne zadirujući u središta. Sigurnost autocesta glavna je stavka normalnog odvijanja prometa pri većim brzinama gdje se nastoji kroz ulaganje u građevinsko-prometnu opremu, izbjeći teže posljedice eventualnih prometnih nesreća. Cilj ovoga rada jest upravo naglasak na opisivanje i unaprjeđenje građevinsko-prometnih elemenata infrastrukture i opreme u vidu poboljšanja sigurnosti na autocesti.

Već nekoliko godina sigurnost na cestama u Hrvatskoj je u padu, dok smrtni slučajevi na cestama opadaju, ozbiljne ozljede na cestama nastavljaju rasti. Ove činjenice zahtijevaju veći fokus na sigurnost cestovnog prometa. Prometni sustav i drugi čimbenici više nisu slični onima od prije deset godina, a nastavit će se mijenjati u narednim desetljećima. Na primjer, svjedočili smo promjenama u prometnoj strukturi, demografiji sudionika u prometu (osobito starenju), urbanizaciji i tehnološkom razvoju.

U cijelom svijetu, održiva sigurnost jedan je od najpoznatijih primjera sustavnog pristupa cestama sigurnosti, danas poznatije kao pristup sigurnom sustavu. Kasnije se shvatilo da ne samo ljudi, nego i cesta ili vozilo mogu uzrokovati sudare, najprije uglavnom kao zasebni čimbenici kasnije kao međusobno povezani čimbenici (više uzročnosti). S održivo sigurnim cestovnim prometnim sustavom cilj nam je maksimalno siguran prometni sustav.

Upravo kroz ovaj rad će se pojasniti veza između ciljeva programa sigurnosti i cestovne opreme koja je u službi poboljšanja prometne sigurnosti. Posljedice prometnih nesreća se osjećaju svakodnevno te imaju dalekosežnije posljedice od onakvih kakvim se trenutno smatraju. Osim onih tjelesnih posljedica u vidu lakših i težih ozljeđivanja sa i bez smrtnim slučajevima, posljedice se pojavljuju i u vidu materijalnih troškova prometnih nesreća.

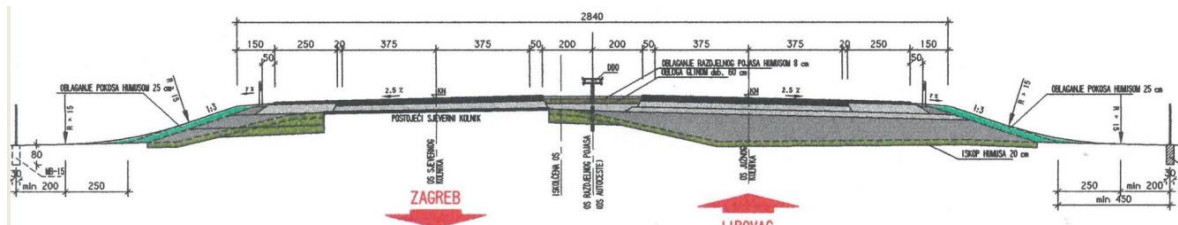
Analizom programa sigurnosti objasniti će se uloga ljudskih pogreški i procjene koje dovode do nastanka prometnih nesreća te kako u razvijenim europskim državama provode politiku objašnjavanja prometnih nesreća kroz analizu ljudskih pogrešaka pri vožnji ili u projektiranju prometne infrastrukture s ciljem dostizanja, u što kraće razdoblje, prometnih nesreća bez smrtnih posljedica.

Prometna oprema i infrastruktura analizirat će se kroz prizmu novih tehnologija u izradi horizontalne signalizacije i opisivanje elemenata zaštitnog cestovnog sustava. Poboljšanje građevinskih elemenata u vidu postizanja bolje hvatljivosti kolnika, koji procesom eksploatacije gubi svojstva i postaje jedan od glavnih faktora nastanka prometnih nesreća s težim posljedicama.

2. SIGURNOST PROMETA NA AUTOCESTI

2.1. Uvodno o autocestama

Cesta je svaka javna cesta, ulice u naselju i nerazvrstane ceste na kojima se obavlja promet [1]. Ceste dijelimo na autoceste, brze ceste, ceste namijenjene isključivo za promet motornih vozila, državne, županijske, lokalne i nerazvrstane ceste. Autocesta je javna cesta posebno izgrađena i namijenjena isključivo za promet motornih vozila, koja ima dvije fizički odvojene kolničke trake (zeleni pojas, zaštitnu ogradu i sl.) za promet iz suprotnih smjerova sa po najmanje dvije prometne trake širine najmanje 3,5 m, a s obzirom na konfiguraciju terena – i po jednu traku za zaustavljanje vozila u nuždi širine najmanje 2,5 m [1]. Trakovi za zaustavljanje uglavnom nisu predviđeni u tunelima dužim od 200 metara, na dijelovima gdje je predviđen trak za spora vozila, na objektima (vijadukti i mostovi) dužim od 200 metara, na mjestima gdje su predviđeni trakovi za isključenje i uključenje vozila na autocestu te na trasi autoceste gdje postoje ekonomsko-tehnički razlozi zbog kojih nije predviđen zaustavni trak. Na sljedećoj slici prikazan je karakteristični presjek autoceste. Ovakav karakteristični presjek odgovarao bi trasi autoceste koja se nalazi u zasjeku.



Slika 1. Karakteristični presjek autoceste [2]

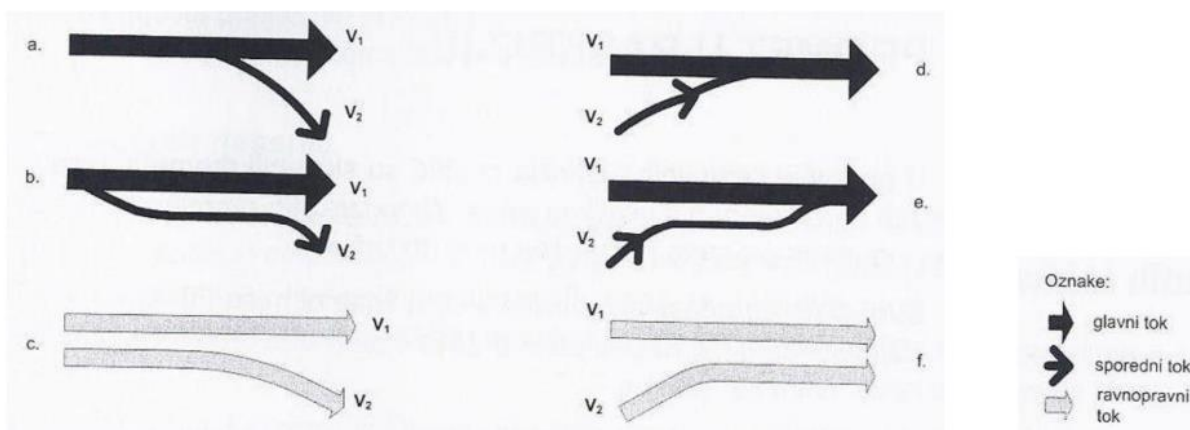
Na autocestama se postižu brzine uglavnom veće od 100 km/h, odnosno prema zakonu najvećom dopuštenom brzinom od 130 km/h iako nerijetko se događa da vozači razvijaju i veće brzine od dopuštene ili ograničene prometnim znakom. Upravo širina prometnog traka ovisi o veličini dopuštene brzine na autocesti, u tablici 1. navedene su širine trakova obzirom na veličinu brzine vožnje.

Tablica 1. Širine prometnog traka za razne brzine V_p i terenske prilike [2]

V_p (km/h)	≥ 120	100	90	80	70	60	50	40
š(m)	3,75	3,75	3,5	3,25	3,00	3,00	3,00(2,75)	2,75(2,50)

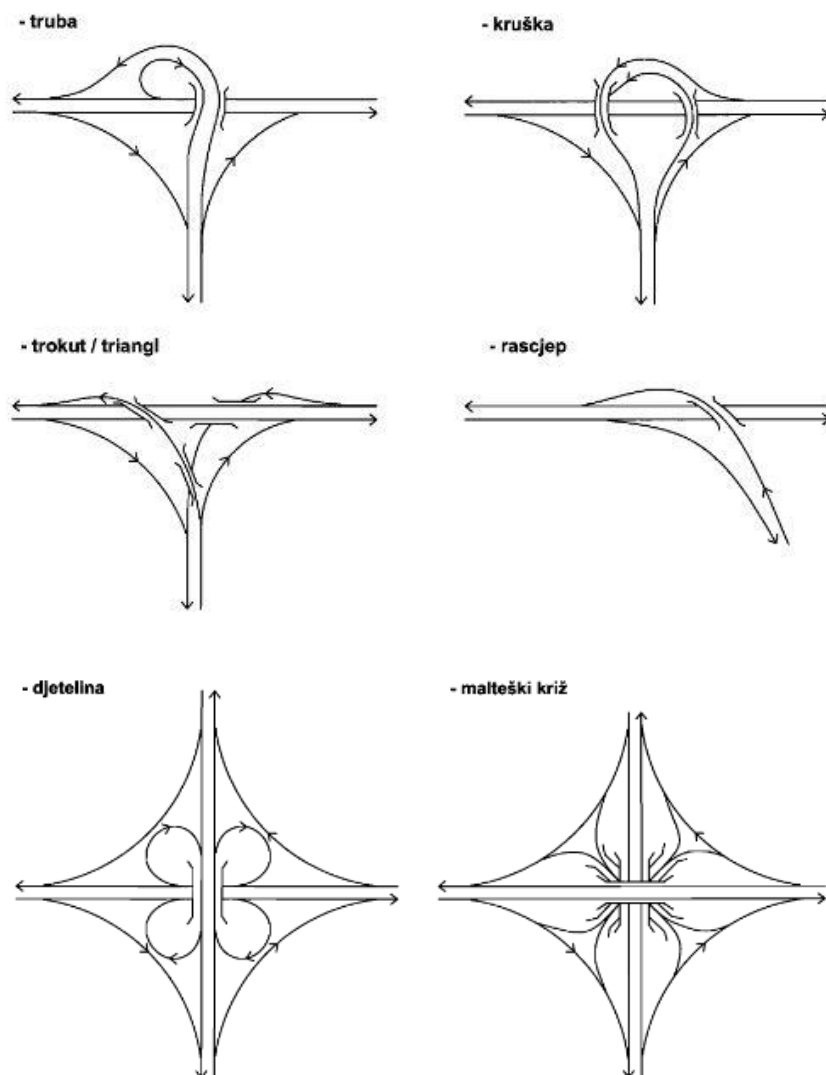
Ovakva pravila o širinama i dopuštenim brzinama usvojeni su u većem dijelu Europe, za primjer u SAD-u su pravila nešto drugačija, odnosno prvenstveno ovisi u kojoj saveznoj državi prolazi trasa autoceste. U ruralnim područjima odnosno kopnenim savezним državama, ograničenja brzina iznose do 130 km/h. Obalne savezne države uglavnom ograničavaju brzine na autocestama do 80-90 km/h. U nekim područjima ograničenja brzine na autocestama mogu biti znatno niža jer prolaze kroz opasna područja i gust promet poput primjerice centra Clevelanda, gdje je brzina ograničena na 80 km/h. Unatoč različitim ograničenjima brzine po pojedinim savezним državama, prema američkom standardnom sustavu za međudržavne autoceste, širina prometne trake iznosi 3,7 m. [3]

Raskrižja na autocestama su denivelirana te postoje izlazni i ulazni trakovi za isključenje odnosno uključenje vozila na autocestu osim toga tok vozila na autocesti je neprekinut dakle ne postoje vanjski utjecaji koji mogu prouzročiti prekide toka. Jedino interakcija između vozila može dovesti do prekida toka na autocesti. Kod neprekinutih prometnih tokova na autocesti, ulazne i izlazne trake se spajaju pod ostrim kutom s glavnim pravcem te za zadovoljavajuću prometnu sigurnost potrebno je osigurati dobru preglednost. Na slici 2. prikazane su vrste križanja sporednih prometnih trakova s glavnim pravcem u neprekinutom prometnom toku.



Slika 2. Križanja sporednih pravaca s glavnim pravcem kod neprekinutih prometnih tokova [4]

Kod neprekinutih prometnih tokova glavni uvjeti su podjednake brzine na glavnom i sporednom pravcu koji se priključuje, osigurana jednosmjerna vožnja i velika duljina preglednosti te da se sporedni pravci spajaju pod šiljastim kutom. Time se dobiva na sigurnom i ugodnom odvijanju prometa, vremenski prekidi su mali te se zadržava brzina na glavnom prometnom toku [4]. Na autocestama ponajviše radi većih projektnih i računskih brzina izvode se raskrižja izvan razine. Uglavnom se postavljaju na razmacima od 12 do 18 kilometara na autocestama pod naplatom gdje je PGDP veći od 20000. Neki od primjera raskrižja izvan razine koja se izvode na autocestama prikazani su na slici 3.



Slika 3. Primjeri raskrižja izvan razine [4]

Povijest hrvatskih autocesta

Početak povijesti hrvatskih autocesta započinje izgradnjom dionice autoceste od Orehovice do Kikovice koja je puštena u promet 1971. godine. Nakon navedene dionice, godinu nakon, puštena je u promet i autocesta Zagreb-Karlovac. 80-ih godina, etapno se gradila i puštala u promet autocesta od Zagreba prema današnjoj granici s Republikom Srbijom. Gradnja autocesta posebno se intenzivirala nakon 2000-ih čime se znatno poboljšala infrastruktura na autocesti [5]. Do 2018. godine izgrađeno je ukupno 1306,53 km i njima trenutno upravlja 3 koncesionara: Hrvatske autoceste d.o.o., Bina-Istra d.d. i Autocesta Zagreb-Macelj d.o.o. Većina trase autocesta u RH sastoji se od 2x2 traka, dok manji dio ukupnih trasa se sastoji od 2x1 ili 2x3 trase. Trenutno u RH postoji 11 trasa autocesta, najduža jest A1 od Zagreba do Ploča duljine 480,15 km te se planira produljenje iste do Dubrovnika. Osim navedene autoceste, među dužim autocestama je dionica A3 od Bregane do Lipovca (granični prijelaz sa Republikom Srbijom) zatim autocesta A4 od Zagreba prema Goričanu te autocesta A6 od Rijeke do Zagreba. Na sljedećoj slici prikazana je karta trasa autocesta u Republici Hrvatskoj. Punim linijama označene su dovršene trase, dok točkastim linijama označene su nedovršene ili trase u planu izgradnje.



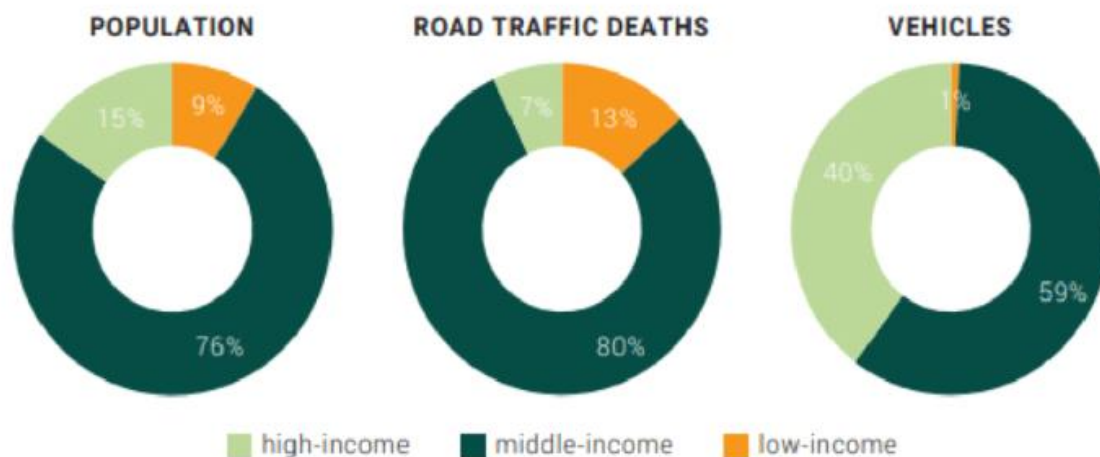
Slika 4. Trase autocesta u RH [5]

Na autocestama u RH razlikujemo zatvoreni i otvoreni sustav naplate. Kod zatvorenih sustava naplate se prilikom prolaza kroz naplatnu kućicu uzima naplatna kartica koja se očitava prilikom izlaska s autoceste te se cijena formira obzirom na dužinu korištenja i kategoriji vozila. Kod otvorenih sustava naplate početna naplatna postaja ujedno je i izlazna, takvi sustavi su obično na autocestama kraćih dionica. U mreži hrvatskih autocesta, otvoreni sustav autocesta postoji jedino na autocestama A7 (naplatna postaja Rupa) i A3 (naplatna postaja Bobovica).

Također, osim uobičajenog sustava naplate putem naplatne kartice, postoji i beskontaktni sustav naplate (ENC) koji funkcionira uz pomoć uređaja u vozilu. Vozilo opremljeno ENC uređajem se ne zaustavlja na naplatnim postajama već se automatski registrira i propušta na ulazu i izlazu s autoceste [5].

2.2. Sigurnost prometa

Autocesta je javna cesta osobitih prometno – tehničkih značajki čija je namjena isključivo prometovanju motornih vozila. Sigurnost prometa na autocesti odnosi se na metode i mjere, koje su izdane za smanjenje rizika od ozljede, smrti i štete za vozače, putnike [6]. Sigurnost prometa može se definirati kao izraz za stanje sigurnosti, zatim kroz kolektivne mjere i djelatnosti za poboljšanja stanja te kao predmet znanstvenog istraživanja. Prometne nesreće (dalje u tekstu PN) glavni su pokazatelj sigurnosti prometa na nekoj dionici ili cesti uz ostale pokazatelje poput prosječnog godišnjeg dnevnog prometa, broja mladih vozača na cestama, broju registriranih vozila, i drugo. Kroz pokazatelj prometne nesreće statistički se prate parametri poput razloga nastajanja PN, broja poginulih u prometu, broja lakše ili teže ozlijeđenih osoba u prometu, mjestu i vremenu njihovog nastajanja ili vremenskim uvjetima prilikom nastajanja PN. Prevencija prometnih nesreća može se sagledavati kroz individualni i kolektivni pristup. Djelovanje svakog pojedinca u vidu poštivanja propisa i zakon o sigurnosti prometa na cestama predstavlja individualni pristup. Kolektivni pristup su djelovanja kolektiva i organizacija poput predstavnika vlasti (Sabor i Vlada), ministarstva pomorstva, prometa i infrastrukture, državnih inspektorata i agencija te civilnih službi poput Hrvatskih autocesta, Hrvatskih cesta i sličnih državnih službi [6]. Na slici 5. prikazana je usporedba država s visokim (HIC), srednjim (MIC) i niskim (LIC) BDP-om po parametrima populacije, brojem poginulih u prometu te broju registriranih vozila.



Proportion of population, road traffic deaths, and registered motor vehicles by country 2016 [1]

Slika 5. Udjeli država prema 3 različita parametra [7]

Udjeli prema prva dva parametra su približno jednaki, dakle u državama sa srednjim BDP-om je najveći udio broja poginulih u prometnim nesrećama dok najveći udio u broju registriranih vozila jest u zemljama s visokim udjelom BDP-a.

Prometne nesreće nastaju pod kretanjem vozila i pješaka, opasnost od prometnih nesreća ovisi o stanju sustava čimbenika koji se pojavljuju. Tri osnovna podsustava čine cestovni promet, a to su čovjek, vozilo i cesta. Razmatranje prometne nesreće dijeli se na 5 čimbenika od kojih su 3 navedena kao osnovni podsustavi (čovjek, vozilo i cesta) dok druga dva čimbenika jesu promet na cesti koji obuhvaća primjerice pravila kretanja prometna cestama, upravljanje i kontrola prometa i sl., te incidentni čimbenik koji predstavlja sve elemente koji se neočekivano pojavljuju na kolniku primjerice atmosferske prilike, kamenje na cesti i blato na kolniku i sl. [8]. Od svih čimbenika „čovjek“ ima najvažniji utjecaj kao čimbenik sigurnosti prometa, čovjek kao vozač svojim osjetilima registrira sve moguće pojave u cestovnom prometu. Ponašanje čovjeka razlikuje se po svakom pojedincu te ono ovisi o stupnju obrazovanja, zdravstvenom stanju, starosti itd. te na njegovo ponašanje utječu:

- osobne značajke vozača;
- psihofizička svojstva;
- obrazovanje i kultura [8].

Vozilo kao čimbenik sigurnosti prometa utječe na 3 do 5% prometnih nesreća i to na način da je uzrok prometne nesreće tehnički kvar na vozilu. U praksi je utjecaj vozila zapravo mnogo veći. Kada je vozilo glavni uzrok prometne nesreće, uvijek se navode isključivo veliki kvarovi poput otkazivanja sustava kočnica, puknuća gume ili loma dijela vozila, dok manji kvarovi se ne spominju toliko iako također mogu biti glavni uzrok tehničkog kvara na vozilu primjerice, neujednačeni tlak u pneumatiku vozila ili neujednačena kočiona sila na svim kotačima i sl. Elementi vozila koji utječu na sigurnost prometa dijele se na aktivne i pasivne. Aktivni elementi jesu oni čija je zadaća da spriječe nastanak prometne nesreće dok pasivni elementi jesu oni koji nastoje ublažiti posljedice prometnih nesreća. Pod aktivne elemente spadaju kočnice, upravljački mehanizam, gume itd. dok pod pasivne elemente se ubrajaju karoserija vozila, vrata, sigurnosni pojasevi, naslon za glavu itd. [8].

Cesta kao čimbenik sigurnosti prometa može uzrokovati prometnu nesreću ukoliko na istoj postoje tehnički nedostaci koji mogu nastati prilikom projektiranja ili izvedbe ceste. Cestu kao čimbenik sigurnosti prometa obilježavaju; trasa ceste, tehnički elementi ceste, stanje kolnika (asfalta), oprema ceste (signalizacija, zaštitne ograde, portali, ublaživači udara i terminali), rasvjeta ceste, križanja, utjecaj bočne zapreke i održavanje ceste [8].

Prometne nesreće na autocesti mogu se svrstati među one s fatalnijim posljedicama u odnosu na ostale nesreće obzirom ponajprije na velike brzine koje se razvijaju na takvim vrstama cesta. Podaci iz Biltena iz 2018. , 2019, i 2021. godine prikazuju kako prometne nesreće na autocesti nisu najučestalija pojava gledajući cjelokupni broj prometnih nesreća na razini RH. Na sljedećoj tablici, može se vidjeti raspodjela prometnih nesreća po vrstama javnih cesta u RH za razdoblje od 2018. – 2021. godine s iznimkom 2020. godine kada su veći dio godine bile restrikcije radi zaraze COVID-19 virusom te je kretanje bilo ograničeno.

Tablica 2. Postotak nesreća po pojedinim vrstama javnih cesta u RH za razdoblje 2018. – 2021. godine [9]

Prometne nesreće u postocima								
Godine	Autoceste	DC u naselju	DC izvan naselja	ŽC u naselju	ŽC izvan naselja	LC u naselju	LC izvan naselja	Nerazvrstane ceste
2018.	5,2	5,3	10,3	3,2	3	0,4	1	71,8
2019.	5,5	2,3	8,7	1,6	3,2	0,2	1,5	77
2021.	5,7	10,4	8,2	0	3,2	0	1,6	81,2

Vidljivo je kako najveći udio u cjelokupnom broju prometnih nesreća zauzimaju nerazvrstane ceste unutar naselja, što se može razmatrati kroz činjenicu da na takvim cestama ima učestalih prekida toka prometa zbog velikog broja raskrižja i gustoće prometa. Broj poginulih ima sličnu raspodjelu kao i broj prometnih nesreća, u 2018. godini od ukupnog broja poginulih u prometnim nesrećama 8,8% poginulih je sudjelovalo u nesrećama na autocesti, u 2019. godini taj postotak je iznosio 9,4% dok u 2021. godini je postotak još porastao na 12,3%. U sljedećoj tablici prikazane su brojke prometnih nesreća na autocestama za razdoblje od 2018. – 2021. godine, također s iznimkom 2020. godine.

Tablica 3. Prometne nesreće na autocestama i brzim cestama za razdoblje od 2018. - 2021. godine [9]

Godine	Broj prometnih nesreća	S poginulima	S ozlijeđenima
2018.	1884	24	363
2019.	1727	23	342
2021.	1802	20	351

Iz navedenih podataka vidljivo je kako brojke prometnih nesreća se nisu puno mijenjale u periodu između 2018. i 2021. godine, no bitno je istaknuti kako je broj poginulih u prometnim nesrećama na autocestama u padu, dok broj ozlijeđenih ponovno blago raste nakon 2019. godine.

2.3. Programi sigurnosti prometa

Programi sigurnosti predstavljaju strategiju smanjenja prometnih nesreća odnosno smanjenje utjecaja ljudskih pogrešaka na nastanak prometnih nesreća s težim posljedicama. U ovom poglavlju biti će obrađene švedska Vizija Nula, nizozemska Održiva sigurnost te Nacionalni plan sigurnosti cestovnog prometa u RH.

2.3.1. Švedski program sigurnosti- Vizija Nula

Vizija Nula je globalni pokret za sprječavanje smrtnih slučajeva i ozbiljnih ozljeda povezanih s pristupom sigurnosti na cestama. Pretpostavka ove strategije je da su smrtni slučajevi i ozljede na cestama neprihvatljivi i da ih je potrebno spriječiti. Prvi put je implementirana kao nacionalna prometna politika u Švedskoj 1997. godine, Vizija Nula sada je usvojena u više od 20 država diljem svijeta. Glavni cilj ovog projekta cestovne sigurnosti u prometu u trenutku kad se implementirao ovaj projekt jest da se prepolovi broj smrtnih

slučajeva za razdoblje od 1997. – 2007., odnosno da funkcija i struktura cestovnog prometa se usklade sa zahtjevima cilja da u cestovnom prometu ne bude teško ozlijeđenih osoba ili žrtava sa smrtnim posljedicama. Temelj strategije Vizije Nula je siguran sustav – sigurnosni pristup koji prebacuje odgovornost s ljudi koji koriste ceste, na ljude koji ih projektiraju, integrirajući temeljna područja upravljanja i djelovanja kako bi se stvorio siguran sustav mobilnosti koji oprašta ljudske pogreške. Struktura učinkovite strategije Vizije Nula utjelovljuje pristup sigurnog sustava. Kako koncept politike Vizije Nula postaje sve popularniji, države moraju osigurati da se ključna načela i područja djelovanja sigurnog sustava primjenjuju na svaki novi kontekst, razmatrani u političkim dokumentima i u praktičnoj provedbi dok države razvijaju svoje strategije sigurnosti cestovnog prometa. Svi koji su uključeni u prometni sustav – od inženjera i projektanta do zakonodavaca i policajaca, dijele odgovornost sa sudionicima u prometu za projektiranje cestovnog sustava koji ne dopušta da ljudska pogreška ima ozbiljan ili kobni ishod. Integrirana područja djelovanja sigurnog sustava pomažu u izgradnji mreže mobilnosti koja poboljšava sigurnost za sve, istovremeno potičući zdraviju, pravedniju i održivu zajednicu [10].

Vizija Nula bazira se na 4 načela:

- Princip etike zasniva se na tome da su život i zdravlje ljudi najbitniji u vidu da kao sudionici u prometu imaju prednost nad ostalim sudionicima u prometu.
- Lanac odgovornosti drugi je princip koji se zasniva na tome da za sigurnost sistema odgovaraju stručne organizacije i korisnici. Sigurnost sistema provodi se kroz propise i zakone koje korisnici moraju poštivati, ukoliko se propisi ne poštuju, odgovornost se prebacuje na davatelje sistema.
- Cestovni i prometni sustavi trebali bi biti projektirani na način da smanje posljedice ljudskih grešaka i time umanje broj prometnih nesreća sa smrtnim posljedicama ili teškim ozljedama, tim zaključkom vodi se princip filozofije sigurnosti.
- Stimulirajući mehanizmi za promjene, četvrti je princip Vizije Nula, prema kojem davatelji i izvođači cestovno – prometnog sistema moraju se truditi kako bi se osigurala sigurnost svih sudionika u prometu, svaki korisnik mora biti spreman na promjene, da bi se ta sigurnost dostigla [10].

Za procjenjivanje brzine bitno je procijeniti cestovnu infrastrukturu u smislu sigurnosti cestovnog prometa, odnosno na tim pozicijama potrebno je modificirati infrastrukturu kako bi se prilagodila procijenjenoj brzini. Za sustav procjene sigurne brzine putovanja potrebno je uzeti u obzir četiri aspekta [11]:

- razdjelni dio između voznih traka;
- bankine/berme;
- raskrižja;
- nezaštićene sudionike u prometu.

Prema navedenim aspektima poduzeti će se sve radnje da infrastruktura ne bude glavni razlog nastanka prometne nesreće.

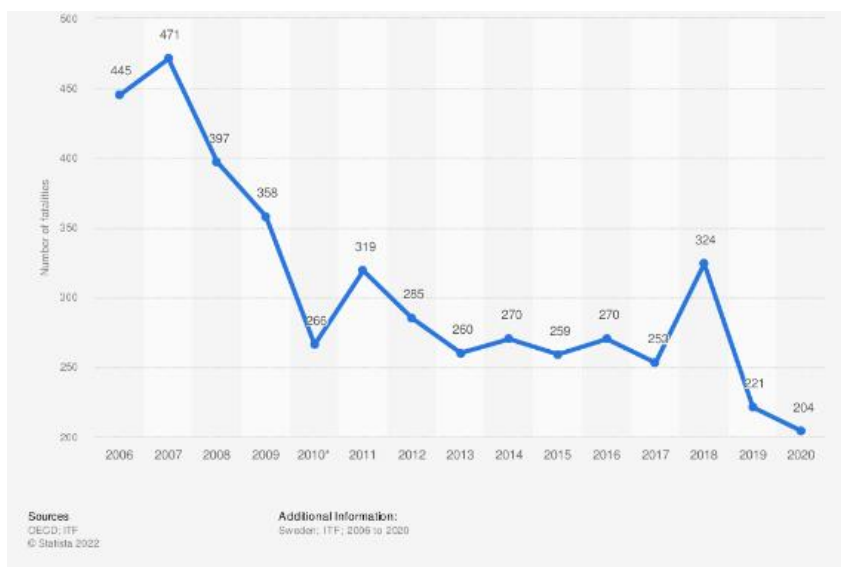
Glavna područja djelovanja vizije nula jesu:

- cestovna infrastruktura i okolina ceste;
- motorna vozila;
- transport;
- detaljna analiza prometnih nesreća s poginulima;
- upozorenje za sigurnosni pojas;
- „alkolock“;
- kamere za nadzor brzine;
- uporaba kacige kod biciklista i motorista [11].

Kroz navedena područja djelovanja Vizije Nula želi se postići da nijedna predvidljiva prometna nesreća ne smije ostaviti dugotrajne posljedice na zdravlje čovjeka. U konceptu Vizije Nula pretpostavlja se da je nemoguće u potpunosti izbjeći prometnu nezgodu stoga se koncept mora postaviti na način da se zna jasna ljudska tolerancija do koje posljedice prometnih nezgoda ne ugrožavaju dugotrajno ljudsko zdravlje.

Na sljedećem grafikonu prikazan je pad broja prometnih nesreća s posljedicom smrtnog slučaja nakon primjene Švedske vizije za razdoblje od 2006. – 2020.

Grafikon 1. Krivulja prometnih nesreća sa smrtnom posljedicom za razdoblje 2006. – 2020. [12]



Na temelju podataka iz grafikona, vidljivo je kako se broj prometnih nesreća sa smrtnom posljedicom u Švedskoj prepolovio. U 2020. godini zabilježen je najniži broj smrtnih slučajeva u prometu – 204. Zanimljiva je činjenica kako je pad broja prometnih nesreća obrnuto proporcionalan od porasta obujma cestovnog prijevoza putnika. Također u padu je i broj ozlijeđenih u cestovnom prometu, za primjer, u Švedskoj je 18500 osoba ozlijeđeno u prometnim nesrećama, što je za 26 % manja brojka u odnosu na 2007. godinu [12].

2.3.2. Nizozemski program sigurnosti cestovnog prometa - Održiva sigurnost

Održiva sigurnost jest naziv vizije sigurnosti prometa u Nizozemskoj koja je prenesena u konkretne akcijske planove iz 1990-ih koji su u to vrijeme bili implementirani u cestovni sustav. To su bili prvi koraci koji su poduzeti u vidu sprječavanja nepoželjnih posljedica prometnih nesreća. Koncept ove vizije jest taj da se putnički promet sagledava na jednaki način kao i transportni promet. Glavni projektni zahtjev u vidu sigurnosti u cestovnom prometu bi trebao biti proveden na isti način kao i u nuklearnim elektranama ili željezničkom prometu. U tom pogledu, bitan zadatak društva je ozbiljnije shvaćanje žrtava cestovnih prometnih nesreća, poznato je primjerice koliko su avionske nesreće, koje su daleko rjeđe od cestovnih nesreća, više popraćene i analizirane u društvu i javnosti. Održiva sigurnost objašnjava prevenciju prometnih nesreća odnosno gdje to nije izvedivo smanjiti učestalost (teških) ozljeda kad god je to moguće [13]. To se može postići aktivnim pristupom u kojem

se ljudske karakteristike koriste kao početna točka: pristup sustavu je orijentiran na korisnika. Ove karakteristike se s jedne strane odnose na čovjekovu fizičku slabost, a s druge strane na ljudske kapacitete i ograničenja. Ljudi redovito nenamjerno čine pogreške i nisu uvijek u mogućnosti da obavljaju svoje zadatke kako bi trebali. Prilagođavanjem okoliša (npr. ceste ili vozila) ljudskim karakteristikama i pripremom sudionika u prometu; osposobljavanjem i obrazovanjem, možemo postići siguran sustav cestovnog prometa. Najvažnija značajka sigurnog prometa jest to da pogreške koje su rezultat ljudskih krivih procjena odnosno prometni prekršaji koji uzrokuju nesreće, što manje ovise o odlukama pojedinca u prometu. Odgovornost za sigurno korištenje cesta ne bi trebala biti isključivo na sudionicima u prometu već i na one koji su odgovorni za projektiranje i funkcioniranje različitih elemenata prometnog sustava [13].

Prema nizozemskoj Održivoj sigurnosti siguran prometni sustav postiže se kroz tri područja:

- projektiranjem infrastrukture u skladu s ljudskim karakteristikama;
- osiguravanje da svi sudionici u prometu budu informirani i spremni za sudjelovanje u prometu u bilo kojem obliku;
- uvođenjem dimenzija vozila koje će maksimalno moći zaštititi ljude obzirom na ljudsku ranjivost.

Prema nizozemskoj Održivoj sigurnosti postoje 5 načela koja su temeljena na znanstvenim teorijama i istraživačkim metodama koja proizlaze iz disciplina psihologije i prometnog inženjerstva. U sljedećoj tablici prikazana su 5 načela i opis istih kojim se pojašnjava uloga svakog načela unutar Održive sigurnosti.

Tablica 4. Načela Održive sigurnosti [13]

Načelo održive sigurnosti	Opis
Funkcionalnost cesta	Funkcionalnost cesta, kroz ceste, raskršća i pristupne ceste, koje su hijerarhijski podijeljene obzirom na značaj
Homogenost prometa i /ili brzine i smjer	Jednakost u brzini i smjeru pri srednjoj i maksimalnoj brzini
Predvidljivost puta i sudionika u prometu te njihovo ponašanje obzirom na projektiranu cestu	Cestovni okoliš i ponašanje sudionika obzirom na dosljednost i kontinuitet u projektiranju cesta
Zaštita okoline i sudionika u prometu	Ograničenje ozljeda kroz opraštajuće ceste i previđanje ponašanje sudionika u prometu
Odgovornost na razini države ili regije	Sposobnost procjene vožnje sudionika u prometu

Princip funkcionalnosti Održive sigurnosti zasniva se na tome da ceste mogu imati isključivo jednu funkciju i da kao takve trebaju biti korištene od strane sudionika. Funkcija ceste može biti olakšavanje protoka prometa ili omogućavanje pristupa određitu odnosno pristupna cesta. Treća funkcija koja objedinjuje prve dvije navedene jest funkcija distribucije. Navedene tri kategorije, prema Održivoj sigurnosti, čine glavnu funkcionalnu kategorizaciju cestovne mreže. Razlike u brzini, smjeru i masi vozila mogu povećati rizik od sudara i upravo to je temelj načela principa homogenosti. Uzimajući u obzir ljudsku pogrešku važan dio u stvaranju održivog cestovnog prometnog sustava jest da se cestovna infrastruktura projektira na način da ljudske pogreške ne mogu uzrokovati posljedice poput teških ozljeda ili smrtnih ishoda.

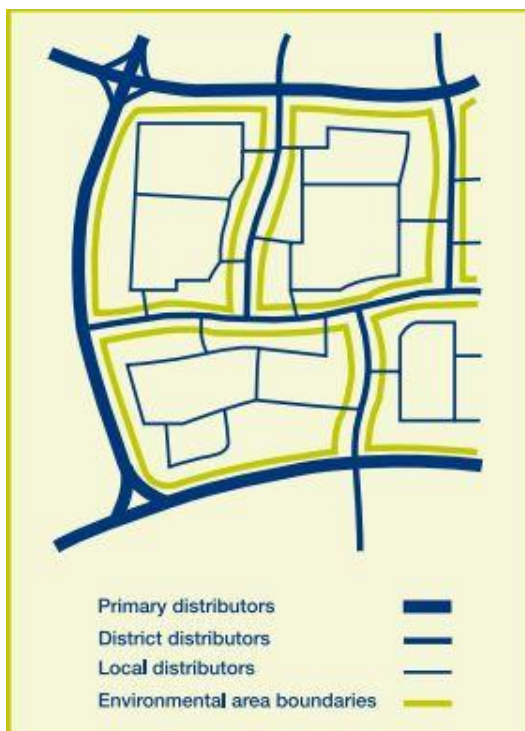
Osim toga prema ovom načelu jasno se prikazuje kako ceste na kojima se razvijaju visoke brzine, trebale bi biti fizičke odvojene. Sličan princip o sigurnim brzinama se koristi i u švedskoj Viziji Nula, u tablici 5. su prikazane sigurne brzine koje bi se trebale primijeniti na cestama ovisno o potencijalnoj međusobnoj interakciji vozila koja se može dogoditi te kategorizaciji ceste obzirom na količinu prometa.

Tablica 5. Sigurne brzine obzirom na vrste cesta [13]

Vrste cesta u kombinaciji s dopuštenim sudionicima u prometu	Sigurna brzina (km/h)
Ceste s mogućim konfliktom između vozila, sudionici u prometu nisu zaštićeni	30
Raskrižja s mogućim poprečnim konfliktom između vozila	50
Ceste s mogućim frontalnim konfliktom između vozila	70
Ceste bez mogućih frontalnih i poprečnih konflikata između sudionika u prometu	>100

Uz psihološke i fizičke karakteristike sudionika u prometu kao polazište za održivu sigurnost bitna je i funkcionalna kategorizacija cesta koja proizlazi iz prethodno navedenog principa funkcionalnosti cesta. Pojam funkcionalnosti cesta datira iz 1963. godine kada je objavljeno izvješće *Promet u gradovima* (Buchanan, 1963.) [14]. Izvješće je sadržavalo viziju gradova i sela u visoko motoriziranom društvu. Navedena je razlika između cesta koje imaju funkciju prometnog i tranzitnog toka te cesta koje služe kao pristup do odredišta, primjerice pristupna cesta do zgrada ili nekog objekta drukčije namjene. Razrada ove ideje rezultiralo je prijedlogom za hijerarhiju ruta na primarne, sabirne, lokalne i pristupne ceste. Na sljedećoj

slici prikazan je primjer podjele cesta. Primarne ceste (autoceste, brze ceste) okružuju naselje/grad s čvorištima i raskrižjima na koje se nadovezuju sabirne ceste te se dalje prema unutrašnjosti naselja nastavljaju na lokalne odnosno pristupne ceste.



Slika 6. Primjer hijerarhijske podjele cesta [13]

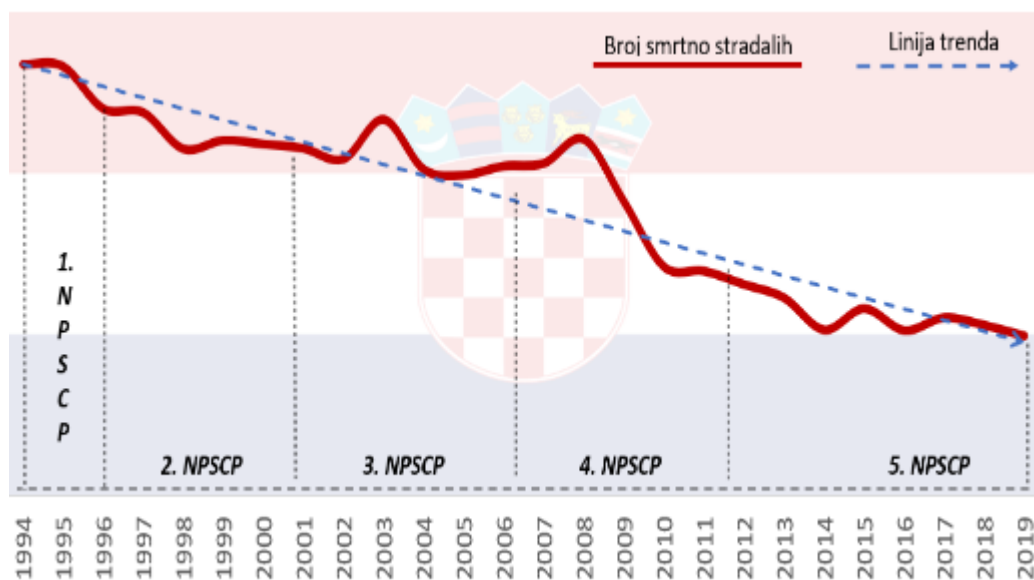
Funkcija autocesta i brzih cesta u ovakvoj hijerarhijskoj podjeli jest povezivanje većih cjelina (gradova) međusobno, odnosno prolazak tranzitnog prometa bez ulaska u središte naseljenog prostora. Glavne odnosno sabirne ulice predstavljaju spoj središta naselja s autocestom/brzom cestom, dok središta naselja isprepletana su lokalnim i stambenim ulicama prema samim jedinicama stanovanja odnosno gospodarskim zonama.

2.4. Nacionalni program sigurnosti RH

Svjesnost o spoznaji problema cestovne sigurnosti u Republici Hrvatskoj postignuta je odmah nakon proglašenja samostalne i suverene Republike Hrvatske. Dokaz svjesnosti problema stradavanja u cestovnom prometu potvrđen je kroz dosadašnju izradu i provedbu pet Nacionalnih programa sigurnosti cestovnog prometa [15]. Prvi Nacionalni program izdan je 1994. godine za naredno razdoblje od godinu dana, nakon prvog izdanja, svaki sljedeći bio je za razdoblja od 4 godine dok se od 2011. godine Nacionalni program izdavao za devetogodišnje razdoblje (2011. – 2020.). Donošenjem Nacionalnih programa trend broja

prometnih nesreća i ostalih posljedica nastalim u prometu smanjivao se iz godine u godinu osim anomalije rasta broja smrtno stradalih osoba u periodu 2007. – 2008. godine kako je i vidljivo na sljedećem grafikonu.

Grafikon 2. Trend broja smrtno stradalih na hrvatskim prometnicama [15]

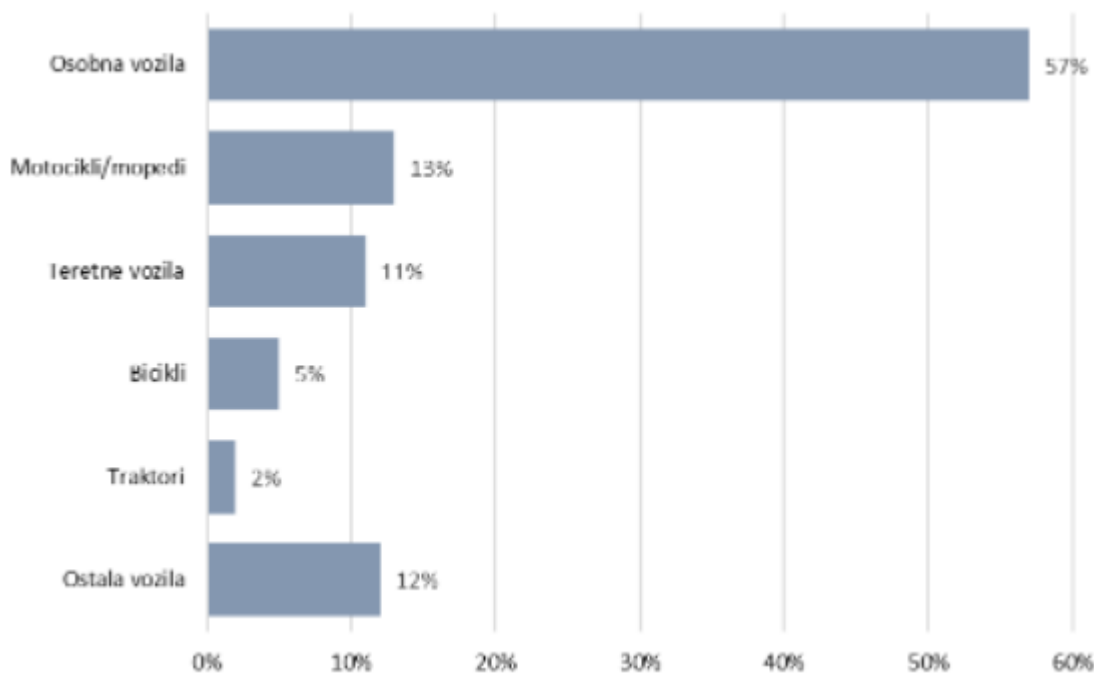


Pozitivni učinci donošenja Nacionalnog programa prometne sigurnosti u Hrvatskoj očituju se kroz niz parametara poput smanjenja broja prometnih nesreća i ozlijeđenih sudionika u istim, promjenama zakonskih regulativa sukladno europskim smjernicama, podizanje svijesti šire populacije, senzibiliranje javnog priopćavanja o problemu stradavanja u cestovnom prometu te uključivanje svih državnih tijela i stručnih organizacija [15].

Sukladno smjernicama definiranim Deklaracijom iz Vallette, Okvirnom politikom EU za sigurnost na cestama, 12 dragovoljnim globalnim ciljevima za sigurnost na cestama i Deklaracijom o sigurnosti prometa iz Stockholma, izrađen je šesti Nacionalni plan sigurnosti cestovnog prometa u RH za razdoblje od 2021. – 2030. godine. Plan je usklađen sa zakonskim regulativama sigurnosti cestovnog prometa. Analizom prometnih nesreća u razdoblju od 2010. – 2019. godine u RH, čovjek je glavni uzrok 57% teških prometnih nesreća, u kombinaciji s cestom taj postotak iznosi 35%, odnosno 6% u kombinaciji s vozilom. Također analizom su određeni i glavni uzroci teških prometnih nesreća, a to su brzina, alkohol i neoprezna vožnja s time da nerijetko budu u kombinaciji dva ili sva tri navedena uzroka. Prema izvješću Nacionalnog plana, ukupan broj prometnih nesreća u razdoblju od 2010. do 2019. godine, na području Republike Hrvatske smanjen je za 29,3% dok broj nesreća s poginulim i teže ozlijeđenim osobama je smanjen za 21,5% dakle prema

rezultatima analize razvidno je da smanjenje broja najtežih prometnih nesreća ne prati trend ukupnog smanjenja u promatranom desetogodišnjem razdoblju [15]. Na sljedećem grafikonu prikazan je udio pojedinih vrsta vozila koja su sudjelovala u prometnim nesrećama, najčešće su to osobni automobili s 57% od ukupnog broja nesreća s poginulim osobama, zatim motocikli i mopedi s 13% i teretna vozila s 11%. Ostala vozila su zastupljena u manjim postocima.

Grafikon 3. Udio pojedine vrste vozila u prometnim nesrećama s poginulim osobama [15]



Prethodno spomenute smjernice imaju važnu ulogu za europsku i svjetsku zakonsku regulativu iz područja sigurnosti cestovnog prometa, te se pomoću tih smjernica izradio Nacionalni plan sigurnosti cestovnog prometa za razdoblje od 2021. do 2030. godine. Globalni akcijski plan cestovne sigurnosti prometa za 2011. do 2020. godine dokument je kojeg je izradilo Udruženje sigurnosti cestovnog prometa Ujedinjenih naroda. „Siguran pristup sustavu“ temeljno je načelo ovog dokumenta s ciljem što bolje prilagodbe cestovnog sustava na ljudske pogreške. Eliminacija ljudskih pogrešaka u cestovnom prometu je teško izvediva, ali moguće je ublažiti posljedice istih. Deklaracija iz Vallete, potpisana je 2017. godine između ministara prometa zemalja članica Europske unije. Cilj deklaracije jest smanjiti broj smrtnih posljedica u prometnim nesrećama za 50 %. Kao obveza na države potpisnice, odredilo se jačanje mjera i izrada nacionalnih strategija odnosno planova koje za cilj imaju povećanje prometne sigurnosti. Stockholmska deklaracija potpisana je u veljači 2020. godine, ista je donesena na temelju opsežnog savjetovanja među članicama Svjetske

zdravstvene organizacije. Cilj ove deklaracije jest dostizanje 50% smanjenja broja prometnih nesreća sa smrtnim posljedicama do 2030. godine, odnosno cilja nultog smrtnog stradavanja i teškog ozljeđivanja sudionika u prometu do 2050. godine [15]. Među ostalim, cilj Nacionalnog programa jest i doprinos ostvarenju Plana Ujedinjenih naroda za održivi razvoj 2030. godine (UN Agenda 2030.) i cilju održivog razvoja (Sustainable Development Goals – SDG), kroz 13 područja djelovanja ostvariti provedbu mjera, te učiniti gradove i mjesta sigurnijim područjima.

EU komisija prema svojoj Bijeloj knjizi pod naslovom „Plan za jedinstveni europski prometni prostor – ususret konkurentnom prometnom sustavu u kojem se učinkovito gospodari resursima“ predstavlja 'viziju nula' prema kojoj EU želi postići približavanje niti jednom smrtnom slučaju u cestovnom prometu do 2050. godine. Ispitivanje tehničke ispravnosti bitna je stavka stvaranja sigurnog sustava vozila koja će tijekom uporabe biti sigurna i okolišno prihvatljiva. Takav sigurnosni sustav obuhvaća paket direktiva o tehničkoj ispravnosti vozila kroz direktive periodične tehničke preglede vozila (direktiva 2014/45 EU), preglede na cesti tehničke ispravnosti vozila koja se koriste za gospodarsku djelatnost cestovnog prijevoza (direktiva 2014/47/EU) i postupak registracije vozila kojima bi se omogućila suspenzija dozvole korištenja vozila kad vozilo predstavlja izravan rizik za sigurnost na cestama (direktiva 2014/46/EU) [16]. Tehnički neispravna vozila imaju utjecaj na sigurnost na cestama odnosno postoji veći rizik da izazovu prometne nesreće koje za posljedicu mogu imati teže ozljede i ozljede sa smrtnim ishodom. Pravovremenim otkrivanjem tehničkog nedostatka na vozilu može utjecati na brže ispravljanje vozila odnosno na sprječavanje prometne nesreće. Također vozila koja imaju neispravni sustav za nadzor emisija štetnih plinova uvelike utječu na zagađenje atmosfere odnosno okoliša stoga bi mjere poput periodičnog tehničkog pregleda utjecale na poboljšanje stanja okoliša smanjenjem prosječnih emisija iz vozila [16].

3. GRAĐEVINSKO-PROMETNI ELEMENTI SIGURNOSTI NA AUTOCESTI

Sigurnost svake ceste pa tako i autoceste osigurava se u fazi njezinog projektiranja, pravilnom izvedbom i opremanjem ceste te kroz eksploataciju ceste, pravilnim održavanjem, praćenjem pokazatelja sigurnosti odvijanja prometa i unaprjeđenjem infrastrukture. U ovome poglavlju obrađivati će se građevinsko – prometni elementi sigurnosti na autocesti. Prema zakonu o cestama u RH javne ceste čine prometni znakovi i uređaji za nadzor i sigurno vođenje prometa i oprema ceste (svjetlosni uređaji, telekomunikacijski stabilni uređaji, instalacije i rasvjeta u funkciji prometa, cestovne značke, brojila prometa, instalacije, uređaji i oprema u tunelima, oprema parkirališta, odmorišta i slično), građevine i oprema za zaštitu ceste, prometa i okoliša (snjegobrani, vjetrobrani, zaštita od osulina i nanosa, zaštitne i sigurnosne ograde, zaštita od buke i drugih štetnih utjecaja na okoliš i slično) [17].

Sigurno odvijanje prometa na autocestama postiže se unaprijeđenjem i nadogradnjom prometnih elemenata infrastrukture te održavanjem građevinskih elemenata. Pod pojmom prometnih elemenata u nastavku će se detaljno opisati prometna oprema, horizontalna signalizacija te zaštitni cestovni sustavi s naglaskom na zaštitne odbojne ograde, terminale i ublaživače udara. Također, prikazat će se jedna od metoda unaprijeđenja, odnosno održavanja građevinskih elemenata autoceste koja se odnosi na sanaciju površinskog dijela kolnika u pogledu povećanja otpornosti na klizanje (povećanje hvatljivosti kolnika).

3.1. Horizontalna signalizacija

Oznake na kolniku dio su prometne signalizacije koje se postavljaju u kombinaciji s ostalom signalizacijom na cesti. Kombinacija crte, natpisa i simbola oblikuje prometnu površinu na način da usmjerava promet i daje informacije koje su vezane uz vođenje prometa na kolniku. Sve horizontalne oznake na kolniku moraju se postaviti u skladu s Pravilnikom o prometnim znakovima, opremi i signalizaciji na cestama i važećim hrvatskim i europskim normama za horizontalnu signalizaciju te imaju jednaku važnost kao i prometni znakovi i svjetlosna signalizacija. Kada se postavlja u kombinaciji s ostalom prometnom signalizacijom važno je da su potpuno usklađene kako ne bi došlo do zbunjivanja vozača.

3.1.1. Funkcija i vrste horizontalne signalizacije

S obzirom na svoju funkciju horizontalna signalizacija dijeli se na:

- uzdužne oznake;
- poprečne oznake;
- ostale oznake na kolniku i predmetima uz rub kolnika [18].

Uzdužne oznake

Uzdužne oznake na kolniku su one oznake koje se obilježavaju paralelno s osi kolnika. One služe za označavanje načina upotrebe kolničke površine [18]. Uzdužne oznake dijele se na:

- razdjelne crte (puna i isprekidana crta);
- rubna crta;
- crta upozorenja.

Uzdužne oznake na autocestama moraju biti minimalne duljine 20 cm dok na ostalim cestama manje važnosti (državne, županijske i lokalne ceste) debljina iznosi između 10 i 20 cm. Izvedba uzdužnih oznaka može bit puna linija, isprekidana linija i dvostruka crta. Razdjelna crta služi za razdvajanje dvaju ili više prometnih trakova međusobno, na trasi autoceste uglavnom se izvodi kao isprekidana crta i to na način puna/prazna polja 6m/12m. Rubna crta nalazi se desno uz prometni trak i lijevo uz preticajni trak, označava rub kolnika te se može izvesti kao zvučna ili vibracijska linija u svrhu upozorenja vozača prilikom vožnje po istoj. Uzdužne oznake na kolniku izvode se samohodnim automatskim strojevima koji su podešeni na način da izvode propisanu geometriju oznaka i da se nanosi jednaka količina materijala duž mjesta izvedbe. Na sljedećoj slici prikazan je primjer uzdužnih oznaka na trasi autoceste.



Slika 7. Uzdužna oznaka na autocesti [19]

Ukoliko se uzdužne oznake izvode na novo-asfaltiranom kolniku prije izvođenja, potrebno je izvesti predmarkiranje. Predmarkiranjem se podrazumijeva točkanje ili izvedba tanke linije duž površine kolnika te se početak i kraj oznaka označava tankim poprečnim linijama kako bi se olakšao pristup i strojna izvedba. Prije početka izvedbe uzdužnih oznaka, potrebno je površinu provjeriti ukoliko se nalaze nečistoće poput ulja ili drugih masnih mrlja te da bude potpuno suha bez prašine i ostatka soli.

Poprečne oznake i ostale oznake na kolniku

Poprečne oznake na kolniku jesu crte zaustavljanja, kose crte i graničnici [18]. Zaustavne crte obilježavaju se punim ili isprekidanim poljima te mogu zahvatiti više prometnih traka. Označavaju granicu površine gdje vozač mora zaustaviti vozilo. Kose crte označavaju kraj ili početak autoceste ili otvaranje dodatnog prometnog traka.

Ostale oznake na kolniku jesu strelice za usmjeravanje prometa, crte za usmjeravanje prometa, natpisi, oznake za označavanje prometnih površina za posebne namjene, oznake za označavanje površine kolnika gdje je promet zabranjen i gdje nije dopušten promet vozila.

Izvedba horizontalne signalizacije

Prilikom izvedbe oznaka na kolniku vrlo su bitni i vremenski uvjeti u trenutku izvedbe, to dakako ovisi o vrsti materijala od kojih se izvodi horizontalna signalizacija odnosno izrađuje li se bojom ili trajnim materijalima. Ukoliko je potrebno uklanjanje starih oznaka na kolniku može se izvesti i uklanjanje istih. Prilikom izvedbe postupka uklanjanja starih oznaka, važno je da površinski sloj ostane neoštećen nakon brisanja. Na slici 8. prikazan je postupak strojnog uklanjanja oznaka jakim vodenim pritiskom između 2500 i 2800 bara. Bitno je prije uklanjanja oznaka postupak provjeriti na probnom uzorku kako bi se moglo provjeriti da je struktura probne površine nakon brisanja istovjetna strukturi okolne površine kolnika. Na autocestama nije dopušteno korištenje boja ili traka za prekrivanje starih oznaka.



Slika 8. Postupak uklanjanja starih oznaka [19]

Horizontalna signalizacija izvodi se od različitih vrsta materijala kojima je osnovna zadaća da osiguraju što bolju vidljivost posebice u lošim vremenskim uvjetima i noćnim uvjetima, dugotrajnost, veći koeficijent trenja klizanja i dr. Različite vrste horizontalne signalizacije se međusobno razlikuju obzirom na materijal izrade, način apliciranja na kolnik, vijek trajanja i cijenu. Prema materijalu izrade dijele se na; bojane oznake, oznake od plastičnih materijala i oznake izrađene trakom. Na europskim autocestama horizontalna signalizacija

izvodi se uglavnom u bijeloj boji osim privremenih oznaka (privremena regulacija prometa) koje se izvodi u žutoj boji.

Praksa u Europi i svijetu je da se oznake izvode od tri osnovne vrste materijala: boja, plastičnih materijala i traka [18].

a) Boja

Boje s aspekta vidljivosti i trajnosti predstavljaju najlošije materijale za izvođenje oznaka na kolniku. Naime, boje pripadaju u skupinu tanko slojnih materijala čija je debljina nanosa u pravilu između 300 i 600 μm . Upravo zbog relativno tankog sloja materijala brzo se troše i gube retroreflektirajuća svojstva zbog čega je i njihovo trajanje najkraće u odnosu na ostale materijale te uglavnom iznosi od 6 mjeseci do godinu dana. U područjima s jačim zimskim uvjetima njihovo trajanje je i kraće s obzirom da, uslijed prolaska ralica, dolazi do njihovog intenzivnog trošenja. S obzirom na svoju tankoslojnost, u bojane oznake se u pravilu ugrađuju standardni retroreflektirajući materijali zbog postizanja inicijalne retrorefleksije. Nadalje, u mokrim i kišnim uvjetima, vidljivost bojanih oznaka je puno lošija u odnosu na ostale materijale upravo zbog tankog sloja nanosa. Glavna prednost boja u odnosu na druge materijale je njihova niska cijena i jednostavnost izvođenja.

b) Plastični materijali

Za razliku od boje, plastični materijali se ubrajaju u skupinu debeloslojnih i višekomponentnih materijala za izvođenje oznaka na kolniku. Zbog kompaktnosti i veće gustoće samog materijala navedene materijale moguće je izvesti debljim slojem u odnosu na bojane oznake. U pravilu debljina nanosa plastičnih materijala iznosi od 2 do 3 mm za neprofilirane i strukturirane oznake te maksimalno do 6 mm za profilirane. Neprofilirane oznake karakterizira ravna površina, profilirane oznake uzdignuća odnosno profili, dok strukturirane oznake imaju različite pravilne ili nepravilne oblike od kojih je sačinjena oznaka [18]. Uporabom debeloslojnih materijala u velikoj se mjeri može povećati dnevna i noćna vidljivost oznaka na kolniku u svim vremenskim prilikama, isto kao i u noćnim i kišnim uvjetima smanjene vidljivosti i to tijekom cijele godine.

Glavna prednost profiliranih i strukturiranih oznaka je njihova bolja vidljivost u mokrim i kišnim uvjetima s obzirom na to da, zbog debljine nanosa, profili ostaju iznad sloja vode te osiguravaju odgovarajuću retrorefleksiju. Osim bolje vidljivosti za vrijeme mokrog kolnika, profilirane oznake, a u određenoj mjeri i strukturirane, upozoravaju vozače u trenutku

prelaska vozilom preko istih. Naime, s obzirom na profiliranost ili strukturiranost oznake pri prelasku kotača vozila preko njih dolazi do stvaranja vibracija i specifičnog zvučnog efekta čime se znatno može utjecati na učestalost prometnih nesreća koje su nastale uslijed skretanja vozila u suprotni trak ili izlijetanja vozila s ceste. Zbog veće debljine nanosa te same strukture materijala, vijek trajanja plastičnih oznaka u odnosu na bojane je znatno dulji te on iznosi u pravilu između tri i šest godina.

Plastični se materijali dijele u dvije osnovne skupine: termoplastika i hladna plastika [18]. Kod termoplastičnih materijala se prije izvođenja sirovina kuha u specijaliziranim kotlovima na temperaturi između 180°C i 200°C oko dva sata. Prednost je da kod procesa ugradnje termoplastike ne dolazi do nastajanja otpada. Tokom tvorničke proizvodnje u smjesu termoplastike dodaju se retroreflektirajući elementi kako bi se osigurala vidljivost oznaka tijekom dužeg vremenskog perioda s obzirom na debljinu nanosa materijala. Nakon kuhanja, termoplastika postaje polutekuća smjesa koja se prebacuje u stroj te pri povišenoj temperaturi izvodi na kolnik ekstruzijom ili „izvlačenjem“ (engl. Conventional or Ribbon Extrusion) ili špricanjem (engl. Spraythermoplastic). Termoplastika koja se izvodi „izvlačenjem“ se nanosi kao polutekuća masa. S druge strane, špricana termoplastika je nakon pripreme (kuhanja) tekućiji materijal zbog čega debljina nanosa u pravilu iznosi između 0,7 i 2,5 mm. Sprej termoplastika predstavlja kvalitetnu alternativu za bojane oznake i kvalitetno rješenje za obnovu postojećih debeloslojnih oznaka. Termoplastični materijali najbolje performanse imaju na asfaltnim kolnicima na kojima, zbog visokih temperatura pri izvođenju, dolazi do blagog topljenja gornjeg sloja asfalta te do termičkoga povezivanja plastike i bitumena.

Kod betonskih kolnika veza između površine i materijala je isključivo mehaničkoga karaktera te je potrebna upotreba primera. Zbog visoke temperature tokom ugradnje, termoplastika je manje osjetljiva na vanjsku temperaturu i pogodna za ugradnju tokom dužeg vremenskog perioda u godini.

U slučaju da je postojeća oznaka izvedena termoplastikom, najkvalitetnije rješenje ju je obnoviti ponovno s termoplastikom, no u tom slučaju treba voditi računa o debljini same postojeće oznake. Ako je postojeća oznaka relativno dobro očuvana, odnosno ima zadovoljavajuću debljinu nanosa tada se preporuča obnavljanje špricanom plastikom s obzirom na njen tanji sloj nanosa. Osiguravanje odgovarajućih uvjeta te pravilna priprema površine bitni su za kvalitetu i dugotrajnost termoplastičnih materijala. Prednost

termoplastike je brzina sušenja oznaka nakon aplikacije (promet se pušta već nakon 2-3 minute).

Hladna plastika se, kao i termoplastika, ubraja u skupinu debeloslojnih i višekomponentnih materijala za izvođenje oznaka na kolniku, no za razliku od termoplastike koja se zagrijava i kuha, hladna plastika se prije izvođenja miješa te se nanosi na kolnik hladna. Hladna plastika se bazira na kemijskoj reakciji dvaju odvojenih reaktanata odnosno komponenata koje se, ovisno o proizvođaču, miješaju u određenim omjerima (50 : 50, 98 : 2, itd.). Reaktivna se komponenta sastoji od metil metakrilat monomera, pigmenata, punila te retroreflektirajućih elemenata [18]. Druga komponenta dolazi u obliku tekućine ili praha te se dodaje prvoj komponenti i s njom se miješa, nakon čega je spremna za izvođenje. Također, kao i termoplastika, hladna se plastika izvodi ekstruzijom ili špricanjem. Uz staklene perle koje su ugrađene u sam materijal, pri izvođenju se dodaju dodatne staklene perle kako bi se osigurala inicijalna retrorefleksija. Nakon izvođenja hladna plastika se obično suši između 20 i 30 minuta te se nakon tog perioda preko nje može odvijati normalan promet.

c) Trake

Trake predstavljaju tvornički proizvedene materijale, odnosno oznake na kolniku koje se izvode valjanjem i utiskivanjem u vrući površinski sloj asfalta („In-lane“ metoda), lijepljenjem na površinu kolnika ili u posebno izgledane utore u kolniku („On-lane“ metoda). Kod „in-lane“ metode trake se postavljaju na novoasfaltirane kolnike neposredno nakon asfaltiranja dok je asfalt još vruć. Nakon postavljanja, valjkom se uvaljaju u površinski sloj asfalta čime se pojačava mehanička veza između materijala i podloge. Kod „on-lane“ metode trake se nalijepe pomoću posebnih ljepljiva na nove ili stare asfaltne i betonske kolnike.

S obzirom da se proizvode tvornički, staklene perle se ugrađuju u materijal industrijski prije postavljanja čime se omogućava njihov pravilan raspored, optimalno otisnuće i količina. Istovremeno, industrijska proizvodnja omogućuje dugotrajnost oznaka što ju posebno ističe u odnosu na druge materijale. Glavni nedostatak traka vezan je uz njihovu visoku cijenu što ograničava njihovu češću primjenu.

Prema načinu izvođenja, očekivanom životnom vijeku i sastavu materijala dijele se na stalne i privremene. Pod trakama za trajno označavanje kolnika podrazumijevaju se sve one trake čiji je vijek trajanja dulji od godinu dana. Najčešće se postavljaju na nove asfaltne površine iako se uz primjenu posebnog ljepljiva mogu postavljati i na stare asfaltne površine, kao i na kolnike koji su izrađeni od betonskog materijala. S druge strane, trake za privremene oznake

na kolniku upotrebljavaju se pri privremenim regulacijama prometa te se u skladu sa svrhom izvode „on-lane“ metodom, odnosno lijepljenjem na površinu kolnika.

3.1.2. Utjecaj horizontalne signalizacije od trajnih materijala na sigurnost prometa na autocesti

Uvođenje horizontalnih oznaka od trajnih materijala jedno je od najkvalitetnijih rješenja u vidu poboljšanja sigurnosti prometa na cestama. Obzirom na sve veću integraciju sustava napuštanja trake u vozilima, svakako veliku ulogu za unaprjeđenje tog sustava ima jasno označena horizontalna signalizacija. Takvi sustavi uvelike sprječavaju pojavu izlijetanja i križanja vozila čime dolazi do prometnih nesreća s fatalnim posljedicama, posebice na autocesti gdje se razvijaju veće brzine.

Na temelju analize, istraživanja i empirijskih dokaza, ERF, kao europska cestovna federacija, zastupa uvođenje politike intervencije i održavanja horizontalnih oznaka skraćeno nazvano 150 x 150 x 35. To bi značilo uvođenje minimalne širine uzdužne horizontalne oznake od 150 mm, te da učinkovitost takvih oznaka u vidu noćne vidljivosti (RL) ne smije biti ispod 150 mcd/lxm² (kandeli - mjer.jed. svjetlosne jakosti / luks - mjer.jed. osvjetljenja) u suhim uvjetima i noćne vidljivosti (RW2) ispod 35 mcd/lxm² u mokrim uvjetima ispunjenim kroz cijelu godinu [20]. Horizontalne oznake na cesti kao jedne od najkvalitetnijih rješenja u vidu poboljšanja sigurnosti, vozačima pruža prijeko potrebnu svijest o crtavanjem granica ceste, čime se znatno smanjuje mogućnost frontalnih sudara između vozila.

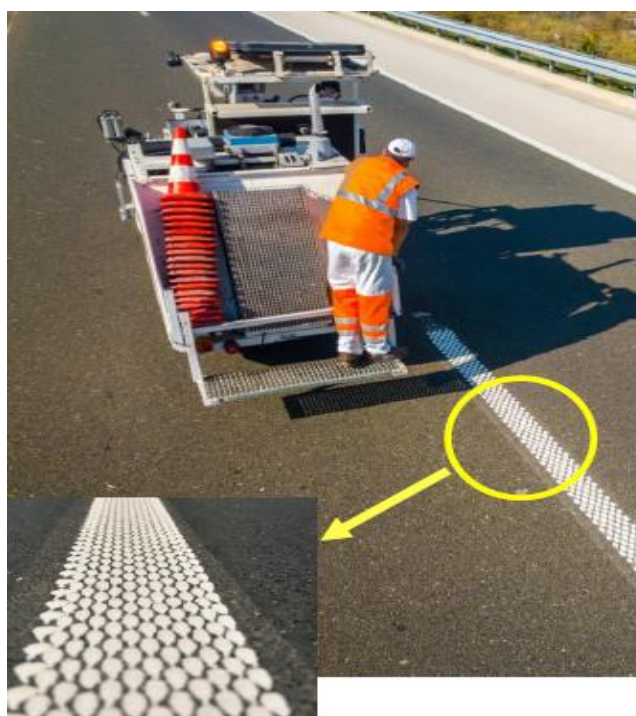
Nekoliko dosadašnjih studija pružilo je uvjerljive dokaze o vrlo korisnoj ulozi horizontalnih oznaka u vidu sigurnosti na cestama, za primjer provedena je analiza učinkovitosti horizontalnih oznaka u okrugu Cheshire u Velikoj Britaniji na autocesti A556, prije i poslije poboljšanja u vidu bolje noćne vidljivosti u kišnim uvjetima. U sljedećoj tablici prikazana je razlika u broj prometnih nesreća prije i poslije poboljšanja horizontalnih oznaka trajnim materijalima.

Tablica 6. Broj prometnih nesreća prije i poslije poboljšanja horizontalnih oznaka na autocesti A556 u Ujedinjenom Kraljevstvu [20]

Status	Ukupan broj prometnih nesreća	S ozbiljnim posljedicama	S lakšim posljedicama	Nesreće u noćno-kišnim uvjetima
Prije poboljšanja	16	2	14	4
Poslije poboljšanja	6	0	6	0

Primjeri iz prakse

Jedan od primjera strukturiranih oznaka jest multi-dot, komercijalni naziv horizontalne oznake koja se izvodi od termoplastike sa svojstvima bolje vidljivosti u noćno-kišnim uvjetima. Prelaskom vozila preko takvih oznaka dolazi do zvučnog efekta koje šalju signale vozačima. Prednost multi-dota među ostalim jest olakšana odvodnja vode koja prolazi između kapljica izvedene oznake. Na sljedećoj slici prikazan je primjer strukturirane oznake tipa multi-dot.



Slika 9. Strukturirana horizontalna oznaka [19]

Strukturirana horizontalna oznaka tipa multi-dot od svih oznaka najkvalitetnije ispunjava sve najvažnije zahtjeve vidljivosti norme EN 1436 (koeficijenta retrorefleksije u dnevnim suhim uvjetima (Qd), noćnim uvjetima (RL) i noćno-kišnim uvjetima (RW)).

Profilirane horizontalne oznake također se često izvode na autocesti i takvom tipu horizontalnih oznaka pripadaju oznake sa vibro efektom. Osim što imaju zvučna svojstva, neki od tipova profiliranih oznaka imaju svojstva i drenaže odnosno odvodnje vode poput chess (engl. šah) linije kroz čije profilirane dijelove prolazi voda. Na slici 10. je prikazan primjer chess-line oznake.



Slika 10. Profilirana horizontalna oznaka [19]

Nakon izvedbe debeloslojnih oznaka, utvrđuju se karakteristike najmanje 48 sati ili najviše nakon jednog mjeseca od izvođenja radova, iste moraju biti minimalne prema zadanim vrijednostima u tablici 7.

Tablica 7. Inicijalne (početne) vrijednosti karakterističnih debeloslojnih oznaka na kolniku u novogradnji ili obnovi ceste [18]

Značajke oznaka na cesti	Propisane vrijednosti	
svjetlosni faktor (β)	B3	$\geq 0,40$
protukliznost (SRT)	S1	≥ 45
noćna vidljivost (RL)	R5	≥ 300
dnevna vidljivost (Qd)	Q4	≥ 160
noćna vidljivost u kišnim uvjetima (RW)	RW3	≥ 50

Nakon perioda od jednog mjeseca i tijekom garancijskog roka, karakteristike oznaka na kolniku moraju zadovoljavati minimalne vrijednosti dane u tablici 8.

Tablica 8. Vrijednosti karakterističnih debeloslojnih oznaka na kolniku tijekom garancijskog roka [18]

Značajke oznaka na cesti	propisane vrijednosti	
svjetlosni faktor (β)	B3	$\geq 0,40$
protukliznost (SRT)	S1	≥ 40
noćna vidljivost (RL)	R3	≥ 150
dnevna vidljivost (Qd)	Q2	≥ 100
noćna vidljivost u kišnim uvjetima (RW)	RW2	≥ 35

Postupkom mjerenja obuhvaća se mjerenje debljine suhog sloja boje, ocjenu dnevne i noćne vidljivosti izvedenih oznaka u suhim uvjetima, noćna vidljivost za vrijeme kišnih uvjeta te mjerenje otpornosti na klizanje izraženo u SRT jedinicama. Mjerenja se provode najranije 30 dana odnosno najkasnije 60 dana nakon izvedbe debeloslojnih oznaka na kolniku. Postupak mjerenja retrorefleksije (dnevne i noćne vidljivosti) provodi se na način da se odredi opseg mjerenja. Isti se određuje obzirom na dnevno izvršenje radne grupe koja izvodi oznake na kolniku [18].

Mjerni odsječci se određuju prema broju izvedenih kilometara uzdužnih oznaka u jednome danu. U tablici 9. navedena su određivanja mjernih odsječaka prema izvedenim kilometrima uzdužnih oznaka.

Tablica 9. Određivanje mjernih odsječaka [18]

Duljina uzdužnih oznaka izvedenih u jednome danu (km)	Duljina ostalih oznaka izvedenih u jednome danu (m ²)	Broj mjernih odsječaka
< 1	< 120	1
1 do 5	120 do 600	2
> 5 do 10	> 600 do 1200	3
> 10	> 1200	4

Mjerni odsječak definira se na sljedeći način, za pune uzdužne oznake iznosi 100 metara duljine dok za isprekidane uzdužne oznake iznosi 10 duljina isprekidane linije (puna + prazna) [18]. Unutar svakog mjernog odsječaka kod punih uzdužnih oznaka bira se 5 mjernih točaka na razmaku od 25 metara dok kod isprekidanih uzdužnih oznaka, mjerne točke su na sredini svake druge pune linije.

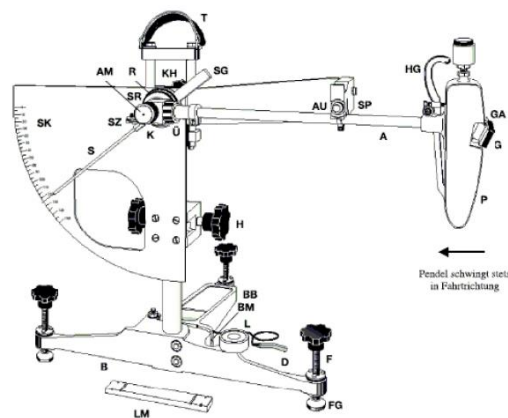
3.1.3. Analiza i usporedba mjerenja trenja na horizontalnim oznakama od trajnih materijala i boje

U svrhu usporedbe materijala boje s trajnim materijalima koji se koriste za izvedbu horizontalnih oznaka provedena je analiza trenja na istima. Zbog sigurnosti prilikom mjerenja trenja, odabrane lokacije mjerenja nalaze se na gradskim prometnicama obzirom da isti materijali za horizontalne oznake se koristi prilikom izrade istih i na autocestama. Analizom će se prikazati bolji učinak trajnih materijala u odnosu na bojani materijal. Time će se dokazati važnost primjene trajnih materijala na horizontalnim oznakama na autocesti, gdje su stavke poput trenja na horizontalnoj signalizaciji, bitne za osiguranje visoke razine prometne sigurnosti.

Mjerenje trenja provelo se na sljedećim lokacijama:

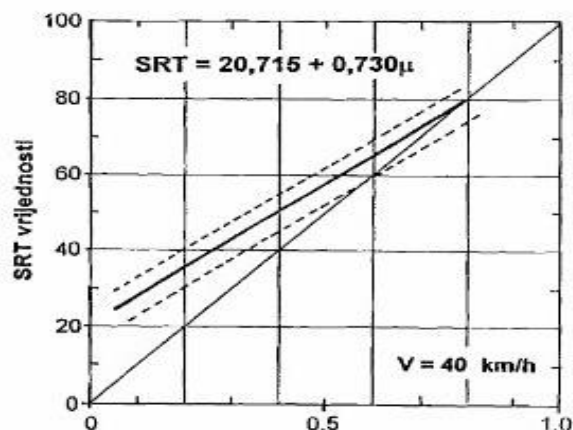
- pješački prijelaz na Kukuljanovu na županijskoj cesti na Kukuljanovu (oznake izvedene prije više godina – izvedeno u bijeloj boji.)
- pješački prijelaz na ulazu u novu bolnicu na Kampusu (oznake izvedene 2 mjeseca prije mjerenja – izvedeno u bijeloj boji).
- pješački prijelaz na privozu rotora Pećine (oznake izvedene prije 2 godine – izvedeno od debeloslojnog trajnog materijala).
- pješački prijelaz u blizini srednje glazbene škole u Laginjinoj ulici. (oznake izvedene nekoliko dana prije mjerenja – izvedeno od debeloslojnog trajnog materijala).

Mjerenje se izvelo uređajem Skid Resistance – klatnom koje je ustupljeno od strane Laboratorija za prometnice Građevinskog fakulteta u Rijeci. Navedenim uređajem mjerila se hvatljivost na horizontalnim oznaka koje je izraženo u SRT vrijednostima te se rezultat mjerenja prikazuje kao prosječna vrijednost SRT-a nakon 5 provedenih mjerenja po pojedinoj lokaciji. Na sljedećoj slici prikazan je uređaj Skid Resistance – klatno kojim se mjerilo trenje na horizontalnim oznakama.



Slika 11. Skid Resistance - klatno [21]

Uređaj se sastoji od mjerne ruke koja se otpušta od okvira te pomoću gumenog klizača koji se nalazi na slobodnom kraju mjerne ruke, klizi po površini te detektira vrijednost na skali nakon što ruka klatna prođe kolnikom. SRT vrijednosti mjere se u rasponu od 0 do 100, primjerice rezultati koji imaju vrijednost SRT-a veću od 60 smatraju se dobrim rezultatima odnosno da kolnik ima zadovoljavajuću hvatljivost dok kolnici s vrijednošću manjom od 45 imaju lošu hvatljivost odnosno smatra se da je kolnik moguće sklizak. Rezultate dobivene pomoću uređaja s klatnom potrebno je prevesti u vrijednosti koeficijenta trenja stoga je uspostavljena sljedeća korelacija koja je prikazana na slici 12.



Slika 12. Korelacija za prevođenje SRT vrijednosti u koeficijent trenja [17]

Na ordinati su prikazane SRT vrijednosti, dok na apscisi se nalaze vrijednosti koeficijenta trenja, preko formule naznačene u grafu izračunava se SRT vrijednost i obratno, formulacija vrijedi za brzine od 40 km/h.

Norma HRN EN 1436:2018 – Materijali za oznake na kolniku, propisuje klasifikaciju rezultata SRT-a mjerenih klatnom. SRT vrijednosti klasificiraju se na 6 razreda (S0 – S5). S0 razred predstavlja nezadovoljavajuću razinu SRT-a te granična vrijednost iznosi 45. Sve vrijednosti iznad 45 smatraju se zadovoljavajućima. U sljedećoj tablici prikazana je klasifikacija SRT vrijednosti prema navedenoj normi.

Tablica 10. Klasifikacija vrijednosti SRT-a prema normi HRN EN 1436:2018

Razred	Minimalna vrijednost SRT
S0	< 45
S1	> / = 45
S2	> / = 50
S3	> / = 55
S4	> / = 60
S5	> / = 65

Mjerenje klatnom provelo se na način da se izvršilo 5 mjerenja i od navedenih 5 mjerenja dobila se prosječna SRT vrijednost. Za vrijeme mjerenja bili su suhi vremenski uvjeti odnosno suh kolnik i temperatura iznad 10 Celzijevih stupnjeva. Mjerenja hvatljivosti klatnom bila su u skladu s normom HRN EN 13036-4:2012, te su dobivene vrijednosti uspoređene s graničnom vrijednošću. U sljedećoj tablici prikazani su rezultati mjerenja.

Tablica 11. Rezultati mjerenja SRT-a klatnom

	1	2	3	4	5	prosjeak
lokacija Kukuljanovo (pješački prijelaz) - boja, starost : više godina	46	48	48	48	47	47,4
lokacija KBC (pješački prijelaz) - boja , starost : 2 mjeseca	88	89	88	88	89	88,4
lokacija rotor Pećine (pješački prijelaz) – debeloslojni trajni materijal , starost : 2 godine	89	90	90	90	91	90
lokacija Laginjina ulica (pješački prijelaz) – debeloslojni trajni materijal, starost : 5 dana	90	91	90	90	91	90,4

Prema dobivenim rezultatima najniže SRT vrijednosti izmjerene su na lokaciji pješačkog prijelaza na Kukuljanovu na županijskoj cesti (slika 13.). Na navedenom pješačkom prijelazu prosječna izmjerena vrijdnost SRT-a iznosila je 47.4. Horizontalne oznake na ovoj lokaciji izvedene su u bijeloj boji, nekoliko godina prije izvršenog mjerenja.



Slika 13. Pješački prijelaz na Kukuljanovu

Navedenom pješačkom prijelazu potrebna je kvalitetna obnova obzirom da rezultati trenja koji su izmjereni, prema klasifikaciji COST 354 pripadaju S1 razredu. Navedeni pješački prijelaz karakterizira intezivan promet posebice teških teretnih vozila te se u blizini nalazi nekoliko trgovačkih centara što uzrokuje i veći broj prelazaka pješaka navedenim prijelazom.

Sljedeća lokacija (slika 14.) jest pješački prijelaz na ulazu u novoizgrađenu bolnicu na Kampusu. Horizontalne oznake na navedenoj lokaciji izvedene su 2 mjeseca prije mjerenja te su izvedene u bijeloj boji s dodatkom staklene perle.



Slika 14. Pješački prijelaz na ulazu u KBC

Mjerenjem su dobivene vrlo visoke vrijednosti SRT-a, prosječna vrijednost iznosila je 88.4. Razlog tome jest novo ugrađeni asfaltni zastor kojim nije prolazio intenzivniji promet obzirom da navedena bolnica još nije otvorena za javnost. Rezultati SRT-a pratit će se tijekom budućeg perioda nakon što kolni pristupi oko bolnice budu otvoreni za prometovanje.

Sljedeće dvije lokacije su izvedene od debeloslojnog trajnog materijala, prvi lokalitet jest na Pećinama, točnije pješački prijelaz novoizgrađenog rotora na križanju privoza državne ceste 8. Za mjerenje je odabran pješački prijelaz na privozu koji dolazi iz smjera Kostrene prema

rotoru. Pješački prijelaz izveden je od debeloslojnog trajnog materijala termoplastike bijele boje s premiksom staklene perle, dvije godine prije mjerenja. Na sljedećoj slici prikazan je navedeni lokalitet mjerenja.



Slika 15. Pješački prijelaz rotor Pećine

Za mjerenje trenja odabran je segment (rebro) pješačkog prijelaza preko kojeg prolazi trajektorija većine vozila koja se kreće navedenim privozom. Prosječna izmjerena vrijednost trenja iznosila je 90, što su izuzetno dobri rezultati obzirom na intenzivan promet koji prolazi privozom na kojem je izvršeno mjerenje. Prednost trajnih materijala upravo jest u tome što imaju određenu debljinu (nakon nanošenja, 2-3 mm) te im je trajnost veća nego horizontalnim oznakama od boje. Asfaltni kolnik na ovoj lokaciji također je izveden u istom periodu kad i horizontalne oznake obzirom da je rotor novo prometno rješenje navedenog raskršća. Posljednja lokacija na kojoj se izvršilo mjerenje SRT trenja jest u Laginjinoj ulici (slika 16.).



Slika 16. Pješački prijelaz Laginjina ulica

U navedenoj ulici izveden je pješački prijelaz od debeloslojnog trajnog materijala i to na način da su segmenti (rebra) pješačkog prijelaza izvedena na podlozi od crvene boje koja je također izvedena od debeloslojnog trajnog materijala. Navedeni pješački prijelaz izveden je nekoliko dana prije mjerenja, te je isti u odnosu na prošlo stanje unaprijeđen obzirom da je izveden od trajnih materijala i na crvenoj podlozi čime je postao vidljiviji vozačima te se podigla razina prometne sigurnosti na toj lokaciji obzirom da je u blizini Srednja glazbena škola zbog čega se veliki broj školske djece koristi upravo navedenim pješačkim prijelazom. Nakon 5 provedenih mjerenja, prosječna vrijednost SRT-a iznosila je 90,4 što su također kao i na prethodnoj lokaciji, odlični rezultati. Na sljedećoj slici prikazan je uređaj Skid Resistance – klatno prilikom mjerenja SRT-a na navedenom pješačkom prijelazu.



Slika 17. Pješački u Laginjinoj ulici

Razlika u odnosu na ostale lokacije na kojima se provodilo mjerenje jest u stanju kolničke konstrukcije. Naime, u Laginjinoj ulici najlošije je stanje asfaltne površine obzirom da ista već duže vrijeme nije obnovljena te se u navedenoj ulici u više navrata izvodilo manjih prekopa čime ova ulica nema jedinstvenu asfaltnu podlogu s istim svojstvima na dužoj relaciji. Iz tog razloga mjerilo se trenje na asfaltnoj površini neposredno prije pješačkog prijelaza te je prosječna vrijednost SRT-a iznosila 53 što je dosta manja vrijednost u odnosu na izmjerenu na pješačkom prijelazu.

Nakon provedenih mjerenja, primjetna je razlika vrijednosti SRT-a između lokacija na kojima su se horizontalne oznake izvodile u boji i od trajnih materijala, odnosno kako su SRT vrijednosti bile veće na oznakama izvedenim od debeloslojnih trajnih materijala. Na temelju toga može se zaključiti kako SRT vrijednost na horizontalnim oznakama izvedenih u boji uvelike opada nakon svake obnove. Horizontalne oznake od bojanog materijala u pravilu se obnavljaju svakih 6 mjeseci do godinu dana poradi poboljšanja retrorefleksije, ali time se snižava vrijednost SRT trenja. Također horizontalne oznake od bojanih materijala karakterizira manja konzistentnost i brže trošenje prilikom eksploatacije u odnosu na horizontalne oznake izvedene od trajnih materijala. Prednosti horizontalnih oznaka izvedenih od trajnih materijala jest u tome što takve oznake imaju veću trajnost, bolju vidljivost u noćno-kišnim uvjetima i duže zadržavaju ista svojstva prilikom eksploatacije u odnosu na horizontalne oznake izvedene u boji što je izuzetno bitno za podizanje razine sigurnosti prometa.

3.2. Zaštitni cestovni sustavi na autocesti

Dugogodišnjim istraživanjem sigurnosti cestovnog prometa zaključilo se kako se sigurnost dijeli na primarnu i sekundarnu. Primarnu sigurnost čine same građevinske značajke ceste dok sekundarnu sigurnost čini cestovna okolina. Obzirom da je primarna sigurnost na zadovoljavajućoj razini, bitne su metode kojima će se pridonijeti povećanju sekundarne sigurnosti. Metoda se sastoji od više stavki odnosno, pravovremene identifikacije opasnosti, procjene same opasnosti i odabir djelovanja na opasnost. Jedno od djelovanja na opasnost jesu zaštitni cestovni sustavi. Glavna zadaća zaštitnih cestovnih sustava je učiniti prometnicu sigurnijom, odnosno smanjiti posljedice prometnih nesreća.

3.2.1. Uloga zaštitnih odbojnih ograda na autocesti

Europska norma EN 1317, jest norma koja se odnosi na zaštitne cestovne sustave te se sastoji od nekoliko podvrsta:

- EN 1317-1 terminologija i osnovni kriteriji za metode ispitivanja;
- EN 1317-2 klase izvedbe, kriteriji ispitivanja udara, metode ispitivanja odbojnih ograda;
- EN 1317-3 klase izvedbe, kriteriji ispitivanja udara, metode ispitivanja ublaživača udara;
- EN 1317-4 klase izvedbe, kriteriji ispitivanja udara, metode ispitivanja terminala i prijelaznih elemenata (tranzicija);
- EN 1317-5 Utvrđuje zahtjeve za ocjenjivanje sukladnosti zaštitnih cestovnih sustava: odbojne ograde, ublaživači udara, terminali, prijelazni elementi i ograde za vozila / pješačke ograde;
- TR 1317-6 sigurnosni sustav za pješake;
- EN 1317-7 klase izvedbe, kriteriji ispitivanja udara, metode ispitivanja terminala odbojnih ograda;
- TS 1317-8 Sigurnosni sustav za motocikliste [18].

Za zaštitne sustave postoje kriteriji koji se primjenjuju za procjenu učinkovitosti zaštitnih cestovnih sustava.

Kriterij zadržavanja vozila; prema ovom kriteriju gleda se sposobnost zaštitnog sustava da preusmjeri vozilo određene težine, brzine i određenim kutom udara. Na slici 18. prikazane su različite vrste vozila te njihove brzine, kut udara i ukupna masa vozila. Prema navedenim parametrima dodijeljene su im kratice koje se koriste prilikom određivanja razine zadržavanja.

	Brzina udara (km/h)	Kut udara (°)	Ukupna masa vozila (kg)	Vrsta vozila
TB 11	100	20	900	automobil
TB 21	80	8	1300	automobil
TB 22	80	15	1300	automobil
TB 31	80	20	1500	automobil
TB 32	110	20	1500	automobil
TB 41	70	8	10000	kamion
TB 42	70	15	10000	kamion
TB 51	70	20	13000	autobus
TB 61	80	20	16000	kamion
TB 71	65	20	30000	kamion
TB 81	65	20	38000	tegljač

Slika 18. Vrsta vozila obzirom na brzinu, kut udara i masu vozila [18]

Razlikujemo nisku, normalnu, visoku i vrlo visoku razinu zadržavanja. Na slici 19. prikazano je određivanje razine zadržavanja obzirom na tip vozila koje se koristilo pri ispitivanju.

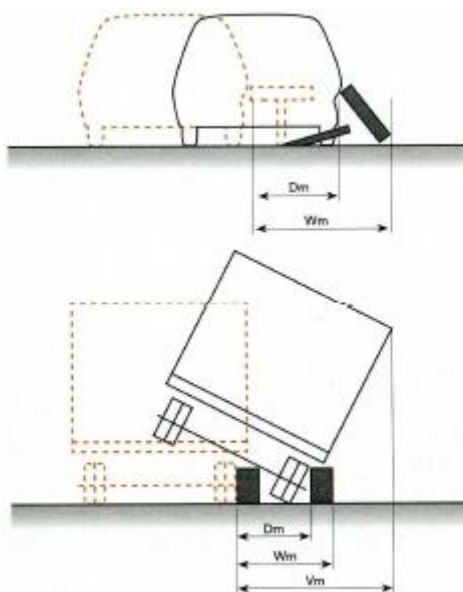
Razina zadržavanja	Ispitivanje
Niska razina zadržavanja	
T1	TB 21
T2	TB 22
T3	TB 41 i TB21
Normalna razina zadržavanja	
N1	TB 31
N2	TB 32 i TB 11
Visoka razina zadržavanja	
H1	TB 42 i TB 11
L1	TB 42 i TB 32 i TB 11
H2	TB 51 i TB 11
L2	TB 51 i TB 32 i TB 11
H3	TB 61 i TB 11
L3	TB 61 i TB 32 i TB 11
Vrlo visoka razina zadržavanja	
H4a	TB 71 i TB 11
L4a	TB 71 i TB 32 i TB 11
H4b	TB 81 i TB 11
L4b	TB 81 i TB 32 i TB 11

Slika 19. Razine zadržavanja obzirom na tip ispitnog vozila [18]

Sljedeći kriterij jest kriterij deformacije vozila i sastoji se od sljedećih stavki: radna širina (W), dinamički progib (D) i prodiranje vozila (VI). Radnu širinu podrazumijeva maksimalni pomak unutrašnje strane nedeformiranog sustava i maksimalni pomak sustava nakon udara vozila. Na slici 20 prikazane su vrijednosti radnih širina, te svakoj širini dodijeljena je razred radne širine (W1 – W8), dok je na slici 21. grafički objašnjena radna širina, dinamički progib i prodiranje vozila.

Razredi razina radne širine	Razine radne širine (m)
W1	$W_N \leq 0,6$
W2	$W_N \leq 0,8$
W3	$W_N \leq 1,0$
W4	$W_N \leq 1,3$
W5	$W_N \leq 1,7$
W6	$W_N \leq 2,1$
W7	$W_N \leq 2,5$
W8	$W_N \leq 3,5$

Slika 20. Razredi radne širine [18]



Slika 21. Grafički prikaz radne širine, dinamičkog progiba i prodiranja vozila [18]

Dinamički progib D , predstavlja maksimalni bočni pomak neke točke s unutarnje strane sustava zadržavanja, obzirom da se kompliciranije mjeri, uglavnom se uzima ista mjera kao i za radnu širinu.

Prodiranje vozila VI odnosi se na visoka vozila kod kojih može doći do izlijetanja preko zaštitnog sustava te predstavlja maksimalni bočnu poziciju vozila pri udaru. Obzirom na širinu prodiranja vozila određuje se razred razine prodiranja vozila (VII do VI9, pri čemu je VII razred s najmanjom širinom prodiranja - 0,6 m dok najveća razina prodiranja za razred VI9 iznosi 3,5 m.).

Kriterij ozbiljnosti učinka udara na korisnike vozila: služi kako bi se prikazala veličina rizika od ozljede vozača i putnika u vozilu prilikom udara u sustav zadržavanja. Postoje tri stavke koje čine ovaj kriterij [18]:

- ASI indeks ozbiljnosti ubrzanja, bezdimenzionalna je veličina preko koje se sagledava mjera ozbiljnosti gibanja vozila na putnika koji sjedi najbliže točki udara vozila i pokazatelj je opasnosti od nevezanja u vozilu. [18].

Na slici 22. prikazane su razine ozbiljnosti udara koje se određuju obzirom na vrijednosti pokazatelja ASI odnosno indeksa ozbiljnosti ubrzanja.

Razina ozbiljnosti udara	Vrijednosti pokazatelja	
A	ASI ≤ 1,0	i THIV ≤ 33 km/h
B	ASI ≤ 1,4	
C	ASI ≤ 1,9	

Slika 22. Prikaz razina ozbiljnosti udara [18]

U okolini prometnice nalazi se mnogo prepreka koje mogu biti pojedinačne ili u kontinuitetu, stoga važnost zaštitnih cestovnih sustava jest upravo u tome da zaštiti vozila od takvih prepreke posebice prilikom izlijetanja ili prevrtanja vozila, gdje u slučaju da dođe do sudara vozila s objektom nosi samo po sebi fatalne posljedice po vozače i putnike. Ljudski faktor u izazivanju prometnih nesreća je trenutno djelomično neobjašnjiv fenomen, ali također ulogu ima i infrastruktura ceste koja može biti faktor prometnih nesreća direktno ili indirektno. Neki od najčešćih objekata koji se nalaze uz prometnicu jesu stabla, rasvjetni stupovi, jarci, usjeci i nasipi, masivni objekti i prometna oprema.

Zaštitni cestovni sustav čine [18]:

- zaštitne odbojne ograde;
- terminali i prijelazi sustava;
- ublaživači udara;
- pješačke ograde

U Hrvatskoj prema pravilniku o prometnim znakovima, signalizaciji i opremi na cestama (čl. 74 i 75) zaštitna ograda se postavlja:

- u razdjelnom pojasu autocesta, brzih cesta i cesta za isključivo motorni promet;
- na cestovnom objektu;
- kada je cesta na nasipu višem od 3.0 m;
- ispred opasnog mjesta odnosno bočne opasnosti [22].

Stupanj zadržavanja zaštitne odbojne ograde ovisi o kategoriji ceste na koju se postavlja, te o poziciji na trasi, primjerice rub kolnika, razdjelni pojas ili na objektu. Tako za autoceste vrijedi da na rub kolnika i na čvorištima postavlja se zaštitna odbojna ograda razine zadržavanja H2 ili H1, u razdjelnom pojasu razine H2 dok na objektima su predviđene zaštitne odbojne ograde H3 ili H2 (u iznimnim situacijama H4).

Zaštitnu odbojnu ogradu osim ispred same bočne opasnosti potrebno je postaviti u određenoj dužini prije i poslije istih. Duljina ugradnje odbojne ograde prije i poslije opasnog mjesta ovisi o kategoriji ceste, primjerice za autoceste to iznosi 60 metara prije bočne opasnosti i 16 metara poslije bočne opasnosti [18].

Zaštitna odbojna ograda postavlja se tako da je rub odbojnika udaljen minimalno 0,5 m od ruba kolnika, osim u slučajevima kada se ograda ugrađuje uz rub kolnika kada je odvodnja izvedena rubnjakom ili odvodnim kanalom - u tim slučajevima se ograda postavlja na način da je rub odbojnika ograde u ravnini s rubnjakom odnosno rigolom [22]. Reflektirajući i svjetlosni elementi u vidu smjerokaznih stupića postavljenih na zaštitnu odbojnu ogradu ili kao katadiopteri, postavljaju se kontinuirano na jednakim razmacima s time da na desnoj strani kolnika se postavljaju stupići odnosno katadiopteri crvene boje dok na lijevoj strani su bijele boje. Na sljedećoj slici prikazan je primjer zaštitne odbojne ograde koja se postavljala na trasi autoceste.



Slika 23. Primjer zaštitne odbojne ograde na autocesti [19]

3.2.2. Uloga ostalih elemenata zaštitnih cestovnih sustava na autocesti

Ostali elementi zaštitnih cestovnih sustava koji će biti opisani jesu terminali, prijelazni elementi i ublaživači udara.

a) Terminali

Terminali kao elementi zaštitnih cestovnih sustava predstavljaju zamjenu za dosadašnje kose završetke koji se nalaze na dijelu zaštitne odbojne ograde prema kojem se vozilo kreće. Problem kosih završetaka odbojne ograde jest što prilikom naleta vozila na isti može doći do opasnog podizanja koje rezultira teškim posljedicama po vozilo i putnike. Neke europske zemlje su problem kosih završetaka rješavale na način da su se krajevi zaštitne odbojne ograde zaokretali prema usjeku odnosno nasipu te da završi s polukruglim završetkom, ali ni to se nije pokazalo kao najbolje rješenje.

Terminali se testiraju prema Europskoj normi EN1317 na više vrsta vozila pri različitim brzinama i različitim kuteva udara. Terminali su naprave koje se ugrađuju na početak i završetak zaštitnih odbojnih ograda i jedan su od najčešćih stradalih elemenata zaštitne ograde kod prometnih nesreća [18]. Funkcija terminala je da upija nastalu energiju koja se stvorila prilikom udara vozila u terminal time smanjujući posljedice prometnih nesreća i ozljeda vozača i putnika. Na slici 24. primjer je terminala klase P4 postavljenog na autocesti.



Slika 24. Terminal klase P4 na autocesti [19]

Duljina terminala je u skladu s tehničkim rješenjem proizvođača i izvedena s dovoljnom dužinom kako bi se pravilno ispitala učinkovitost terminala. Postoje 4 klase terminala:

- P1 (testiran za brzine do 80 km/h za vozila mase do 900 kg)
- P2 (testiran za brzine do 80 km/h za vozila mase do 1300 kg)
- P3 (testiran za brzine do 100 km/h za vozila mase do 1400 kg)
- P4 (testiran za brzine do 110 km/h za vozila mase do 1500 kg). [18]

Kao i kod testiranja zaštitnih odbojnih ograda svaka klasa terminala ovisi o vozilu koje se koristilo prilikom ispitivanja (masa i brzina vozila) te o načinu i vrsti udarca (bočni ili frontalni). Elementi terminala ne smiju prodrijeti u putnički prostor vozila te nisu dopuštene deformacije obzirom da prodiranje u putnički prostor može uzrokovati ozbiljne ozljede. Niti jedan dio terminala se ne smije potpuno odvojiti i zaustaviti izvan trajnih zona bočnog pomaka. Sidrišta i pričvršćenja moraju odgovarati specifikacijama terminala i drugim navedenim zahtjevima.

b) Prijelazni elementi

Prijelazni elementi imaju funkciju popunjavanja prekida u kontinuitetu zaštitne odbojne ograde ili prijelaza iz jednog sustava odbojne ograde u drugi, time se postiže kontinuiranost i izbjegavaju se prazni prostori koji osim što ne štite od izlijetanja vozila već postoji opasnost naleta na početak novog sustava odbojne ograde u prekidu. Takvi prekidi se često rješavaju postavljanjem poluokruglih završetaka, ali takva rješenja se nisu pokazala učinkovita i izuzetno su opasna.

Prijelazna klasa zadržavanja ne smije biti niža od niže ni viša od više klase zaštite dviju povezanih barijera; njegova radna širina ne smije biti veća od veće radne širine dviju povezanih barijera [18]. Razina zadržavanja prijelaza ne smije biti niža od razine zadržavanja niti viša od razine zadržavanja dviju povezanih barijera dok radna širina prijelaznog elementa ne smije biti veća radne širine dviju povezanih barijera. Na sljedećoj slici prikazan je primjer prijelaznog elementa. Prijelazni elementi se testiraju prema Europskoj normi EN1317 na više vrsta vozila pri različitim brzinama i različitim kuteva udara.



Slika 25. Prijelazni element između dvaju sustava zaštitnih ograda [19]

c) Ublaživači udara

Ublaživači udara kao element zaštitnog cestovnog sustava ima funkciju, kao što i sam naziv elementa jest, ublažiti udar vozila prilikom naleta na fiksnu prepreku. Dakle važnost ovog elementa je da upija energiju vozila te uspori kretanje vozila nakon naleta na ublaživač udara. Kinetička energija koja se stvara prilikom udara vozila apsorbira se putem ovog elementa preusmjeravajući vozilo dalje od opasnosti. U tom pogledu, glavnu funkciju apsorpcije imaju zračni jastuci ili drukčija tehnička rješenja koji su sastavni dio ublaživača udara. Navedeni element uglavnom se postavlja na početke fiksnih prepreka poput početka razdjelnog pojasa ili prometnog otoka primjerice na dijelu gdje se odvaja trasa autoceste s izlaznim trakom. Na slici 26. prikazan je primjer ublaživača udara.



Slika 26. Ublaživač udara [19]

U modelu sa slike, čelična konstrukcija i sajla bitne su za provođenje sila i kontrolu bočnog vođenja dok mehanizam kontrolirane apsorpcije i rasipanja energije rezultat je zraka pod pritiskom unutar plastičnih zračnih jastuka [18]. Ublaživači udara se testiraju i certificiraju prema Europskoj normi EN1317 na više vrsta vozila pri različitim brzinama i različitim kuteva udara.

3.3. Hvatljivost kolnika

3.3.1. Teorija hvatljivosti

Održavanje kolnika bitan je segment za osiguravanje trajnosti kolnika i produljivanja trajnosti suvremenog kolnika i sigurnosti odvijanja prometa. Nakon izgradnje, kolnik s vremenom počinje gubiti svojstva obzirom na izloženost raznim vremenskim uvjetima i prometnom opterećenju. Pravilno održavanje kolnika nakon izgradnje usporava proces starenja kolnika time se smanjuju troškovi i vjerojatnost od većih oštećenja kolnika.

Hvatljivost kolnika jest svojstvo površinskog dijela kolnika te ono utječe na otpornost protiv klizanja odnosno ovisi o dva glavna činitelja; značajkama površine kolnika i značajkama pneumatika vozila. Oba činitelja su jednako bitna za tumačenje hvatljivosti kolnika, te kroz ovo poglavlje objašnjavat će se značajke površine kolnika koje utječu na hvatljivost. Prema udžbeniku Projektiranje kolničkih konstrukcija autora Branimira Babića, otpor trenja (sila trenja) između kotača i površine kolnika može se izraziti Columbovim zakonom prema formuli [17]:

$$R = \mu * N$$

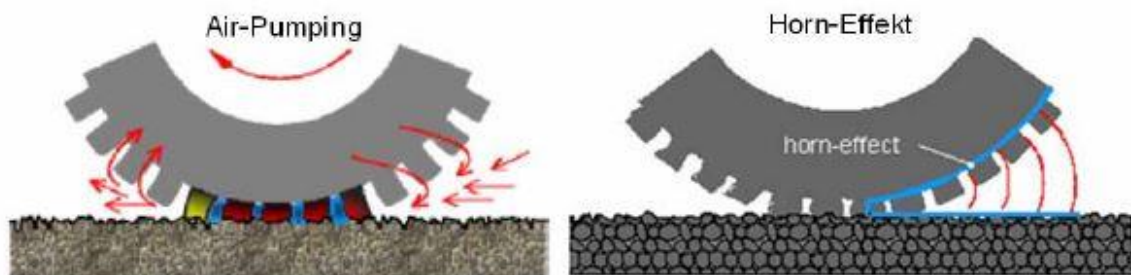
gdje je:

R – otpor (sila) trenja;

μ – koeficijent trenja;

N – opterećenje koje se na kolnik prenosi preko kotača.

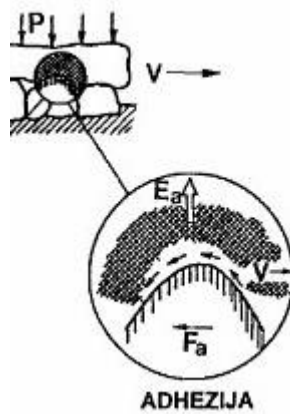
Na sljedećoj slici prikazan je spoj pneumatika i podloge.



Slika 27. Dodir pneumatika kotača vozila i podloge [23]

U idealnim uvjetima trenje između gume kotača vozila i površine kolnika odvija se na čistoj i suhoj podlozi, ali u realnim uvjetima postoji i međusloj koji se pojavljuje između kontakta gume kotača vozila i površine kolnika. Međusloj se najčešće javlja u obliku krutog (pijesak i prašina), tekućeg (voda i ulje) i plinovitog materijala (zrak) te kao takvi uvelike utječu na trenje.

Otpor odnosno sila trenja dijeli se na dvije komponente: adhezijsku i histereznu. Adhezijska komponenta sile trenja nastaje prilikom dodira pneumatika vozila i kamene sitneži te ovisi o brzini proklizavanja kotača prilikom prolaska preko zrna kamene sitneži, deformacijskim značajkama pneumatika vozila i tlaku između pneumatika vozila i kamene sitneži. Bilo kakva pojava međusloja između dodirnih ploha gume kotača vozila i površine zrna kamene sitneži uvelike snižava vrijednost adhezijske komponente sile trenja. U kontaktnoj zoni dolazi do pojave molekularnih sila koje se mogu manifestirati kao sila u smjeru kretanja i sila koja je okomita na taj smjer, na sljedećoj slici prikazan je raspored sila u području dodira gume kotača vozila i površine zrna kamene sitneži.



Slika 28. Adhezijske sile trenja između pneumatika i kolnika [17]

Adhezijska sila trenja F_a predstavlja horizontalnu komponentu te sile prema formuli:

$$F_a = s * \sum_{i=1}^n A_{ai} = s * A_a$$

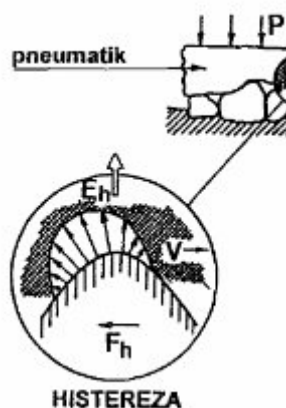
gdje je:

F_a – adhezijska komponenta sile trenja;

s – posmično naprezanje na dodirnoj plohi;

n – broj elemenata na dodiru gume i kolnika [17].

Histerezna komponenta sile trenja nastaje u trenutku deformacije gume kada prelazi preko neravnina kolnika. Smjer deformacije gume u tom trenutku djeluje okomito na kontaktnu površinu te dolazi do viskoelastičnog ponašanja materijala (gume). Elastični dio deformacije mijenja se spontano bez gubitaka dok viskozni dio deformacije nastaje zbog svojstava prigušenja materijala. Gubici prigušenja materijala pretvaraju se u toplinsku energiju [25]. Na slici 29. prikazan je raspored pružanja sila prilikom pojave histerezne komponente sile trenja.



Slika 29. Histerezna sila trenja između pneumatika i kolnika [17]

Horizontalna komponenta sile opisana je kroz formulu [17]:

$$F_h = \frac{1}{b} \sum_{i=1}^n E_{hi} = \frac{1}{b} E_h$$

gdje je:

F_h – histerezna komponenta sile trenja;

b – dužina klizanja;

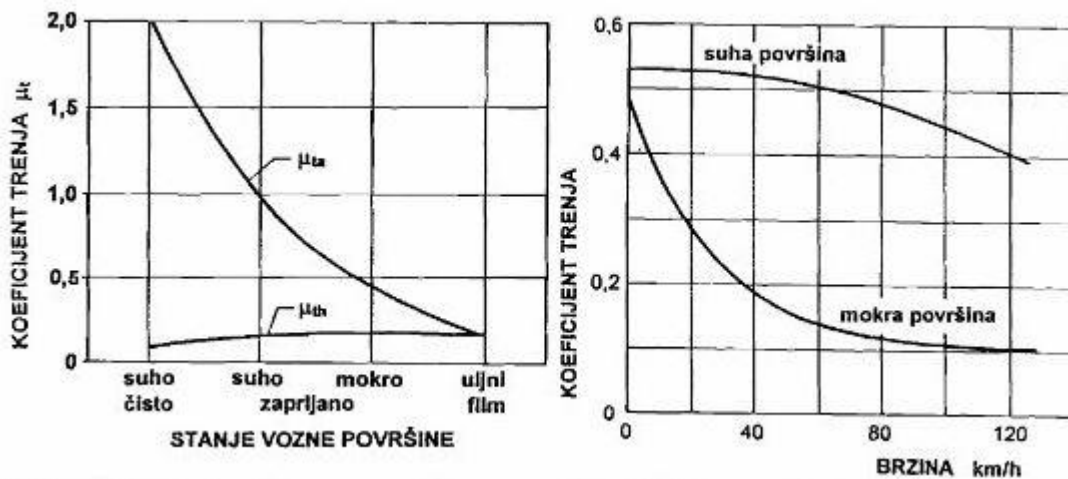
E_{hi} – energija utrošena u trenutku deformiranja pneumatika zbog utiskivanja i -tog elementa dodira;

E_h – ukupna energija utrošena na deformiranje gume zbog utiskivanja zrna u nju na čitavoj dodirnoj površini.

Ukupna sila trenja predstavlja zbroj veličina adhezijske i histerezne komponente, važno je za napomenuti pritom da adhezijska komponenta sile trenja je ovisna o brzini vožnje i materijalu koji se pojavljuje u međusloju između dodirne plohe pneumatika kotača vozila i kamene sitneži, dok histerezna komponenta sile trenja malo je ovisna o materijalima koji se mogu naći između pneumatika kotača vozila i površine. Sljedeći grafikon prikazuje promjene koeficijenta trenja u odnosu brzine vožnje i stanju kolnika (mokri i suhi uvjeti).

Dok se iz lijevog grafa jasno vidi kako koeficijent histerezne komponente sile trenja nema većih promjena obzirom na različite vrste materijala koji se može pojaviti u međusloju, u desnom grafu može se vidjeti razlika u padu vrijednosti koeficijenta trenja obzirom na stanje kolnika, odnosno kako je koeficijent trenja najniži u trenutku brzine od 120 km/h na mokroj podlozi.

Grafikon 4. Utjecaj stanja vozne površine na adhezijsku i histereznu komponentu sile trenja [17]



Utjecaj klimatskih prilika na hvatljivost kolnika također je bitna stavka prilikom projektiranja kolničkih konstrukcija, obzirom da se hvatljivost kolnika mijenja obzirom na godišnja doba. Zimi je posljedica to klimatskih sila (odmrzavanja i smrzavanja) i dok ljeti zbog jačeg zagrijavanja podloge dolazi do izdizanja bitumena čime dolazi do zaglađivanja asfalta [17]. Najopasnija pojava jest led na kolniku, posebice novonastali led obzirom da u tom trenutku koeficijent trenja je približan nuli dok na čvrstom i pohabanom ledu vrijednost koeficijenta trenja je oko 0.15. U sljedećim tablicama prikazane su tablične vrijednosti duljine kočenja i potpunog zaustavljanja vozila ovisno o uvjetima na cesti.

Tablica 12. Duljine kočenja ovisno o uvjetima na cesti [23]

Suhi uvjeti			
Brzina	Duljina reakcije (m')	Duljina kočenja (m')	Prijeđena duljina do konačnog zaustavljanja (m')
40	17	9	26
50	21	14	35
60	25	20	45
70	29	27	56
80	33	36	69
90	38	45	83
100	42	56	98
110	46	67	113

Tablica 13. Duljine kočenja u mokrim uvjetima na cesti [23]

Mokri uvjeti			
Brzina	Duljina reakcije (m')	Duljina kočenja (m')	Prijeđena duljina do konačnog zaustavljanja (m')
40	17	13	30
50	21	20	41
60	25	29	54
70	29	40	59
80	33	52	85
90	38	65	103
100	42	80	122
110	46	97	143

Osim klimatskih prilika znatan utjecaj na hvatljivost kolnika ima i količina prometa jer uslijed prolaska veće količine prometa također dolazi do zaglađivanja kamene sitneži stoga je bitno prilikom projektiranja predvidjeti količine prometa i odabrati otporniji materijal poput agregata eruptivnih stijena. Primjer su prometnice u čijim asfaltnim mješavinama jest kamena sitnež od vapnenca čija su zrna podložnija zaobljivanju. Gubitak sposobnosti trenja ima najveći intenzitet dvije godine nakon izgradnje te poslije tog perioda koeficijent trenja se stabilizira.

Konstantno se istražuje na koji način odrediti minimalnu vrijednost koeficijenta trenja za sigurno odvijanje prometa ovisno o mjestu i uvjetima prometnice s obzirom da ista ovisi o uvjetima vožnje i građevinskim elementima ceste. Unatoč tome prema nekim analizama utvrđeno je da općenito kritična vrijednost koeficijenta trenja jest oko 0,40 [17].

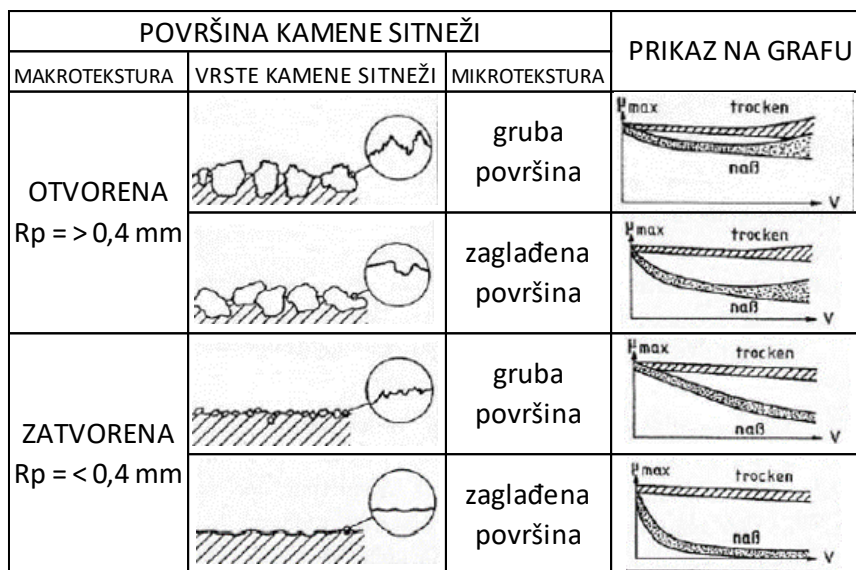
Tekstura površine kolnika dijeli se na makroteksturu i mikroteksturu. Mikroteksturu čini tekstura površine kamene sitneži asfaltne mješavine i uloga mikrotekture jest da se izdigne iznad tankog vodenog filma i time omogućuje suhi dodir s pneumatikom kotača vozila. Makroteksturu čine sve izbočine zrna koje se izdižu iznad površine kolnika te je uloga iste dreniranje vode između zrna kamene sitneži u svrhu smanjenja vodenog filma na kolniku. Na slici 30. grafički je prikazana razlika između makro i mikrotekture (teksture mineralnog zrnja).



Slika 30. Makrotekstura i mikrotekstura [17]

Utjecaj površine na koeficijent trenja manifestira se kroz odnos brzine vožnje i debljine vodenog filma. Pri manjim brzinama voda se istiskuje kroz utore pneumatika kotača vozila i teksturu kolnika, time veliku važnost ima stanje mikrotekture kolnika i adhezijska komponenta sile trenja. Pri većim brzinama vodeni film je teže istisnuti zbog pojave sve većeg hidrodinamičkog tlaka prilikom čega vertikalna komponenta nastoji odvojiti kotač od površine kolnika. Takva pojava u kojem vozilo počinje „lebdjeti“ zove se hidroplaniranje odnosno engl. „aquaplaning“. Pojava je to kada pri većim brzinama je takva debljina vodenog filma da nema izravnog dodira između gume vozila i površine kolnika, tada vozilo postane nestabilno, teško upravljivo i vrlo lako dolazi do bočnog zanošenja. Kolotrazi imaju najveći utjecaj na stvaranje akvaplaniranja obzirom da se zadržavaju razmjerno debeli slojevi vode, a prema literaturi Projektiranje kolničkih konstrukcija do akvaplaniranja može doći već pri brzini od 80 km/h ako je debljina vodenog sloja 8 mm, a pri brzini od 100 km/h ako je vodeni sloj debljine 4 mm [17].

Gledajući iz aspekta projektiranja, na prometnicama na kojima se očekuje više kišnih dana i intenzivne oborine shodno tome i veći period u godini kada je mokar kolnik, za takve prometnice povoljnije su krupnozrnate strukture s istaknutim zrnima kamene sitneži zbog lakšeg istiskivanja vode kroz žljebove koji se nalaze između zrna. Suprotno tome za prometnice gdje se očekuje manji broj kišnih dana uglavnom se projektiraju asfaltne mješavine sa sitnozrnatom agregatom. Na sljedećoj slici grafički je prikazana prethodno objašnjena uloga makroteksture i mikroteksture u uvjetima mokrog i suhog kolnika.



Slika 31. Utjecaj površine na koeficijent trenja [17]

Na zadnjem stupcu prikazane su krivulje promjene koeficijenta trenja ovisno o uvjetima na kolniku (mokri i suhi uvjeti) i brzini vožnje. Primjerice, na kolnicima gdje makrotekturu čine zrna veća od 0.4 mm s oštrim bridovima zrna, koeficijent trenja približno je jednak i pri većim brzinama dok je u mokrim uvjetima koeficijent trenja nezamjetno manji nego u suhim uvjetima. Kod sitnih agregata zrna sa zaobljenim rubovima slučaj je da koeficijent trenja pri mokrim uvjetima i većim brzinama (100 – 120 km/h) je izrazito niske vrijednosti te predstavlja opasnost za vozila u vidu nestabilnosti, nemogućnosti kontrole vozila i bočnog zanošenja.

3.3.2. Ispitivanje svojstva hvatljivosti

Prema literaturi Projektiranje kolničkih konstrukcija (Babić) hvatljivost kolnika možemo mjeriti na dva načina [17]:

- mjerenje teksture površine
- mjerenje sposobnosti trenja površine

mjerenje sposobnosti trenja može se provesti na nekoliko različitih načina:

- mjerenjem tangencijalnog trenja pomoću kotača koji proklizava (skidometar)
- mjerenjem sile bočnog trenja (Scrim engl.)
- Skid Resistance Test SARSYS Volvo friction tester (SVFT)

mjerenje teksture površine provodi se na nekoliko različitih načina:

tradicionalan način:

- pjeskarenjem površine

suvremeni načini:

- lasersko profiliranje

Mjerenja teksture površine neizravna su mjerenja hrapavosti površine obzirom da se takvim mjerenjima određuje geometrijski oblik površine kolnika. Ipak, uvelike pridonose boljoj analizi površine kolnika u kombinaciji s mjerenjima sposobnosti trenja koja se smatraju izravnim mjerenjima učinka hvatljivosti kolnika. Mjerenja moraju biti u skladu s projektiranim brzinama na prometnicama koje se analiziraju, polazne brzine su od 60 km/h pa sve do 120 km/h ukoliko se mjeri hvatljivost kolnika na autocestama.

Mjerenje trenja

Za mjerenje sposobnosti trenja danas postoji niz uređaja u svijetu koji se međusobno razlikuju u principu rada i načinu prikaza rezultata, u ovome radu biti će opisana nekoliko uređaja koja imaju znatno češću primjenu u svijetu.

a) Skidometar

Skidometar (slika 32.) je prikolica - dinamički uređaj sastoji se od dva kotača na čijoj osovini u sredini nalazi se mjerni kotač koji ima manju obodnu brzinu te djelomično proklizava. Posljedično proklizavanjem mjernog kotača nastaje sila u osovini koja se registrira putem mjernog električnog uređaja te uz prethodno određeno vertikalno opterećenje određuje se koeficijent trenja. Za pokretanje skidometra potrebno je vučno vozilo kojim se može postići tražena brzina uređaja za mjerenje [17]. Na temelju ispitivanja skidometrom u Hrvatskoj i Sloveniji, napravljena je klasifikacija površine kolnika obzirom na koeficijent trenja (tablica 14.)

Tablica 14. Razradba hvatljivosti površine kolnika na temelju koeficijenta trenja [17]

Koeficijent trenja (skidometar)	Klasifikacija površine kolnika
više od 0,8	izrazito hvatljiva
0,6 - 0,8	hvatljiva
0,4 - 0,6	skliska
manje od 0,4	izrazito skliska



Slika 32. Dinamički uređaj – skidometar [23]

b) Scrim

Jedan od najdjelotvornijih uređaja za mjerenje trenja na površini kolnika jest uređaj Scrim koji je razvijen u Velikoj Britaniji. Uređaj se sastoji od kamiona sa spremnikom za vodu koji služi za polijevanje kolnika i uređaja za mjerenje, prikupljanje i obradu podataka. Mjerenje se odvija na način da se prikupljaju podaci o trenju preko kotača koji je postavljen koso u odnosu na uzdužnu os kretanja kamiona. Glatki kotač se kotrlja preko navlažene površine te se u tom trenutku javlja sila okomita na ravninu mjernog kotača, sila se očitava putem mjernog uređaja te se preko nje zatim određuje tzv. koeficijent bočnog trenja (vertikalno opterećenje na kotač je poznato) [17]. Na slici 33. prikazan je kamion s uređajem za mjerenje trenja te je prikazan položaj mjernog kotača odnosno pod kojim kutem je postavljen u odnosu na uzdužnu os kretanja kamiona.



Slika 33. Uređaj Scrim [21]

Uređaj Scrim uglavnom se koristi za velika mjerna područja odnosno mjerenja na dužim dionicama poput autocesta ili brzih cesta, također prednost je u tome što se elektronički mjerni uređaj nalazi u kombiju stoga u vrlo kratkom vremenu se obrađuju podaci o bočnom trenju.

c) Skid Resistance Test (SVFT)

Od suvremenih načina mjerenja hvatljivosti izdvaja se mjerenje pomoću SARSYS Volvo friction testera (SVFT) ili vozila sličnih dimenzija. Ovaj način mjerenja jedan od je najsuremenijih ponajprije zbog naprednog sustava obrade podataka dobivenih prilikom mjerenja. Ova metoda mjerenja isprva se koristila za mjerenje hvatljivosti na uzletno – sletnim stazama odnosno pistama u zračnoj luci.

Sustav za mjerenje (slika 34.) sastoji se od mjernog kotača koji je smješten u stražnji dio vozila i princip mjerenja je da mjerni kotač dok se kreće kolnikom ne slijedi slobodno površinu kolnika već ima fiksni omjer klizanja prilikom kotrljanja.



Slika 34. SARSYS Volvo friction tester (SVFT) [24]

Trenje koje se javlja na površini kolnika u kombinaciji s vertikalnim opterećenjem na mjernom kotaču očitava se putem elektroničkih senzora koji pritom podatke šalju u program u računalnom sustavu koji obrađuje podatke o trenju te se ti podaci dalje manifestiraju kroz koeficijent trenja ili klizni broj (engl. skid number) te se računa i odnos između vertikalnih i horizontalnih sila koje djeluju na mjerni kotač. Rezultat se može prikazati na zaslonu grafom u boji ili može biti isprintan.

Mjerenje makroteksture

a) Metoda pjeskarenja

Kao što je i prethodno navedeno, postoje i neizravna mjerenja odnosno mjerenja teksture površine kolnika. Postoji nekoliko metoda kojim se mjeri tekstura, jedne od zastupljenijih su određivanje dubine teksture „pjeskarenjem“ i određivanje teksture na osnovi brzini istjecanja vode. Postupkom pjeskarenja određuje se srednja dubina teksture kolnika te se provodi na način da se određena količina sitnog pijeska razastre po kolniku tako da čini kružni oblik i da pokrije sve prostore između zrna kamene sitneži. Putem formule koja je niže naznačena, računa se srednja dubina sloja razastrtog pijeska čime se dobiva dubina teksture DT.

$$DT = \frac{V}{R^2\pi}$$

gdje je [17]:

DT – dubina teksture

V – volumen pijeska

R – radijus razastrtog pijeska kružnog oblika

b) Lasersko profiliranje

Lasersko profiliranje je metoda kojom se može procijeniti tekstura, hrapavost i karakteristika trenja kolnika. Tekstura površine može se koristiti u određivanju emisiji buke, trenja, otporu kotrljanja i trošenju guma. Razvojem tehnologije započelo se s laserskim mjerenjem makroteksture. Prije svega ovakav način mjerenja makroteksture je praktičniji obzirom da se može mjeriti i pri različitim brzinama, a ne isključivo statički kao što je kod metode pjeskarenja. Različite metode mjerenja makroteksture ne daju iste rezultate stoga je važno, zbog takvih razlika, odrediti najprikladniju metodu za mjerenje makroteksture.

Prijenosni laserski uređaji za mjerenje makroteksture imaju razvijen sustav za određivanje teksture kolnika. Jedan od primjera laserskih uređaja koji snimaju teksturu kolnika jest laserski profilometar Hawkeye 2000.

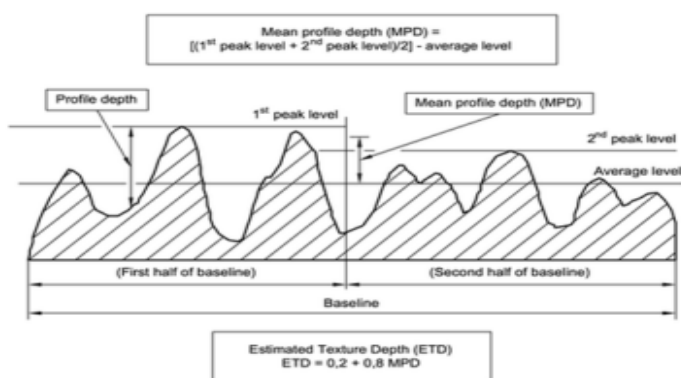
Hawkeye 2000 laserski je profilometar i nalazi se na prednjem braniku mjernog vozila, te je opremljeno s 5 lasera na određenim međusobnim udaljenostima kojima je namjena da snimaju površinsko stanje kolnika (slika 35.).



Slika 35. Mjerno vozilo opremljeno laserskim profilometrom [25]

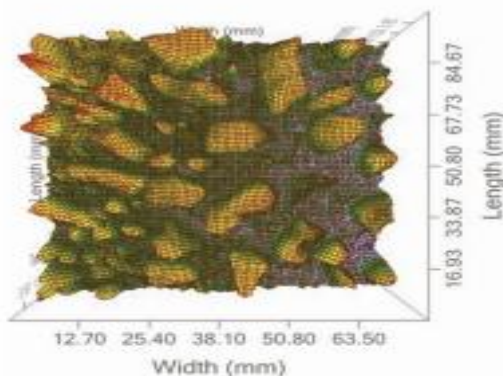
Sustav ima nekoliko modula koji su međusobno povezani, gdje je za svojstva hvatljivosti površine najkorisniji modul za makroteksturu asfaltne površine [25]. Sustav u mjernom vozilu povezan je GPS sustavom, čime se povezuju istraživanje površine kolnika sa stvarnom lokacijom mjerenja što olakšava pregled područja mjerenja. Rezultati prikupljenih podataka se obrađuju putem vrijednosti Mean Profile Depth – MPD (hrv. srednja dubina profila) i Estimated Texture Depth – ETD (procijenjena dubina teksture). Na slici 36. je prikazan primjer prikaza rezultata obrade podataka o makroteksturi površine kolnika. Srednju dubinu profila čini prosječna visina vrha kamene sitneži dok se procijenjena dubina teksture mjeri formulom:

$$ETD = 0,2 + 0,8 * MPD$$



Slika 36. Prikaz vrijednosti MTD i ETD [25]

Skener je sposoban skenirati područje koje je duljine 101.6 mm i širine 76,2 mm i ima maksimum kapacitet od 1200 linija, što je jednako prosječnom razmaku od 0.0635 mm između linija skeniranja. Laser ima prosječna odstupanja od 42 mm, vertikalna i horizontalna rezolucija uzorka od 0.015 mm i valna duljina profila u rasponu od 0.03 mm do 50 mm. Četiri različite četvrtine testirane su na svakom uzorku, sa skenerom postavljenim za rad od 100 linija. 3-D prikaz izloženog uzorka asfalta prikazan je na sljedećoj slici [26].



Slika 37. Uzorak asfalta [26]

3.3.3. Utjecaj i mjere poboljšanja hvatljivosti na autocesti

Važno je kolnički zastor projektirati na način da ima dobra svojstva hvatljivosti kroz što duži period korištenja. Bitnu ulogu u očuvanju bolje hvatljivosti ima i vrsta i oblik kamene sitneži, primjerice eruptivna kamena sitnež ima hrapavu makroteksturu i zato se njome mogu ostvariti vrlo hvatljive površine [17], dok kamene sitneži od vapnenca ili sitnež okruglog zrna poput riječnog šljunka nepovoljno utječu na svojstvo hvatljivosti posebice zbog veće sklonosti zaglađivanju. Kako je već i prethodno spomenuta uloga makrotekture u vidu bolje odvodnje vode s kolnika, tako je važno naglasiti kako prilikom projektiranja autocesta ili cesta na kojima se postižu veće brzine, odabire se krupnozrnati materijal za asfaltnu mješavinu upravo kako bi voda otjecala u što kraćem vremenskom roku s kolnika. Betonski kolnici, iako u bitno manjoj upotrebi u Hrvatskoj, također moraju imati jednaka svojstva hvatljivosti kao i asfaltni kolnici. Prilikom projektiranja betonske mješavine za postizanje bolje mikrotekture dodaje se oštri pijesak u mješavinu dok bolja makrotekstura postiže se finišeom za ohrapljivanje neposredno nakon ugradnje svježeg betona.

Metode povećanja hvatljivosti

Obzirom da svojstvo hvatljivosti se gubi nakon određenog vremenskog perioda korištenja, posebice to izražajnije bude na kolnicima gdje je izuzetno veliko prometno opterećenje, traže se rješenja kako poboljšati svojstva hvatljivosti bez većih intervencija zamjene kompletnog habajućeg sloja asfalta te kako izbjeći visoke troškove navedenih radova.

Metoda povećanja hvatljivosti površine kolnika ima nekoliko pozitivnih aspekata:

- aspekta povećanja sigurnosti prometa;
- ekološkog aspekta;
- financijskog aspekta.

Povećanjem hvatljivosti kolnika povećava se koeficijent trenja i samim tim uvelike podiže razina sigurnosti prometa. Smanjeni koeficijent trenja između kotača i površine kolnika uzrokuje velik broj prometnih nesreća. Smanjenje puta kočenja i svi ostali pozitivni rezultati povećanja hvatljivosti kolnika, najznačajniji su doprinos povećanju sigurnosti prometa. Radovima povećanja hvatljivosti ujedno se vrši i čišćenje kolnika. Čišćenjem kolnika uklanjaju se sve prljavštine sa kolnika koje direktno ugrožavaju sigurnost prometa.

Za radove povećanja hvatljivosti koristi se tehnologija koja je maksimalno ekološka. Kod tehnologije visokotlačnog pritiska s metalnim kuglicama, radovi se izvode s metalnim kuglicama unutar zatvorenog sistema stroja a otpadni materijal se istovremeno usisava i deponira unutar stroja. Nakon maksimalnog punjenja stroja otpadnim materijalom, materijal se prevozi u specijalizirane tvrtke za prihvat takve vrste materijala te se potom reciklira u izradi novih asfaltnih smjesa.

Povećanje hvatljivosti kolnika doprinosi do smanjenja prometnih nesreća, što automatski rezultira financijskim uštedama za sve dijelove društva.

Neke od tehnologija koje se koriste za povećanje hvatljivosti na površini kolnika su sljedeća:

- Tehnologija visokog pritiska s metalnim kuglicama
- Tehnologija s visokotlačnim vodenim mlazom;
- Tehnologija udarne zvijezde (metoda trimiksa);
- Tehnologija finog freziranja [30]

a) Tehnologija visokog pritiska s metalnim kuglicama

Najzastupljenija tehnologija na tržištu je tehnologija visokotlačnog pritiska metalnim kuglicama jer se pokazala kao najoptimalnija metoda za povećanje hvatljivosti kolnika. Tehnologija se zasniva na visokotlačnom pritisku kolnika metalnim kuglicama unutar zatvorenog sistema stroja koji se nalazi na prednjoj strani vozila (kamion). Tehnologijom povećanja hvatljivosti kolnika doprinosi se smanjenju prometnih nesreća čime se ujedno smanjuju financijski troškovi svih dijelova društva, također produžuje se i vijek trajanja asfalta ili betona te se sredstva za obnovu kolnika mogu preusmjeriti na, po pitanju sanacije, prioritetnije kolnike [27].

Tehnologija visokotlačnog pritiska kolnika metalnim kuglicama pokazala se kao ekonomičan i ekološki postupak kojim se poboljšava svojstvo hvatljivosti kolnika. Vozilo koje izvodi povećanje hvatljivosti ima visokotlačnu pumpu s metalnim kuglicama na prednjoj strani vozila te neposredno iza pumpe nalazi se usisna cijev koja prikuplja prašinu odnosno otpadni materijal te ga skladišti u dvije jutene vreće koje se nalaze na stražnjoj strani vozila i od kojih svaka ima zapremninu od 1.25 tona [27].

Na slici 38. prikazan je primjer vozila kojeg je koristila tvrtka Signalinea za radove povećanja hvatljivosti na rampi čvora Draga na autocesti A7 [27]. Na prednjoj strani kamiona vidljiva je nadogradnja vozila u kojoj se nalazi visokotlačni sustav koji pod pritiskom ispušta metalne kuglice u tlo te usisna cijev koja prikuplja nastalu materijal koji se odvodi priključnim cijevima do prikupne jedinice. Nastali materijal se kasnije može reciklirati i koristiti za izradu novih asfaltnih mješavina.



Slika 38. Primjer stroja za povećanje hvatljivosti

Osim obnove teksture površine kolnika i povećanja hvatljivosti kolnika, vozilo je sposobno uklanjati oznake na cestama i uzletno–sletnim stazama ili uklanjanje gumenih smjesa na uzletno sletnim stazama zračnih luka.

b) Tehnologija s visokotlačnim pritiskom vodenim mlazom

Poboljšanje kolnika po principu tehnologije visokotlačnog hrapavljenja vodom se koristi ponajviše za uklanjanje viška materijala na kolniku poput tragova guma na aerodromskim pistama ili pojave isplivalog bitumena. Stroj za visokotlačno raspršivanje vode koji se koristi za ovu metodu, može stvoriti pritisak vode i do 2500 bara.

Regulacijom šest različitih parametara moguće je prilagoditi pritisak i količinu vode ovisno o zahtijevanoj radnji i vrsti površine [27]. Otpadni materijal se usisava sa kolnika te otprema u prikupnu jedinicu koja se nalazi na stražnjoj strani vozila. Brzina kretanja stroja prilikom izvođenja radova iznosi 1 do 1,5 km/h radne širine od 180 do 2600 mm. Visokotlačnim strojem moguće je izvesti uklanjanje različitih materijala na površini kolnika poput boje, plastike, gume i ostataka bitumena te čišćenja gradskih pješačkih površina. Na slici 39. prikazan je stroj za metodu visokotlačnog pritiska vodenim mlazom



Slika 39. Stroj za visokotlačni pritisak vodenim mlazom [24]

c) Metoda trimiksa

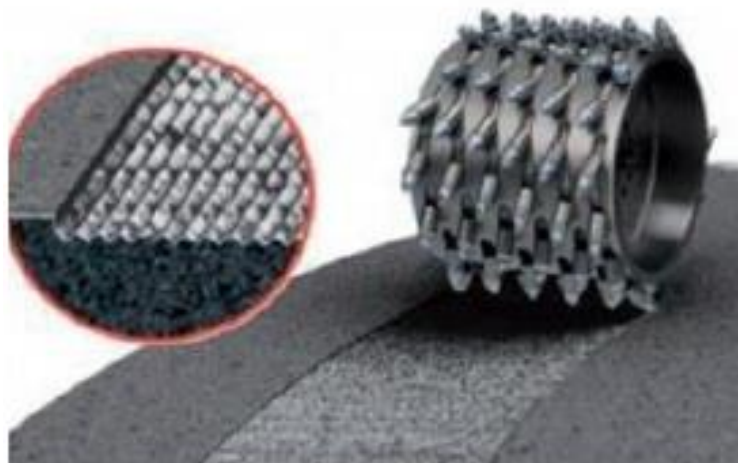
Metodom udarne zvijezde, kolnik se poboljšava hrapavljenjem pomoću udarnih lamela nakon čega se zdrobljeni materijal usisava i skladišti u stroj. Na sljedećoj slici prikazan je primjer stroja navedene metode.



Slika 40. Stroj za hrapavljenje trimiks metodom [27]

d) Tehnologija finog freziranja

Metodom finog freziranja, kolnik se poboljšava na način da se djelomično uklanjaju slojevi asfalta te na taj način dolazi do poboljšanja hvatljivosti, ali i tim postupkom se poboljšava ravnost kolnika. Dubina hrapavljenja kod ove metode je manja nego kod metoda trimiksa dok linije rezanja su na razmaku od 8 mm. Materijal koji je odstranjen, usisava se i skladišti u stroj. Na sljedećoj slici je prikazan dio stroja kojim se freže asfaltna površina.



Slika 41. Glodalica za freziranje asfaltne površine [27]

3.3.4. Analiza mjerenja LFC i MPD na određenim dionicama autoceste

Na dvije autoceste u Hrvatskoj, provedena su mjerenja koeficijenta trenja odnosno makrotekture tijekom glavnog pregleda kolnika autocesta. Mjerenja su provedena od strane Laboratorija za prometnice Građevinskog fakulteta u Rijeci te su podaci ustupljeni za potrebe ove analize. Mjerenje na prvoj autocesti (Hrvatske Autoceste) odrađeno je na dvjema dionicama te se mjerio koeficijent trenja (LFC) dok na drugoj autocesti (privatni koncesionar) na određenoj dionici mjerila se srednja dubina profila makrotekture (MPD). Na temelju tog pregleda utvrđeno je kako određene dionice nemaju zadovoljavajuću razinu svojstva hvatljivosti.

Predmetne autoceste, sastoje se od po jedne vozne, preticajne i zaustavne trake za svaki smjer te su kroz čitavu godinu izuzetno prometno opterećene čime ovakve intervencije su od izuzetne važnosti obzirom na veću vjerojatnost nastanka prometnih nesreća zbog nedovoljne hvatljivosti kolnika na pojedinim dionicama.

Dvije dionice na kojima se provodilo mjerenje trenja (LFC), duljine su svaka po 3.40 km dok treća na kojoj se mjeri srednja dubina profila (MPD) duljine je 300 m. Na predmetnim dionicama izvršilo se povećanje hvatljivosti kolnika tehnologijom visokotlačnog pritiska metalnim kuglicama. Poradi usporedbe rezultata i donošenja zaključka o učinkovitosti sanacije kolnika metodom povećanja hvatljivosti, mjerenja će se izvršiti prije i poslije sanacije kolnika.

Mjerenje trenja provelo se pomoću dinamičkog uređaja Surface friction trailer ASFT koji omogućuje mjerenje longitudinalnog trenja u smjeru vožnje pri brzini od otprilike 60 do 65 km/h. Navedeni uređaj sličnog je principa poput uređaja SVFT Volvo friction testera koji je među opisanim uređajima u ovome radu, dakle uređaj mjeri koeficijent trenja po principu fiksnog iznosa proklizavanja mjernog kotača. Također, uređaj podatke bilježi isključivo u mokrim uvjetima kontrolirane debljine vodenog filma obzirom da navedeni uređaj ima spremnik putem kojeg ispušta vodu za vrijeme mjerenja. Na sljedećoj slici prikazan je ilustrativni prikaz mjernog uređaja za trenje.



Slika 42. Surface friction trailer [28]

Makrotekstura se mjerila, opisanim u prethodnom potpoglavlju, uređajem Hawkeye 2000. Vozilo prilikom mjerenja kretalo se brzinom od oko 80 km/h, te su vladali suhi vremenski uvjeti i temperatura prilikom mjerenja bila je iznad 10 Celzijevih stupnjeva.

Prvo se odradilo mjerenje koeficijenta trenja (LFC) na segmentima duljine 200 metara dviju dionica prve autoceste odnosno na segmentima po 50 metara dionice druge autoceste na kojoj se mjerio MPD (srednja dubina profila). Rezultati koeficijenta trenja i srednje dubine profila uspoređeni su s graničnim vrijednostima prema COST 354 Action projektu (The way forward pavement performance indicators across Europe, Cost Action 354 „Performance Indicators for Road Pavement“, Final Report, 2008.). U sljedećim tablicama prikazana je klasifikacija vrijednosti koeficijenta trenja (LFC) i srednje dubine profila (MPD).

Tablica 15. Vrijednosti koeficijenta trenja (LFC) prema COST 354

0,31-0,379	loše
0,38-0,459	nezadovoljavajuće
0,46-0,529	zadovoljavajuće
0,53-0,599	dobro
0,60-0,67	odlično

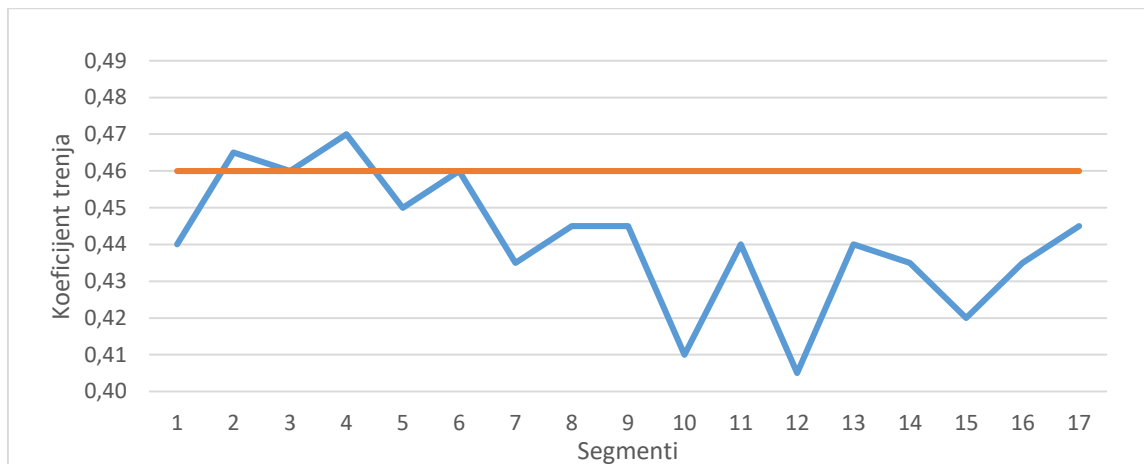
Tablica 16. Vrijednosti srednje dubine profila (MPD) prema COST 354

0,30-0,489	loše
0,49-0,679	nezadovoljavajuće
0,68-0,869	zadovoljavajuće
0,87-1,059	dobro
1,06-1,25	odlično

Analiza rezultata mjerenja LFC na 1.dionici autoceste (Hrvatske Autoceste)

Na prvoj ispitnoj dionici, duljine 3.40 m mjerenje se provelo na voznom traku na segmentima duljine 200 m. Prvo se provelo mjerenje koeficijenta trenja prije sanacije, rezultati su prikazani na sljedećem grafu.

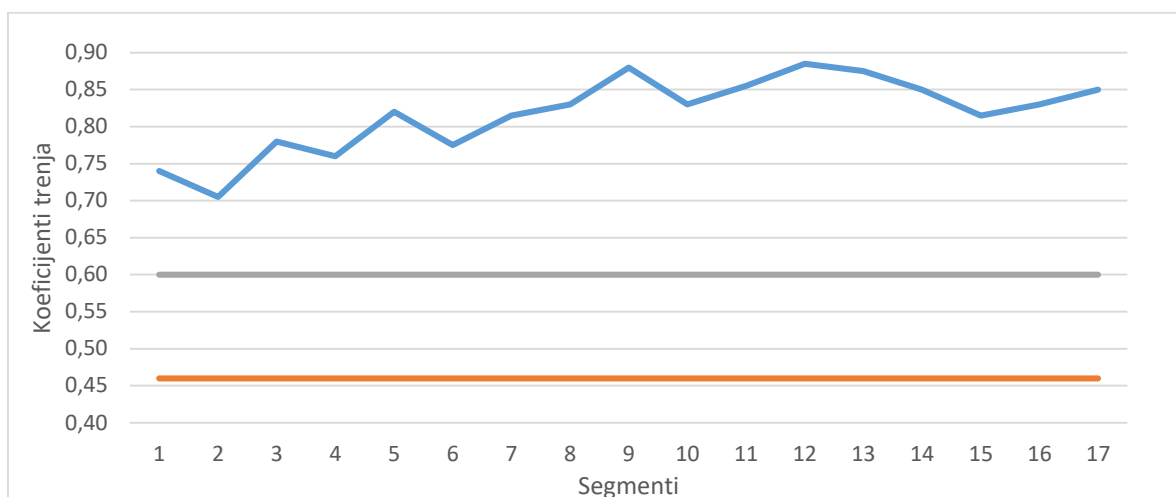
Grafikon 5. Rezultati mjerenja koeficijenta trenja (LFC) 1.dionice prije sanacije



Iz grafikona 5. vidljivo je da jedino 3 segmenta na ispitnoj dionici imaju vrijednost veću ili jednaku graničnoj zadovoljavajućoj vrijednosti (0,46 – narančasta linija). Najlošiji rezultati su na 10. i 12. segmentu – 0,405 odnosno 0,41. Na temelju provedenog mjerenja zaključuje se kako je prijeko potrebna sanacija asfaltne površine navedene ispitne dionice obzirom da stanje u vrijeme prvog mjerenja predstavlja opasnost za sigurnu vožnju navedenom dionicom.

Nakon provedenih ispitivanja provela se sanacija kolnika i to na način da se hrapavio kolnik visokotlačnom tehnologijom s metalnim kuglicama. Prije provedbe sanacije, postavljena je privremena regulacija na voznom traku navedene dionice autoceste. Tjedan dana nakon izvedene sanacije, provedeno je ponovno ispitivanje koeficijenta trenja (LFC) te su rezultati prikazani u sljedećem grafikonu.

Grafikon 6. Rezultati mjerenja koeficijenta trenja (LFC) 1.dionice nakon sanacije

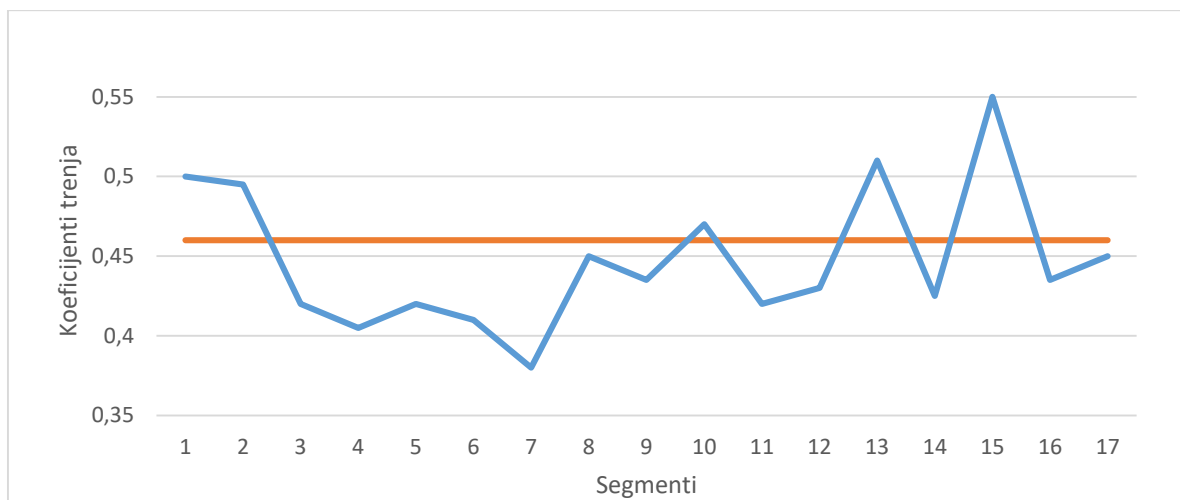


Na grafikonu 6. prikazani su rezultati mjerenja koeficijenta trenja (LFC) te dvije granične vrijednosti – 0,46 (zadovoljavajuća razina, narančasta linija) i 0,60 (odlična razina, siva linija). Prema rezultatima mjerenja koeficijenta trenja, svi segmenti 1.dionice klasificiraju se kao odlični, prema vrijednostima iz tablice 19. Posebno se ističu dobri rezultati od 9. segmenta nadalje, gdje su rezultati mjerenja se kretali oko 0,85. Najveći postotak poboljšanja na temelju mjerenja koeficijenta prije i poslije sanacije, bilježi se na segmentima 10 i 12, gdje su rezultati poboljšani za 109 odnosno 119 %. Prosječno poboljšanje kolnika za cijelu prvu dionicu iznosi **86 %**. Kompletni rezultati mjerenja koeficijenta trenja (LFC) prije i poslije sanacije prikazani su u prilogu 1.

Analiza rezultata mjerenja LFC na 2.dionici autoceste (Hrvatske Autoceste)

Mjerenje na drugoj ispitnoj dionici, duljine 3.40 m provelo se na preticajnom traku, na segmentima duljine 200 m te je navedena dionica na suprotnom traku u odnosu na prvu mjernu dionicu. Prvo se provelo mjerenje koeficijenta trenja prije sanacije, rezultati su prikazani na sljedećem grafu.

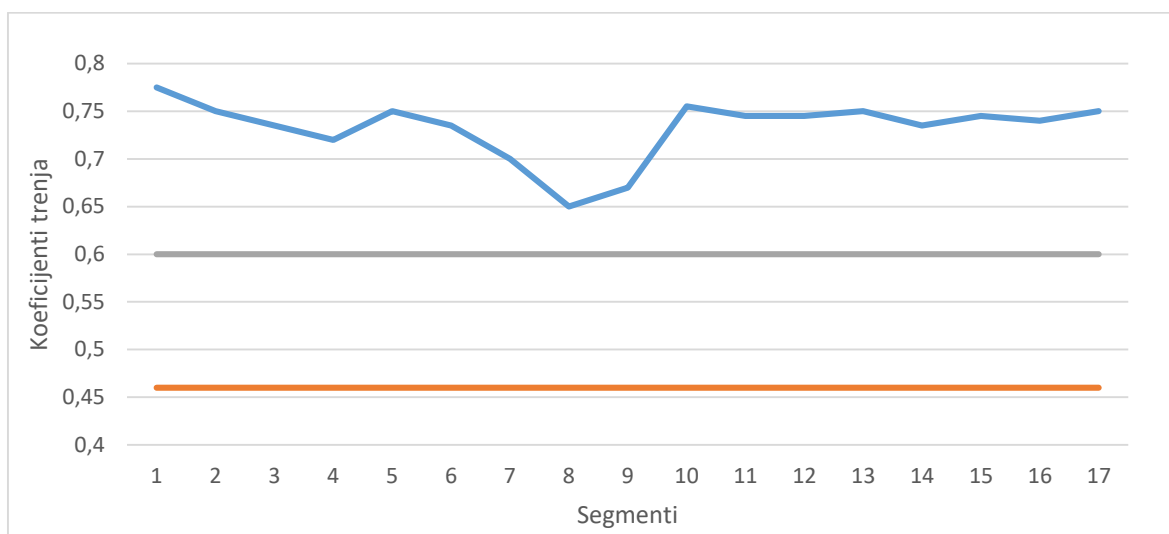
Grafikon 7. Rezultati mjerenja koeficijenta trenja (LFC) 2.dionice prije sanacije



Iz grafikona 7. vidljivo je da 5 segmenata na ispitnoj dionici imaju vrijednost veću ili jednaku graničnoj vrijednosti (0,46 – narančasta linija). Najlošiji rezultat je na 7. segmentu gdje je izmjerena vrijednost trenja 0,38. Na temelju provedenog mjerenja zaključuje se kako je potrebna sanacija asfaltne površine navedene ispitne dionice obzirom da prosječna vrijednost trenja na ispitnoj dionici iznosi 0,45 te sveukupno ne zadovoljava sigurno prometovanje.

Nakon provedenih ispitivanja provela se sanacija kolnika i to na način da se hrapavio kolnik tehnologijom visokotlačnog pritiska metalnim kuglicama. Prije provedbe sanacije, postavljena je privremena regulacija na navedenoj dionici autoceste. Tjedan dana nakon izvedene sanacije, provedeno je ponovno ispitivanje koeficijenta trenja (LFC) te su rezultati prikazani u sljedećem grafikonu.

Grafikon 8. Rezultati mjerenja koeficijenta trenja (LFC) 2.dionice nakon sanacije

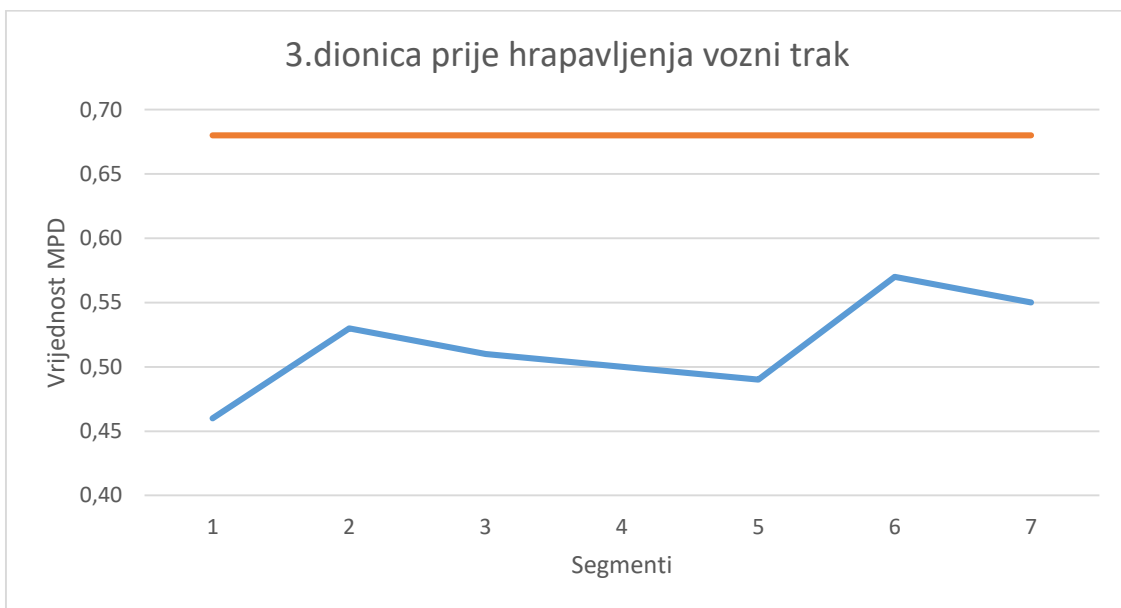


Na grafikonu 8. prikazani su rezultati mjerenja koeficijenta trenja (LFC) te dvije granične vrijednosti – 0,46 (zadovoljavajuća razina, narančasta linija) i 0,60 (odlična razina, siva linija). Prema rezultatima mjerenja koeficijenta trenja, svi segmenti 3.dionice klasificiraju se kao odlični, prema vrijednostima iz tablice 23. Segmenti 8 i 9 bilježe nešto slabije rezultate u odnosu na ostale segmente, ali također se klasificiraju kao odlični prema tablici 19. Najveći postotak poboljšanja na temelju mjerenja koeficijenta prije i poslije sanacije, bilježi se na segmentima 4, 5 i 11, gdje su rezultati poboljšani za više od 75%. Prosječno poboljšanje kolnika za cijelu prvu dionicu iznosi **65 %**. Kompletni rezultati mjerenja koeficijenta trenja (LFC) prije i poslije sanacije prikazani su u prilogu 2.

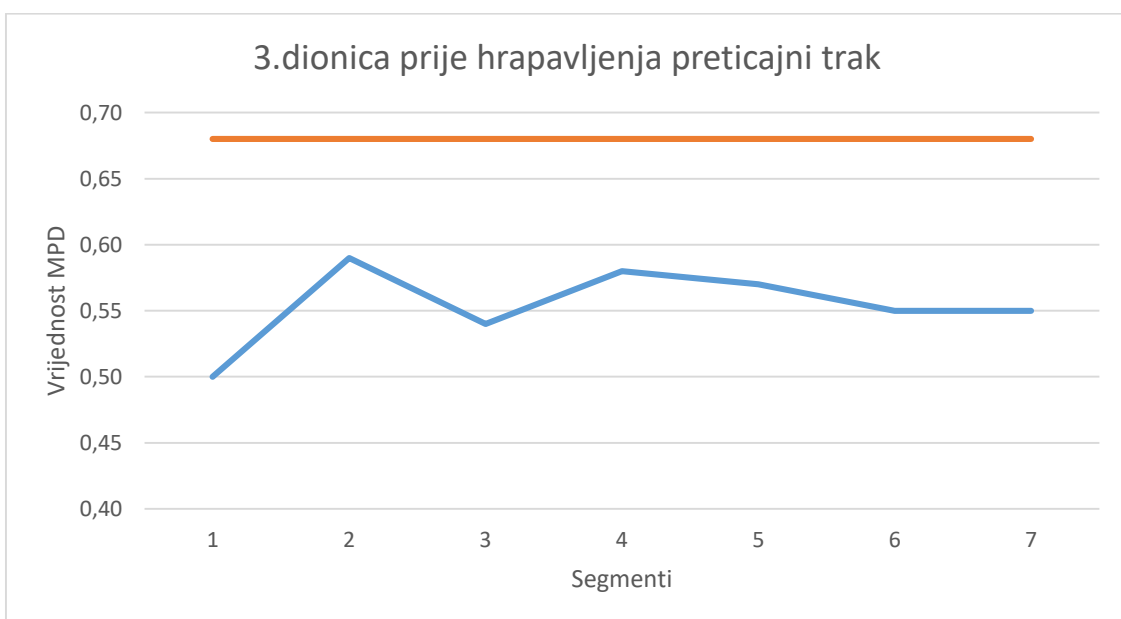
Analiza rezultata mjerenja MPD na autocesti (privatni koncesionar)

Na određenoj dionici autoceste koju održava i nadzire privatni koncesionar, provedo se mjerenje srednje dubine profila MPD. Duljina dijela dionice koji se mjerio iznosi 300 metara te se mjerenje provelo na voznom i preticajnom traku na segmentima duljine 50 m. Navedena dionica smatrala se problematičnom u vidu sigurnog odvijanja prometa stoga su provedena mjerenja kako bi se ustvrdilo točno stanje makroteksture kolnika. Na sljedećim grafikonima prikazani su rezultati mjerenja prije povećanja hvatljivosti na voznom i preticajnom traku.

Grafikon 9. Rezultati mjerenja MPD na voznom traku prije hrapavljenja



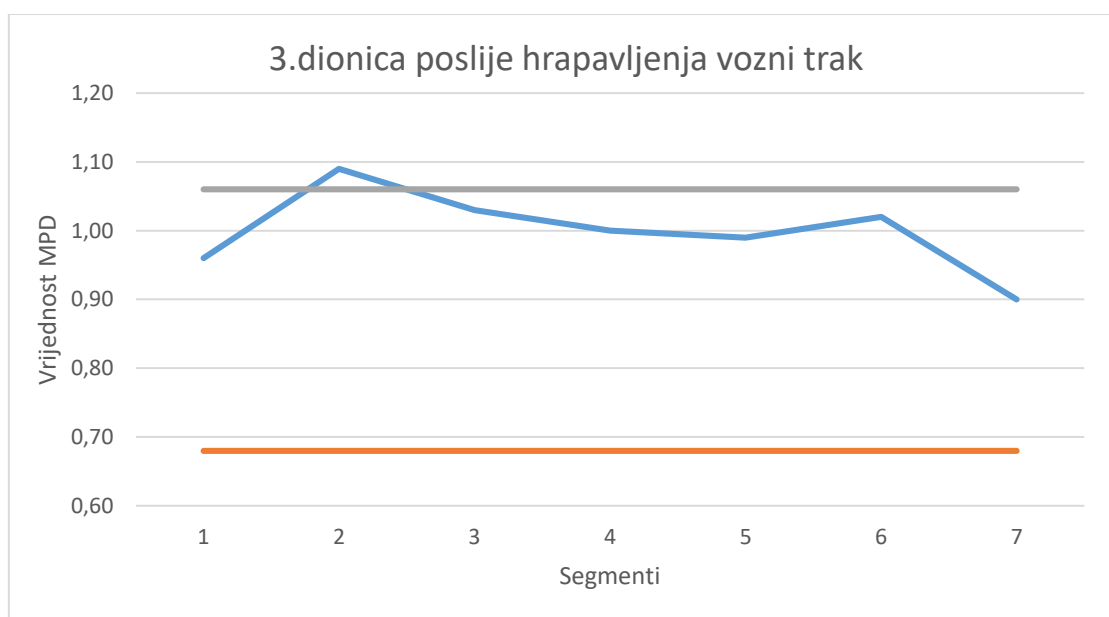
Grafikon 10. Rezultati mjerenja MPD na preticajnom traku prije hrapavljenja



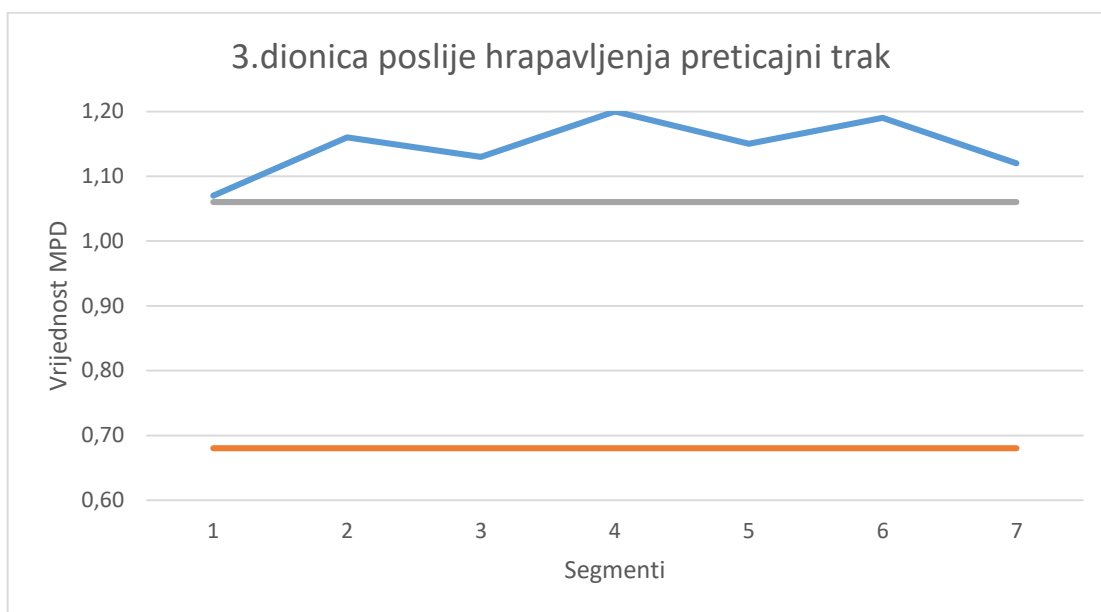
Uspoređujući rezultate mjerenja između dva prometna traka, na voznom traku nešto su lošiji rezultati MPD-a, u prosjeku 0,52 dok na preticajnom traku prosjek MPD je iznosio 0,55. Razlog tome leži u činjenici kako je vozni trak opterećeniji te vozila na autocesti veći dio vremena vožnje provedu u voznom traku. Sve vrijednosti na navedenoj dionici, niže su od granične vrijednosti za zadovoljavajući razred klasifikacije

Nakon provedenih ispitivanja proveda se sanacija kolnika i to na način da se hrapavio kolnik tehnologijom visokotlačnog pritiska metalnim kuglicama. Prije provedbe sanacije, postavljena je privremena regulacija na navedenoj dionici kako bi se obavilo hrapavljenje na istom te nakon toga isti postupak se napravio i na preticajnom traku. Nakon obavljenih radova hrapavljenja, provedena su nova ispitivanja makroteksture na spomenutoj dionici autoceste. Rezultati su prikazani u grafikonima 12. i 13.

Grafikon 11. Rezultati mjerenja MPD na voznom traku poslije hrapavljenja



Grafikon 12. Rezultati mjerenja MPD na preticajnom traku poslije hrapavljenja

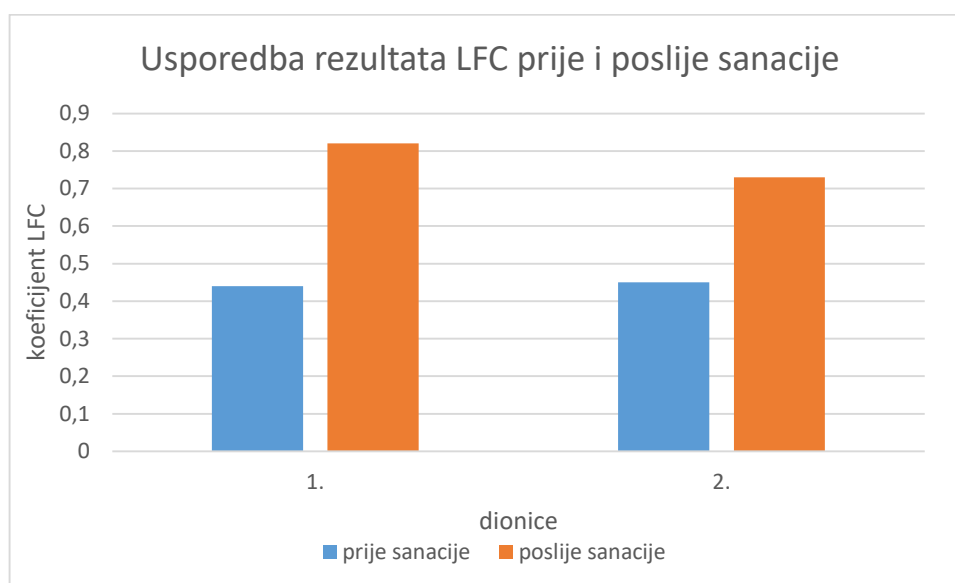


Nakon obrade kolnika hrapavljenjem i provedenih mjerenja, mogu se usporediti dobiveni rezultati MPD. Na preticajnom traku postignuti su nešto bolji rezultati, sve vrijednosti su iznad granične vrijednosti za najviši razred klasifikacije, gledajući poboljšanja na preticajnom traku, najveće poboljšanje je zabilježeno na šestom segmentu, iznosi 116 %. Za vozni trak također su izmjereni dobri rezultati, posebice u drugom segmentu gdje rezultat MPD-a iznosi preko granične vrijednosti za klasu odlično upravo na tom segmentu je zabilježeno najveće poboljšanje rezultata – **106 %**. Svi rezultati MPD-a za ovu dionicu detaljno su prikazani u prilogu 3.

Zaključak mjerenja

Nakon obrade podataka mjerenja svih ispitnih dionica prije i poslije sanacije, na sljedećem grafu prikazani su odnosi poboljšanja kolnika prije i poslije za dvije dionice na autocesti pod kontrolom Hrvatskih Autocesta na kojima se mjerio koeficijent trenja (LFC) kako bi se zaključilo na kojoj dionici su izmjereni najbolji rezultati.

Grafikon 13. Usporedba rezultata LFC prije i poslije sanacije



Iz navedenih grafikona 13. vidljivo je kako je u objema dionicama došlo do velikog povećanja koeficijenta trenja odnosno poboljšanja svojstva hvatljivosti. Prva dionica bilježi nešto bolje rezultate. Na autocesti pod kontrolom privatni koncesionar, također zabilježeni su vrlo dobri rezultati srednje dubine profila nakon obrade kolnika hrapavljenjem. Prosječna vrijednost MPD-a za vozni i preticajni trak iznosila je 1,07 što je povećanje od 101 % u odnosu na prosječnu vrijednost prije izvođenja hrapavljenja (prosjek 0,54). Ovim mjerenjima i izvedenim radovima postigao se cilj podizanja razine prometne sigurnosti i sprječavanja neželjenih posljedica zanošenja vozila kao najčešćeg uzroka nastanka prometnih nesreća na dijelovima autocesta gdje trenje i makrotekstura nisu na zadovoljavajućoj razini. Radove hrapavljenja kolnika izvela je tvrtka Signalinea d.o.o. dok ispitivanja su provedena od strane Laboratorija za prometnice Građevinskog fakulteta u Rijeci.

4. ZAKLJUČAK

Ulaganje u prometnu opremu i infrastrukturu trebala bi postati obveza i prioritet obzirom na sve veći prirast prometnih nesreća sa smrtnom posljedicom. Shvaćanje ozbiljnosti prometnih nesreća još uvijek nije na zadovoljavajućoj razini obzirom da u Hrvatskoj nažalost svjedočimo porastu broja prometnih nesreća s lakšim i težim posljedicama. Iako je u padu broj smrtnih slučajeva, trenutno to se ne može pripisati unaprjeđenju prometne infrastrukture na autocestama već je dijelom za to zaslužna i pojava novijih i sigurnijih vozila u prometu na cestama.

Programi sigurnosti prikazali su način na koji se može djelovati ka tome da se spriječe prometne nesreće s težim i smrtnim posljedicama. Razvijene države Europske Unije unazad 10 godina počele su primjenjivati navedene programe sigurnosti, implementirajući ih kroz vlastiti prometni sustav. Analizama prometne sigurnosti dokazano je kako su upravo zahvaljujući mjerama Programa sigurnosti poboljšali statistiku prometnih nesreća.

Zahvaljujući ulasku Hrvatske u Europsku uniju, u našoj državi počela je primjena europskih normi vezano za opisane građevinsko – prometne elemente sigurnosti na autocestama. Time je došlo do napretka u smislu poboljšanja cestovne infrastrukture i razvijanja svijesti kako je upravo ta sekundarna sigurnost ključna za sprječavanje teških posljedica prometnih nesreća na autocestama.

Opisivajući metode poboljšanja građevinsko – prometnih elemenata kroz ovaj rad, najveća pažnja pridodana je upravo novim tehnologijama izvođenja i izrade spomenutih elemenata sigurnosti na autocesti.

Kroz provedene analize dokazala se učinkovitost novih tehnologija poboljšanja elemenata sigurnosti na autocesti.

Analizom horizontalne signalizacije kao jednim od najbitnijih elemenata, dokazano je da nam najsuvremeniji materijali u kombinaciji s najsuvremenijim načinima ugradnje te razvojem strojeva za specijalne vrste oznaka, značajno povećavaju sigurnost prometa na cestama. Zvučno upozorenja prilikom prelaska oznaka, dugotrajnost, izvrsni rezultati po pitanju dnevne i noćne vidljivosti te vidljivosti za vrijeme loših vremenskih uvjeta ispunjeni kroz cijelu godinu samo su neki od faktora koji uvelike utječu na sigurnost prometa. Upravo u uvjetima slabe vidljivosti nastaje najveći broj prometnih nesreća stoga su ove nove opisane tehnologije izrade debeloslojne horizontalne signalizacije od trajnih materijala veliki

napredak ka sprječavanju prometnih nesreća na autocestama. U analizi trenja na horizontalnim oznakama, dokazano je kako debeloslojni trajni materijal pokazuje najbolje vrijednosti trenja te kako takve izvedbe horizontalne signalizacije, imaju više prednosti u vidu poboljšanja sigurnosti prometa.

Prikazane analize visokotlačne tehnologije s metalnim kuglicama na povećanju hvatljivosti kolnika, direktno su dokazale značajan pomak u povećanju sigurnosti prometa. Tehnologije su dovedene do samog vrhunca i dokazane u mnogim zemljama diljem svijeta. Rezultati su mjerljivi i dokazani su brojni pozitivni učinci. Povećanje sigurnosti prometa, ekonomičnost, brzina, ekološki aspekt prednosti su koje nam danas dostupne tehnologije pružaju.

Zaštitni cestovni sustavi prikazani su kao jedan od najbitnijih elemenata sigurnosti na autocesti. Europska norma EN1317 definira sve pojedinosti zaštitnih cestovnih sustava, načine testiranja, klase zadržavanja i sve ostale dodatne parametre koji direktno osiguravaju povećanje sigurnosti prometa kroz cestu koja prašta vozačevu pogrešku. Primjena i konstantno unaprjeđenje zaštitnih cestovnih sustava na našim prometnicama je obveza i primjena mora biti na višoj razini. Upotreba najsuvremenijih zaštitnih ograda, terminala, ublaživača udara te prijelaznih elemenata uz dobru edukaciju svih sudionika u procesu mora biti na samom vrhu liste prioriteta kod mjera povećanja sigurnosti prometa.

Svjedoci smo trenutno gradnji novih dionica autocesta u Hrvatskoj koje su projektirane po najvišim standardima europskih normi te je prema tome za vjerovati kako će se i na ostalim, već izgrađenim autocestama u Hrvatskoj, doći do poboljšanja infrastrukture na dijelovima gdje postoji opasnost za siguran cestovni promet. Ulaganje u prometnu infrastrukturu na autocestama, ulog je za očuvanje ljudskih života i imovine.

5. LITERATURA

- [1] Zakon o cestama, <https://www.zakon.hr/z/244/Zakon-o-cestama>, 2.5.2022.
- [2] Posebnosti u izgradnji prometnica u ravničarskom dijelu istočne Hrvatske https://www.hkig.hr/docs/Opatija_2019/prezentacije/Lovor/6.%20Cestovna%20infrastruktura/6.2.Posebnosti%20u%20izgradnji%20prometnica%20u%20ravni%20C4%8Darskom%20dijelu%20isto%20C4%8Dne%20Hrvatske.pdf 2.5.2022.
- [3] <https://safety.fhwa.dot.gov/geometric/pubs/mitigationstrategies/chapter3/3lanewidth.cm> 2.5.2022.
- [4] Legac, I., Cestovne prometnice II. : raskrižja javnih cesta ,Sveučilište u Zagrebu, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb 2008.
- [5] https://hr.wikipedia.org/wiki/Autoceste_u_Hrvatskoj 2.5.2022.
- [6] Deluka-Tibljaš, A., skripta s predavanja – Prometna tehnika, 2.5.2022.
- [7] https://www.researchgate.net/figure/Proportion-of-population-road-traffic-deaths-and-registered-motor-vehicles-by-country_fig1_342848487, 2.5.2022.
- [8] Luburić, G., Sigurnost cestovnog i gradskog prometa I – radni materijal za predavanja, Prometni fakultet Sveučilišta u Zagrebu
- [9] Bilten o sigurnosti cestovnog prometa u 2021. godini , https://mup.gov.hr/UserDocsImages/statistika/2022/Bilten_o_sigurnosti_cestovnog_prometa_2021.pdf
- [10] Safety on roads, <https://www.itf-oecd.org/sites/default/files/docs/02safetyonroads.pdf>
- [11] Deluka-Tibljaš, A., skripta s predavanja Vizije sigurnosti – prometna tehnika, 2.5.2022.
- [12] Number of road traffic fatalities in Sweden from 2006 to 2020, <https://www.statista.com/statistics/438009/number-of-road-deaths-in-sweden/> , 2.5.2022.
- [13] Wegman, F., Advancing sustainable safety, https://swov.nl/sites/default/files/publicaties/rapport/dmdv/advancing_sustainable_safety.pdf 10.7.2022.

- [14] Vizija Nula – Vision Zero, https://upwikihr.top/wiki/Vision_Zero 10.7.2022.
- [15] Nacionalni plan sigurnosti cestovnog prometa Republike Hrvatske za razdoblje od 2021. do 2030. godine, <https://esavjetovanja.gov.hr/ECon/MainScreen?entityId=16105> 10.7.2022.
- [16] Direktiva europskog parlamenta i vijeća, <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/HR/TXT/?uri=CELEX:32014L0047> 2.9.2022.
- [17] Babić, B., Projektiranje kolničkih konstrukcija, HDGI, Zagreb 1997.
- [18] The European Union Road Federation (ERF) <https://erf.be/>, srpanj 2022.
- [19] <https://signalinea.hr/> 2.9.2022.
- [20] ERF, Marking the way towards a safer future, https://erf.be/wp-content/uploads/2018/07/ERF-Paper-on-Road-Markings_release_v2.pdf 1.9.2022.
- [21] Virginia Tech Transportation Institute, Evaluation of Methods for Pavement Surface Friction, Testing on NonTangent Roadways and Segments, Blacksburg 2017.
- [22] Pravilnik o prometnim znakovima, signalizaciji i opremi na cestama (NN 92/2019)
- [23] Kluger-Eigl, W., Dissertation entwicklung eines bewertungshintergrundes für das griffigkeitsmesssystem griptester in Osterreich, Wien 2009.
- [24] Krajina, M., Hrvatin, D., Deluka-Tibljaš, A., Nova metoda ohrapavljivanja površine kolnika
- [25] Pranjić, I., Preliminarna istraživanja svojstava hvatljivosti kolničke površine mjernim uređajima laboratorija za prometnice Građevinskog fakulteta u Rijeci, Rijeka 2015
- [26] Comparison of surface macrotexure measurement methods, Journal of civil engineering and management, Ohio 2012.
- [27] Gruber J., Monitoring Abtragender Griffigkeitsverbessernder Massnahmen, AIT Austrian Institute of Technology GmbH, Wien 2012.
- [28] <https://www.sarsys-asft.com/t5>, 12.9.2022.

1.dionica Autocesta (Hrvatske Autoceste) L = 3.40 km

segmenti (L = 200 m)	LFC prije	LFC poslije	povećanje	razlika u odnosu na graničnu vrijednost prije hrapavljenja (0,46)	razlika u odnosu na graničnu vrijednost prije hrapavljenja (0,46)
1	0,44	0,74	68%	-0,02	0,28
2	0,47	0,71	52%	0,00	0,25
3	0,46	0,78	70%	0,00	0,32
4	0,47	0,76	62%	0,01	0,30
5	0,45	0,82	82%	-0,01	0,36
6	0,46	0,78	68%	0,00	0,32
7	0,44	0,82	87%	-0,03	0,36
8	0,45	0,83	87%	-0,02	0,37
9	0,45	0,88	98%	-0,02	0,42
10	0,41	0,83	102%	-0,05	0,37
11	0,44	0,86	94%	-0,02	0,40
12	0,41	0,89	119%	-0,06	0,43
13	0,44	0,88	99%	-0,02	0,42
14	0,44	0,85	95%	-0,03	0,39
15	0,42	0,82	94%	-0,04	0,36
16	0,44	0,83	91%	-0,03	0,37
17	0,45	0,85	91%	-0,02	0,39
prosječna vrijednost	0,44	0,82	86%	-0,02	0,36

2.dionica autoceste (Hrvatske Autoceste) L = 3.40 km

segmenti (L = 200 m)	LFC prije	LFC poslije	povećanje	razlika u odnosu na graničnu vrijednost prije hrapavljenja (0,46)	razlika u odnosu na graničnu vrijednost prije hrapavljenja (0,46)
1	0,50	0,78	55%	0,04	0,32
2	0,50	0,75	52%	0,04	0,29
3	0,42	0,74	75%	-0,04	0,28
4	0,41	0,72	78%	-0,06	0,26
5	0,42	0,75	79%	-0,04	0,29
6	0,41	0,74	79%	-0,05	0,28
7	0,38	0,70	84%	-0,08	0,24
8	0,45	0,65	44%	-0,01	0,19
9	0,44	0,67	54%	-0,03	0,21
10	0,47	0,76	61%	0,01	0,30
11	0,42	0,75	77%	-0,04	0,29
12	0,43	0,75	73%	-0,03	0,29
13	0,51	0,75	47%	0,05	0,29
14	0,43	0,74	73%	-0,04	0,28
15	0,55	0,75	35%	0,09	0,29
16	0,44	0,74	70%	-0,03	0,28
17	0,45	0,75	67%	-0,01	0,29
prosječna vrijednost	0,45	0,73	65%	-0,01	0,27

1.dionica autoceste (privatni koncesionar) L = 300 m

prometni trak	segmenti (L = 50 m)	MPD prije	MPD poslije	povećanje	razlika u odnosu na graničnu vrijednost prije hrapavljenja (0,68)	razlika u odnosu na graničnu vrijednost prije hrapavljenja (0,68)
Vozni trak	1	0,46	0,96	109%	-0,22	0,28
	2	0,53	1,09	106%	-0,15	0,41
	3	0,51	1,03	102%	-0,17	0,35
	4	0,50	1,00	100%	-0,18	0,32
	5	0,49	0,99	102%	-0,19	0,31
	6	0,57	1,02	79%	-0,11	0,34
	7	0,55	0,90	64%	-0,13	0,22
Preticajni trak	8	0,50	1,07	114%	-0,18	0,39
	9	0,59	1,16	97%	-0,09	0,48
	10	0,54	1,13	109%	-0,14	0,45
	11	0,58	1,20	107%	-0,10	0,52
	12	0,57	1,15	102%	-0,11	0,47
	13	0,55	1,19	116%	-0,13	0,51
	14	0,55	1,12	104%	-0,13	0,44
prosječna vrijednost		0,54	1,07	101%	-0,15	0,39