

Uticaj vremenskih uslova na parametre saobraćajnog toka

Nikola Ilić^a, Marijo Vidas^a,

^a Univerzitet u Beogradu, Saobraćajni fakultet, Vojvode Stepe 305, Beograd, Srbija

PODACI O RADU

DOI: 10.31075/PIS.67.03.01
Stručni rad
Primljen: 01/06/2021
Prihvaćen: 14/08/2021
Autor za korespondenciju:
Ilic0600@gmail.com

Кljučне речи:

Vremenski uslovi
Brzina vozila
Protok saobraćaja

REZIME

U ovom istraživanju je predstavljen uticaj vremenskih uslova (kiše) na parametre saobraćajnih tokova na dvotračnom vangradskom putu u okolini grada Loznice. Poređenjem parametara saobraćajnih tokova za loše i dobre vremenske uslove ima za cilj izvođenje zaključaka na koje parametre i u kojoj meri utiču različite vremenske prilike. Na osnovu strane literature je potrebno definisati odgovarajuću metodologiju istraživanja prilagođenu lokalnim uslovima i na adekvatan način primeniti kako bi se dobili što precizniji rezultati i izveli zaključci. Na osnovu podataka sa lokalne meteorološke stanice za 2019. godinu je određen uzorak dana i časova kada je kiša padala i upoređen sa danima kada nije bilo padavina na toj teritoriji. Dobijeni rezultati istraživanja pokazuju da u ulovima sa padavinama dolazi do redukcije brzine od 4% do 8% i protoka od 5% do 14% u u zavisnosti od dana u sedmici. Značajnost istraživanja se ogleda u prepoznavanju veze, odnosno zavisnosti saobraćajnih parametara od vremenskih ulova.

1. Uvod

Promena vremenskih uslova se ne može sprečiti, ali se može predvideti za određeni vremenski period. Loši vremenski uslovi su jedan od značajnih faktora koji direktno utiče na odluke i ponašanje učesnika u saobraćaju, a samim tim i na operativne i bezbednosne performanse čitavog saobraćajnog sistema. Promena uslova u saobraćaju usled nepovoljnih vremenskih okolnosti utiče kako na makroskopske tako i na mikroskopske parametre saobraćajnog toka.

Dva osnovna parametra saobraćajnog toka koja su predmet istraživanja u ovom radu su: protok saobraćaja, odnosno saobraćajni zahtev i brzina kretanja vozila. Odluke učesnika u saobraćaju o odlaganju ili odustajanju od realizacije određenih putovanja utiču na smanjenje saobraćajnih zahteva. Pogoršani uslovi u saobraćaju objektivno povećavaju rizik za nastanak saobraćajnih nezgoda, motorizovani učesnici smanjuju brzinu kretanja, a samim tim povećavaju vreme putovanja. Nepovoljni vremenski uslovi koji utiču na parametre saobraćajnog toka su sneg, kiša, smanjena vidljivost (magla), intenzitet vetra, temperatura, vlažnost vazduha, itd. Različiti vremenski uslovi različito deluju na učesnike u saobraćaju, promena vremenskih uslova ne utiče isto na sve ljude, odnosno na njihove sposobnosti, ponašanje i razmišljanje.

Pod idealnim vremenskim uslovima za neometano funkcionisanje saobraćaja podrazumeva se, sunčan i vedar dan sa suvim kolovozom i dobrom vidljivošću, bez padavina i povećane vlažnosti u vazduhu, prijatne spoljašnje temperature i bez značajnog intenziteta vetra. Svaka nagla promena dovodi do iznenadnog poremećaja i ugrožava funkcionisanje saobraćaja kako na vangradskoj mreži puteva tako i na gradskim ulicama. Vremenske prilike često iznenade učesnike u saobraćaju, a najopasnije od njih su ledena kiša, snežne mećave, bočni vetar jakog intenziteta i gusta magla koji dovode do povećanog broja i težine saobraćajnih nezgoda, pojave zagušenja, veće potrošnje goriva, povećanja vremena putovanja, smanjenja eksploatacione brzine, povećanja emisije štetnih gasova, zagađenja životne sredine, povećanje stresa i imaju mnoge druge negativne uticaje. Razvoj novih i unapređenje postojećih tehnologija omogućava lakše i efikasnije detektovanje svih trenutnih promena vremenskih uslova, ali i vrlo pouzdano za određen vremenski period. Informacionim saobraćajnim sistemima je omogućeno upravljanje saobraćajnim tokovima u realnom vremenu kako bi se na što bolji način smanjili negativni uticaji koje doprinose promene vremenskih uslova. Različiti vremenski uslovi zahtevaju primenu različitih akcija upravljanja saobraćajem, ali većina njih je u funkciji smanjenja brzine i povećanja odstojanja između vozila.

Interesovanje i povećanje broja istraživanja u prošlom veku u određenim zemljama Evrope i sveta daje na značaju ovoj oblasti. Relativno postoji potrebna za dodatnim, novim istraživanjima iz ove oblasti u cilju boljeg razumevanja veza između parametara saobraćajnog toka sa jedne strane i parametara vremenskih uslova sa druge strane. Različite klimatske regije, promena klime u svetu, razvoj tehnologija, kultura, navike stanovništva i mnogi drugi faktori otežavaju uopštavanje i generalizaciju do sada izvedenih zaključaka. Samim tim se nameće potreba za istraživanjima u svim klimatskim zonama kako bi se izveli adekvatni zaključci vezani za korelativni odnos, vezu između vremenskih uslova kao nezavisne promenljive i parametara saobraćajnog toka kao zavisne promenljive.

2. Pregled literature

Literatura vezana za istraživanja iz oblasti uticaja vremenskih neprilika na parametre saobraćajnog toka može se klasifikovati na tri međusobno isprepletana dela:

- 1) Primarni podaci, posebno prikupljeni podaci za konkretnu studiju;
- 2) Sekundarni podaci, arhivirani podaci prethodnih studija koje obično prikupljaju druge organizacije u druge svrhe;
- 3) Studije ljudskih faktora, predstavljaju skup primarnih podataka vezanih za individualne sposobnosti pojedinaca ili grupe učesnika u određenim uslovima u saobraćaju;

Preklapanja između navedenih skupova podataka je uočljiva u pregledu mnogobrojnih studija i na osnovu diskusije o makroskopskim uticajima vremenskih uslova na kapacitet, vremenske gubitke, obim i brzinu je praćena pregledom manje razumnih mikroskopskih uticaja ponašanja i ljudskih faktora. Mikroskopske analize posmatraju kretanja pojedinačnih vozila i njihov međusobni uticaj dok istraživanje ljudskih faktora ispituje reakciju vozača, koja se može, a i ne mora manifestovati u reakciji vozila. Rezultati istraživanja u različitim zemljama sveta, prvenstveno se odnose na uticaj vremenskih neprilika na makroskopske parametre saobraćajnog toka (Hranac et al, 2006).

2.1. Istraživanja sprovedena na teritoriji Sjedinjenih Američkih Država

HCM 2000 potvrđuje da nepovoljni vremenski uslovi mogu značajno smanjiti kapacitet i eksploatacione brzine. Priručnik u svojim diskusijama navodi nekoliko studija o efektima vremenskih uslova. Zaključak da moker kolovoz ne utiče na brzine ali utiče na vidljivost, znači da slaba kiša ne utiče na eksploatacione brzine, ali jaka kiša utiče i može se očekivati da ima značajan uticaj na saobraćajni tok (Lamm et al, 1990).

Slično tome, Ibrahim & Hall (1994) su otkrili minimalno smanjenje kod većine posmatranih protoka i eksploatacionih brzina pri slaboj kiši, a pri jakoj kiši su primetili značajno smanjenje ovih parametara. Pri jakoj kiši kapacitet je manji od 14% do 15% u odnosu na kapacitet pri vedrim i suvim uslovima. HCM ne definiše opsege za klasifikovanje intenziteta kiše i snega. Slično kao za kišu, u Ibrahim-ovoj i Hall-ovoj studiji je primećeno da slab sneg ima minimalne efekte, dok veliki sneg ima značajne uticaje na protok i eksploatacionu brzinu. Slab sneg prouzrokuje smanjenje od 5% do 10% u većini posmatranih slučajeva. Jak sneg smanjuje kapacitet za 30%.

U studiji koju je sproveo Univerzitet u Virdžiniji 2004. godine, ispitivan je uticaj padavina na promenu kapaciteta i eksploatacionih brzina na autoputu kako bi se bolje razumeo uticaj vremenskih uslova na ključne saobraćajne parametre. Padavine su klasifikovane na slabu kišu (0.25 do 6.4 mm na sat) i jaku kišu (6.4 mm na sat), na osnovu preporuka Švedskog meteorološkog i hidrološkog instituta i administracije filipinskih atmosferskih geofizičkih i astronomskih službi. Podaci za noćne uslove su izbačeni iz studije. Pad kapaciteta je postajao sve očigledniji i statistički značajniji kako je rastao intenzitet padavina. Slaba kiša je smanjila kapacitet autoputa od 4% do 10%, a jaka od 20% do 30% (Smith, 2004).

Sumiranjem rezultata analize uticaja vremenskih neprilika na kapacitet na teritoriji Sjedinjenih Američkih Država dobijeno je da kiša i sneg slabog intenziteta redukuje kapacitet do 10%, a jakog do 30% (Hranac et al, 2006).

Saberi & Bertini (2010) u Portlandu su istraživali uticaj kišnih padavina na parametre saobraćajnog toka na lokalnim autoputevima i došli do rezultata da u zavisnosti od jačine kišnih padavina dolazi do redukcije brzine do 11%, a protoka do 14% za vreme popodnevnog vršnog perioda.

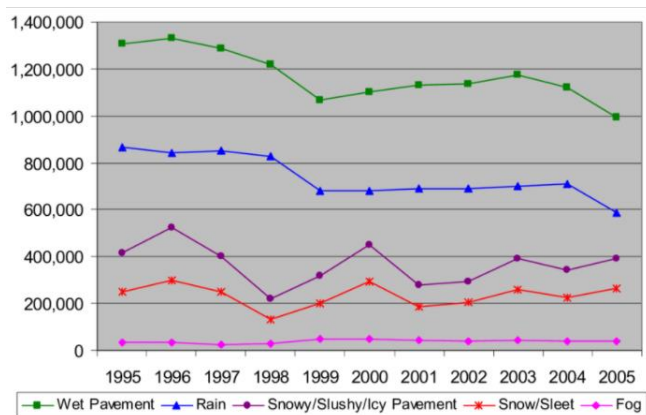
Laboratorija Oak Ridge iz Amerike je sprovela studiju uticaja loših vremenskih uslova, magle, leda i mećave, na vremenske gubitke, odnosno povećanje vremena putovanja. Istraživanjem su dobijeni rezultati koji pokazuju da se usled loših vremenskih uslova vreme putovanja se povećava od 7% do 36% (Hranac et al, 2006).

Nepovoljni vremenski uslovi smanjuju zahteve u transportnom sistemu, pošto vozači odlažu putovanja ili aktivnosti. Sa druge strane, može postojati povećani zahtev za motorizovanim kretanjima zato što oni koji putuju biciklom ili pešice prelaze na motorizovane načine kada dođe do loših vremenskih uslova (Tubić & Orestijević, 2019).

Rezultati koje su dobili Ibrahim & Hall (1994), prikazuju smanjenje protoka od 10% do 20% pri jakoj kiši, dok pri uslovima slabe kiše nisu uočeni značajni efekti. Slab sneg je smanjivao protok za 5% do 10%.

Ibrahim & Hall (1994) studija je izložena u HCM-u i upotrebljeni su podaci o uticaju vremenskih neprilika na redukciju brzine na autoputevima. Pri slaboj kiši, može se očekivati pad brzine od 1.9 km/h u uslovima slobodnog saobraćajnog toka i 6.4 do 12.9 km/h pri toku od 2400 vozila na sat. Pri jakoj kiši, može se očekivati pad brzina od 4.8 do 6.4 km/h i od 12.9 do 16.0 km/h. Slab sneg prouzrokuje pad brzine od 0.96 km/h u uslovima slobodnog toka, dok jak sneg smanjuje brzinu slobodnog toka za 37.0 do 41.8 km/h.

The Federal Highway Administration's (FHWA) predstavlja Američki program za upravljanje putevima u nepovoljnim vremenskim uslovima koji je izvršio detaljnu analizu ponašanja vozača i rizika nastanka saobraćajnih nezgoda u određenim vremenskim uslovima u periodu od 1995. do 2005. godine. Rezultat istraživanja je pokazao da oko 25% saobraćajnih nezgoda se desi u lošim vremenskim okolnostima. Analizirajući nezgode koje su se dogodile u lošim vremenskim uslovima pokazuje da oko 75% nezgoda se desi pri mokrom kolovozu. Narednim dijagramom je predstavljena učestalost saobraćajnih nezgoda u funkciji vremenskih uslova, na kojem se može primetiti odnos između saobraćajnih nezgoda sa različitim vremenskim okolnostima (Pisano et al, 2006).

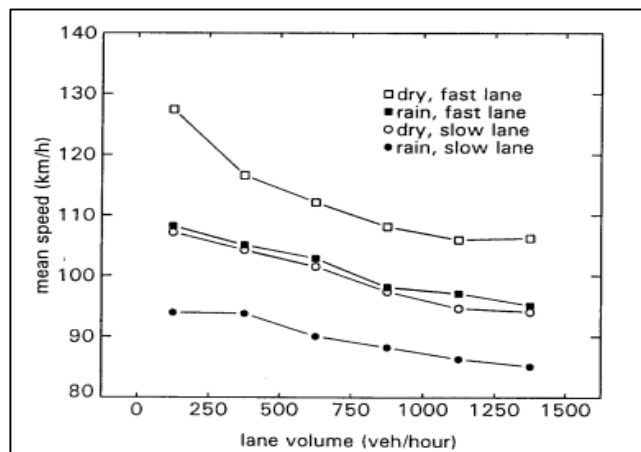


Slika 1. Saobraćajne nezgode u različitim vremenskim uslovima
Izvor: Pisano, P.A., Goodwin, L.C., Rossetti, M.A., (2006).

U studiji Mirtetek, iz 2003. godine pokušalo se sa detektovanjem povećanja vremena putovanja u lošim vremenskim uslovima, odnosno vremenskih gubitaka. Analizirana je mreža puteva u Vašingtonu koja sadrži 33 deonice puta. Istraživanje je sprovedeno za period od 1999-2001.godine. Podaci su svakodnevno prikupljeni u periodu od 06:30 do 18:30, svedeni na petominutni interval prikupljanja podataka. Rezultati studije su pokazali da se vreme putovanja u regionu prosečno povećalo za 14% usled loših vremenskih uslova. U obradi rezultata nisu uzeta u obzir vremena putovanja vozača koji su se kretali brzinom koja je bila veća od postavljenog ograničenja, jer bi na taj način bio potcenjen uticaj loših vremenskih uslova na vreme putovanja (Stern et al, 2003).

2.2. Evropska istraživanja

Istraživači iz oblasti uticaja kiše na parametre saobraćajnog toka i ponašanje vozača su sprovedli studiju na autoputu A16 u periodu od 1991. do 1994. godine. Ograničenje brzine je bilo na 100km/h, a autoput je standardnog profila sa po dve trake po smeru kretanja. Podaci su prikupljeni sa automatskih brojača saobraćaja (ABS) i najbližih meteoroloških stanica. Klasifikacija količine kišnih padavina je izvršena tri nivoa, do 1mm/h predstavlja kišu slabog intenziteta, od 1-5mm/h srednjeg i preko 5mm/h jakog intenziteta. Rezultati istraživanja su pokazala da se prosečna brzina saobraćajnog toka u kišnim uslovima smanji za 11km/h u odnosu na uslove bez padavina. Takođe uočljive su veće promene pri nižim vrednostima protoka, odnosno u stanju slobodnog toka dolazi do većeg smanjenja prosečne brzine nego u uslovima pri zasićenom saobraćajnom toku. Na narednom dijagramu je predstavljen odnos brzine i protoka za vremenske uslove sa padavinama i bez padavina po trakama kretanja (sporija i brža traka) (Hogema, 2006).



Slika 2. Prosečna brzina kretanja u funkciji protoka i vremenskih prilika
Izvor: Hogema, J.H. (1996).

U periodu od 1.09. do 10.10.2009. godine u V. Britaniji je analiziran uticaj različitih intenziteta kiše, snega i temperature na vreme putovanja, radnim danima u jutarnjim, popodnevним i večernjim vršnim periodima. Vremenski uslovi mogu značajno uticati na niz svakodnevnih ljudskih odluka i aktivnosti. Kao rezultat toga, inženjeri nastoje da integrišu podatke vezane za vremenske prilike u saobraćajni tok kako bi se poboljšalo trenutno stanje. Vremena putovanja i brzine su dva elementa saobraćajnog toka koji mogu biti pod velikim uticajem vremena, što dovodi do pogoršanja uslova na putevima. Ulazni podaci su podaci sa ABS i lokalnih meteoroloških stanica. Izlazni rezultat je da uticaj kiše i snega funkcija njihovog intenziteta. Povećanja vremena putovanja zbog slabih kiša iznosi od 0.1% do 2.1%, umerenih od 1.5% do 3.8% i jakih od 4.0% do 6.0%.

Pojava slabog snega na kolovozu povećava vremena putovanja za 5.5–7.6%, dok veliki sneg uzrokuje najveće vremenske gubitke, odnosno povećanje vremena putovanja za 7.4-11.4%. Temperatura ima skoro zanemarljiv uticaj na vreme putovanja (Tubić & Orestijević, 2019).

Studija koju su 1995. godine sproveli istraživači Brilon i Ponzlet ispituje uticaj klimatskih uslova na kapacitet u Nemačkoj. Ispitane su kombinacije u dnevnim i noćnim uslovima, pri suvom i mokrom kolovozu, za radne dane i vikend, kao i za različite poprečne profile puteva, a rezultati su prikazani u narednoj tabeli. Rezultati su pokazali da vremenski uslovi pri smanjenoj vidljivosti mogu da redukuju kapacitet do 47% (Brilon & Ponzlet, 1995).

Tabela 1. Smanjenje kapaciteta u odnosu na uslove pri vedrom i suvom vremenu

Tip puta	Dan u nedelji	Mračno i suvo	Vedro i vlažno	Mračno i vlažno
Četvortračni	Radni dan	13%	12%	28%
	Vikend	21%	27%	/
Šestotračni	Radni dan	19%	18%	47%
	Vikend	25%	29%	/

Izvor: Brilon, W., Ponzlet, M. (1995).

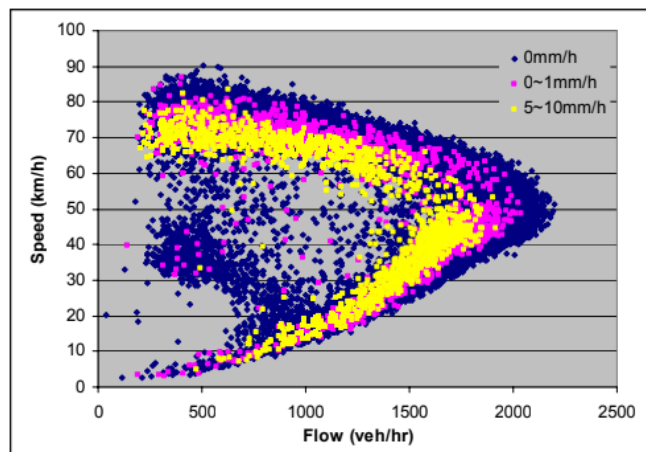
U Škotskoj regiji Lotian u periodu od 1987. do 1991. godine su praćene promene u obimu dnevnog saobraćaja izazvane različitim vremenskim uslovima (temperatura, kiša, susnežica i sneg). Analizom prikupljenih podataka sa ABS na različitim kategorijama puta i sa meteoroloških stanica u blizini su dobijeni rezultati za radne i vikend dane. Rezultati istraživanja pokazuju da je najveće smanjenje protoka zabeleženo usled velikog snega i tada dolazi do redukcije protoka za 10% tokom radnih dana i 15% tokom vikenda. Obimne kišne padavine neznatno utiču na redukciju kapaciteta tokom radnih dana, svega do 1%, dok tokom vikenda utiču na smanjenje protoka za 5%. Dok ekstremne promene temperature ne utiču na redukciju protoka u značajnoj meri (Hassan & Barker, 1999).

Istraživanje koje je obavljeno u Belgiji u periodu od 2003. do 2004. godine detaljnije analizira uticaj različitih vremenskih uslova na protok saobraćaja na tri različita vangradska puta. U ovoj analizi su uzeti mnogobrojni parametri vezani za vremenske uslove kao što su: oblačnost, temperatura, brzina vetra, različite padavine, grad, sneg, kiša, grmljavina, vidljivost i za sve parametre su računane minimalne, maksimalne i prosečne vrednosti redukcije protoka. Rezultati istraživanja pokazuju da najznačajnije uticaj na smanjenje protoka ima sneg do 15%, zatim ostale padavine kao i oblačnost i udari vetra. Zanimljivi rezultati su dobijeni za vremenske prilike kada se javlja visoka temperatura koja povećava protok, ali takođe je zabeležen porast protoka na dva od tri istražena područja za vremenske neprilike kada pada grad i javlja se jaka grmljavina do 4.5% (Cools et al, 2009).

Na autoputevima kroz urbani deo Istanbula 2011. godine je izvršeno istraživanje koje ispituje uticaje različitih vremenskih prilika (suvo, kiša, magla i sneg) na brzinu, protok i gustinu saobraćaja. Zaključci su da da kiša u proseku smanjuje brzinu za 8-12% (oko 7 km/h), a protok za 6-7%. Dobijeni rezultati su klasifikovani i za različite procenete učešća komercijalnih vozila u saobraćajnom toku gde je zapaženo da se najveće redukcije parametara saobraćajnog toka dešavaju ukoliko je procenat komercijalnih vozila u saobraćajnom toku između 20% i 30% za sve vremenske uslove (Sisiopiku et al, 2011).

2.3. Istraživanja u Aziji i Australiji

Istraživanja obavljena na mreži autoputeva u Tokiju u Japanu ima za cilj da utvrde uticaj vremenskih neprilika na osnovne parametre saobraćajnog toka. Količina kišnih padavina je klasifikovana prema intenzitetu padavina u cilju utvrđivanja redukcije kapaciteta i brzine saobraćajnog toka. Naredni dijagram predstavlja V-q dijagram, odnosno izmerenu brzinu kretanja pojedinačnog vozila pri trenutnom protoku pri različitim intenzitetima kišnih padavina (Kuwahara et al, 2006).



Slika 3. V-q dijagram na mreži autoputeva u Tokiju pri različitim klasama intenziteta padavina

Izvor: Kuwahara, M. Chung, E. Warita, H. Ohtani, O. Morita, H. (2006).

Na osnovu podele prema količini padavina i rezultata istraživanja zaključeno je da se povećava redukcija brzine sa povećanjem količine padavina i pri različitim saobraćajnim protocima. Redukcija brzine se kreće između 4.5% i 8.2%. Studijom uticaja kišnih padavina na redukciju kapaciteta je zaključeno da pri najmanjim padavinama od 1mm/h dolazi do smanjenja kapaciteta za 4%-7%, za najintenzivnije padavine zabeležen je pad kapaciteta od 14% (Kuwahara et al, 2006).

Wang i Luo su istraživali uticaja kišnih padavina na parametre saobraćajnog toka na autoputevima kineske provincije Hainan. Rezultati pri maksimalnom saobraćajnom zahtevu su pokazali da kiša redukuje brzinu od 4.4% do 10.7%, a protok od 15.7% do 32.5% u zavisnosti od količine padavina od blagog do jakog intenziteta padavina (Wang & Luo, 2017).

Geografski položaj i klimatski uslovi u Maleziji po pitanju vremenskih nepogoda pre svega kišnih dana su značajno ekstremni. Uticaj kišnih padavina na parametre саобраћајног тока je dalo rezultate da обимне кише до 50mm/h могу да редукую просечну брзину до 14% (Mashros et al, 2014).

Analizom podataka dobijenih sa bluetooth uređaja za detekciju vozila na glavnim ulicama Bankoga na temu uticaja kiše na makroskopske parametre саобраћајног тока je kreiran model. Rezultati истраживања добијени на основу креираног модела говоре да у зависности од интензитета јачине падавина (блага киша од 0.1 до 10.0mm, умерена од 10.1mm до 35.0mm, јака преко 35mm) долази до просечне редукције брзине за 6.7%-53.3% i просечно смањење протока за 1%-27.2%. Док повећање укупног времена путовања на мрежи за 4.5%-128% (Suwanno et al, 2021).

Australija je sproveda studiju uticaja vremenskih neprilika na protok саобраћаја u Melburnu u periodu od 1989. do 1996. godine. Rezultati истраживања su prikazani za zimski i prolećni period godine za dnevne i ноћне uslove za različite интензитете кишних падавина. U пролећним месецима je забележена већа редукција протока при јаким кишима u ноћним условима за око 4%, док за дневне uslove та редукција износи до 5% (Keay & Simmonds, 2005).

3. Metodologija истраживања

Plan истраживања je потребан за прикупљање, обраду, анализу, презентовање i извођење закључака из адекватних података. Зато je потребно одредити методологију истраживања u којој je поступно дефинисан i представљен сваки корак појединачно. За потребе овог истраживања методологијом se дефинише:

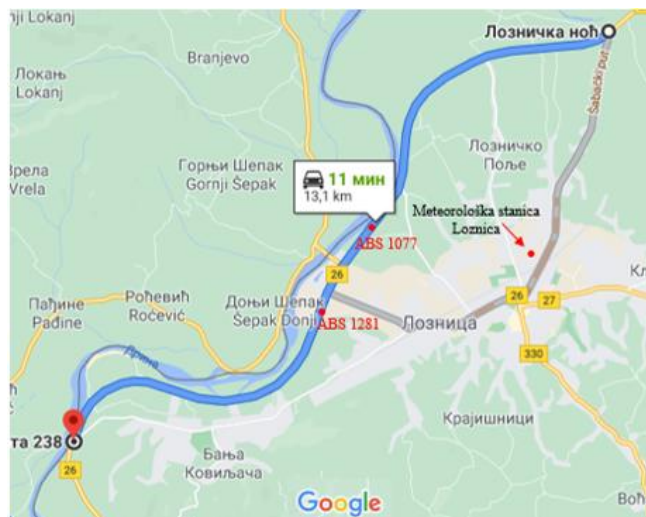
- 1) Cilj i predmet истраживања
- 2) Prostor истраживања
- 3) Vreme истраживања
- 4) Прикупљање података
- 5) Дефинисање методе истраживања, начина обраде i анализе података

3.1. Cilj i predmet истраживања

Osnovni cilj истраживања je utvrđivanje uticaja vremenskih neprilika na parametre саобраћајног тока. Osnovni zadatak se ogleda u donošenju закључака o tome koliko i na koji način vremenske neprilike utiču na funkcionisanje саобраћајног тока na konkretno дефинисаном подручју истраживања. Na основу историјских података прикупљених sa ABS i sa локалне метеоролошке станице потребно je адекватном анализом i обрадом података презентovati i графички приказати rezultate uticaja vremenskih neprilika, konkretno кише na parametre саобраћајног тока na ванградском двотрачном путу.

3.2. Prostor истраживања

Izabrane su dve deonice државног ванградског двотрачног пута IB реда u близини града Loznice, koje predstavljaju обилазницу око urbanog градског подручја. Grad Loznica se nalazi u Маčванском округу u западној Србији, a izabrane deonice su u sastavni deo државног пута IB реда, broj 26 (Beograd – Obrenovac – Šabac – Loznica - Mali Zvornik). Deonica broj 02617 Loznica (ulaz) – Loznica (Trbušnica) i 02618 Loznica (Trbušnica) – Banja Koviljača sa ukupnom dužinom око 13km predstavljaju prostor истраживања. Saobraćajnice čine glavnu vezu prema граничним prelazima ka Republici Srpskoj, Trbušnica i Karakaj koji predstavlja glavni гранични prelaz za teretna vozila, pa je samim tim povećan udeo teretnih vozila i autovozova u strukturi саобраћајног тока. Tehničko eksploatacione karakteristike обилазнице svrstavaju ove dve deonice u komforne двотрачне puteve gde je ograničenje брзине највећим делом обилазнице, a i u zonama ABS je 80km/h, ali postoje povremena smanjenja брзине zbog безбедности саобраћаја na 50km/h u zonama raskrsnica. Deonice su obezbeđene sa ABS sa kojih su preuzeti neophodni podaci o kretanju vozila. Izbor deonica je bio uslovljen i udaljenosti do најближе метеоролошке станице, zbog relevantnosti података o vremenskim prilikama. Lokacija метеоролошке станице, položaj deonica i ABS su prikazani na narednoj slici. U radijusu od 10km око метеоролошке станице se nalaze obe deonice, dok su ABS na udaljenosti do 5km.



Slika 4. Položaj predmetnih deonica

3.3. Vreme истраживања

Vremenski okviri истраживања обухватају одређене дане tokom 2019. godine. Na основу података sa локалне метеоролошке станице utvrđeni su dani u kojima su забележене падавине. Svaki dan sa падавинама je класификован na vremenske интервале od 10 minuta, jer se најчешће u том временском интервалу meri količina падавина.

Takođe, za dane bez padavina su uzeti isti dani i isti vremenski intervali ali sedam dana pre ili sedam dana posle dana sa padavinama kako bi poređenje vrednosti sa ABS imalo smisla i bilo prihvatljivo sa minimalnom greškom. Za potrebe ovog istraživanja je izdvojeno stotinu časovnih intervala u kojima su zabeležene kontinualne padavine u najmanje dva uzastopna časovna perioda, takođe i stotinu identičnih časovnih intervala bez padavina.

3.4. Prikupljanje podataka

Podaci su prikupljeni sa ABS i lokalne meteorološke stanice. ABS služe za brojanje saobraćaja i kategorizaciju vozila. Rade na principu induktivnih petlji. Napajanje im je preko solarnog panela koji se nalazi na vrhu stuba. Brojači beleže podatke u realnom vremenu tokom čitave godine. Podaci mogu biti izvedeni u časovnom, dnevnom, mesečnom, godišnjem nivou, a u zavisnosti od potreba istraživanja i svako vozilo pojedinačno.

Osim podataka o protoku brojači beleže podatke o brzini kretanja vozila i trenutnoj temperaturi. Na osnovu podataka koji prikupljaju brojači jasno se zna stanje saobraćajnog toka za određene deonice i u određenom vremenskom periodu. Meteorološka stanica-PMIS pruža podatke o svim vremenskim uslovima u vremenskom periodu istraživanja i omogućava obavljanje nezavisnih istraživanja o vremenskim neprilikama. PMIS stanice beleže sve relevantne lokalne atmosferske uslove u realnom vremenu i prenose te informacije u upravljačke centre.

3.5. Definisane metode istraživanja, načina obrade i analize podataka

Metod istraživanja podrazumeva nezavisna istraživanja zasnovana na statističkoj obradi podataka o vremenskim uslovima, dobijenih sa lokalne meteorološke stanice. Takođe, metodu zavisnih istraživanja koja na osnovu podataka o karakteristikama saobraćajnog toka na posmatranim deonicama u vremenskim intervalima sa dobrim i pogoršanim vremenskim uslovima zahteva adekvatnu pripremu baze podataka, obradu i statističku analizu u cilju upoređivanja podataka i prezentacije rezultata uticaja vremenskih neprilika na osnovne parametre saobraćajnog toka.

U okviru definisanog vremenskog perioda istraživanja, potrebno je napraviti bazu podataka sa danima i satima po desetominutnim intervalima u kojima su postojale padavine. Na osnovu dana sa padavinama pronaći isti dan prethodne ili naredne sedmice, istog meseca bez padavina i kreirati bazu podataka.

Nakon detekcije dana sa vremenskim neprilikama i odgovarajućih dana sa dobrim vremenskim uslovima, potrebno je na osnovu podataka sa ABS izvući prosečne protoke i prosečne brzine za desetominutne intervale za sve periode istraživanja. Adekvatnom statističkom obradom i analizom su grafički i tabelarno prezentovani rezultati o uticaju vremenskih neprilika na osnovne parametre saobraćajnog toka.

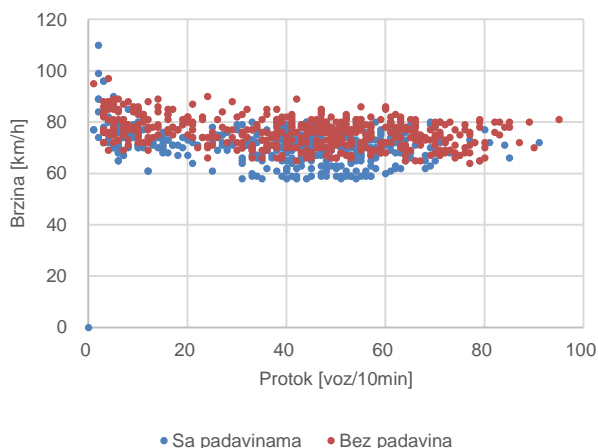
4. Rezultati istraživanja

Za potrebe istraživanja prikupljeni su relevantni podaci sa dva ABS, deonica broj 02617 Loznica (ulaz) – Loznica (Trbušnica) i 02618 Loznica (Trbušnica) – Banja Koviljača. Najznačajniji podaci su vezani za brzinu kretanja i protok vozila, podaci su klasifikovani po danima i po vremenskim intervalima od 10min u periodima sa padavinama i bez padavina. Izvršena je analiza vremenskih uslova i njihovog uticaja na brzinu kretanja i na ukupan saobraćajni zahtev. Analizirani su posebno radni dani, a posebno vikend dani, kao i periodi vršnih časova. Jutarnji vršni čas za grad Loznicu je 8. sat, dok je popodnevni vršni sat 15. sat. Rezultati istraživanja za stotinu časovnih perioda tokom čitave godine (različitim mesecima) su predstavljeni pomoću dijagrama i tabela. Obrada i prikaz podataka se odnosi na oba smera kretanja za čitav period istraživanja.

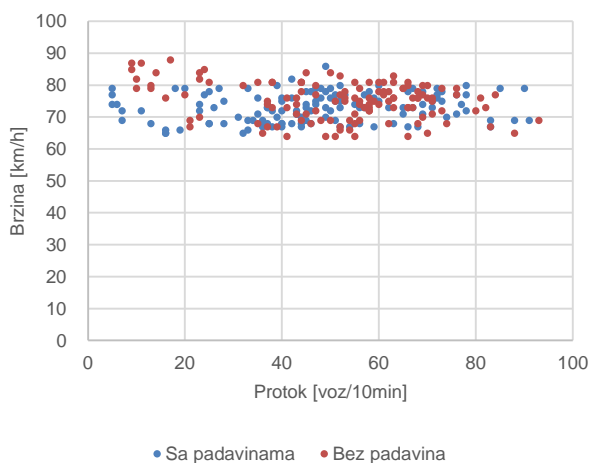
4.1. ABS 1077-Deonica 02617, Loznica (ulaz)-Loznica (Trbušnica)

Analiza podataka sa ABS 1077 za uzorak od 97h u kišnim uslovima i isti toliki uzorak u uslovima bez padavina je predstavljen na dijagramu Protok-Brzina za desetominutne intervale. Na vertikalnoj osi je predstavljena prosečna brzina vozila za svaki desetominutni interval, a na horizontalnoj protoci. Naredni dijagrami predstavljaju zavisnost brzine i protoka u odnosu na vremenske uslove radnim danima i vikend danima.

Veći deo uzorka pripada radnim danima, tačnije 75% ukupnog uzorka. Najveći udeo, odnosno preko 90% prosečnih brzina u svim desetominutnim intervalima spada u opsegu od 60km/h do 80km/h za uslove sa padavinama, dok je za uslove bez padavina taj opseg između 65km/h i 85km/h. Uzeti su različiti sati u toku čitavog dana, usled toga prosečan protok saobraćaja počinje sa minimalnim vrednostima do 20 vozila u toku 10 minuta isključivo u periodu od 22h do 05h, dok povećanje protoka se beleži približavanjem vršnim časovim. U svakom slučaju saobraćajni tok je nezasićen, odnosno saobraćaj funkcioniše u uslovima slobodnog i normalnog toka. Postojanje interakcije između vozača se javlja u vršnom periodu.



Slika 5. Zavisnost brzine i protoka u odnosu na vremenske neprilike, radnim danima – ABS1077



Slika 6. Zavisnost brzine i protoka u odnosu na vremenske neprilike, vikend danima – ABS1077

25% ukupnog uzorka pripada vikend danima. Najveći udeo, odnosno preko 90% prosečnih brzina u svim desetominutnim intervalima spada u opsegu od 65km/h do 80km/h za uslove sa padavinama i za uslove bez padavina. Detaljne razlike uticaja različitih vremenskih uslova na parametre saobraćajnog toka na severnom delu obilaznice oko grada je predstavljena u narednoj tabeli.

Tabela 2. Zavisnost brzine i protoka u odnosu na vremenske neprilike ABS1077

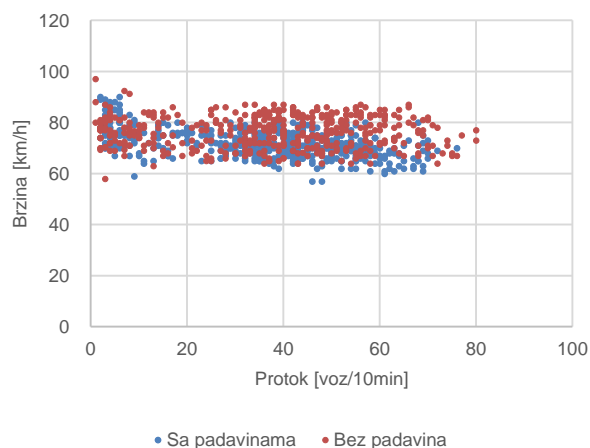
Vremenski period	Parametri saobraćajnog toka	Bez padavina (1)	Sa padavinama (2)	Rezultat analize (2-1)	
				Δ	%
Radni dani	Q [voz/h]	258	234	-24	-10.2
	V [km/h]	75.0	70.1	-4.9	-7.0
Vikend dani	Q [voz/h]	312	282	-30	-10.6
	V [km/h]	74.5	73.3	-1.2	-1.6

Za posmatrani brojač dobijeni su rezultati u apsolutnim i relativnim pokazateljima. Radnim i vikend danima se protok vozila smanjuje za oko 10%, sa beznačajno većim procentom smanjenja protoka vikend danima. Prosečna brzina se smanjuje za oko 7% radnim danima, dok vikendom ta redukcija iznosi 1.6%. Oba parametra saobraćajnog toka su redukovana na predmetnoj deonici u posmatranim danima istraživanja sa vremenskim uslovima kad je padala kiša u odnosu na dane bez padavina.

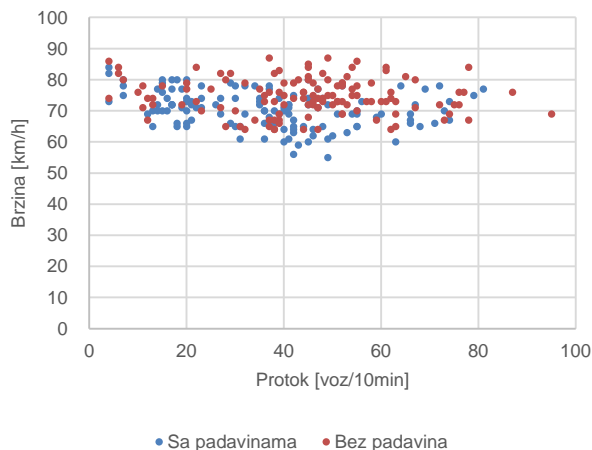
4.2. ABS 1281 - Deonica 02618, Loznica (Trbušnica) – Banja Koviljača

Analiza podataka sa drugog brojača ABS 1281 za uzorak od 97h u kišnim uslovima i isti toliki uzorak u uslovima bez padavina je predstavljen na identičan način kao i za prethodni brojač na dijagramu Protok-Brzina za desetominutne intervale. Na vertikalnoj osi je predstavljena prosečna brzina vozila za svaki desetominutni interval, a na horizontalnoj protoci. Naredni dijagrami predstavljaju zavisnost brzine i protoka u odnosu na vremenske uslove radnim danima i vikend danima.

Najveći udeo, odnosno preko 90% prosečnih brzina u svim desetominutnim intervalima spada u opsegu od 60km/h do 80km/h za uslove sa padavinama, dok je za uslove bez padavina taj opseg između 65km/h i 90km/h. Generalno slika zavisnosti brzine i protoka u odnosu na vremenske neprilike radnim danima je slična kao i za prethodni brojač. U svim posmatranim vremenskim intervalima saobraćaj funkcioniše u uslovima slobodnog saobraćajnog toka pa se ne može izvesti zaključak o promeni brzine u odnosu na protok, nego je promena brzine isključivo u funkciji vremenskih uslova.



Slika 7. Zavisnost brzine i protoka u odnosu na vremenske neprilike, radnim danima - ABS1281



Slika 8. Zavisnost brzine i protoka u odnosu na vremenske neprilike, vikend danima - ABS1281

Prosečnih brzina u svim desetominutnim intervalima za uslove sa padavinama spada u opsegu od 65km/h do 85km/h, dok za uslove bez padavina ta granica je nešto manja u intervalu od 60km/h do 80km/h. Detaljne razlike uticaja različitih vremenskih uslova na parametre saobraćajnog toka za ovaj ABS je predstavljen u narednoj tabeli.

Tabela 3. Zavisnost brzine i protoka u odnosu na vremenske neprilike ABS1281

Vremenski period	Parametri saobraćajnog toka	Bez padavina (1)	Sa padavinama (2)	Rezultat analize (2-1)	
				Δ	%
Radni dani	Q [voz/h]	222	216	-6	-2.8
	V [km/h]	76.2	70.3	-5.9	-8.4
Vikend dani	Q [voz/h]	264	222	-42	-18.9
	V [km/h]	74.4	69.7	-4.7	-6.7

Apsolutnim i relativnim pokazateljima analize uticaja vremenskih neprilika na parametre saobraćajnog toka za posmatrani brojač za radne dane je takav da se protok vozila smanjuje do 3%, dok brzina beleži redukciju do 8.5%. Vikend danima je izmenjena situacija u smislu da dolazi do značajno veće redukcije protoka oko 19% u odnosu na redukciju radnim danima, a brzine se smanjuje do 7%.

5. Zaključci i preporuke

Predmetne deonice predstavljaju obilaznicu oko grada sa zapadne strane. Potrebno je napomenuti da raspodela prema tipu vozila u ovom istraživanju nije uzeta u obzir ali povećani udeo teških i gabaritnih kategorija vozila svakako utiče na parametre saobraćajnog toka. Takođe pozicije ABS su takve da ne obuhvataju mnogobrojna kretanja, naročito kretanja iz centralnog gradskog jezgra ka graničnom prelazu Trbušnica.

Najvećim delom obuhvaćena su tranzitna kretanja, a treba napomenuti da postoji veliki broj priključaka bez kontrole pristupa koji u značajnoj meri ometaju glavni saobraćajni tok, odnosno redukuju brzinu ali ne prolaze preko detektora. Rezultati istraživanja za čitavu obilaznicu u posmatranom periodu su prikazani u narednoj tabeli kako bi se na lakši način uvideo uticaj kiše na parametre saobraćajnog toka na čitavom potezu oko gradskog jezgra.

Tabela 4. Zavisnost brzine i protoka u odnosu na vremenske neprilike na obilaznici

Vremenski period	Parametri saobraćajnog toka	Bez padavina (1)	Sa padavinama (2)	Rezultat analize (2-1)	
				Δ	%
Radni dani	Q [voz/h]	240	228	-12	-4.8
	V [km/h]	75.6	70.2	-5.5	-7.8
Vikend dani	Q [voz/h]	288	252	-30	-14.3
	V [km/h]	74.5	71.5	-3	-4.2

Napomena: Nelogičnost vezana za povećan prosečan protok vikend danima u odnosu na radne dane proizilazi iz uzorka koji je uzet za proračun. Svi sati u toku dana u kojima je bilo padavina su uzeti u proračun prosečnih brzina, samim tim usled povećanog broja van vršnih perioda i perioda u toku noći za radne dane u odnosu na vikend dane je uticalo na ovu nelogičnost u prosečnom protoku vozila.

Na osnovu sveobuhvatne analize prikupljenih podataka sa meteorološke stanice i ABS na posmatranim deonicama, izvedeni su zaključci o uticaju vremenskih neprilika na redukciju dva saobraćajna parametra, brzinu i protok. Analiza uticaja je vršena za radne i vikend dane. Parametri su klasifikovani na desetominutne intervale i za svaki interval je određen protok vozila kao i njihova prosečna brzina. Za 2019. godinu, odnosno posmatrani uzorak istraživanja dobijene vrednosti se mogu uzeti kao relevantne. Na osnovu ove metodologije istraživanja, koja je prilagođena trenutnim uslovima, pre svega ograničenom pristupu podataka i nedostupnosti istih za ranije vremenske periode, ali i usled epidemiološke situacije u prethodnom periodu uzorak je ograničen i nedovoljan za dobijanje generalnih i opšte prihvatljivih zaključaka o uticaju kiše na parametre saobraćajnog toka za deonice puta koje predstavljaju obilaznicu oko grada.

Uticaji vremenskih neprilika na funkcionisanje saobraćaja je višestruko, počevši od psihološkog uticaja na učesnike u saobraćaju gde sve povećava subjektivan osećaja vozača o riziku nastanka saobraćajne nezgode i samim tim doprinosi kompenzaciji rizika i za posledicu ima smanjenje brzine kretanja, pogotovu kada su u pitanju iznenadne vremenske neprilike. Takođe, psihološki uticaj je u jakoj korelativnoj vezi sa navikama stanovništva, usled najavljenih padavina mnogobrojni nemotorizovani učesnici u saobraćaju se opredeljuju za upotrebu motorizovanih vidova kretanja, prvenstveno putničkog automobila što dovodi do povećanja obima motorizovanih vozila, ali takođe jak uticaj na navike

dovodi do toga da se mnogobrojna kretanja koja nisu obavezna odlože ili uopšte ne realizuju u periodu trajanja vremenskih neprilika što dovodi do drastičnog smanjenja obima saobraćajnih zahteva, pogotovu tokom vikend dana i u van vršnim periodima radnim danima. U vršnim periodima se javljaju svrhe kretanja koje se vezuju za obavezna svakodnevna kretanja na koja vremenski uslovi ne utiču (npr. odlazak na posao). Psihološki uticaji na učesnike u saobraćaju se razlikuju za svako područje u zavisnosti od klimatskih uslova i samih navika stanovništva što zahteva posebno istraživanje kako bi se dobili konkretniji zaključci.

Najbitniji zaključci koji su dobijeni na osnovu ovog istraživanja su:

- 1) Redukcija prosečne brzine vozila radnim danima je od 7% do 8.5%, odnosno za posledicu ima uticaj na smanjenje brzine za oko 6km/h.
- 2) Redukcija prosečne brzine vozila vikend danima je od 2% do 6.5%, odnosno za posledicu ima uticaj na smanjenje brzine za oko 4km/h.
- 3) Kiša redukuje prosečni protok vozila radnim danima od 3% do 10%.
- 4) Kiša redukuje prosečni protok vozila vikend danima od 10% do 19%.

Na osnovu pregleda literature i navedenih stranih istraživanja vezanih za uticaj kiše na parametre saobraćajnog toka u uslovima slobodnog saobraćajnog toka sa klasifikacijom jačine padavina na umerenu, odnosno ne poređenjem sa vrednostima dobijenih za jake intenzitete padavina mogu se uporediti zaključci. Prikaz redukcije brzine i protoka za različita podnevlja istraživanja su prikazana u narednoj tabeli.

Tabela 5. Generalizovani rezultati istraživanja širom sveta

Istraživanja Parametri saobr. toka	Američka	Evropska	Azija i Australija
	Q [voz/h]	10 - 20%	1% (radni d.) i 5% (neradni d.)
V [km/h]	2 - 3.6%	/	4.5 - 8.2%

Poređenjem dobijenih rezultata istraživanja, iako dobijenih iz ograničenog obima dostupnih podataka, odnosno nedovoljnog uzorka za generalizaciju i tvrdnju relevantnosti podataka za posmatrane deonice sa vrednostima stranih istraživanja može se primetiti sličnost u intervalima za pre svega kada je u pitanju redukcija brzine saobraćajnog toka. Sličnost je uočena i sa zapadnim i istočnim istraživanjima, dok sličnost u redukciji protoka je približnija Američkim istraživanjima.

Generalan zaključak ovog istraživanja je da vremenski uslovi utiču na redukciju osnovnih parametara saobraćajnog toka. Prvenstveno na protok, odnosno saobraćajni zahtev u intervalu od 3% do 19%, ali i na brzinu saobraćajnog toka od 2% do 8.5%.

Uticaj vremenskih neprilika na makroskopske pokazatelje je nedovoljno istražena oblast koja otvara mnogobrojna pitanja na koje je potrebno dati odgovore kroz masovnija i vremenski duže posmatrana istraživanja za različite kategorije puteva, kategorije vozila i na različitim područjima zemlje, takođe i za različite vremenske uslove. Potrebno je uzeti u obzir mnogobrojne druge faktore koji utiču na mikroskopske parametre kako bi se dobili rezultati stopa redukcije svih saobraćajnih parametara kako bi se stope redukcije mogle primeniti na područjima sa sličnim karakteristikama i kako bi se lakše razvili transportni modeli u uslovima sa lošim vremenskim uslovima. Cilj istraživanja bi bio spoznavanje prednosti i nedostataka saobraćajne infrastrukture, funkcionisanje saobraćaja u lošim vremenskim uslovima, utvrđivanje potrebnih mera za poboljšanje bezbednosti i povećanje efikasnosti saobraćaja u različitim vremenskim uslovima.

Usled nedovoljne istraženosti na ovu temu otvaraju se mnogobrojne mogućnosti i nova pitanja koja navode na razmišljanje o kreiranju različitih modela kojim bi se definisale zavisne promenljive (brzina, protok, kapacitet, vremena putovanja,...) u funkciji vremenskih prilika. Razvoj odgovarajućih modela u obliku dijagrama bi predstavljalo krive između nezavisnih promenljivih (vremenskih uslova) i zavisnih promenljivih (saobraćajnih parametara) sa definisanim koeficijentima korelacije i determinacije za različite uslove zsićenosti saobraćajnih tokova. Međutim, postojanje ograničenja u pogledu dostupnosti i relevantnosti podataka sa meteoroloških stanica nameću potrebu za tehničkim i tehnološkim unapređenjem kako bi se zaključci izvodili sa minimalnom dozvoljenom greškom.

INFLUENCE OF WEATHER CONDITIONS ON THE TRAFFIC FLOW PARAMETERS

Nikola Ilić, B.Sc.

Faculty of Transport and Traffic Engineering, University of Belgrade, ilic0600@gmail.com

Marijo Vidas, Ph.D.

Faculty of Transport and Traffic Engineering, University of Belgrade, m.vidas@sf.bg.ac.rs

Abstract: In this research, the influence of weather conditions (rain) on the parameters of traffic flows on a two - lane suburban road in the vicinity of the town of Loznica is presented. Main goal for comparing parameters of traffic flow for bad and good weather conditions is to draw conclusions about which parameters and to what extent are affected by different weather conditions.

Based on the foreign literature, it is necessary to define an appropriate research methodology adapted to local conditions and apply it in an adequate way in order to obtain the most accurate results and draw conclusions. Based on the data from the local meteorological station for 2019, a sample of days and hours when it rained was determined and compared with the days when there was no precipitation in that territory. The obtained research results show that in catches with precipitation there is a reduction of vehicle speed from 4% to 8% and traffic flow from 5% to 14% depending on the day of the week. The significance of the research is reflected in the recognition of the connection, is the dependence of traffic parameters on weather catches.

Keywords: Weather conditions, vehicle speed, traffic flow

Literatura

- [1] Brilon, W., Ponzlet, M. (1995). *Variability of speed-flow relationships on German autobahns*.
- [2] Cools, M., Moons, E., Wets, G. (2009). *Assessing the impact of weather on traffic intensity*. Transportation Research Institute. Hasselt University. Diepenbeek. Belgium.
- [3] Hassan, Y.A., Barker, D.J. (1999). *The impact of unseasonable or extreme weather on traffic activity within Lothian region*. Scotland.
- [4] Hogema, J.H. (1996). *Effects of rain on daily traffic volume and on driving behaviour*.
- [5] Hranac, R., Sterzin, E., Krechmer, D., Rakha, H., Farzaneh, M. (2006). *Empirical studies on traffic flow in inclement weather*. U.S. Department of Transportation.
- [6] Ibrahim, A.T., Hall, F.T. (1994). *Effect of adverse weather conditions on speed - flow occupancy relationships*. Transportation research record 1457. TRB. National Research Council. Washington D.C.
- [7] Keay, K., Simmonds, I. (2005). *The association of rainfall and other weather variables with road traffic volume in Melbourne*. Australia.
- [8] Kuwahara, M., Chung, E., Warita, H., Ohtani, O., Morita, H. (2006). *Does wather affect highway capacity*. Japan. Tokyo.
- [9] Lamm, R., Choueiri, E.M., Mailaender, T. (1990). *Comparison of operating speeds on dry and wet pavements of two-lane rural highways*. Transportation research record 1280. TRB. National Research Council. Washington D.C.
- [10] Mashros, N., Ben-Edigbe, J. Hassan, S.A., Hassan, N.A., Yunus, N.Z.M. (2014). *Impact of rainfall condition on traffic flow and speed*. A case study in Johor and Tarengganu. Malaysia.
- [11] Maletin, M., Tubić, V. (2013). *Basic characteristics of traffic on primary rural roads in Serbia*, International Journal for Traffic and Transport Engineering.
- [12] Mošić, M., & Glavic, D. (2019). Cost-effectiveness analysis of the road-weather information system (RWIS). Put I Saobraćaj, 65(2), 43-48. <https://doi.org/10.31075/PIS.65.02.07>
- [13] Tubić, V., Orestijević, J. (2019). *Influence of weather conditions on the speed of the traffic flow*, Put i saobraćaj 65 (3), 13-18. <https://doi.org/10.31075/PIS.65.03.02>
- [14] Pisano, P.A., Goodwin, L.C., Rossetti, M.A. (2006). *US highway crashes in adverse road weather conditions*.
- [15] 14.Saberi, M., Bertini, R. (2010). *Empirical analysis od the effects of rain on measured freeway traffic parameters*. 89th Annual Meeting of the Transportation Research Board. Portland
- [16] Sisiopiku, V. P., Akin, D., Skabardonis, A. (2011). *Impacts of weather on traffic flow characteristics of urban freeways in Istanbul*. Procedia Social and Behavioral Sciences.
- [17] Smith, B.L. (2004). *An investigation into the impact of rainfall on freeway traffic flow*. Transportation research board. Washington D.C.
- [18] Stern, A., Shah, V., Goodwin, L., Pisano, P. (2003). *Analysis of weather impacts flow in metropolitan Washington D.C.*, Mitretek Systems. Washington, D.C.
- [19] Suwanno, P., Jitpat, P., Kasemsri, R., Fukuda, A., Aditya, B. (2021). *Impact of rainfall intensity on macroscopic traffic variables of urban roads using data from bluetooth detectors*. Bangkok, Thailand.
- [20] Wang, Y., Luo, J. (2017). *Study of rainfall impacts on freeway traffic flow characteristics*. Transportation research procedia. China.