

Analiza potrebne duljine preglednosti za pretjecanje cestovnih vozila

Jerković, Valentina

Master's thesis / Diplomski rad

2020

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

Permanent link / Trajna poveznica: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:119:109501>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-07-17**



Repository / Repozitorij:

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



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI

Valentina Jerković

ANALIZA POTREBNE DULJINE PREGLEDNOSTI ZA
PRETJECANJE CESTOVNIH VOZILA

DIPLOMSKI RAD

Zagreb, 2020.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI

DIPLOMSKI RAD

**ANALIZA POTREBNE DULJINE PREGLEDNOSTI ZA
PRETJEKANJE CESTOVNIH VOZILA**

**ANALYSIS OF THE NEEDED SIGHT LENGTH FOR
PASSING THE ROAD VEHICLES**

Mentor:

Prof.dr.sc. Ljupko Šimunović

Student:

Valentina Jerković,

0135233194

Zagreb, srpanj 2020.

Zagreb, 28. ožujka 2019.

Zavod: **Zavod za gradski promet**
Predmet: **Sigurnost cestovnog i gradskog prometa II**

DIPLOMSKI ZADATAK br. 5121

Pristupnik: **Valentina Jerković (0135233194)**
Studij: **Promet**
Smjer: **Cestovni promet**

Zadatak: **Analiza potrebne duljine preglednosti za pretjecanje cestovnih vozila**

Opis zadatka:

Pretjecanje je radnja koja se obavlja na dvosmjernim cestama ali i na jednosmjernim cestama s više prometnih trakova. Na dvosmjernim cestama pretjecanje je daleko opasnije nego na autocestama jer je promet dopušten u oba smjera. Prilikom obavljanja ove radnje vozilo se većinu vremena nalazi na prometnom traku koji je namijenjen za vožnju iz suprotnog smjera. Upravo zbog toga pretjecanje predstavlja jednu od najzahtjevnijih i najopasnijih radnji u prometu. Kako bi se promet sigurno odvijao potrebno je osigurati pretjecajnu preglednost na cestama. Projektanti, u skladu s optičkom preglednosti ceste, trebaju definirati zone dopuštenog pretjecanja već u fazi projektiranja ceste. Postotak zona dopuštenog pretjecanja predstavlja mjeru kvalitete odvijanja prometa na dvotračnim cestama. U situacijama kada na cesti nisu osigurane dostatne pretjecajne zone, pretjecanje se obavlja na nesigurnim mjestima.

Mentor:

Predsjednik povjerenstva za
diplomski ispit:

prof. dr. sc. Ljupko Šimunović

SAŽETAK

Reguliranje prometa na izvangradskim dionicama cesta svodi se u najvećoj mjeri na reguliranje režima brzina i pretjecanja. Na dvotračnim cestama pretjecanje predstavlja jednu od najsloženijih radnji iz razloga što vozilo koje pretječe određen period vremena boravi na prometnoj traci koja je namijenjena za kretanje vozila iz suprotnog smjera. U realnom prometnom toku pretjecanje se javlja zbog heterogene strukture prometnog toka, različitih voznodinamičkih sposobnosti vozila i različitih karakteristika vozača i njihovog ponašanja. Iz tog razloga na svim izvangradskim dionicama cesta neophodno je omogućiti određen broj dionica i odsjeka na kojima je pretjecanje dopušteno. Dionice i odsjeci na kojima je pretjecanje dopušteno, zovu se zone dopuštenog pretjecanja. Obveza projektanata je da prilikom projektiranja cesta omoguće zone dopuštenog pretjecanja koje na dvotračnim (npr. magistralnim) cestama trebaju biti zastupljene na najmanje 20% dužine ceste. Zone dopuštenog pretjecanja formiraju se na temelju potrebne dužine pretjecajne preglednosti. Preglednost pri pretjecanju (P_p) je razmak koji vozilo prijeđe za vrijeme opažanja situacije (vrijeme reakcije), povećanja brzine, pretjecanja i vraćanja na svoju prometnu traku. Preglednost pretjecanja definira se i kao minimalno omogućen razmak na kojem vozač vozila koji namjerava preteći sporo vozilo ispred sebe može uočiti vozilo koje dolazi iz suprotnog smjera. Omogućivanje potrebne dužine pretjecajne preglednosti veoma je važno zbog postizanja razine usluge i sigurnosti prometa na cestama.

Ključne riječi: pretjecanje, pretjecajna preglednost, projektiranje, model proračuna pretjecajne preglednosti, prometna nesreća

SUMMARY

The regulation of traffic on out-of-town sections of the roads is mostly focused on the regulation of the speed and passing regime. On two-lane roads, passing is one of the most complex actions due to the fact that the vehicle that passes stays a certain period of time on the traffic lane intended for the movement of vehicles from the opposite direction. In real traffic flow, passing occurs due to the heterogeneous structure of traffic flow, different driving dynamics of vehicles and different characteristics of drivers and their behaviour. For this reason, it is necessary to enable a certain number of sections where passing is allowed, which are called passing zones. The obligation of designers is to enable passing zones when tracing and designing roads, which should be represented on at least 20% of the road length on two-lane roads. Passing zones are formed on the basis of the required length of passing visibility. Passing visibility is the distance traveled by the vehicle during the situation observation (reaction time), speed increase, passing and return to its traffic lane. Passing visibility is also defined as the minimum allowable distance at which the driver of a vehicle intending to pass a slow vehicle in front of him can spot an oncoming vehicle from the opposite direction. Providing the required length of oversight is very important in order to achieve the level of service and road safety.

Keywords: passing, passing visibility, design, passing visibility calculation model, traffic accident

Sadržaj

1. Uvod.....	6
2. Pretjecanje vozila	8
2.1. Vrste pretjecanja vozila	10
2.2. Uvjeti sigurnog pretjecanja	10
2.3. Postupak pretjecanja	12
3. Pojam i značaj pretjecajne preglednosti	15
4. Analiza prethodnih istraživanja pretjecajne preglednosti.....	17
4.1. Međunarodni kriteriji pretjecajne preglednosti	17
4.1.1. AASHTO Green Book kriterij.....	18
4.1.2. Model Van Valkenburg – Michael.....	21
4.1.3. Modeli Weaver – Glennon i model Harwood – Glennon.....	22
4.1.4. Model Lieberman	22
4.1.5. Model Saito	24
4.1.6. Model Glennon.....	26
4.1.7. Model Wang i Cartmell.....	27
4.2. Model proračuna pretjecajne preglednosti u susjednim zemljama	30
4.2.1. Kriterij pretjecajne preglednosti u Bosni i Hercegovini.....	30
4.2.2. Kriterij pretjecajne preglednosti u Crnoj Gori.....	32
4.2.3. Kriterij pretjecajne preglednosti u Republici Srbiji	34
4.3. Model proračuna pretjecajne preglednosti u Republici Hrvatskoj	35
4.4. Računanje pretjecajne preglednosti	36
4.4.1. Pretjecanje vozila konstantnom brzinom kretanja	37
4.4.2. Pretjecanje vozila konstantnim ubrzanjem	38
4.4.3. Pretjecanje vozila konstantnim ubrzanjem pri ograničenoj (dopuštenoj) brzini.....	40
4.4.4. Pretjecanje vozila konstantnim ubrzanjem i usporenjem	42
4.4.5. Pretjecanje vozila konstantnim ubrzanjem i usporenjem pri ograničenoj (dopuštenoj) brzini	43
4.5. Kritički osvrt na modele za definiranje pretjecajne preglednosti.....	46
5. Prometne nesreće pri pretjecanju	47
5.5. Čeoni (centralni) sudar	48
5.6. Izlijetanje van kolnika.....	48
5.7. Izvlačenje	49

5.8. Pretjecanje vozila u skretanju.....	49
5.9. Presijecanje putanje pretjecanog vozila	50
5.10. Sustizanje pretjecanog vozila	50
6. Istraživanje pretjecanja u realnom prometnom toku	51
6.5. Izbor lokacija istraživanja	53
6.5.1. Lokacija 1	56
6.5.2. Lokacija 2	58
6.6. Rezultati istraživanja.....	60
7. Prijedlog modela pretjecajne preglednosti za Republiku Hrvatsku	64
8. Zaključak	67
LITERATURA	69
POPIS SLIKA.....	71
POPIS TABLICA.....	73

1. Uvod

Dosadašnji rezultati istraživanja koji se odnose na uzroke prometnih nesreća na cestama ukazuju na činjenicu da je uzrok velikog broja prometnih nesreća nedovoljna preglednost ceste. Drugi uzroci prometnih nesreća proizlaze iz prepreka u vidnom polju. Zbog takvih uvjeta ne može se očekivati od vozača da svoje ponašanje prilagode uvjetima koje cesta omogućava, prije nego što se takvi elementi uklone. Uz navedene faktore, na duljinu preglednosti utječu i vozno-dinamičke karakteristike vozila, kao i ponašanje vozača u prometu.

Pri projektiranju novih cesta, te rekonstrukciji postojećih, potrebno je eliminirati sve uzroke koji bi mogli dovesti do smanjene preglednosti. Zbog toga se pri projektiranju ceste uvijek provjerava preglednost koja je u svakoj zemlji regulirana zakonima i tehničkim propisima. Tehnička pravila ukazuju na zahtjeve koji se odnose na provjeru projektirane trase za dvije karakteristične preglednosti, a to su zaustavna preglednost i pretjecajna preglednost.

Zaustavna preglednost je razmak koji omogućava vozaču da pri projektnoj brzini kočenjem zaustavi vozilo ispred svake nepokretne prepreke na kolniku. U realnim uvjetima projektiranja na izvangradskim dionicama, zaustavna preglednost ne predstavlja veliki problem. Na gotovo svim dionicama zaustavna preglednost je omogućena bez potrebne korekcije ili ograničenja brzine, te iz tog razloga zaustavna preglednost nije posebno istraživana u ovom radu.

Pretjecajna preglednost predstavlja razmak koji omogućava vozaču vozila koje obavlja pretjecanje da sigurno obavi započetu radnju ili da se u slučaju pojave vozila iz suprotnog smjera sigurno vrati u svoju prometnu traku. Pretjecanje je jedna od najzahtjevnijih i najopasnijih radnji u prometu te je zbog toga obveza projektanata da prilikom projektiranja definiraju zone dozvoljenog i zabranjenog pretjecanja.

Pretjecajna preglednost definirana na parametrima realnog prometnog toka povećava razinu usluge ceste te smanjuje nervozu vozača od strane sporijih i/ili starijih vozila, što povoljno utječe na parametre sigurnosti odvijanja prometa.

Diplomski rad sastoji se od sljedećih poglavlja:

1. Uvod
2. Pretjecanje vozila
3. Pojam i značaj pretjecajne preglednosti
4. Analiza prethodnih istraživanja pretjecajne preglednosti
5. Prometne nesreće pri pretjecanju
6. Istraživanje pretjecanja u realnom prometnom toku
7. Prijedlog modela pretjecajne preglednosti za Republiku Hrvatsku
8. Zaključak

U uvodu su dane osnovne napomene u vezi s problemom opisanim u radu i u kratkim crtama objašnjava se kontekst i opisuje tema rada.

U drugom poglavlju definira se pojam pretjecanja vozila, te su opisane njegove glavne karakteristike.

U trećem poglavlju opisana je pretjecajna preglednost, koja je od izuzetne važnosti za sigurno pretjecanje vozila.

Prethodni modeli pretjecajne preglednosti pobliže su opisani i analizirani u četvrtom poglavlju.

U petom poglavlju opisane su vrste prometnih nesreća koje nastaju prilikom pretjecanja.

U šestom poglavlju dani su rezultati istraživanja pretjecanja u realnom prometnom toku, dok se u osmom daje prijedlog modela pretjecajne preglednosti za Republiku Hrvatsku.

Zaključkom je obuhvaćena cjelokupna tematika rada.

2. Pretjecanje vozila

Prilikom vožnje u koloni vozači se često odlučuju za obilaženje i pretjecanje vozila.

Obilaženje je prolaženje vozilom pokraj zaustavljenog ili parkiranog vozila ili drugog objekta koji se nalazi na prometnoj traci kojom se vozilo kreće. Pretjecanje je prolaženje jednog vozila pokraj drugog vozila u prometu koje se kreće kolnikom u istom smjeru.

Na dvotračnim dvosmjernim cestama pretjecanje predstavlja najsloženiju radnju jer vozilo koje pretječe određeni vremenski period boravi na prometnoj traci koja je namijenjena kretanju vozila iz suprotnog smjera. Zbog interakcije između suprotnih prometnih tokova, sigurnost i uvjeti odvijanja prometa u velikoj mjeri ovise o mogućnosti obavljanja pretjecanja. Kod autocesta suprotni prometni tokovi fizički su razdvojeni pa ne postoji interakcija između prometnih tokova iz suprotnih smjerova [1].

Pretjecanje se realizira u svim režimima prometa, ali je ono izraženije u prometnim tokovima manje gustoće. U uvjetima zasićenog prometnog toka, kada je stupanj slobode kretanja vozila malen i kada vladaju uvjeti stroge kolonske vožnje pretjecanje se ne može realizirati. Uvjeti zasićenog toka na većini cesta javljaju se samo u ograničenom vremenskom periodu. Iz toga proizlazi da mogućnost realizacije pretjecanja u najvećoj mjeri ovisi o karakteristikama ceste. Suvremeno vođenje ceste se po pravilu izvodi krivudavim linijama, tako da se preglednost naizmjenično otvara za jedan ili drugi smjer kretanja. U uvjetima vožnje desnim prometnim trakom, desni zavoji u pravilu nemaju dovoljnu preglednost za pretjecanje. Prema tome, na dionicama dvosmjernih dvotračnih cesta s horizontalnim krivinama, maksimalno 50% ceste ima dovoljnu dužinu preglednosti za pretjecanje.

U realnom prometnom toku pretjecanje se javlja zbog heterogene strukture prometnog toka, različitih vozno-dinamičkih sposobnosti vozila, različitih karakteristika vozača i njihova ponašanja. U uvjetima zasićenog prometnog toka stupnjevi slobode kretanja vozila su mali i pretjecanje se teško može realizirati. Iz tog proizlazi da mogućnost obavljanja pretjecanja u takvim uvjetima ovisi isključivo o geometrijskim karakteristikama ceste. Stoga je na dijelovima izvan gradskih cesta potrebno osigurati određeni broj dionica na kojima je dopušteno pretjecanje. Te dionice su zapravo zone dopuštenog pretjecanja.

Iz svega navedenog može se zaključiti da zahtjevi za pretjecanjem rastu s porastom gustoće prometa, a mogućnosti da se obavi pretjecanje opadaju. Mogućnosti za pretjecanjem ovise o vjerojatnosti pojave prihvatljivih intervala slijeđenja u prometnom toku iz suprotnog smjera. Potreba za pretjecanjem proporcionalna je protoku vozila u analiziranom smjeru odnosno pojavi minimalnih razmaka slijeđenja vozila, a što je u funkciji gustoće i strukture prometnog toka. Smanjenjem mogućnosti pretjecanja vozila smanjuje se razina usluge, prosječna brzina vožnje, a povećava vrijeme vožnje u koloni.

Pojava pogodnih intervala slijeđenja za pretjecanja u suprotnom prometnom toku jednaka je eksponencijalnoj razdiobi[1]:

$$f(t) = \lambda * e^{-\lambda t}$$

gdje je:

λ – prosječan broj pojavljivanja vozila iz suprotnog smjera, u jedinici vremena

e – 2,72 (prirodni logaritam)

t – vrijeme pretjecanja

Vjerojatnost nastanka potrebe za pretjecanjem mogla bi se izračunati na sljedeći način:

$$p = q * t / 3600$$

gdje je:

p - vjerojatnost potrebe za pretjecanjem (izravno ovisna o protoku vozila)

Q - veličina prometnog toka

t – vrijeme zauzetosti presjeka koje je u funkciji brzine i minimalnog rastojanja između vozila

Vrijeme potrebno za obavljanje pretjecanja u normalnim uvjetima iznosi oko 10 s. Razlike u brzinama pretjecanog i vozila koje pretječe vozila iznosi oko 16 km/h (AASHTO, USA 10 mile/h).

2.1. Vrste pretjecanja vozila

Ovisno o načinu pretjecanja razlikuju se dva karakteristična slučaja [2]:

- Delayed pass (odloženo pretjecanje) – kod ovakvog pretjecanja vozilo koje pretječe usporava i prati pretjecano vozilo do trenutka nailaska na zonu u kojoj je dopušteno pretjecanje (dakle, vozilo koje pretječe uvijek smanjuje svoju brzinu prije nego što započne pretjecanje);
- Flying pass (leteće pretjecanje) – kod ovakvog pretjecanja vozilo koje pretječe se kreće brzinom koja je veća od brzine pretjecanog vozila, sustiže pretjecano vozilo i obavlja radnju pretjecanja bez smanjenja svoje brzine na vrijednost brzine kojom se kreće pretjecano vozilo;

Ključna razlika između ove dvije vrste pretjecanja je ta što Flying pass (leteće pretjecanje) ne zahtijeva dodatno vrijeme pretjecanja koje se ostvari prilikom ubrzanja vozila koje pretječe, kao kod Delayed pass pretjecanja pa samim time zahtijeva manju pretjecajnu preglednost. Sukladno tome, Flying pass predstavlja manje kritičnu situaciju, odnosno dužina puta Delayed pass manevra se može uzeti kao mjerodavna za utvrđivanje pretjecajne preglednosti.

Više o vrstama pretjecanja govori se u točki 4.4.

2.2. Uvjeti sigurnog pretjecanja

Uvjeti sigurnog pretjecanja su:

- osigurana potrebna duljina preglednosti, širina ceste i vidljivost;
- potrebna razlika između brzine kretanja vozila koje pretječe i brzine vozila koje se pretječe;
- na cesti nema prometnog znaka koji to zabranjuje;
- ispitivanja su pokazala da razlike brzina iznose 15-20 km/h (sigurnosno pravilo).

Pretjecati i obilaziti vozač smije samo ako time ne ometa normalno kretanje vozila koja dolaze iz suprotnog smjera i ako na cesti ima dovoljno prostora za sigurno izvođenje radnji.

Vozač ne smije pretjecati i obilaziti kada mu to uvjeti na cesti ne dozvoljavaju ili kada time ugrožava druge sudionike u prometu.

Vozač kojemu je dan znak za pretjecanje s njegove lijeve strane dužan je pomaknuti svoje vozilo k desnom rubu kolnika. Vozač ne smije povećavati brzinu kretanja svog vozila dok ga drugo vozilo pretječe.

Ako zbog nedovoljne širine kolnika ili njegova stanja nije moguće pretjecati bez ugrožavanja sigurnosti prometa, vozač vozila koje se kreće sporije nego vozila koja se kreću iza njega, dužan je pomaknuti svoje vozilo što više udesno. Ako to nije dovoljno, čim to bude moguće, dužan je zaustaviti svoje vozilo na prikladnom mjestu da bi propustio brža vozila.

Vozač ne smije vozilom početi pretjecati ili obilaziti [1]:

- kolonu vozila;
- ako je vozač koji se kreće iza njega počeo pretjecati;
- ako je vozač koji je ispred njega na istoj prometnoj traci dao znak da namjerava preteći ili obići vozilo koje je ispred njegova vozila, ili obići drugu zapreku na cesti;
- ako prometna traka kojom namjerava pretjecati nije slobodna na dovoljnoj udaljenosti tako da bi, vodeći računa o razlici između brzine kretanja svojeg vozila za vrijeme pretjecanja i brzine kretanja vozila drugih sudionika u prometu koje namjerava preteći, pretjecanjem ugrozio sigurnost prometa ili omeo promet iz suprotnog smjera;
- ako nakon pretjecanja ili obilaženja ne bi ponovno mogao zauzeti položaj na prometnoj traci kojom se kretao prije pretjecanja ili obilaženja i to bez ometanja ili ugrožavanja ostalih sudionika u prometu, osim kad se za pretjecanje ili obilaženje koristi prometnom trakom koja je zabranjena za promet vozila iz suprotnog smjera;
- prometnom trakom koja je namijenjena zaustavljanju vozila u nuždi.

Vozač koji pretječe ili obilazi dužan je svoje vozilo držati na potrebnoj udaljenosti od vozila koje pretječe. Nakon pretjecanja ili obilaženja vozač je dužan, čim to bude moguće učiniti bez ometanja ili ugrožavanja ostalih sudionika u prometu, vozilom ponovno zauzeti položaj na prometnoj traci kojom se kretao prije pretjecanja, odnosno obilaženja. Na kolniku na kojem se promet odvija u dva smjera, a koji ima po jednu prometnu traku namijenjenu za promet vozila u jednom smjeru, vozač ne smije vozilom pretjecati drugo vozilo u tunelu, na mostu, ispred vrha prijevaja ceste ili u zavoju kad je preglednost ceste nedovoljna. Vozač ne smije pretjecati drugo vozilo, osim bicikla, mopeda i motocikla bez bočne prikolice, neposredno ispred raskrižja ili na raskrižju koje nije s kružnim tokom prometa, ili neposredno ispred prijelaza ceste preko željezničke ili tramvajske pruge u istoj razini bez branika ili polubranika i na tom prijelazu. Neposredno ispred raskrižja i na raskrižju vozač smije pretjecati: vozilo koje skreće ulijevo, a pretječe se s desne strane, vozilo koje skreće udesno, ali tako da pritom svojim vozilom ne prelazi na dio kolnika namijenjen za promet vozila iz suprotnog smjera, vozilo koje se kreće cestom koja je prometnim znakom označena kao cesta s prednošću prolaska, kad se prometom na raskrižju upravlja prometnim svjetlima ili znacima koje daje ovlaštena osoba. Vozač ne smije pretjecati drugo vozilo koje se približava obilježenome pješačkom prijelazu, ili koje prelazi pješački prijelaz i obilaziti vozilo koje je stalo radi propuštanja pješaka na tom prijelazu. Na cesti na kojoj postoje najmanje dvije prometne trake namijenjene za promet vozila u istom smjeru i na kojima su kolone vozila, vozač ne smije vozilom prelaziti iz trake u traku (slalom). Vozač može napustiti traku na kojoj se nalazi samo radi skretanja ulijevo ili udesno ili radi zaustavljanja, odnosno parkiranja vozila [1].

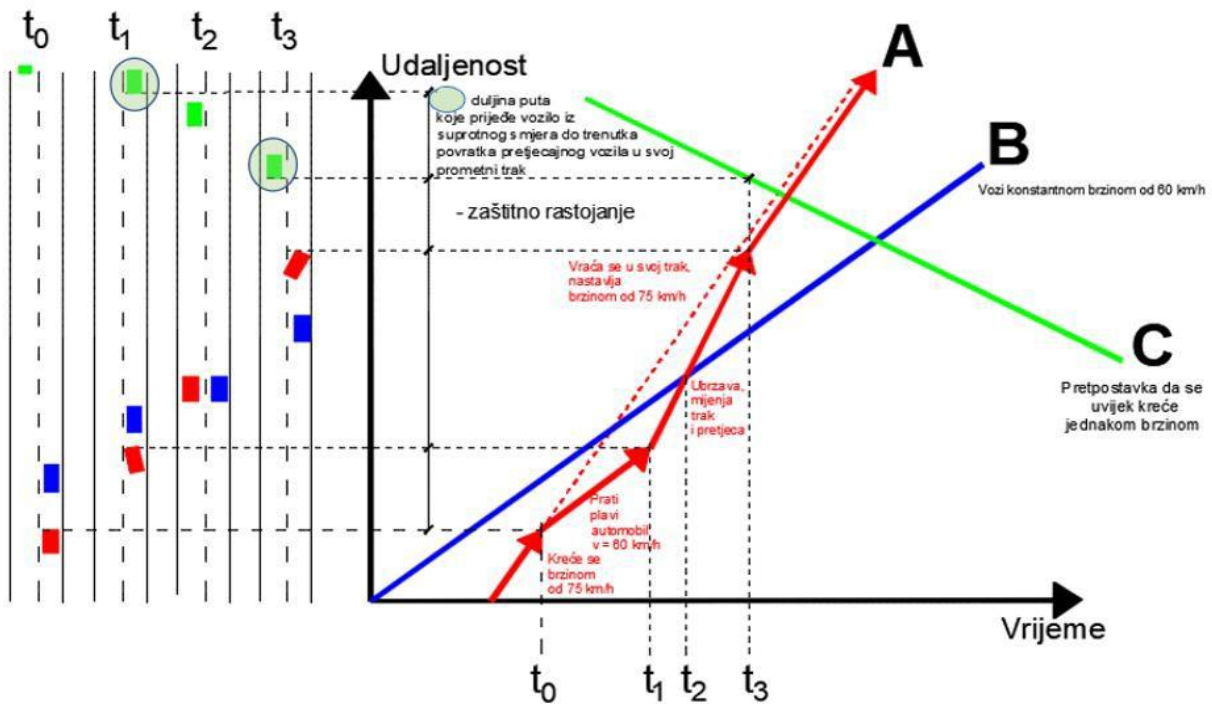
2.3. Postupak pretjecanja

Prilikom obavljanja postupka pretjecanja potrebno je obaviti sljedeće radnje [1]:

- uvjeriti se da se pretjecanje može obaviti na siguran način;
- uključiti lijevi pokazivač smjera;
- pomaknuti se vozilom u lijevu stranu;
- prema potrebi upozoriti vozača ispred o namjeri pretjecanja;
- prestrojiti se na lijevu prometnu traku;

- ubrzati vozilo i prebaciti u viši stupanj prijenosa;
- paziti na pravilan bočni razmak i vozila iz suprotnog smjera;
- kada se na unutarnjem zrcalu vidi vozilo koje se pretječe u blagom luku vratiti se u desnu prometnu traku;
- pri povratku isključiti lijevi pokazivač smjera.

Na slici 1 grafički je prikazan postupak odloženog pretjecanja (Delayed pass) na dvotračnoj cesti.



Slika 1. Pretjecanje vozila

Izvor: [5]

Plavi automobil vozi brzinom od 60 km/h. Iz suprotnog smjera dolazi zeleni automobil koji se kreće jednolikom brzinom. Iza plavog automobila dolazi crveni automobil koji vozi brzinom od 75 km/h i smanjuje brzinu na 60 km/h. Vozeći se brzinom od 60 km/h, slijedi plavi automobil, promatra situaciju na suprotnoj prometnoj traci i u trenutku t_1 donosi

odluku o pretjecanju. Konstantno povećava brzinu, prelazi na suprotnu traku i u trenutku t_2 izjednačava se s plavim automobilom. U trenutku t_3 crveni automobil se vraća na svoju prometnu traku i nastavlja daljnju vožnju. Cijelo vrijeme pretjecanja, zeleni automobil iz suprotnog smjera vozi konstantnom brzinom i u trenutku kad je crveni automobil zauzeo položaj na svom prometnoj traci zeleni automobil se nalazio na određenom razmaku od crvenog automobila. Taj razmak nazivamo zaštitnim razmakom d_3

3. Pojam i značaj pretjecajne preglednosti

Općenito, potrebna preglednost predstavlja udaljenost između vozila i objekta ili dva vozila u pokretu na kojoj je moguće vizualno uočiti objekt ili drugo vozilo, pri čemu se ravnina promatranja nalazi na visini očiju vozača, paralelno gornjoj razini prometnog traka. Preglednost mora biti tolika da omogući dovoljno vremena za reagiranje vozača i izvođenje potrebnih radnji u skladu s prometnom situacijom.

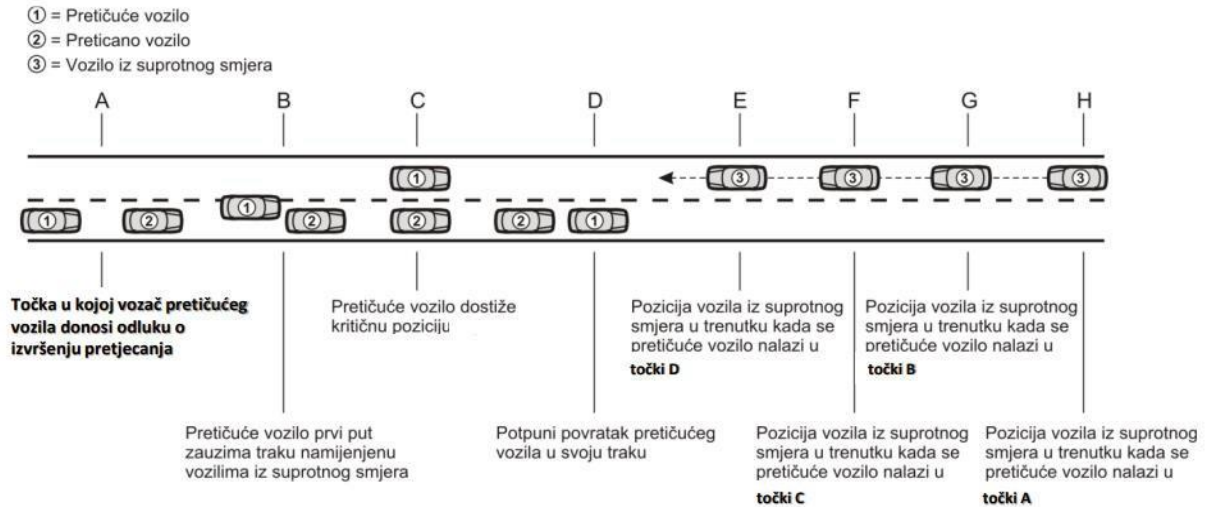
Pretjecajna preglednost je razmak koji omogućava vozaču vozila koje obavlja pretjecanje da sigurno obavi započetu radnju ili da se u slučaju pojave vozila iz suprotnog smjera vrati na svoju desnu prometnu traku [3].

Pretjecajna preglednost je najmanja udaljenost potrebna vozaču kako bi mogao sigurno pretjecati sporije vozilo. Potrebna duljina mjeri se duž središnje linije ceste gdje vozač (čiji položaj oka je 1 m iznad ceste) na vrijeme može uočiti vrh objekta koji se nalazi 1 m iznad ceste [4].

Čimbenici koji utječu na pretjecajnu preglednost:

- brzina vozila koje pretječe, brzina pretjecanog vozila i vozila koja dolaze u suprotnom smjeru;
- razmak između vozila, koji ovisi o brzini;
- vještina i vrijeme reakcije vozača;
- brzina ubrzanja pretjecanja vozila;
- nagib ceste.

Na slici 2 prikazani su elementi puta pretjecanja koji utječu na duljinu pretjecajne preglednosti.



Slika 2. Elementi puta pretjecanja koji utječu na duljinu pretjecajne preglednosti

Izvor: [2]

Da bi se pretjecanje obavilo sigurno, vozač vozila koje pretječe 1 na početku puta pretjecanja mora uzeti u obzir vozilo 3 koje mu iz suprotnog smjera dolazi u susret brzinom V_c . To znači da i put vozila 3 za vrijeme pretjecanja ulazi u proračun kao komponenta preglednosti. Prema tome, osim potrebne dužine puta za pretjecanje vozila „2“, prilikom definiranja pretjecajne preglednosti u obzir se mora uzeti i put koji za vrijeme pretjecanja prelazi vozilo „3“ [2].

4. Analiza prethodnih istraživanja pretjecajne preglednosti

Kako je već ranije navedeno, pretjecanje i pretjecajna preglednost su u funkciji prihvatljivog intervala slijeđenja u nizu iz suprotnog smjera i dužine puta pretjecanja. Na osnovu svega navedenog postavlja se pitanje kolika je realna duljina pretjecajne preglednosti i kako parametri koji su uključeni u pretjecanje utječu na dimenzioniranje pretjecajne preglednosti. Na veličinu prihvatljivih intervala utječu mnogi faktori i parametri prometnog toka, pa se u literaturi nude brojni modeli za definiranje pretjecajne preglednosti. U okviru ovog rada dani su neki od modela i kriterija koji se koriste za proračun pretjecajne preglednosti i njenih elemenata, između ostalog i puta pretjecanja. Elementi koji utječu na duljinu puta pretjecanja i vrijeme pretjecanja, odnosno pretjecajne preglednosti su razmak slijeđenja i razlike u brzinama vozila koje pretječe i pretjecanog vozila. S obzirom na to da duljina puta pretjecanja nije jedini parametar kojim se opisuje manevar pretjecanja, ona će se kroz sljedeće modele promatrati u okviru pretjecajne preglednosti.

4.1. Međunarodni kriteriji pretjecajne preglednosti

Pretjecajna preglednost se može računati i prema različitim modelima, ovisno o pretpostavljenoj brzini vozila koje pretječe, pretjecanog vozila iz suprotnog smjera, zatim ubrzanja i razmaka između vozila.

U Sjedinjenim Američkim Državama i Kanadi minimalna pretjecajna preglednost se bazira na AASHTO kriteriju.

Za određivanje pretjecajne preglednosti u Velikoj Britaniji koriste se dvije vrijednosti, puna dužina pretjecanja (Full Overtaking Sight Distance-FOSD) i prekinuta dužina pretjecanja (Abort Sight Distance-ASD). FOSD se koristi za utvrđivanje točke na kojoj počinje prihvatljiva dužina pretjecajne preglednosti, a ASD se koristi za utvrđivanje točke u kojoj se završava dužina preglednosti za pretjecanje. FOSD predstavlja dužinu puta koju vozilo koje pretječe prođe dok se nalazi u traci za suprotni smjer, sigurnosni razmak i dužinu puta koju prođe vozilo iz suprotnog smjera za vrijeme dok se vozilo koje pretječe nalazi u traci za suprotni smjer. Dužina ASD jednaka je polovini FOSD,

a prihvatljiva dužina pretjecajne preglednosti jednaka je dužini FOSD koja se u točki svog završetka produžava za ASD. Prema tome, navedeni kriterij ne uključuje cjelokupan put pretjecanja kao što je to navedeno u AASHTO kriteriju (zapravo zanemaren je završni dio puta pretjecanja, tj. put i vrijeme koji se utroše prilikom povratka vozila koje pretječe u svoju traku). Velika Britanija je jedina zemlja koja koristi brzinu od 85 km/h kao standardnu vrijednost projektne brzine.

Kriterij koji se koristi u Australiji sličan je onome koji se koristi u Velikoj Britaniji. Osnovna razlika između ta dva kriterija je ta što kriterij koji se koristi u Australiji uz dužinu pretjecajne preglednosti uključuje i završni dio puta pretjecanja, tj. put i vrijeme koji se utroše prilikom povratka vozila koje pretječe u svoju traku [2].

4.1.1. AASHTO Green Book kriterij

Jedan od prvih kriterija za utvrđivanje pretjecajne preglednosti baziran je na istraživanjima provedenim četrdesetih godina dvadesetog stoljeća, a formiran je od strane "American Association of State Highway and Transportation Official – AASHTO" u dijelu pod nazivom "A Policy on Geometric Design of Highways and Streets – Green Book". Sva kasnija istraživanja vezana uz temu pretjecajne preglednosti bila su bazirana na već utvrđenom AASHTO modelu, te su predstavljala samo jednu od varijanti postojećeg modela pretjecajne preglednosti [3].

Tijekom proteklih 60 godina došlo je do značajnog tehnološkog napretka što je utjecalo i na promjenu karakteristika vozila. Tehnološki napredak je u velikoj mjeri imao utjecaj na promjenu uvjeta odvijanja prometa i promjene u ponašanju vozača, pri čemu promjene nisi uzete u obzir prilikom definiranja potrebne dužine pretjecajne preglednosti.

Prema AASHTO modelu, minimalna pretjecajna preglednost (Passing Site Distance – PSD) izražena je kao zbroj sljedećih razmaka [3]:

$$PSD=d_1+d_2+d_3+d_4$$

gdje su:

d_1 – razmak koji prijeđe vozilo koje pretječe prilikom početnog ubrzanja pa do zauzimanja trake za vozila iz suprotnog smjera

d_2 – razmak koji prijeđe vozilo koje pretječe od zauzimanja pa do napuštanja prometne trake za vozila iz suprotnog smjera

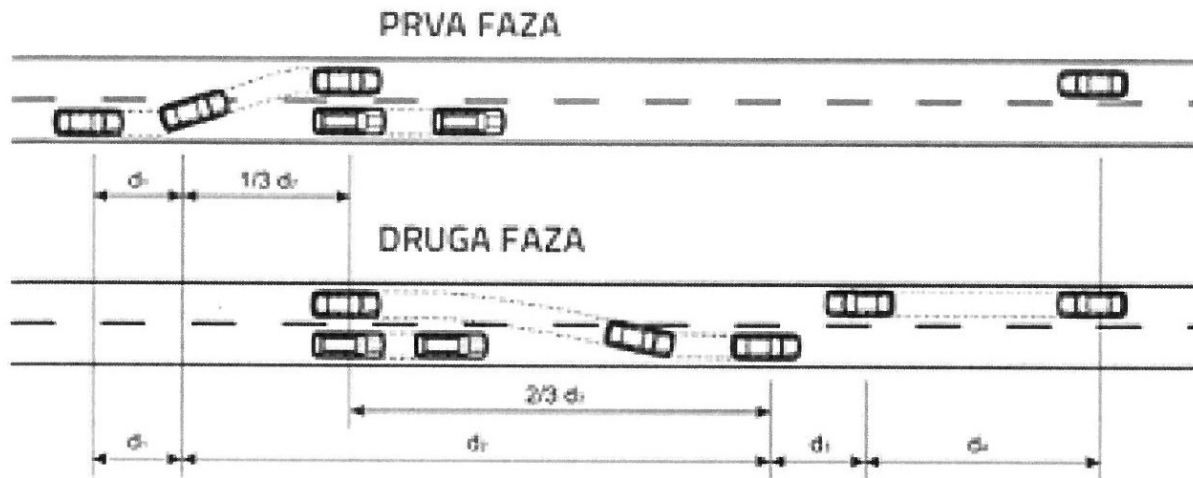
d_3 – razmak između vozila koje pretječe i vozila iz suprotnog smjera na kraju manevra pretjecanja

d_4 – razmak koji prijeđe vozilo iz suprotnog smjera za dvije trećine vremena putovanja na razmaku d_2

AASHTO model razvijen je na temelju sljedećih hipoteza [3]:

- pretjecano vozilo se kreće konstantnom brzinom;
- vozilo koje pretječe prije obavljanja pretjecanja smanjuje svoju brzinu kretanja i slijedi pretjecano vozilo do izlaska iz zone sa zabranom pretjecanja;
- nakon ulaska u zonu na kojoj je pretjecanje dopušteno vozaču koji upravlja vozilom koje pretječe potreban je kratak period za uočavanje slobodnog dijela za pretjecanje, te tada ono počinje ubrzavati;
- tijekom kretanja u traci namijenjenoj za vozila iz suprotnog smjera, vozilo koje pretječe se kreće brzinom koja je od brzine pretjecanog vozila veća za 16 km/h;
- pretjecanje se uspješno obavlja osim ako se u suprotnoj traci pojavi vozilo zbog kojeg se vozilo koje pretječe vraća u svoju trak, pa se samim tim pretjecanje odgađa;
- po završetku pretjecanja između pretjecanog vozila i vozila koje dolazi iz suprotnog smjera postoji prihvatljiv razmak.

Prema navedenom modelu pretjecanje se može obaviti u dvije faze, kao što je prikazano na slici 3. Duljine koje su relevantne za daljnju analizu su d_1 i d_2 .



Slika 3 . Elementi puta pretjecanja prema AASHTO modelu

Izvor: [2]

Udaljenost prijeđena tijekom uočavanja i vremena reakcije, te tijekom početnog ubrzanja do točke prelaska u lijevu traku prema AASHTO modelu računa se na sljedeći način [3]:

$$d_1 = 0,278 * t_1 * (v - m + \frac{a * t_1}{2})$$

gdje je:

t_1 – vrijeme početne radnje pretjecanja (vrijeme uočavanja i vrijeme reakcije)

v – prosječna brzina vozila koje pretječe

m – razlika između brzina vozila koje pretječe i pretjecanog vozila

a – prosječno ubrzanje vozila

Udaljenost prijeđena dok se vozilo koje pretječe nalazi u lijevoj prometnoj traci računa se prema formuli:

$$d_2 = 0,278*v*t_2$$

gdje je:

t_2 - vrijeme koje vozilo koje pretječe provede u lijevoj prometnoj traci

AASHTO model, prilikom definiranja dijela puta pretjecanja, odnosno udaljenosti prijeđene tijekom percepcije i vremena reakcije te tijekom početnog ubrzanja do točke prelaska u lijevi trak uzima u obzir činjenicu da vozila ubrzavaju, dok ostali modeli to zanemaruju.

4.1.2. Model Van Valkenburg – Michael

Ovaj model su 1971. godine razvili G. W. Van Valkenburg i H. L. Michael zasnovan je zbroju tri razmaka, a baziran je na konceptu manevra pretjecanja koji uključuje kritičnu točku ili kritičnu poziciju. Kao kritičnu točku Van Valkenburg i Michael su definirali točku u kojoj se zadnji branik pretjecanog vozila nađe nasuprot središta vozila koje pretječe.

Dužina pretjecajne preglednosti prema ovom model predstavlja zbroj sljedećih razmaka:

1. Razmak koji prođe vozilo koje pretječe, od kritične pozicije do završetka pretjecanja i povratka u svoju traku ispred pretjecanog vozila;
2. Razmak koji prođe vozilo iz suprotnog smjera za vrijeme koje protekne od trenutka kada se vozilo koje pretječe nađe na kritičnoj poziciji, do završetka pretjecanja i povratka u svoju traku ispred pretjecanog vozila;
3. Minimalan razmak između vozila iz suprotnog smjera i vozila koje pretječe na kraju puta pretjecanja.

Ovaj model je utvrđen na osnovu istraživanja provedenih na terenu prilikom kojih su dobiveni podaci o dužini puta pretjecanja i brzinama pri kojima se pretjecanje obavlja. Nedostatak ovog modela je taj što prikazuje samo izlazne rezultate istraživanja, a ne i izveden model po kojemu bi se mogla računati dužina pretjecajne preglednosti i dužina puta pretjecanja [3].

4.1.3. Modeli Weaver – Glennon i model Harwood – Glennon

G. D. Weaver i J.C. Glennon su 1972. godine ustanovili da postoje razlike između projektiranih uvjeta i stvarnih uvjeta odvijanja prometa, te su iz tog razloga razvili novi model baziran na AASHTO modelu. Razlika između ovog novog modela i AASHTO modela bila je pretpostavka da mora postojati dovoljna pretjecajna preglednost za vozača koji se nađe u kritičnoj poziciji na kraju zone dozvoljenog pretjecanja. Prema ovom modelu razlikuje se dužina pretjecajne preglednosti na početku zone dozvoljenog pretjecanja i dužina pretjecajne preglednosti na kraju zone dozvoljenog pretjecanja [6].

4.1.4. Model Lieberman

Godine 1982. E.B.Lieberman je razvio model koji je se od prethodnih modela razlikovao i isticao svojom kompleksnošću. Lieberman je u ovaj model po prvi put uvrstio parametre koji su povezani s dimenzijama vozila, odnosno razmak slijeđenja na početku i na kraju pretjecanja. Kao što su to u svojim modelima pretpostavili Van Valkenburg i Michael, Weaver i Glennon i Harwood i Glennon, Lieberman je također smatrao da pretjecajna preglednost treba biti bazirana na kritičnoj poziciji pretjecanog vozila. Prema ovom modelu kritična pozicija je ona pri kojoj je razmak između vozila koje pretječe i vozila iz suprotnog smjera toliki da je moguće završiti manevar pretjecanja ili se vratiti iza pretjecanog vozila, što je jednako kritičnoj poziciji koju su definirali Harwood i Glennon. Tvrdnja koju je Lieberman isticao je ta da je dužini puta pretjecajne preglednosti potrebno dati razmak koji prijeđe vozilo koje pretječe dok ne dostigne kritičnu poziciju.

Prema ovom modelu dužina pretjecajne preglednosti očituje se kao zbroj razmaka koje prođe vozilo koje pretječe do dostizanja kritične pozicije (d_5) i preglednosti potrebne za završetak manevra pretjecanja ili njegovog odlaganja (PSD_c) [6].

$$PSD = d_5 + PSD_c$$

$$d_5 = G_1^N + 1,47 * V_i t_5 + \Delta c$$

$$PSD_c = 1,47 * (2V_i + m) t_6 + d_3$$

$$t_6 = 0,68 * \left[\frac{G_1 + \Delta c}{m} \right] + \left(1,47 * \frac{m}{2a} \right)$$

$$\Delta c = G_1 - 1,47 * m t_6$$

$$a = a_{max} \left[1 - \frac{(V_i + \frac{m}{2})}{v_{max}} \right]$$

gdje je:

d_5 – razmak koji prođe vozilo od trenutka kada započne pretjecanje, do kritične točke

G_1^N – razmak slijeđenja na početku pretjecanja (ft)

G_1 – razmak slijeđenja na kraju puta pretjecanja (ft)

V_i – brzina pretjecanog vozila (mph)

t_5 – vrijeme koje protekne od početka pretjecanja do postizanja kritične pozicije (s)

t_6 – vrijeme koje je potrebno za završetak manevra pretjecanja (od kritične trake do povratka u normalnu traku) (s)

d_3 – razmak između vozila koje pretječe i vozila iz suprotnog smjera na kraju manevra pretjecanja (ft)

Δc – relativna pozicija prednjeg kraja vozila koje pretječe i pretjecanog vozila na kritičnoj poziciji ($\Delta c < 0$ – vozilo koje pretječe se nalazi iza pretjecanog vozila; $\Delta c > 0$ – vozilo koje pretječe se nalazi ispred pretjecanog vozila)

a_{max} – maksimalno ostvarivo ubrzanje (ft/s²)

V_{max} – maksimalna ostvariva brzina (mph).

Modelom Lieberman je utvrđeno da se pretjecano vozilo i vozilo iz suprotnog toka kreću konstantnom brzinom, pri čemu se kao mjerodavna brzina za utvrđivanje pretjecajne preglednosti uzima brzina pretjecanog vozila. Utvrđena razlika u brzinama između pretjecanog i vozila koje pretječe za sve slučajeve je 16 km/h.

Model koji je definirao Lieberman prema mišljenjima stručnjaka nije pogodan za određivanje pretjecajne preglednosti na kraju zone pretjecanja jer daje nepotrebno velike vrijednosti za upotrebu na tim mjestima. S druge strane, ovaj model daje jako dobre vrijednosti za utvrđivanje pretjecajne preglednosti na početku zone pretjecanja, čak se i dobivene vrijednosti podudaraju s projektnim zahtjevima propisanim u Velikoj Britaniji i Australiji. Prednost ovog modela je ta što je po prvi put matematički utvrđena međusobna pozicija vozila koje pretječe i pretjecanog vozila u kritičnoj poziciji [6].

4.1.5. Model Saito

Model je utvrdio 1984. godine M. Saito. Zasnovan je na poziciji kritične točke pri čemu se razlikuju dvije moguće pozicije. Prva kritična pozicija je ona u kojoj je vozilo započelo pretjecanje, ali se prednji kraj vozila koje pretječe nalazi iza zadnjeg kraja pretjecanog vozila (kritična pozicija 1), dok druga kritična pozicija predstavlja onu točku u kojoj se vozilo koje pretječe nalazi paralelno pokraj pretjecanog vozila (kritična pozicija 2). Ključni dio ovog modela je način proračuna vremena potrebnog za odgađanje manevra pretjecanja s jedne od dvije pretpostavljene kritične pozicije.

Opća jednakost za proračun pretjecajne preglednosti prema ovom modelu glasila bi:

$$PSD = 2,93 * V_{85} * t_d + d_3 - 0,73 * d_a * t_d^2$$

gdje je:

V_{85} – 85.percentilna brzina

t_d – vrijeme usporavanja (s)

d_3 – razmak između vozila koje pretječe i vozila iz suprotnog smjera na kraju manevra pretjecanja (ft)

d_a – vrijednost usporenja prilikom odgađanja pretjecanja (ft/s^2)

t_5 – vrijeme koje protekne od početka pretjecanja do dostizanja kritične pozicije (s)

U ovisnosti od položaja kritične pozicije razlikuje se način proračuna vremena potrebnog za odlaganje manevra pretjecanja, pa tako za slučaj kritične pozicije 1 vrijeme t_d se računa kao:

$$t_d = \frac{2,93*m + \sqrt{8,60*m^2 + 11,73*d_a*G_2}}{2*d_a}$$

Proračun vremena potrebnog za odlaganje manevra pretjecanja u slučaju kritične pozicije 2 računa se kao:

$$t_d = \frac{2,93*m + \sqrt{8,60*m^2 + 11,73*d_a*G_3}}{2*d_a}$$

gdje je:

m – razlika u brzinama pretjecanog i vozila koje pretječe (mph)

G_2 – razmak između prednjeg kraja vozila koje pretječe i zadnjeg kraja pretjecanog vozila u kritičnoj poziciji 1 (ft)

G_3 – razmak između prednjeg kraja vozila koje pretječe i zadnjeg kraja pretjecanog vozila u kritičnoj poziciji 2 (ft)

Pretpostavke na kojima se bazira ovaj model su sljedeće:

- vozilo koje pretječe dostiže konstantnu brzinu pretjecanja tijekom vremena koje protekne do dolaska na kritičnu poziciju;
- vozilo koje pretječe usporava konstantnim usporenjem od mjesta kritične pozicije do trenutka kada se pojavi željeni razmak između vozila na kojem je moguće obaviti povratak u desnu traku;

- pretjecano vozilo i vozilo iz suprotnog toka kreću se jednakim i konstantnim brzinama;
- utvrđeno usporenje iznosi $3,0 \text{ m/s}^2$;
- utvrđena razlika u brzinama iznosi 16 km/h ;
- dužina pretjecanog vozila uračunata je u razmak G_3 .

Ovaj model naišao je na kritiku zbog vrijednosti potrebne dužine pretjecajne preglednosti za odlaganje manevra pretjecanja. Prema njemu, potrebna je veća pretjecajna preglednost za odgađanje pretjecanja kada se vozilo koje pretječe nalazi na kritičnoj poziciji 1 nego u slučaju kada se nalazi u kritičnoj poziciji 2, što se čini potpuno nelogično. S druge strane, ovaj model je zanimljiv zbog svog koncepta s dvije kritične pozicije, ali je isto tako nekompletan i nedovoljno razvijen za praktičnu primjenu [6].

4.1.6. Model Glennon

Glennon je 1988. godine formirao novi model koji je kao i njegovi prethodni modeli bio baziran na konceptu kritične pozicije. Za razliku od prethodnih modela, ovaj podržava pretpostavku da kritična pozicija nastaje na mjestu na kojem je potrebna preglednost za završetak manevra pretjecanja jednaka onoj za odlaganje manevra pretjecanja.

Prema ovom modelu, pretjecajna preglednost se računa kao:

$$\text{PSD} = 2 * V_d \left(2,93 + \frac{L_p + \Delta c}{m} \right)$$

gdje je:

V_d – projektna brzina (mhp)

L_p – dužina vozila koje pretječe (ft)

L_i – dužina pretjecanog vozila (ft)

Δc – relativna pozicija vozila koje pretječe i pretjecanog vozila na kritičnoj poziciji ($\Delta c < 0$ – vozilo koje pretječe se nalazi iza pretjecanog vozila; $\Delta c > 0$ – vozilo koje pretječe se nalazi ispred pretjecanog vozila) (ft)

Glennon je novi model bazirao na sljedećim pretpostavkama:

- prosječna dužina putničkog automobila je 4,9 m (16 ft);
- usporenje prilikom odlaganja manevra pretjecanja iznosi $2,4 \text{ m/s}^2$ (8 ft/s^2);
- razlika između brzina pretjecanog i vozila koje pretječe iznosi od 13 do 19 km/h (8 do 12 mph);
- tijekom pretjecanja maksimalna preglednost je potrebna na kritičnoj poziciji;
- brzine pretjecanog vozila i vozila iz suprotnog smjera su konstantne i jednake projektnoj brzini;
- postoji mogućnost da vozilo koje pretječe ubrzanjem može dostići predviđenu razliku u brzinama dok ne dođe u kritičnu točku;
- reakcija vozača prilikom započinjanja pretjecanja iznosi 1s;
- interval slijeđenja između pretjecanog i vozila koje pretječe je 1s;
- minimalni interval slijeđenja između vozila koje pretječe i vozila iz suprotnog smjera u točki kada se vozilo koje pretječe vrati u svoju traku iznosi 1s.

Model je značajan jer je ovo prvi model koji je analitički baziran na konceptu kritične točke kao mjesta na kojem preglednost za realizaciju pretjecanja i preglednost za odlaganje pretjecanja imaju jednaku vrijednost. Prethodni modeli koji su koristili ovaj koncept uglavnom su bili netočni ili približno točni. Prednosti ovog modela su: prikazana je konkretna matematička povezanost za utvrđivanje relativne pozicije između vozila koja se pretječu te uzima u obzir konkretnu dužinu pretjecanog vozila i vozila koje pretječe pa je samim time moguće preciznije utvrditi pretjecajnu preglednost [7].

4.1.7. Model Wang i Cartmell

Jedan od posljednjih modela za opisivanje dužine pretjecajne preglednosti razvili su 1988.godine Wang i Cartmel. Model je detaljno opisao putanju po kojoj se kreće vozilo koje pretječe. Također, u ovom modelu putanja je opisana kao skup krivih i ravnih linija, odnosno detaljnije je uzeto u obzir kretanje vozila koje pretječe, dok je u većini prethodnih modela ta putanja opisivana kao ravna linija.

Prema ovom modelu, manevar pretjecanja se obavlja u tri faze:

1. Faza: put koji vozilo prijeđe od trenutka kada započne pretjecanja do trenutka kada prijeđe u susjednu traku, paralelno s vozilom koje pretječe, tako da se prednji kraj vozila koje pretječe i zadnji kraj pretjecanog vozila nađu u istoj ravnini;
2. Faza: put koji vozilo prijeđe od završetka prve faze, do trenutka kada se zadnji kraj vozila koje pretječe nađe u istoj ravnini s prednjim krajem pretjecanog vozila;
3. Faza: put koji prijeđe vozilo koje pretječe od trenutka kada se završi druga faza do trenutka dok se ne vrati u vlastitu traku.

Prema ovom modelu, dužina pretjecajne preglednosti je u funkciji puta dužine pretjecanja, brzine vozila koje dolazi iz suprotnog smjera i vremena koje je potrebno za realizaciju pretjecanja, odnosno:

$$PSD = X_1 + X_2 + X_3 + C + V_o * (T_1 + T_2 + T_3)$$

gdje je:

X_1 – razmak koji prijeđe vozilo koje pretječe na kraju druge faze (m)

X_2 – razmak koji prijeđe vozilo koje pretječe tijekom druge faze (m)

X_3 – razmak koji prijeđe vozilo koje pretječe tijekom 3 faze (m)

C- razmak između vrha vozila koje pretječe i vozila iz suprotnog toka na kraju manevra pretjecanja (m)

V_o – brzina vozila u suprotnom smjeru (m/s)

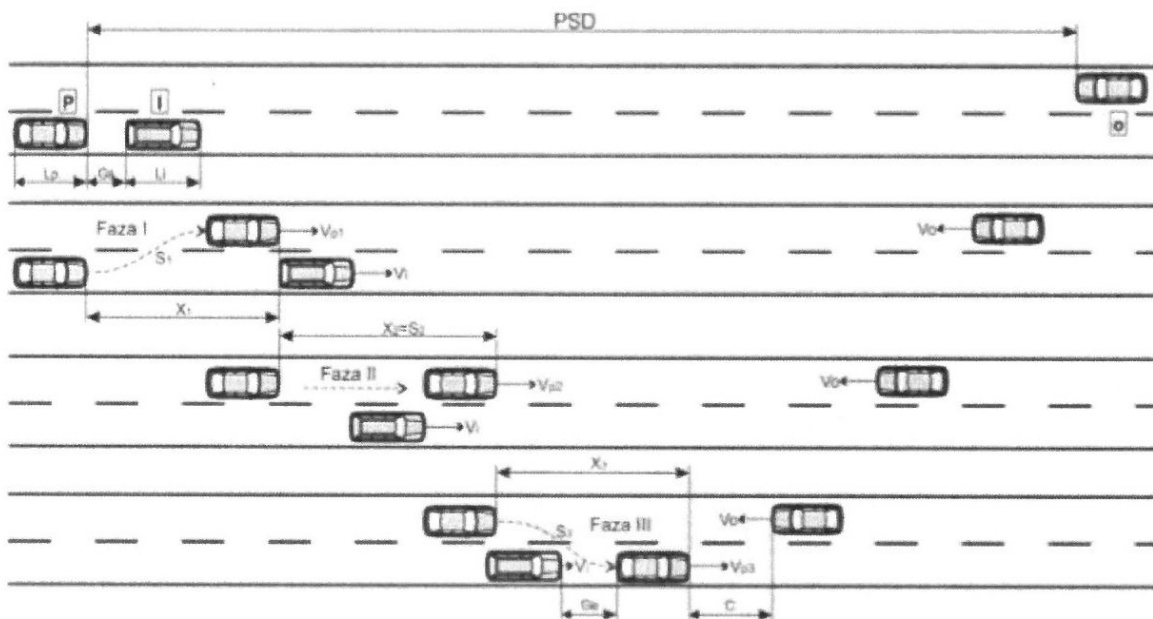
T_1 – vrijeme koje protekne tijekom 1.faze (m)

T_2 – vrijeme koje protekne tijekom 2.faze (m)

T_3 – vrijeme koje protekne tijekom 3.faze (m)

Ovaj model baziran je na sljedećim pretpostavkama:

- pretjecano vozilo i vozilo iz suprotnog smjera kreću se konstantnim brzinama
- vozilo koje pretječe započinje manevar pretjecanja inicijalnom brzinom V_i i ubrzava do maksimalne brzine V_{pmax} nakon čega se nastavlja kretati konstantnom brzinom V_{pmax}



Slika 4. Dužina pretjecajne preglednosti prema modelu Wang i Cartmell

Izvor: [8]

Prema ovom modelu, dužina puta pretjecanja se opisuje kao zbroj dužina $X_1+X_2+X_3$, a te dužine ovise o razmaku između vozila na početku (G_s) i na kraju puta pretjecanja (G_e), dužine vozila koje obavlja pretjecanje (L_p) i dužine vozila koje se pretječe (L_i), i isključivo o brzini vozila koje se pretječe (V_i), pri čemu se smatra da brzina vozila koje obavlja pretjecanje može maksimalno imati vrijednost maksimalne dozvoljene brzine na dionici na kojoj se obavlja pretjecanje. Brzina vozila koje se pretječe utvrđena je modelom, pa tako za projektnu brzinu od 60 km/h brzina pretjecanog vozila (V_i) iznosi 51 km/h, za projektnu brzinu od 80 km/h kao brzina pretjecanog vozila uzima se 65 km/h.

Prema ovom modelu put pretjecanja jednak je:

$$L = L_p + L_i + G_s + G_e + V_o * (T_1 + T_2 + T_3)$$

Model Wang i Cartmell naišao je na kritike zbog svoje kompleksnosti jer su ponuđena tri različita slučaja u ovisnosti o tome u kojoj fazi vozilo koje pretječe postiže maksimalnu brzinu. Isto tako, ovim modelom nije predviđen slučaj u kojem vozilo koje pretječe može odustati od pretjecanja, već se smatra da ako se pretjecanje započne ono mora biti i završeno, što se ne može prihvatiti kao točno ako se promatraju realni uvjeti odvijanja prometa. Prednost ovog modela je ta što su puno detaljnije uzeti u obzir elementi puta pretjecanja u odnosu na druge modele [8].

4.2. Model proračuna pretjecajne preglednosti u susjednim zemljama

Model koji je prihvaćen u susjednim zemljama baziran je na pretpostavci da vozilo koje pretječe mora za isto vrijeme prijeći duži put nego vozilo koje se pretječe. Taj put se sastoji od dva osnovna dijela: puta pretjecanog vozila B, koje se kreće brzinom V_b i viška puta vozila koje pretječe vozila A, koji se ostvaruje razlikom brzina $V_A - V_B$. Da bi se pretjecanje obavilo sigurno, pri tome treba uzeti u obzir da vozač vozila koje pretječe, vozila A na početku pretjecanja mora uzeti u obzir vozilo C, koje mu iz suprotnog smjera dolazi brzinom V_c .

Analiza modela koji se primjenjuju u susjednim zemljama važna je zbog toga što su navike vozača slične, slično je mjerodavno vozilo kao i karakteristike ceste. Također, slična je i ekonomska moć, te dolazi do miješanja prometa.

4.2.1. Kriterij pretjecajne preglednosti u Bosni i Hercegovini

Prema kriteriju koji se primjenjuje u Bosni i Hercegovini, pretjecajna preglednost P_p je razmak koji vozilo prijeđe za vrijeme uočavanja situacije (vrijeme reakcije), povećanja brzine, pretjecanja i vraćanja u svoju prometnu traku.

Minimalne dužine preglednosti pri pretjecanju su izračunate za uvjete ubrzavanja vozila koje pretječe s ubrzanjem od $1,5 \text{ m/s}^2$, pri najvećoj dozvoljenoj brzini vožnje vozila koje obavlja pretjecanje i vozila koje dolazi iz suprotnog smjera.

Minimalna dužina pretjecajne preglednosti je označena brzinom V_i koja je jednaka predviđenoj brzini V_{pred} uvećanoj za 20 km/h, odnosno $V_i=(V_{pred}+20 \text{ km/h})$, pri čemu je $V_i \leq V_{dozvoljeno}$.

Tablica 1. Minimalne dužine preglednosti prilikom pretjecanja prema kriteriju definiranom u Bosni i Hercegovini

V_i	40	50	60	70	80	90	100
Min P_p	-	330	380	450	520	600	680

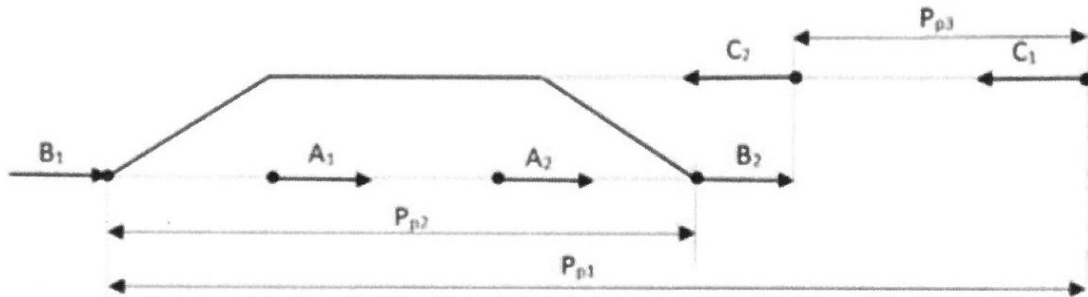
Izvor: prilagodio autor, [9]

Uz preglednost, pri pretjecanju je potrebno obratiti pažnju na mogućnosti pretjecanja u vertikalnim konveksnim krivinama. Prilikom određivanja radijusa vertikalne konveksne krivine na kojoj je dozvoljeno pretjecanje, potrebno je, prilikom izračunavanja radijusa, uzeti u obzir sumu zaustavnih razmaka za vozila koja se kreću u suprotnim smjerovima, pri brzini $V_{proj} \leq V_{doz}$, i s visinom prepreke $h_2=1 \text{ m}$. Prilikom određivanja područja na kojima pretjecanje nije dozvoljeno, dovoljno je točno uvesti zabranu pretjecanja na svim vertikalnim konveksnim krivinama čiji radijus iznosi $r < 1,75r_{min}^{konv}$.

Dio ceste na kojem je potrebno osigurati dužinu pretjecajne preglednosti prema kriteriju definiranom u Bosni i Hercegovini, ovisi o tehničkoj grupi kojoj promatrani put pripada. Ako prometnim dimenzioniranjem nije određena potrebna duljina dionice na kojoj je moguće izvršiti pretjecanja onda je na cestama koje pripadaju tehničkoj grupi A potrebno osigurati više od 25%, a na cestama koje pripadaju tehničkoj grupi B i C više od 15% duljine ceste na kojoj je pretjecanje dozvoljeno [9].

4.2.2. Kriterij pretjecajne preglednosti u Crnoj Gori

Duljina preglednosti potrebna za pretjecanje jednaka je zbroju dužina P_{p2} i P_{p3} , koje su prikazane na sljedećoj slici.



Slika 5. Duljina pretjecajne preglednosti prema kriteriju koji je prihvaćen u Crnoj Gori

Izvor: prilagodio autor, [10]

Brzine vozila koja sudjeluju u pretjecanju (brzina pretjecanog vozila- V_1 ; brzina vozila koje pretječe- V_2 ; brzina vozila koje dolazi iz suprotnog smjera- V_3) određuju se ovisno o računskoj brzini i to na sljedeći način [10]:

- za računsku brzinu $V_r \leq 80 \text{ km/h}$ brzine vozila u pretjecanju iznose:

$$V_1 = V_r; \quad V_2 = 1,4 * V_r; \quad V_3 = V_r$$

- za računsku brzinu $V_r > 80 \text{ km/h}$ brzine vozila u pretjecanju iznose:

$$V_1 = 0,75 * V_r; \quad V_2 = V_r; \quad V_3 = V_r$$

Zbog jednostavnije praktične primjene u praksi unaprijed su utvrđeni razmaci P_{p1} , P_{p2} i P_{p3} , ovisno o vrijednostima brzina vozila koja sudjeluju u pretjecanju. Navedeni razmaci, kao i vrijednosti brzina vozila i projektna brzina prikazani su u sljedećoj tablici.

Tablica 2 . Pojedine brzine i djelomične duljine prilikom pretjecanja

Računska brzina									
V_r (km/h)	40	50	60	70	80	90	100	110	120
Brzina vozila prilikom pretjecanja									
V_1 (km/h)	40	50	60	70	80	67,5	75	82,5	90
V_2 (km/h)	56	70	84	98	112	90	100	110	120
V_3 (km/h)	40	50	60	70	80	90	100	110	120
Djelomične duljine prilikom pretjecanja									
P_{p1} (m)	300	370	460	560	680	690	780	-	-
P_{p2} (m)	175	215	270	330	400	345	390	455	500
P_{p3} (m)	125	155	190	230	280	345	390	-	-

Izvor: prilagodio autor, [10]

Utvrđivanje dijela ceste na kojem je potrebno osigurati dovoljnu preglednost za pretjecanje, izražava se u postotcima, a obavlja se ovisno o računskoj brzini, odnosno postotak ceste sa dovoljnom preglednosti za pretjecanje raste s porastom računске brzine [10]:

- za brzine $V_r \leq 60$ km/h postotak ceste s potrebnom preglednošću iznosi 20%;
- za brzine $60 > V_r \leq 80$ km/h postotak ceste na kojem je potrebno osigurati preglednost za pretjecanje iznosi 30%;
- za brzine $V_r > 80$ km/h postotak ceste sa potrebnom duljinom preglednosti za pretjecanje iznosi 40%

4.2.3. Kriterij pretjecajne preglednosti u Republici Srbiji

Prema priručniku za projektiranje cesta u Republici Srbiji preglednost ceste se definira kao duljina slobodne preglednosti u vidnom polju vozača koju je potrebno osigurati na cesti kako bi vozač pri projektiranoj brzini na cesti primjetio prepreku i pravovremeno reagirao. U području slobodne preglednosti ne smije se nalaziti nikakva fiksna prepreka osim vertikalne prometne signalizacije kojom se neposredno daju uputstva za sigurnu vožnju.

Ovisno o namjeni, razlikuju se četiri vrste preglednosti:

- zaustavna preglednost (P_z);
- zahtijevana preglednost (P_{zp});
- pretjecajna preglednost (P_p);
- raspoloživa preglednost (P_r).

Pretjecajna preglednost je definirana kao duljina na kojoj je moguće sigurno pretjecanje sporijeg vozila ispred sebe i predstavlja zbroj duljina koje prijeđe vozilo koje obavlja pretjecanje i vozila koje mu ide u susret, u vremenu koje omogućava da vozač vozila koje obavlja pretjecanje promotri situaciju (vrijeme reagiranja), ubrza i ostvari pretjecajnu brzinu, pretekne pretjecano vozilo i sigurno se vrati u svoju prometnu traku.[11]

Dužina pretjecajne preglednosti je u funkciji računske brzine ceste koja se promatra. Definirane dužine pretjecajne preglednosti prikazane su u sljedećoj tablici.

Tablica 3. Duljine preglednosti s obzirom na pretjecanje prema kriteriju definiranom u Republici Srbiji

Računska brzina V_r (km/h)	40	50	60	70	80	90	100
Preglednost pri pretjecanju P_p (m)	260	320	370	430	480	540	600

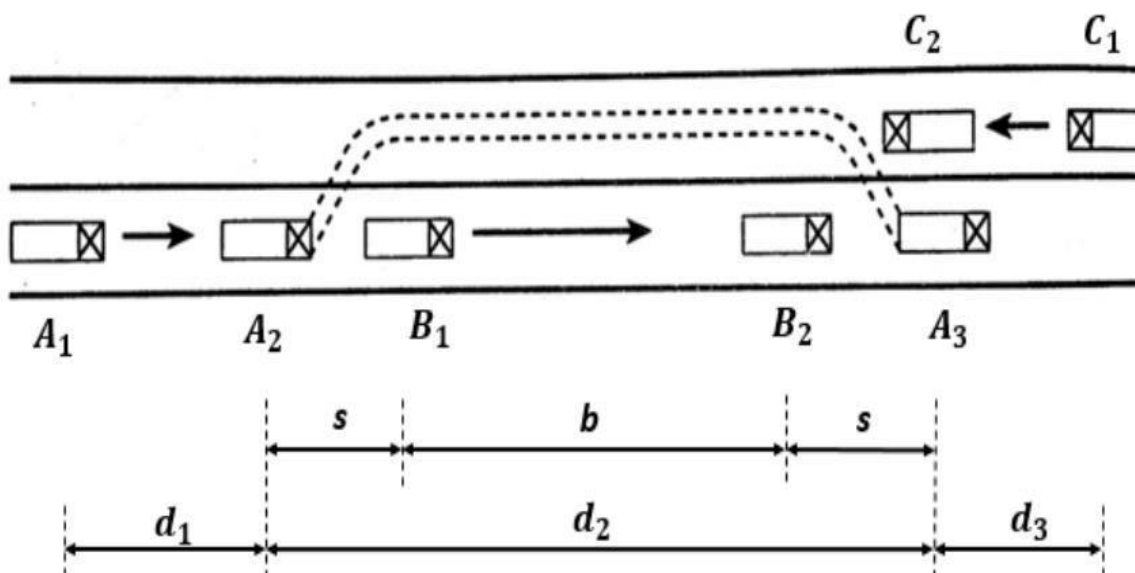
Izvor: prilagodio autor, [10]

4.3. Model proračuna pretjecajne preglednosti u Republici Hrvatskoj

Model koji je prihvaćen u Republici Hrvatskoj baziran je na pretpostavci da vozilo koje pretječe mora za isto vrijeme prijeći duži put nego vozilo koje se pretječe $d_2 > b$. Taj put se sastoji od dva osnovna dijela:

- puta pretjecanog vozila (b), koje se kreće brzinom v_b ;
- viška puta ($2s$) vozila koje pretječe (a), koji je realiziran razlikom brzina $v_a - v_b$.

Da bi se pretjecanje obavilo na siguran način, vozač vozila koje pretječe (a) na početku pretjecanja mora vidjeti vozilo (c), koje mu iz suprotnog smjera dolazi brzinom v_c . Razlike u brzinama vozila koje pretječe i koje se pretječe iznose $\Delta v = 15-20$ km/h, a na osnovu istraživanja dobiveno je vrijeme $t = 10$ s, za koje se normalno može obaviti pretjecanje [2].



Slika 6. Put pretjecanja prema hrvatskom modelu

Izvor: [5]

4.4. Računanje pretjecajne preglednosti

Uz računanje pretjecajne preglednosti prema različitim modelima, pretjecajna preglednost se može računati i ovisno na načinu pretjecanja. U radu će se razmotriti ovi načini [3]:

- pretjecanje vozila konstantnom brzinom kretanja;
- pretjecanje vozila konstantnim ubrzanjem;
- pretjecanje vozila konstantnim ubrzanjem pri ograničenoj (dopuštenoj) brzini;
- pretjecanje vozila konstantnim ubrzanjem i usporenjem;
- pretjecanje vozila konstantnim ubrzanjem i usporenjem pri ograničenoj (dopuštenoj) brzini.

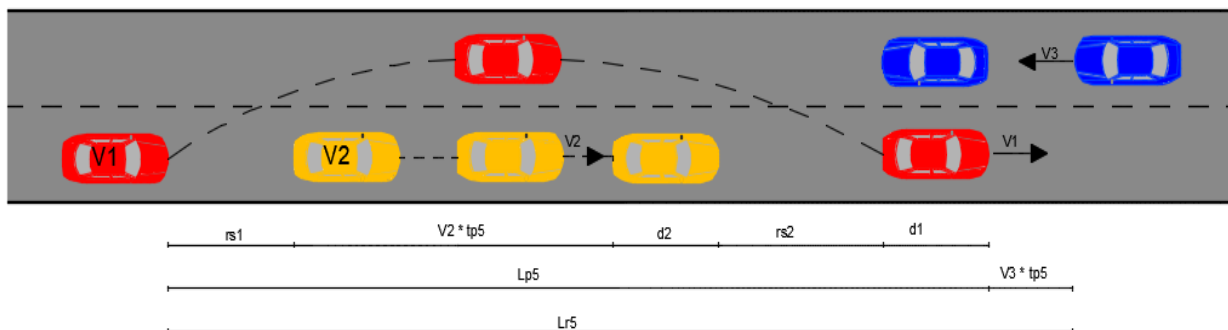
4.4.1. Pretjecanje vozila konstantnom brzinom kretanja

Prilikom pretjecanja vozila, vozilo koje pretječe vozi konstantnom brzinom koja je veća od brzine vozila koje se pretječe ($V_1 > V_2$).

Brzina V_1 cijelo vrijeme t_{p5} je konstantna, kao i brzine V_2 i V_3 .

Duljina puta pretjecanja L_{p5} računa se prema formuli:

$$L_{p5} = V_1 * t_{p5} = r_{s1} + V_2 * t_{p5} + d_2 + r_{s2} + d_1$$



Slika 7. Pretjecanje vozila konstantnom brzinom kretanja

Izvor: prilagodio autor, [5]

Vrijeme pretjecanja t_{p5} jednako je:

$$t_{p5} = \frac{3.6 * L_{p5}}{V_1}$$

Pri pretjecanju treba uzeti u obzir mogućnost pojave vozila iz suprotnog smjera.

U tom slučaju duljina sigurnosnog razmaka pri pretjecanju L_{p5} iznosi:

$$L_{p5} \leq \frac{L_{r5} * V_1}{V_1 + V_3}$$

gdje je:

L_{r5} - razmak između vozila koje pretječe i vozila koje mu dolazi ususret (put preglednosti prije početka pretjecanja)

V_3 – brzina vozila koje dolazi ususret

Razmak između vozila koje pretječe i vozila koje mu dolazi u susret L_{R5} iznosi:

$$L_{r5} \geq \frac{Lp5 (V1+V3)}{3,6}$$

gdje je:

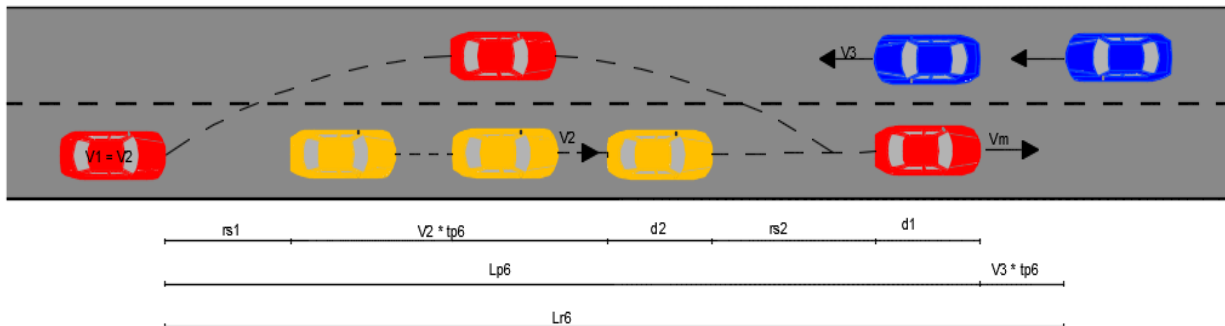
r_{s2} – sigurnosni razmak nakon završenog pretjecanja [m]

V_1 – brzina kretanja vozila koje pretječe [km/h]

V_2 – brzina vozila koje se pretječe [km/h]

t_{p5} – vrijeme pretjecanja [s]

4.4.2. Pretjecanje vozila konstantnim ubrzanjem



Slika 8. Pretjecanje vozila konstantnim ubrzanjem

Izvor: prilagodio autor, [5]

Pri pretjecanju konstantnim ubrzanjem vozilo koje pretječe ima prije početka pretjecanja brzinu V_1 koja je jednaka brzini vozila V_2 koje pretječe, tj. oba vozila prije započetog pretjecanja kretala su se istom brzinom, $V_1 = V_2$.

Da bi se obavilo pretjecanje, vozilo koje pretječe povećava brzinu konstantnim ubrzanjem a_1 za čitavo vrijeme pretjecanja t_{p6} .

Krajnja brzina v_m na kraju pretjecanja bit će:

$$v_m = V_2 + a_1 * t_{p6}$$

Duljina puta pretjecanja L_{p6} iznosi:

$$\begin{aligned} L_{p6} &= V_2 * t_{p6} + (V_m - V_2) * \frac{t_{p6}}{2} = V_2 * t_{p6} + \frac{a_1}{2} * t_{p6}^2 = \\ &= r_{s1} + V_2 * t_{p6} + d_2 + r_{s2} + d_1 \end{aligned}$$

Iz ove jednadžbe dobije se vrijeme pretjecanja t_{p6} :

$$t_{p6} = \sqrt{\frac{2 * (r_{s1} + r_{s2} + d_1 + d_2)}{a_1}}$$

Uvrsti li se vrijeme pretjecanja u jednadžbu, za put pretjecanja L_{p6} dobiva se oblik:

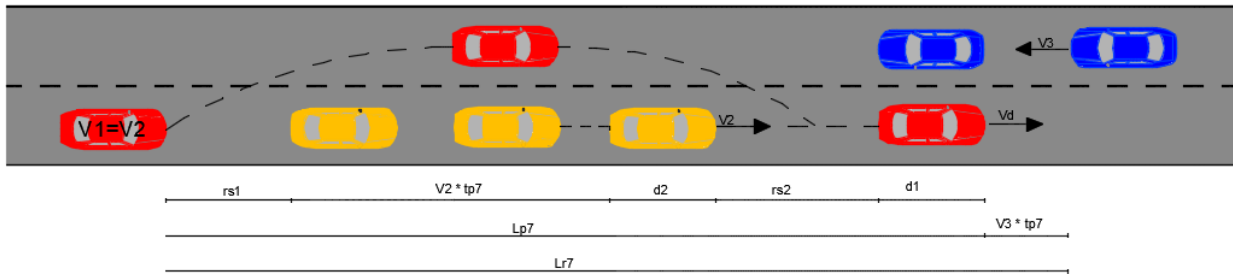
$$L_{p6} = \frac{V_2}{3.6} * \sqrt{\frac{2 * (r_{s1} + r_{s2} + d_1 + d_2)}{a_1}} + r_{s1} + r_{s2} + d_1 + d_2$$

Put preglednosti odnosno razmak između vozila koje pretječe i vozila koje dolazi ususret L_{r6} iznosi:

$$\begin{aligned} L_{r6} &= \frac{V_3}{3.6} * t_{p6} + L_{p6} = \frac{V_3}{3.6} * t_{p6} + \frac{V_2}{3.6} * t_{p6} + r_{s1} + r_{s2} + d_1 + d_2 \\ &= \frac{V_2 + V_3}{3.6} * t_{p6} + r_{s1} + r_{s2} + d_1 + d_2 = \\ &= \frac{V_2 + V_3}{3.6} * \sqrt{\frac{2 * (r_{s1} + r_{s2} + d_1 + d_2)}{a_1}} + r_{s1} + r_{s2} + d_1 + d_2 \end{aligned}$$

◆ 1 2

4.4.3. Pretjecanje vozila konstantnim ubrzanjem pri ograničenoj (dopuštenoj) brzini



Slika 9. Pretjecanje vozila konstantnim ubrzanjem pri ograničenoj (dopuštenoj) brzini

Izvor: prilagodio autor, [5]

Pri pretjecanju konstantnim ubrzanjem, pri ograničenoj (dopuštenoj) brzini V_d , vozilo koje pretječe ima prije početka pretjecanja brzinu V_1 koja je jednaka brzini vozila koje pretječe V_2 , tj. $V_1 = V_2$. Nakon započetog pretjecanja vozilo povećava brzinu konstantnim ubrzanjem a_1 do određene ograničene (dopuštene) brzine v_d i tom ograničenom brzinom završava pretjecanje i nastavlja vožnju.

Duljina puta pretjecanja L_{p7} iznosi:

$$L_{p7} = V_2 * t_{p7} + (V_d - V_2) * \frac{t_1}{2} + (V_d - V_2) * t_2 = V_2 * t_{p7} + a_1 * \frac{t_1 * t_1}{2} + a_1 * t_1 * t_2 =$$

$$= r_{s1} + V_2 * t_{p7} + d_2 + r_{s2} + d_1$$

odnosno:

$$a_1 * \frac{t_1 * t_1}{2} + a_1 * t_1 * t_2 = d_1 + d_2 + r_{s1} + r_{s2}$$

$$V_d - V_2 = a_1 * t_1$$

$$t_1 = \frac{V_d - V_2}{a_1}$$

$$t_2 = t_{p7} - t_1$$

gdje je:

t_{p7} – vrijeme pretjecanja [s]

t_1 – vrijeme ubrzavanja vozila koje pretječe [s]

t_2 – vrijeme vožnje dopuštenom brzinom V_d vozila koje pretječe [s]

Nakon sređivanja, dobije se vrijeme pretjecanja, t_{p7} :

$$t_{p7} = \frac{(d_1 + d_2 + r_{s1} + r_{s2})}{V_d - V_2} + \frac{V_d - V_2}{2 * a_1} = \frac{3,6 * (d_1 + d_2 + r_{s1} + r_{s2})}{V_d - V_2} + \frac{V_d - V_2}{7,2 * a_1}$$

Uvrsti li se vrijeme pretjecanja t_{p7} u jednadžbu za put pretjecanja L_{p7} , jednadžba ima oblik:

$$L_{p7} = \frac{V_2 * (d_1 + d_2 + r_{s1} + r_{s2})}{V_d - V_2} + \frac{V_2 * (V_d - V_2)}{25,92 * a_1} + d_1 + d_2 + r_{s1} + r_{s2}$$

Put preglednosti odnosno razmak između vozila koje pretječe i vozila koje dolazi ususret L_{r7} iznosi:

$$L_{r7} = \frac{V_3}{3,6} * t_{p7} + L_{p7} = \frac{V_3}{3,6} * t_{p7} + d_1 + d_2 + r_{s1} + r_{s2}$$

odnosno:

$$\begin{aligned} L_{r7} &= \frac{V_2 + V_3}{3,6} * t_{p7} + d_1 + d_2 + r_{s1} + r_{s2} = \\ &= (V_2 + V_3) * \left(\frac{d_1 + d_2 + r_{s1} + r_{s2}}{V_d - V_2} + \frac{V_d - V_2}{25,92 * a_1} \right) + d_1 + d_2 + r_{s1} + r_{s2} \end{aligned}$$

4.4.4. Pretjecanje vozila konstantnim ubrzanjem i usporenjem

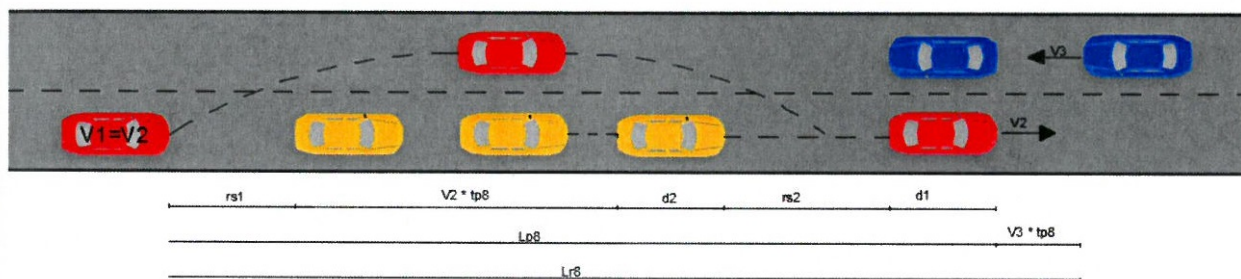
Pri pretjecanju konstantnim ubrzanjem i usporenjem vozilo koje pretječe ima prije početka pretjecanja brzinu V_1 koja je jednaka brzini vozila V_2 koje pretječe, tj. $V_1=V_2$.

Nakon započetog pretjecanja vozilo povećava brzinu konstantnim ubrzanjem a_1 a nakon toga smanjuje brzinu konstantnim usporenjem a_2 na brzinu koju je imalo prije početka pretjecanja (tj. na brzinu V_2 koju ima pretjecano vozilo). To je obično slučaj pri pretjecanju vozila u koloni.

Duljina puta pretjecanja iznosi:

$$L_{p8} = V_2 * t_{p8} + \frac{V_m - V_2}{2} * t_{p8} = r_{s1} + V_2 * t_{p8} + d_1 + d_2 + r_{s2}$$

$$V_m - V_2 = a_1 * t_1 = a_2 * t_2$$



Slika 10. Pretjecanje vozila konstantnim ubrzanjem i usporenjem

Izvor: prilagodio autor, [5]

gdje je:

t_1 – vrijeme ubrzanja vozila [s]

t_2 – vrijeme usporenja vozila [s]

t_{p8} – vrijeme pretjecanja vozila [s]

$$\frac{t_{p8} * a_1 * t_1}{2} = d_1 + d_2 + r_{s1} + r_{s2}$$

$$t_2 = \frac{a_1}{a_2} * t_1$$

$$t_1 = t_{p8} - t_2$$

Nakon sređivanja, dobije se vrijeme pretjecanja t_{p8} :

$$t_{p8} = \sqrt{\frac{2 * (a_1 + a_2) * (d_1 + d_2 + r_{s1} + r_{s2})}{a_1 * a_2}}$$

Duljina puta pretjecanja L_{p8} je:

$$L_{p8} = \frac{V_2}{3,6} * t_{p8} + d_1 + d_2 + r_{s1} + r_{s2} =$$

$$= \frac{V_2}{3,6} * \sqrt{\frac{2 * (a_1 + a_2) * (d_1 + d_2 + r_{s1} + r_{s2})}{a_1 * a_2}} + d_1 + d_2 + r_{s1} + r_{s2}$$

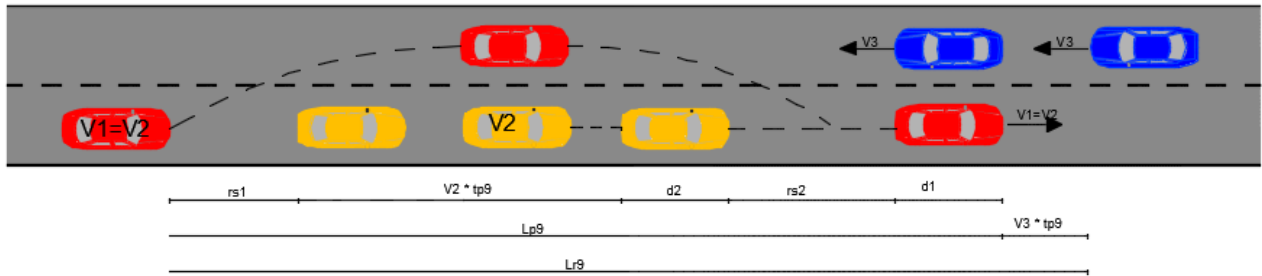
Put preglednosti odnosno razmak između vozila koje pretječe i vozila koje dolazi ususret L_{r8} iznosi:

$$L_{r8} = \frac{V_3}{3,6} * t_{p8} + L_{p8} = \frac{V_2 + V_3}{3,6} * t_{p8} + d_1 + d_2 + r_{s1} + r_{s2}$$

$$= \frac{V_2 + V_3}{3,6} * \sqrt{\frac{2 * (a_1 + a_2) * (d_1 + d_2 + r_{s1} + r_{s2})}{a_1 * a_2}} + d_1 + d_2 + r_{s1} + r_{s2}$$

4.4.5. Pretjecanje vozila konstantnim ubrzanjem i usporenjem pri ograničenoj (dopuštenoj) brzini

Pri takvom pretjecanju vozilo koje pretječe ima prije početka pretjecanja brzinu V_1 jednaku brzini vozila koje pretječe V_2 , tj. $V_1 = V_2$. Nakon započetog pretjecanja vozilo povećava brzinu konstantnim ubrzanjem a_1 , do dopuštene (ograničene) brzine V_d (u vremenu t_1), određeno vrijeme t_2 pretječe brzinom V_d , a nakon toga smanjuje brzinu konstantnim usporenjem a_2 (u vremenu t_3) na brzinu V_2 koju je imalo prije početka pretjecanja. To je obično slučaj kod pretjecanja vozila u koloni.



Slika 11. Pretjecanje vozila konstantnim ubrzanjem i usporenjem pri ograničenoj brzini

Izvor: prilagodio autor, [5]

Duljina puta pretjecanja L_{p9} jednaka je:

$$L_{p9} = V_2 * t_{p9} + \frac{V_d - V_2}{2} * t_1 + (V_d - V_2) * t_2 + \frac{V_d - V_2}{2} * t_3 =$$

$$= r_{s1} + r_{s2} + V_2 * t_{p9} + d_1 + d_2$$

$$V_d - V_2 = a_1 * t_1 = a_2 * t_3$$

odnosno:

$$\frac{a_1 * t_1 * t_1}{2} + a_1 * t_1 * t_2 + \frac{a_1 * t_1 * t_3}{2} = d_1 + d_2 + r_{s1} + r_{s2}$$

$$t_3 = \frac{a_1 * t_1}{a_2}$$

$$t_2 = t_{p9} - t_1 - t_3$$

$$t_1 = \frac{V_d - V_2}{a_1}$$

gdje je:

t_1 - vrijeme ubrzavanja vozila [s]

t_2 - vrijeme vožnje dopuštenom brzinom V_d [s]

t_3 - vrijeme usporavanja vozila [s]

t_{p9} - vrijeme pretjecanja vozila [s]

Nakon sređivanja dobije se vrijeme pretjecanja vozila t_{p9} :

$$t_{p9} = \frac{3,6 \cdot (d_1 + d_2 + r_{s1} + r_{s2})}{V_d - V_2} + \frac{V_d - V_2}{7,2} \cdot \frac{a_1 + a_2}{a_1 \cdot a_2}$$

Duljina puta pretjecanja L_{p9} je:

$$\begin{aligned} L_{p9} &= \frac{V_2}{3,6} \cdot t_{p9} + d_1 + d_2 + r_{s1} + r_{s2} = \\ &= \frac{(d_1 + d_2 + r_{s1} + r_{s2}) \cdot V_2}{V_d - V_2} + \frac{V_2 \cdot (V_d - V_2)}{25,92} \cdot \frac{a_1 + a_2}{a_1 \cdot a_2} + d_1 + d_2 + r_{s1} + r_{s2} \end{aligned}$$

Put preglednosti odnosno razmak između vozila koje pretječe i vozila koje dolazi ususret L_{r9} iznosi:

$$\begin{aligned} L_{r9} &= \frac{V_3}{3,6} \cdot t_{p9} + L_{p9} = \frac{V_2 - V_3}{3,6} \cdot t_{p9} + d_1 + d_2 + r_{s1} + r_{s2} \\ &= (V_2 + V_3) \cdot \left(\frac{d_1 + d_2 + r_{s1} + r_{s2}}{V_d - V_2} + \frac{V_d - V_2}{25,92} \cdot \frac{a_1 + a_2}{a_1 \cdot a_2} \right) + d_1 + d_2 + r_{s1} + r_{s2} \end{aligned}$$

4.5. Kritički osvrt na modele za definiranje pretjecajne preglednosti

U sljedećoj tablici prikazane su duljine pretjecajne preglednosti za računsku brzinu od $V_r=80$ km/h prema nekim od prethodno opisanih modela.

Iz tablice je vidljivo da su potrebne duljine pretjecajne preglednost različite, u rasponu od 250 m pa do 680 m. Zbog toga se javlja potreba da se istraže stvarne dužine puta pretjecanja i pretjecajne preglednosti u realnim uvjetima odvijanja prometa.

Tablica 4. Dužine pretjecajne preglednosti prema različitim kriterijima za $V_r=80$ km/h

	Model	Pretjecajna preglednost (m)
Internacionalni modeli	AASHTO Green Book	540
	Australija ESD	640
	Australija CSD	300
	Austrija, Njemačka, Grčka	525
	Kanada	560
	Južna Afrika	560
Kriteriji u susjednim zemljama	Republika Hrvatska	490
	Bosna i Hercegovina	520
	Republika Srbija	480
	Crna Gora	680
Alternativni modeli	Weaver – Glennon	345
	Harwood – Glennon	380
	Glennon	250
	Wang i Catmell, a_{pmax1}	540
	Wang i Catmell, a_{pmax2}	410

Izvor: [1]

5. Prometne nesreće pri pretjecanju

Prometne nesreće koje nastaju prilikom pretjecanja i obilaženja imaju teške posljedice. Istraživanja pokazuju da su prometne nesreće rezultat nepoštivanja prometnih propisa od strane vozača, greški u vožnji i pogrešnog procjenjivanja situacije na cesti.

U većini zemalja prilikom statističke analize prometnih nesreća ne izdvajaju se posebno prometne nesreće pri pretjecanju, pa podaci o udjelu prometnih nesreća variraju, što znači da metoda prikupljanja i kategorizacije nije ista. Tako, na primjer postotak prometnih nesreća u Azerbajdžanu iznosi 31 %, a u Zapadnoj Australiji iznosi oko 35% [2].

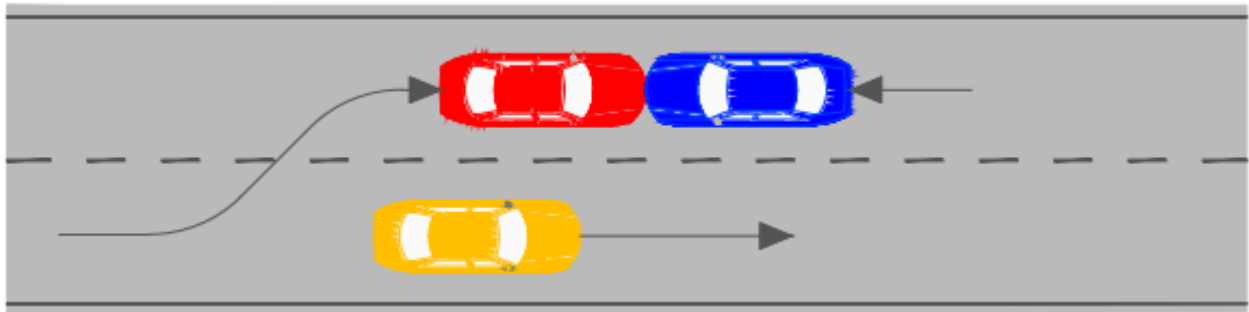
Pretjecanje je jedna od radnji u prometu koja najduže traje, a kako prilikom pretjecanja postoji interakcija između dva ili tri vozila, tako postoji i više različitih oblika prometnih nesreća. U dostupnoj literaturi postoji mali broj analiza udjela pojedinih vrsta prometnih nesreća prilikom pretjecanja. Prema dosadašnjim istraživanjima, najveći broj prometnih nesreća događa se prilikom skretanja vozila, preko 50%. Najmanji broj prometnih nesreća događa se prilikom tzv. "izvlačenja", odnosno kada vozilo koje je već pretjecano započne pretjecanje drugog vozila spred sebe. Udio takvih prometnih nesreća je manji od 3%.

Postoji nekoliko vrsta prometnih nesreća pri pretjecanju [2]:

- čeon (centralni) sudar;
- izlijetanje van kolnika;
- izvlačenje;
- pretjecanje vozila u skretanju;
- presijecanje putanje preticanog vozila;
- sustizanje pretjecanog vozila.

5.5. Čeoni (centralni) sudar

Vozilo koje pretječe ostvaruje kontakt svojom prednjom (čeonom) stranom s prednjom stranom vozila koje dolazi iz suprotnog smjera.

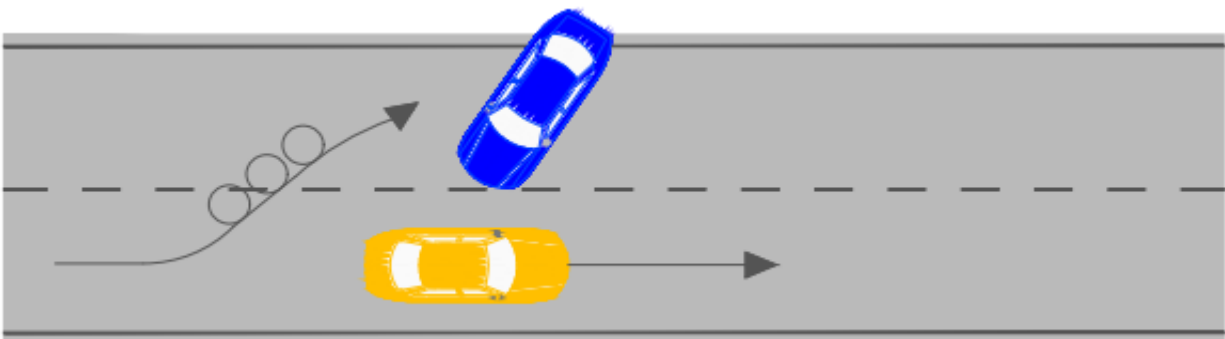


Slika 12. Čeoni (centralni) sudar

Izvor: prilagodio autor, [2]

5.6. Izlijetanje van kolnika

Vozilo koje pretječe zbog gubitka kontrole vozača nad vozilom prilikom pretjecanja izlijeće s kolnika.

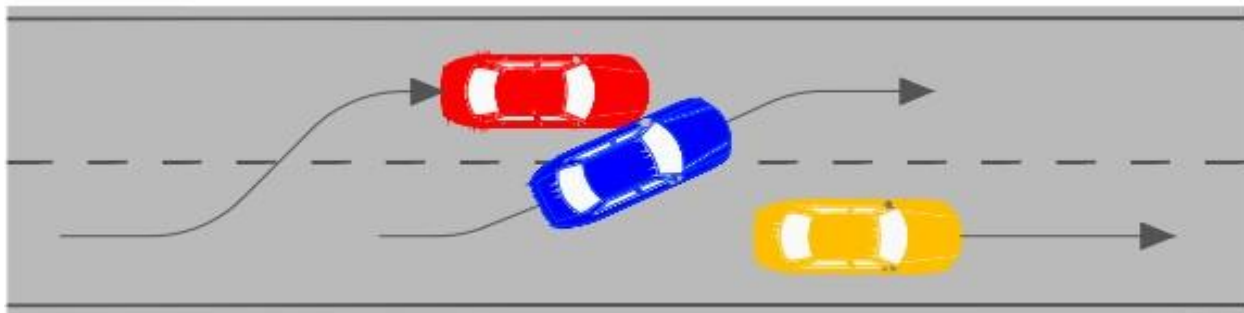


Slika 13. Izlijetanje van kolnika

Izvor: prilagodio autor, [2]

5.7. Izvlačenje

Pretjecano vozilo započinje pretjecanje drugog vozila nakon što se vozilo iza njega već nađe u fazi pretjecanja.

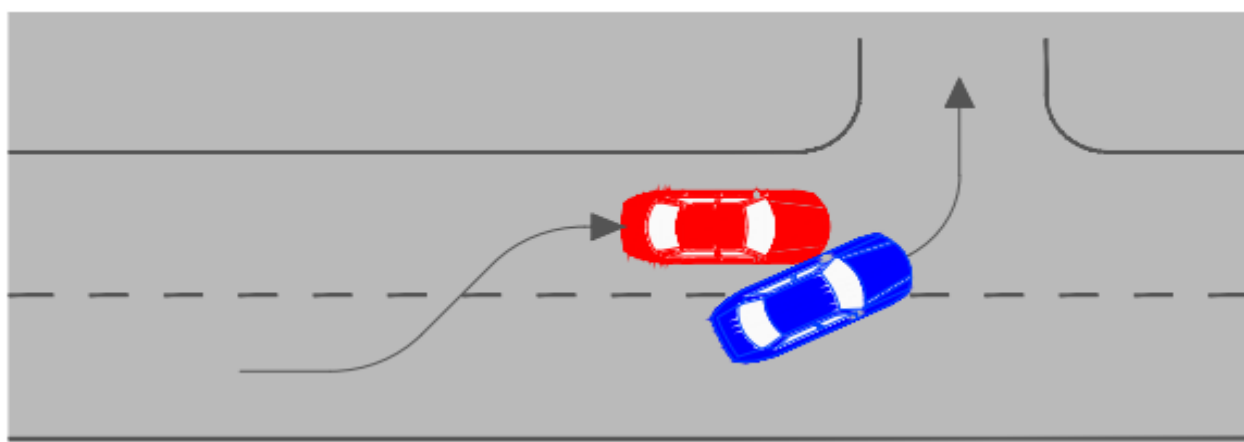


Slika 14. Izvlačenje

Izvor: prilagodio autor, [2]

5.8. Pretjecanje vozila u skretanju

Vozilo koje pretječe ostvaruje kontakt s bočnom stranom pretjecanog vozila, pri čemu je pretjecano vozilo obavljalo manevar lijevog skretanja.

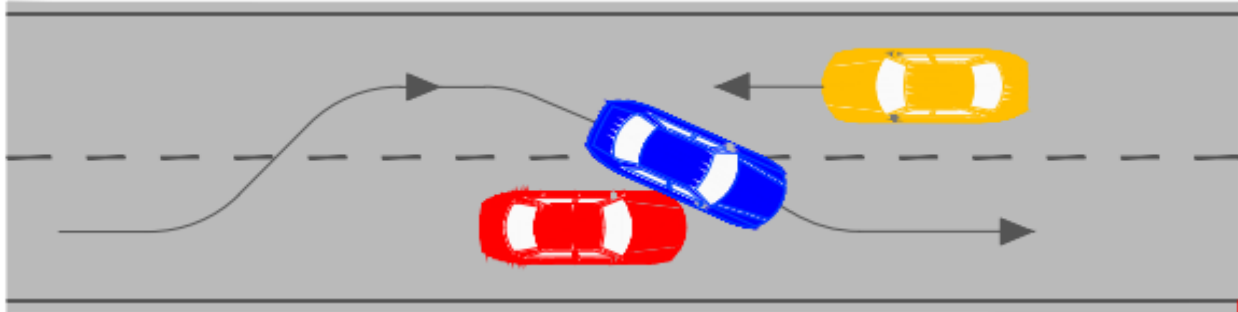


Slika 15. Pretjecanje vozila u skretanju

Izvor: prilagodio autor, [2]

5.9. Presijecanje putanje pretjecanog vozila

Kontakt se ostvaruje između pretjecanog i vozila koje pretječe u situaciji kada vozilo koje pretječe obavi povratak u svoju traku na način koji pretjecanom vozilu presijeca putanju na malom razmaku.

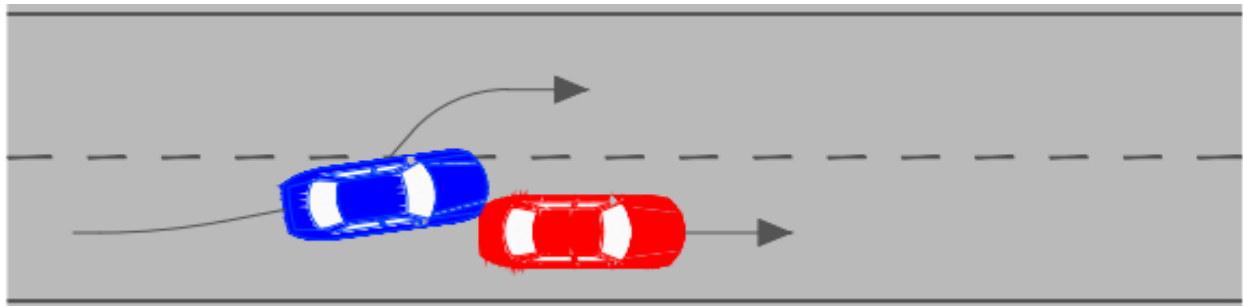


Slika 16. Presijecanje putanje pretjecanog vozila

Izvor: prilagodio autor, [2]

5.10. Sustizanje pretjecanog vozila

Kontakt se ostvaruje između čela vozila koje pretječe i zadnjeg dijela pretjecanog vozila.



Slika 17. Sustizanje pretjecanog vozila

Izvor: prilagodio autor, [2]

6. Istraživanje pretjecanja u realnom prometnom toku

U četvrtom poglavlju prikazani su modeli i standardi na osnovu kojih se u različitim zemljama definira potrebna duljina pretjecajne preglednosti. Na temelju provedene analize zaključeno je da se, ovisno o primijenjenom modelu, za istu projektnu brzinu dobivaju različite duljine pretjecajne preglednosti. U Hrvatskoj se koristi Pravilnik o osnovnim uvjetima kojima javne ceste izvan naselja i njihovi elementi moraju udovoljavati sa stajališta sigurnosti prometa. Prema ovom pravilniku, npr. za brzinu od 80 km/h potrebna je duljina od 490 m kao pregledna duljina za pretjecanje, dok za brzinu od 50 km/h pretjecajna preglednost iznosi 320 m. Pravilnik je završen i izdan 2001. godine i temeljen je na još starijim istraživanjima, a od tada do danas su nastupile značajne promjene karakteristika vozila zbog tehnološkog napretka. Rezultati takvih istraživanja korišteni su u modelima za proračun duljine pretjecajne preglednosti. Prikazani modeli su uglavnom bazirani na razlikama u brzinama pretjecanog vozila i vozila koje pretječe, te na razmaku slijeđenja. Velik broj modela koji se koriste za proračun duljine pretjecajne preglednosti ne uzima u obzir činjenicu da većina vozača prilikom pretjecanja ubrzava svoje vozilo.

Analizom modela za proračun duljine pretjecajne preglednosti može se zaključiti da radnja pretjecanja ovisi o više faktora: dozvoljenoj brzini kretanja, razlici u brzinama pretjecanog i vozila koje pretječe, razmaku slijeđenja prije i poslije pretjecanja, ubrzanju vozila itd. Također, bitan faktor u realnom prometnom toku koji utječe na duljinu pretjecajne preglednosti je i ponašanje vozača. Zbog toga, dužina pretjecajne preglednosti, za iste projektne uvjete i ograničenja, u različitim sredinama može biti drugačija. Iz tog razloga obavljaju se istraživanja na osnovu kojih se modeli definiraju i prilagođavaju uvjetima odvijanja prometa u realnom prometnom toku [2].

Određeni modeli formirani su na temelju istraživanja obavljenih na simulatorima, uređajima pomoću kojih se simulira vožnja u realnom prometnom toku. Iako simulatori vožnje na osnovu zadanih parametara mogu prikazati realan prometni tok, takav način istraživanja može dovesti do određenih odstupanja u načinu ponašanja sudionika u prometu zbog različitog pristupa vozača samoj vožnji, jer vožnja u simulatoru nosi znatno manje rizike u odnosu na vožnju u realnom prometnom toku. Istraživanje na simulatoru

pruža mogućnost ponavljanja eksperimenta, definiranje različitih prometnih situacija, kreiranje različitih uvjeta i formiranje ciljnih grupa vozača. Međutim, uvjeti u kojima se obavljaju eksperimenti su laboratorijski, pa i rezultati ovakvih istraživanja nisu u potpunosti usklađeni s realnim uvjetima odvijanja prometa.

Istraživanja pretjecanja u realnom prometnom toku mogu se obavljati metodom pokretnog promatrača, na način da eksperimentalno vozilo na sebi ima kamere te uređaje za mjerenje brzine i razmaka, tako da se svi parametri za analizu pretjecanja nalaze na licu mjesta. Rezultati takvog eksperimenta mogu se smatrati realnim, s obzirom na to da su pretjecanja realizirana u realnom prometnom toku. Međutim, parametri vožnje eksperimentalnog vozila utječu na parametre kretanja vozila koje je pretjecalo.

Jedan od načina istraživanja parametara prometnog toka je analiza video zapisa realnog prometnog toka koji se snimaju kamerom koja se nalazi na određenoj udaljenosti od dionice ceste na kojoj se radi istraživanje. Ovakav način analize parametara prometnog toka jedan je od najstarijih, ali i najsigurnijih metoda. Obrada video snimaka prometnog toka obavljena je prvi put početkom tridesetih godina prošlog stoljeća u SAD-u od strane naučnika Bruce Greenshieldsa.



Slika 18. Istraživanje Bruce Greenshieldsa, 1933.

Izvor: [13]

Sličan način analize prometnog toka nastavljen je i sljedećih godina, s nešto naprednijom tehnologijom. U Hartfordu je prilikom jednog istraživanja istovremeno obavljeno snimanje s više kamera, s ciljem dobivanja preciznijih podataka o veličini pojedinih parametara prometnog toka. To pokazuje da video zapis u analizi prometa i dalje može biti uspješno korišten u sličnim analizama bez obzira na to što je relativno stara metoda [13].

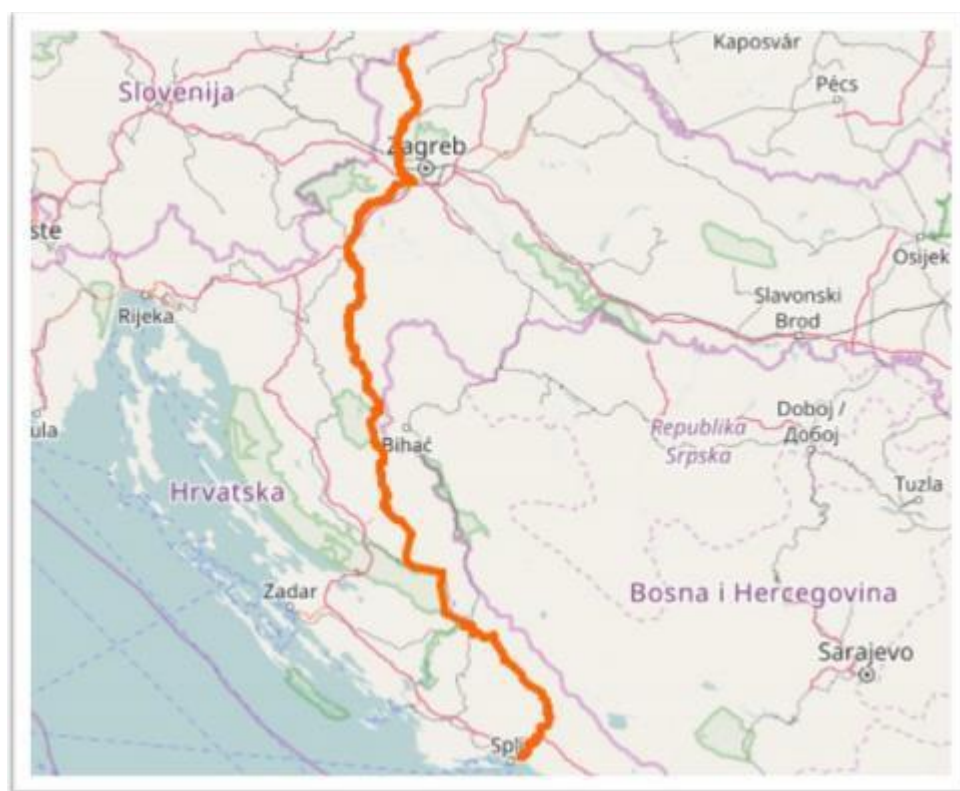
Zbog činjenice da vozači u realnom prometnom toku nisu upoznati s eksperimentom, njihovo ponašanje je uobičajeno u takvim prometnim situacijama i svaka subjektivnost u potpunosti je isključena. S obzirom na to da su brzine kretanja vozila realne, donošenje odluke o pretjecanju i način ponašanja realni, može se smatrati da su rezultati ovakvih istraživanja u potpunosti u skladu s uvjetima odvijanja parametara pretjecanja u realnom prometnom toku. Iz tog razloga za potrebe ovog diplomskog rada istraživanje parametara pretjecanja u realnom prometnom toku je obavljeno metodom analize video zapisa na odabranim lokacijama.

6.5. Izbor lokacija istraživanja

U ovom diplomskom radu obje dionice na kojima je promatrano pretjecanje vozila nalaze se na državnoj cesti D1, od Gračaca prema Kninu.

Državne ceste kao i prometnice od županijske i lokalne važnosti značajan su dio ukupne cestovne mreže i čine temelj za povezivanje prometnica niže razine koje su primarno potrebne za pristupanje gradovima i selima s međuregionalnom, međužupanijskom i županijskom razinom, budući da lokalne prometnice imaju najveću važnost u raspodjeli prometa na najnižoj razini. Izgradnjom autocesta u Republici Hrvatskoj pogodovalo se putovanjima koja obuhvaćaju veći vremenski period odnosno autocesta je postavljena za dugačka putovanja, obično veća od 100 kilometara. Međutim, gledajući stvarno stanje prometa na cestama, većina dnevnih putovanja odvija se unutar 50 kilometara pa s tim u vezi državne ceste dobivaju daleko najveću važnost jer će najveći broj korisnika cestovnog prometa svoj dio puta ostvariti upravo na državnim cestama.

Državna cesta je javna cesta od velikog značaja za cestovni motorni promet koja povezuje cjelokupno državno područje Republike Hrvatske te ga povezuje s mrežom glavnih europskih cesta. Krajem 2016. godine Ministarstvo pomorstva, prometa i infrastrukture donijelo je odluku o razvrstavanju javnih cesta prema kojoj se javne ceste razvrstavaju u četiri skupine. Državne ceste čine jednu od četiri navedene skupine, a prema odluci ukupno u Republici Hrvatskoj postoji 538 državnih cesta koje ukupno čine 7 097,70 kilometara državnih cesta.



Slika 19. Položaj državne ceste D1

Izvor: [14]

Državna cesta D1 podijeljena je na ukupno 18 dionica od sjevera prema jugu te još 23 dionice u suprotnom smjeru odnosno od juga prema sjeveru. Korištenje državne ceste D1 i njezino prometno opterećenje najbolje se može prikazati podacima o prosječnom godišnjem dnevnom prometu (PGDP) i prosječnom godišnjem ljetnom prometu (PLDP).

Na nekim državnim cestama prosječni godišnji dnevni promet i prosječni ljetni dnevni promet bitno se ne razlikuju, ali to nije primjer za državnu cestu D1. Osim velike uloge u povezivanju dva najveća hrvatska grada, državna cesta D1 bitna je i za turističku sezonu koja je karakteristična za Republiku Hrvatsku. Svi oni korisnici prometa koji izbjegavaju autocestu, kao bržeg, ali i skupljeg načina prijevoza, zapravo koriste državnu cestu D1 kako bi došli do svojih odredišta duž cijele obale Jadranskog mora [14].

S obzirom na to, od velikog značaja je i dionica D1 od Gračaca prema Kninu. Dionica je duga 54,4 km.



Slika 20. Dionica D1 između Gračaca i Knina

Izvor: prilagodio autor, [12]

Na dionicama su odabrane lokacije gdje je dopušteno pretjecanje. Osim toga, uzeta je u obzir činjenica da su u uvjetima malih prometnih opterećenja pretjecanja rijetka. Naime, u uvjetima slobodnog prometnog toka, s obzirom na gustoću prometnog toka, veoma rijetko se javlja potreba za pretjecanjem. Nadalje, izabrane su dionice na kojima širina trake, berme, karakteristike horizontalnih i vertikalnih krivina, uzdužnog nagiba, dužina dionice na kojoj se obavlja pretjecanje ne utječu na odluku vozača o pretjecanju, dok stanje kolnika te nailazak vozila iz suprotnog smjera utječu.

S obzirom da je pretjecanje radnja za čije je obavljanje potrebna dionica, odnosno dio ceste određene dionice, snimanje nije bilo moguće jednostavno obaviti kao u slučaju ako bi se snimao promet na raskrižju ili presjeku puta. Zbog toga su izabrane dionice s određenom konfiguracijom terena, one u čijoj se neposrednoj blizini nalaze uzvišenja ili livada na kojima je bilo moguće postaviti kameru i objektivom obuhvatiti određeni dio ceste.

6.5.1. Lokacija 1

Izabrana lokacija nalazi se na državnoj cesti D1, dionica Gračac-Knin, na ulazu u mjesto Grab, GPS koordinate: 44.294976 i 15.873295. Na lokaciji gdje je obavljeno mjerenje cesta se nalazi u pravcu, bez skretnog kuta. Nagib ceste je zanemariv i iznosi 0,5%. Ograničenje brzine iznosi 50 km/h. Trasa ceste se sastoji od dvije prometne trake za odvijanje dvosmjernog mješovitog prometa. Širina svake trake je 3,5 m. Kolnik je izrađen od asfalta te je u dobrom stanju, bez pukotina. Također, pokraj ceste se nalazi proširenje, tj. parking na kojem se nalazi stari restoran. Ukupna duljina isprekidane crte na toj dionici je 1,11 km. Prije i poslije dionice put je u pravcu s malim zavojima te raskrižjima. Dužina analizirane zone je 500 m.



Slika 21. Šira pozicija lokacije 1

Izvor: prilagodio autor, [12]



Slika 22. Lokacija 1, uzdužni pregled ceste

Izvor: izradio autor



Slika 23. Analizirana dionica izabrane lokacije 1

Izvor: izradio autor

6.5.2. Lokacija 2

Izabrana lokacija nalazi se na državnoj cesti D1, dionice Gračac-Knin (kao i lokacija 1), prije mjesta Velika Popina, GPS coordinate: 44-260950 i 16.023295. Na lokaciji gdje je obavljeno snimanje cesta se nalazi u pravcu, s malim skretnim kutom, bez nagiba ceste. Ograničenje brzine na toj dionici iznosi 50 km/h. Cesta se sastoji od dvije prometne trake za odvijanje dvosmjernog mješovitog prometa. Širina trake je 3,5 m. Kolnik je izrađen od asfalta te je u dobrom stanju. Duljina isprekidane crte na toj dionici je 655,42 m. Duljina analizirane zone je 500 m.



Slika 24. Šira pozicija lokacije 2

Izvor: prilagodio autor, [12]



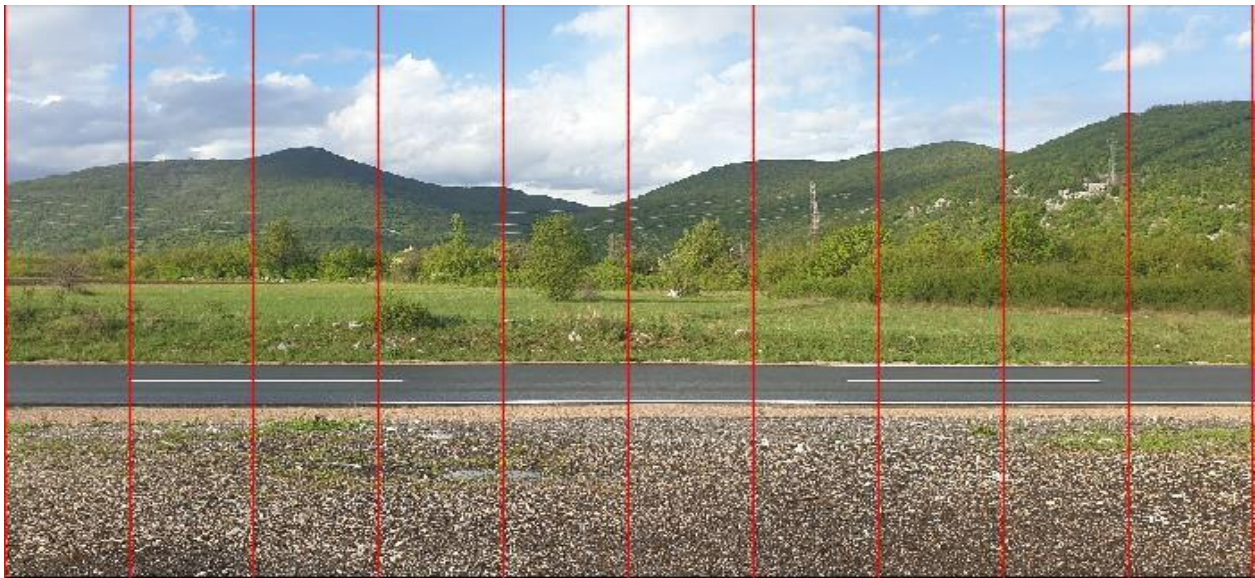
Slika 25. Lokacija 2, pogled uzduž ceste

Izvor: izradio autor

6.6. Rezultati istraživanja

Nakon obavljenog snimanja na prethodno opisanim dionicama pristupilo se obradi materijala. Ukupno je obavljeno 25 pretjecanja na obje dionice, a analizirano 6.

Definirane su mjerne točke te su postavljene referentne crte preko videozapisa, na temelju čega je promatrana dionica podijeljena na dijelove jednakih duljina kao što je prikazano na sljedećim slikama.



Slika 26. Izgled isječka iz videozapisa s referentnim crtama za lokaciju 1

Izvor: izradio autor

Obradom snimaka te rezultata utvrđene su vrijednosti brzine vozila koje obavlja pretjecanje i vozila koje se pretječe, izmjereni su razmaci slijeđenja između vozila na početku i na kraju puta pretjecanja te stvarna dužina pretjecanja kao i vrijeme trajanja svakog dijela pretjecanja.

Analizirani su sljedeći parametri:

- prosječna brzina vozila koje pretječe (V_p);
- prosječna brzina vozila koje pretječe tijekom vremena koje provede u traci za suprotni smjer (V_1);

- prosječna brzina vozila koje pretječe na kraju pretjecanja (V_z);
- prosječna brzina pretjecanog vozila u trenutku dok se vozila koje pretječe nalazi u traci za suprotni smjer (V_2);
- razmak između vozila na početku pretjecanja (L);
- razmak između vozila na kraju pretjecanja (L_2);
- prosječno ubrzanje vozila koje pretječe od početne brzine V_p do brzine V_1 (a_p);

Kako bi se dobili što relevantniji podaci, izabrana su ona pretjecanja u kojima je moguće odrediti sve potrebne parametre pretjecanja. Za 6 pretjecanja od ukupno 25 bilo je moguće odrediti sve parametre pretjecanja.

S obzirom na kategorije vozila koja su sudjelovala u pretjecanju, izdvojena su dva karakteristična slučaja mjerodavna za analizu:

1. slučaj: osobno vozilo pretječe osobno vozilo (OV-OV)

2. vozilo: osobno vozilo pretječe teretno vozilo (OV-TV)

Prvi slučaj obuhvaća 83% analiziranog uzorka, odnosno 5 pretjecanja, a drugi slučaj obuhvaća 17% analiziranog uzorka, odnosno 1 pretjecanje.

U tablici 5 prikazane su prosječne brzine pretjecanog vozila koje pretječe za navedene slučajeve pretjecanja.

Tablica 5. Prosječne brzine vozila u pretjecanju

	1. slučaj (OV-OV)				2. slučaj (OV-TV)			
	V_p	V_1	V_z	V_2	V_p	V_1	V_z	V_2
Prosječno (km/h)	68	70,2	72	50	60	65	70	50

Izvor: izradio autor

Kao što je vidljivo iz prethodne tablice, većina vozila prilikom pretjecanja se kretalo brzinom koja je veća od dozvoljene brzine kretanja. Na temelju toga se može zaključiti da većina vozača prilikom pretjecanja povećava brzinu svog vozila.

Razlika u brzinama pretjecanog i vozila koje pretječe je vrijednost koja utječe na dužinu puta pretjecanja i pretjecajne preglednosti. Izračunata razlika prilikom pretjecanja je veća od 15 km/h, što je i pretpostavljena razlika prema kriteriju u Republici Hrvatskoj. U sljedećoj tablici su prikazane dobivene razlike.

Tablica 6. Razlika u brzinama između vozila koje pretječe i pretjecanog vozila

ΔV (km/h)	<10	10-15	>15
1.slučaj (OV-OV)	1 vozilo	1 vozilo	4 vozila
2.slučaj (OV-TV)		1 vozilo	

Izvor: izradio autor

Ubrzanje vozila podijeljeno je u dvije faze:

1.faza: od trenutka kada se započne pretjecanje brzinom V_p do trenutka kada vozilo koje pretječe prijeđe u drugu traku i dostigne brzinu V_1

2.faza: od trenutka kada pretječuće vozilo dostigne brzinu V_1 do završetka pretjecanja, kada se kreće brzinom V_2 , odnosno smanjuje brzinu.

U sljedećoj tablici prikazane su prosječne vrijednosti ubrzanja za promatrane slučajeve.

Tablica 7. Ubrzanje vozila tijekom pretjecanja

	a
1.slučaj(OV-OV)	1,56 m/s ²
2.slučaj(OV-PV)	1, 20 m/s ²

Izvor: izradio autor

a – prosječno ubrzanje vozila

Razmak koji vozilo koje pretječe zauzme prije započinjanja pretjecanja u odnosu na pretjecano vozilo, kao i razmak koji zauzme na kraju puta pretjecanja u odnosu na pretjecano vozilo, značajno utječu na ukupnu dužinu pretjecanja. Ovi razmaci su u funkciji dužine zaustavnog puta, ali uz brzinu ovise i o ponašanju vozača. Razmaci slijeđenja su prikazani na početku i na kraju puta pretjecanja, koji su značajno manji u odnosu na teorijske modele.

Vrijeme pretjecanja i duljina pretjecanja vozila ovise o prethodno izmjerenim parametrima, a to su brzine pretjecanog i vozila koje pretječe, ubrzanja i razmaci slijeđenja na početku i na kraju puta pretjecanja..

7. Prijedlog modela pretjecajne preglednosti za Republiku Hrvatsku

Model koji je prihvaćen u Republici Hrvatskoj baziran je na pretpostavci da vozilo koje pretječe mora za isto vrijeme preći duži put nego vozilo koje se pretječe ($d_2 > b$). Taj put se sastoji iz dva osnovna dijela: put pretjecanog vozila B, koje se kreće brzinom v_a i viška puta $2s$ vozila koje pretječe A, koji je ostvaren razlikom brzina $v_a - v_b$. Da bi se pretjecanje obavilo na siguran način, vozač vozila koje pretječe A na početku pretjecanja mora vidjeti vozilo C, koje mu iz suprotnog smjera dolazi brzinom v_c .

Prema pravilniku koji se primjenjuje u Republici Hrvatskoj, razlikuje se preglednost pri pretjecanju na dvosmjernim cestama P_o i preglednost na jednosmjernim cestama P_1 . Ove dužine prikazane su u sljedećoj tablici u odnosu na računsku brzinu V_r .

Tablica 8. Dužina preglednosti pri pretjecanju prema kriteriju definiranom u Hrvatskoj

V_r (km/h)	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130
P_o (m)	200	260	320	380	430	490	540	600	650	700	760
P_1 (m)	-	-	-	210	240	270	290	320	350	380	400

Izvor: [1]

Za analizu potrebne duljine pretjecajne preglednosti u ovom radu korišten je AASHTO Green Book kriterij, koji je pobliže već opisan u točki 4.1.1.

Kako bi se izračunala potrebna pretjecajna preglednost potrebno je uzeti u obzir razmak koji prijeđe vozilo koje pretječe tijekom vremena potrebnog za odluku o obavljanju pretjecanja (razmak d_1). S obzirom da to vrijeme nije predmet analize, uzeto je vrijeme koje je preporučeno AASHTO modelom koje za brzinu vozila koje pretječe od 50 km/h iznosi $t_1 = 3,6$ sekunde. To vrijeme vozači koriste za promatranje prometne situacije i donošenje odluke o pretjecanju. Razlike u brzinama vozila koje pretječe i pretjecanog vozila u ovom slučaju iznose 16,5 km/h.

Prema ovom modelu razmak koji prijeđe vozilo koje pretječe tijekom odluke o obavljanju pretjecanja može se izračunati na sljedeći način:

$$d_1 = 0,278 * t_1 * (v_p - m + \frac{a * t_1}{2}) = 54 \text{ m}$$

gdje je:

t_1 – vrijeme za donošenje odluke o pretjecanju, (s)

v_p – prosječna brzina vozila koje pretječe, (km/h)

m – razlika između brzina vozila koje pretječe i pretjecanog vozila, (km/h)

a – prosječno ubrzanje vozila, (km/h/s)

Razmak d_2 predstavlja udaljenost prijeđenu dok se vozilo koje pretječe nalazi u lijevoj traci, a može se izračunati prema sljedećoj formuli:

$$d_2 = 0,278 * v_p * t_2 = 113 \text{ m}$$

Vrijeme t_2 je vrijeme koje vozilo koje pretječe provede u lijevoj traci (s). Na temelju istraživanja za potrebe ovog rada, utvrđena je vrijednost $t_2 = 6 \text{ s}$.

Razmak d_3 predstavlja udaljenost između vozila koje pretječe i vozila koje dolazi iz suprotnog smjera na kraju radnje pretjecanja. Prema ovom modelu taj razmak iznosi od 30 do 90 m, ovisno o brzini vozila koje pretječe, a kao mjerodavna veličina ovog razmaka za računsku brzinu od 50 km/h utvrđena je vrijednost $d_3 = 30 \text{ m}$.

Razmak d_4 predstavlja udaljenost koju prijeđe vozilo iz suprotnog smjera za dvije trećine vremena putovanja. Za potrebe rada uzeta je prosječna vrijednost razmaka d_4 , dobivena na temelju istraživanja. Ta vrijednost iznosi u ovom slučaju iznosi 130 m.

Dužina pretjecajne preglednosti može se izračunati kao:

$$\text{PSD} = d_1 + d_2 + d_3 + d_4 = 327 \text{ m}$$

U sljedećoj tablici prikazana je usporedba potrebne dužine preglednosti prema kriteriju koji se koristi u Republici Hrvatskoj i dužine pretjecajne preglednosti koja je dobivena prema predloženom modelu.

Tablica 9 . Usporedba potrebne dužine preglednosti prema kriteriju koji se koristi u Republici Hrvatskoj i dužine dobivene pretjecajne preglednosti

Republika Hrvatska	320 m
Pretjecajna preglednost prema predloženom modelu	327 m

Izvor: prilagodio autor

Uzimajući u obzir prethodnu analizu može se zaključiti da za analiziranu brzinu utvrđena dužina pretjecajne preglednosti ima malo veću vrijednost nego potrebna dužina pretjecajne preglednosti koja se koristi u Hrvatskoj. Općenito, te razlike nastaju zbog različitih veličina ulaznih parametara koji se uzimaju u teorijskim modelima u odnosu na vrijednosti parametara koji se dobivaju prilikom istraživanja realnog prometnog toka.

8. Zaključak

Pretjecanje je složena dinamička radnja u kojoj postoji interakcija između najmanje dva vozila u prometnom toku. Razlike u brzinama kretanja vozila po cesti su posljedica različitih vozno-dinamičkih sposobnosti vozila te ponašanja vozača. Kako je na većini cesta realni prometni tok heterogen u smislu sastava vozila i njihovih karakteristika, stupnja znanja, motiviranosti i psihofizičkih karakteristika vozača, na cestama uvijek postoji potreba za pretjecanjem.

Sigurnost prometa u velikoj mjeri ovisi o mogućnosti realizacije pretjecanja. Na dvosmjernim cestama pretjecanje je moguće realizirati jedino uz korištenje prometne trake koja je namijenjena za kretanje vozila iz suprotnog smjera. U takvim slučajevima javlja se interakcija između vozila iz suprotnih smjerova i mogućnost nastanka sudara.

Radi smanjenja broja potencijalnih sudara, odnosno prometnih nesreća, na cestama je nužno osigurati potrebnu duljinu za pretjecanje vozila. Stoga je pretjecajna preglednost jedan od najvažnijih parametara o kojemu treba voditi računa već u fazi projektiranja izvangradskih cesta. U skladu s pretjecajnom preglednošću definiraju se zone dopušteno pretjecanja, o kojima ovisi kvaliteta odvijanja prometa, odnosno nivo usluge. Zbog toga su definirani standardi u projektiranju cesta te raspored zona dozvoljenog pretjecanja. Raspored i zona dozvoljenog pretečajna značajno utječu na parametre sigurnosti prometa. Ukoliko zone pretjecanja nisu dovoljno zastupljene, povećava se broj nedozvoljenih pretjecanja i povećava mogućnost nastanka prometnih nesreća.

U svijetu su razvijeni različiti modeli na osnovu kojih se izračunava pretjecajna preglednost. U principu svi ti modeli baziraju se na sljedećim parametrima:

- brzina vozila koje pretječe;
- brzina pretjecanog vozila;
- razmaci između vozila na početku i kraju puta pretjecanja;
- ubrzanje vozila koje pretječe;
- dužina puta pretjecanja;
- vrijeme promatranja i donošenja odluke o pretjecanju;

- sigurnost razmaka na kraju puta pretjecanja.

Promjena vozno-dinamičkih karakteristika vozila, ali i ponašanja vozača utječe na promjenu parametara pretjecanja. Zbog toga je bitno obavljati istraživanja u realnom prometnom toku kako bi se dužina pretjecajne preglednosti uskladila s karakteristikama prometnog toka i ponašanjem vozača.

Istraživanje karakteristika pretjecanja obavljeno je na dvije dionice, obje na cesti D1. S obzirom na karakteristike ceste te razinu usluge, dionice se mogu smatrati reprezentativnim za određivanje karakteristika pretjecanja na cestovnoj mreži u Republici Hrvatskoj. Obradom video zapisa napravljena je baza podataka s uzorkom od 6 pretjecanja. Brzine kretanja vozila koje pretječe su u većini slučajeva bile veće od dopuštenih. Obradom formiranog uzorka: za projektiranu brzinu od 50 km/h, definirani su parametri pretjecanja u realnom prometnom toku:

Rezultati istraživanja potvrdile su hipotezu da karakteristike prometnog toka značajno utječu na dužinu puta pretjecanja, odnosno na potrebnu dužinu pretjecajne preglednosti. Na temelju parametara pretjecanja definirana je pretjecajna preglednost koja za projektnu brzinu od 50 km/h iznosi 327 m.

Na temelju rezultata analize zaključeno je da za analiziranu brzinu utvrđena dužina pretjecajne preglednosti ima neznatno veću vrijednost nego potrebna dužina pretjecajne preglednosti koja se koristi u Hrvatskoj, a koja je utvrđena Pravilnikom. Te razlike nastaju zbog različitih veličina ulaznih parametara koji se uzimaju u teorijskim modelima u odnosu na vrijednosti parametara koji se dobivaju prilikom istraživanja realnog prometnog toka. Također, treba uzeti u obzir da su istraživanja u ovom radu obavljena u cilju analize karakteristika pretjecanja u realnom prometnom toku na dionicama cesta za dozvoljenom, odnosno računskom brzinom od 50 km/h i malom gustoćom prometa. Daljnja istraživanja bi svakako trebala usmjeriti i na dionice sa većom dopuštenom brzinom kretanja. Na taj način bi se provjerilo odgovarala li pretjecajna preglednost predloženih modela karakteristikama stvarnog prometnog toka.

LITERATURA

- [1] Republika Hrvatska: Zakon o sigurnosti prometa na cestama, Narodne novine, Hrvatska, 2008.
- [2] Ivanović, B.: Kvantifikacija faktora zahtijevane dužine preticajne preglednosti prema očekivanoj brzini u slobodnom toku dvotračnih puteva u konturnim uslovima Crne Gore, Univerzitet Crne Gore, Podgorica, 2015.
- [3] Transportation research board, NCHRP report 605 - Passing Sight Distance Criteria, Washington, D.C.: Transportation research board, 2008
- [4] https://www.civil.iitb.ac.in/~vmtom/nptel/303_SigDst/web/web.html. [pristupljeno: travanj, 2020.]
- [5] Šimunović, Lj., Ćosić, M.: Sigurnost cestovnog i gradskog prometa 2, nastavni materijali, Zagreb, 2019.
- [6] Transportation research board, NCHRP report 605 - Passing Sight Distance Criteria, Washington, D.C.: Transportation research board, 2008.
- [7] Tom V. Mathew and K V Krishna Rao, Introduction to Transportation Engineering, Chapter 13, Sight Distance, NPTEL, 2006
- [8] Y. Wang / M. P. Cartmel, „New model for passing sight distance on two-lane highways,“ Journal of transportation engineering
- [9] Ivanović, B., Basarić, V., Garunović, N., Mitrović Simić, J., Saulić, N.: Istraživanje brzina u preticanju, Put i saobraćaj, 2014.
- [10] Ivanović, B.: Ergonomski faktori vozača u projektovanju puteva, Građevinski fakultet Beograd, Srbija, 2000.
- [11] Ivanović, B., Tomanović, Z., Garunović, N.: Istraživanje dužine puta preticanja u realnom saobraćajnom toku, Univerzitet Crne Gore, Crna Gora
- [12] Rotim, F., Peran, Z.: Forenzika prometnih nesreća, Hrvatsko znanstveno društvo za promet, Zagreb, 2011.
- [13] Greenshields, B.D., The Photographic Method of studying Traffic Behaviour, Proceedings of the 13th Annual Meeting of the Highway Research Board, 1933.

[14] Kesner, M.: Identifikacija opasnih mjesta na državnoj cesti D1, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2017.

[15] <https://www.google.hr/maps>, [pristupljeno: travanj, 2020.]

POPIS SLIKA

Slika 1. Pretjecanje vozila	13
Slika 2. Elementi puta pretjecanja koji utječu na duljinu pretjecajne preglednosti	16
Slika 3. Elementi puta pretjecanja prema AASHTO modelu.....	20
Slika 4. Dužina pretjecajne preglednosti prema modelu Wang i Cartmell	29
Slika 5. Duljina pretjecajne preglednosti prema kriteriju koji je prihvaćen u Crnoj Gori..	32
Slika 6. Put pretjecanja prema hrvatskom modelu	36
Slika 7. Pretjecanje vozila konstantnom brzinom kretanja.....	37
Slika 8. Pretjecanje vozila konstantnim ubrzanjem	38
Slika 9. Pretjecanje vozila konstantnim ubrzanjem pri ograničenoj (dopuštenoj) brzini..	40
Slika 10. Pretjecanje vozila konstantnim ubrzanjem i usporenjem	42
Slika 11. Pretjecanje vozila konstantnim ubrzanjem i usporenjem pri ograničenoj brzini	44
Slika 12. Čeoni (centralni) sudar	48
Slika 13. Izlijetanje van kolnika	48
Slika 14. Izvlačenje	49
Slika 15. Pretjecanje vozila u skretanju.....	49
Slika 16. Presijecanje putanje pretjecanog vozila	50
Slika 17. Sustizanje pretjecanog vozila	50
Slika 18. Istraživanje Bruce Greenshields, 1933	52
Slika 19. Položaj državne ceste D1	54
Slika 20. Dionica D1 između Gračaca i Knina.....	55

Slika 21. Šira pozicija lokacije 1	57
Slika 22. Lokacija 1, uzdužni pregled ceste	57
Slika 23. Analizirana dionica izabrane lokacije 1	58
Slika 24. Šira pozicija lokacije 2	59
Slika 25. Lokacija 2, pogled uzduž ceste	59
Slika 26. Izgled isječka iz videozapisa s referentnim crtama za lokaciju	60

POPIS TABLICA

Tablica 1. Minimalne dužine preglednosti prilikom pretjecanja prema kriteriju definiranom u Bosni i Hercegovini	31
Tablica 2. Pojedine brzine i djelomične duljine prilikom pretjecanja	33
Tablica 3. Duljine preglednosti s obzirom na pretjecanje prema kriteriju definiranom u Republici Srbiji.....	35
Tablica 4. Dužine pretjecajne preglednosti prema različitim kriterijima za $V_{\diamond}=80\text{km/h}$	46
Tablica 5. Prosječne brzine vozila u pretjecanju.	73
Tablica 6. Razlika u brzinama između vozila koje pretječe i pretjecanog vozila.	62
Tablica 7. Ubrzanje vozila tijekom pretjecanja	63
Tablica 8. Dužina preglednosti pri pretjecanju prema kriteriju definiranom u Hrvatskoj	64
Tablica 9. Usporedba potrebne dužine preglednosti prema kriteriju koji se koristi u Republici Hrvatskoj i dobivenoj dužini pretjecajne preglednosti.....	66



Sveučilište u Zagrebu
Fakultet prometnih znanosti
10000 Zagreb
Vukelićeva 4

IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI I SUGLASNOST

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

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

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

Svojim potpisom potvrđujem i dajem suglasnost za javnu objavu diplomskog rada
pod naslovom Analiza potrebne duljine preglednosti
za sigurno prebjecanje cestovnih vozila
na internetskim stranicama i repozitoriju Fakulteta prometnih znanosti, Digitalnom akademskom
repozitoriju (DAR) pri Nacionalnoj i sveučilišnoj knjižnici u Zagrebu.

U Zagrebu, 01.07.2020.

Student/ica:

Jaković Valentina
(potpis)