https://doi.org/10.37528/FTTE/9788673955223/TESi.2026.10

Usklađenost stalne i izmenjive saobraćajne signalizacije u zimskim uslovima odvijanja saobraćaja na državnim putevima[11]

Aleksandar Canić, Putevi Srbije d.o.o, Beograd, aleksandar.canic@putevi-srbije.rs

Rezime: Tokom zimskog održavanja puteva, operateri u kontrolnim centrima suočavaju se sa sistemskim problemom neusklađenosti između izmenjive saobraćajne signalizacije na portalima (VMS) i postavljenih fiksnih saobraćajnih znakova. Prema važećem Rešenju Ministarstva, u uslovima snežnih padavina brzina se ograničava na 60 km/h za puteve prvog prioriteta, što se na terenu signalizira postavljenim znakovima II-30 (60) i IV-7.1. Međutim, trenutno implementirani automatski signalni planovi na otvorenim deonicama za scenarije „Vremenske neprilike – sneg 2" i „Vremenske neprilike – poledica" generišu restriktivnije ograničenje od 40 km/h. Ova neusklađenost stvara nekontinuirano vođenje saobraćaja i dovodi vozače u zabludu u pogledu stvarnog i zakonskog ograničenja brzine.

Kako bi prevazišli ovaj konflikt u signalizaciji, operateri u praksi primenjuju neformalne procedure i ručno pokreću alternativne scenarije koji prikazuju zakonsko ograničenje od 60 km/h. Međutim, ovakva improvizacija narušava tačnost tekstualnih informacija na portalima, jer generiše opšte poruke o klizavom kolovozu umesto specifičnih upozorenja na sneg ili poledicu. Zbog toga su operateri prinuđeni da naknadno, ručnim putem koriguju tekstualni sadržaj na znakovima kako bi vozačima pružili tačne podatke o stanju na putu.

Ova praksa ukazuje na hitnu potrebu za pronalaženjem optimalnog i zajedničkog rešenja koje bi uskladilo fiksnu i izmenjivu saobraćajnu signalizaciju u zimskim uslovima. Cilj je postići međusobnu sinergiju oba sistema. Definisanjem usaglašenih protokola i harmonizacijom postavljenih znakova sa VMS algoritmima eliminisala bi se potreba za improvizacijom operatera. Na taj način obezbedilo bi se uniformno i logično informisanje učesnika u saobraćaju, čime se direktno podiže nivo bezbednosti i efikasnosti odvijanja saobraćaja.

Ključne reči: zimsko održavanje puteva, saobraćajni scenariji, ograničenje brzine, usklađivanje signalizacije, upravljanje saobraćajem

1 UVOD

U Republici Srbiji se na značajnom broju državnih puteva primenjuju inteligentni transportni sistemi (ITS) koji integrišu podatke prikupljene putem saobraćajnih i meteoroloških senzora, sistema video-nadzora i drugih izvora, radi njihove obrade, interpretacije i donošenja upravljačkih odluka, kao što su automatska detekcija incidenata, informisanje vozača putem izmenjive saobraćajne signalizacije i dinamičko upravljanje ograničenjima brzine.

[11] CC BY-NC-ND licenca

Prema važećem Zakonu o bezbednosti saobraćaja na putevima i Pravilniku o saobraćajnoj signalizaciji, stalna i izmenjiva saobraćajna signalizacija imaju isto pravno značenje, zbog čega je njihova međusobna usklađenost od ključnog značaja. U suprotnom može doći do istovremenog prikazivanja različitih ograničenja brzine za iste uslove odvijanja saobraćaja, narušavanja kontinuiteta vođenja saobraćaja i gubitka poverenja vozača u informacije koje im sistem pruža.

Ovaj problem posebno dolazi do izražaja tokom zimskog režima odvijanja saobraćaja, kada se istovremeno primenjuju stalna zimska signalizacija i promenljiva signalizacija zasnovana na podacima sa meteoroloških stanica. U pojedinim situacijama takav način upravljanja dovodi do konflikta između ograničenja brzine propisanih stalnom signalizacijom i onih koje prikazuje VMS sistem.

Cilj rada je analiza uzroka ove neusklađenosti, poređenje domaće prakse sa međunarodnim iskustvima i razmatranje mogućnosti primene dinamičkog modela određivanja ograničenja brzine zasnovanog na dužini vidljivosti i koeficijentu prianjanja kolovoza.

2 STALNA SAOBRAĆAJNA SIGNALIZACIJA TOKOM ZIMSKOG ODRŽAVANJA DRŽAVNIH PUTEVA

Preduzeće „Putevi Srbije“ svake godine donosi Plan zimskog održavanja državnih puteva I i II reda, kojim se definišu aktivnosti neophodne za obezbeđenje prohodnosti i bezbednog odvijanja saobraćaja tokom zimskog perioda, kao i prioriteti održavanja pojedinih putnih pravaca. Auto-putevi pripadaju putevima prvog prioriteta, dok se ostali državni putevi razvrstavaju u odgovarajuće prioritete u skladu sa značajem putnog pravca [3].

U skladu sa ovim Planom Ministarstvo građevinarstva, saobraćaja i infrastrukture svake godine donosi Rešenje kojim se u uslovima snežnih padavina propisuje ograničenje brzine od 60 km/h na putevima prvog prioriteta, odnosno 40 km/h na putevima drugog i trećeg prioriteta [3]. Istim rešenjem odobrava se postavljanje privremene zimske saobraćajne signalizacije u periodu od 1. novembra do 1. aprila, u skladu sa projektima saobraćajne signalizacije za zimsko održavanje državnih puteva [3].

Postavljanje zimskih saobraćajnih znakova podrazumeva primenu znaka „ograničenje brzine“ (II-30), uz dopunsku tablu IV-7.1, koja označava da ograničenje važi u uslovima snega, leda ili poledice na kolovozu (slika 1) [2].

Slika 1: Primer postavljene saobraćajne signalizacije na putevima I prioriteta zimskog održavanja

3 POSTUPANJE OPERATERA U KONTROLNIM CENTRIMA U SLUČAJU POJAVE SNEGA, LEDA ILI POLEDICE

Svake godine u zimskim uslovima odvijanja saobraćaja javlja se nedoumica kod operatera u kontrolnim centrima Puteva Srbije koji saobraćajni scenario je potrebno pokrenuti u zimskim uslovima odvijanja saobraćaja.

Kako je već rečeno, za vreme zimskog održavanja puteva, službe održavanja postavljaju saobraćajne znakove II-30(60) i IV-7.1 čime se korisnicima puta saopštava da u slučaju pojave snega, leda ili poledice na kolovozu, ograničenje brzine iznosi 60km/h.

Međutim, prema trenutno aktuelnim i odobrenim algoritmima upravljanja koji su proistekli iz projektno-tehničke dokumentacije, koji su implementirani na Centralni sistem za nadzor i upravljanje (CSNU) od strane izvođača i kao takvi predati Putevima Srbije na upravljanje, kako na otvorenim deonicama, tako i u tunelima, saobraćajni scenariji: „Vremenske neprilike – sneg 2“ (vidi sliku 2.) i „Vremenske neprilike – poledica“ (vidi sliku 3.) imaju ograničenje brzine od 40km/h, čime se stvara nekontinuirano vođenje saobraćaja, odnosno dolazi do sukoba dva različita ograničenja brzine za iste uslove odvijanja saobraćaja. Na slici 3. prikazana su dva tipa ispisa u konkretnom scenariju: na portalnom znaku (gornji ispis) i takozvanom „troznaku“ (donji ispis).

Slika 2: Primer scenarija „Vremenske neprilike – sneg 2“ sa tunelskih sistema

Slika 3: Primer scenarija „Vremenske neprilike – poledica“ sa otvorene deonice auto-puta

Posledice ovakvog vođenja saobraćaja u najmanju ruku može biti dovođenje korisnika puta u zabludu o trenutno važećem ograničenju brzine. Zbog toga, prethodnih godina iskristalisala se neformalna procedura za postupanje operatera u slučaju pojave alarma za poledicu, odnosno sloja snega visine veće od 50mm. Na urednu pojavu pomenutih alarma operateri umesto predloženih odgovarajućih saobraćajnih scenarija, vrše ručno pokretanje saobraćajnog scenarija: „Vremenske neprilike – klizavo 2“ (vidi sliku 4.).

Slika 4: Primer scenarija „Vremenske neprilike – klizavo 2“ sa otvorene deonice auto-puta

Saobraćajni scenario: „Vremenske neprilike – klizavo 2“ razlikuje se od saobraćajnih scenarija: „Vremenske neprilike – sneg 2“ i „Vremenske neprilike – poledica“ po tome što je ograničenje brzine sada 60km/h (što je i bio cilj), međutim tekstualni ispis na portalnim VMS-ovima glasi: „ОПРЕЗ КЛИЗАВ КОЛОВОЗ“, dok bi kod snega trebao da glasi: „ОПРЕЗ

СНЕГ“, a kod poledice: „ОПРЕЗ МОГУЋА ПОЛЕДИЦА“. Dakle, i dalje korisnicima puta nije data prava informacija o stanju kolovoza, pa operateri dodatno ručnom izmenom na znaku prilagođavaju ispise prema željenom saobraćajnom scenariju.

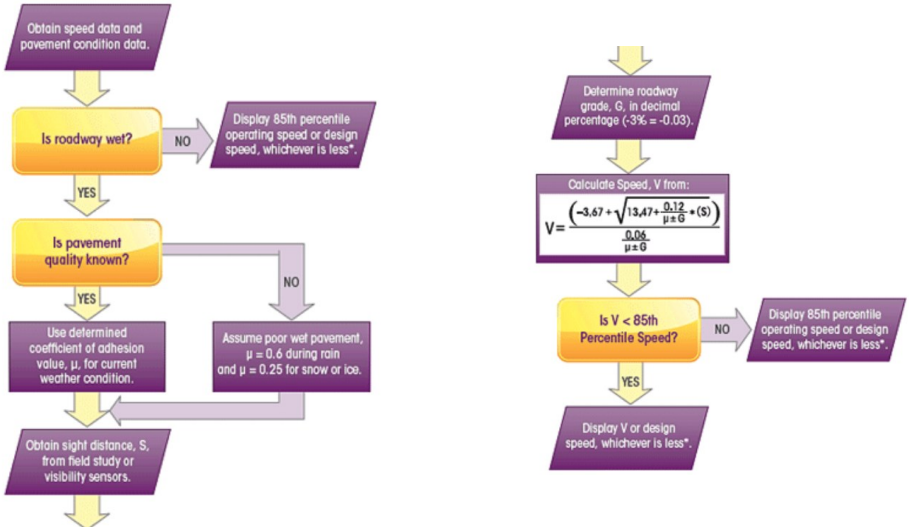
4 EVROPSKA I AMERIČKA ISKUSTVA U SLIČNIM SITUACIJAMA

U ovom delu rada prikazana su iskustva i rešenja koja su primenjena u inostranstvu, a u vezi su ograničenja brzine pri vremenskim neprilikama prvenstveno posmatrajući pojavu snega, leda i poledice na kolovozu.

4.1 Smernice za projektovanje sistema promenljivih ograničenja brzine u nepovoljnim vremenskim uslovima – Sjedinjene Američke Države

Prema američkim smernicama za projektovanje sistema promenljivih ograničenja brzine (VSL), njihova primena u nepovoljnim vremenskim uslovima opravdana je na deonicama na kojima vremenske prilike značajno utiču na odvijanje saobraćaja, postoji povećana stopa saobraćajnih nezgoda, neophodno je često smanjenje ograničenja brzine ili raspoloživa dužina vidljivosti nije dovoljna za bezbedno zaustavljanje vozila [4].

Osnovni parametri za određivanje ograničenja brzine su dužina vidljivosti i zaustavni put, pri čemu algoritam koristi podatke sa meteoroloških stanica, senzora kolovoza i saobraćajnih detektora kako bi izračunao maksimalnu bezbednu brzinu za trenutne uslove na putu (slika 5).



Slika 5: VLS algoritam za vremenske neprilike [4]

Izračunata brzina zaokružuje se na sledeći niži korak od 5 mi/h (10 km/h), pri čemu ne može biti veća od projektovanog niti manja od unapred definisanog minimalnog ograničenja. Algoritam koristi dužinu vidljivosti, koeficijent prianjanja, uzdužni nagib i vreme percepcije i reakcije vozača, pri čemu je osnovna relacija data jednačinom (1), njen oblik u imperijalnim jedinicama jednačinom (2), a izvedeni oblik u metričkom sistemu jednačinom (3) [4].

$$S_{vid} = \frac{V^2}{2g(\varepsilon\mu \pm i)} + t_r V \quad (1)$$

gde je:

- S_{vid} – dužina vidljivosti (imperijalna jed. [ft]; metrička jed. [m]),
- V – preporučena brzina (imperijalna jed. [ft/s]; metrička jed. [m/s]),
- g – ubrzanje zemljine teže (imperijalna jed. [32,2ft/s^2]; metrička jed. [9,81m/s^2]),
- ε - koeficijent efikasnosti kočionog sistema (usvaja se 1,00),
- μ - koeficijent prianjanja kolovoza (dobija se merenjem ili procenom),
- i – uzdužni nagib kolovoza (uspon ili pad), izražen u procentima,
- t_r – vreme percepcije + reakcije vozača (usvojeno 2,5s)

$$V = \frac{-3{,}67 + \sqrt{13{,}47 + \frac{0{,}12}{\mu \pm i} * S_{vid}}}{\frac{0{,}06}{\mu \pm i}} \quad (2)$$

$$V = -88{,}29(\mu \pm i) + 1{,}8\sqrt{2405{,}9(\mu \pm i)^2 + 78{,}48(\mu \pm i)S_{vid}} \quad (3)$$

Nakon izračunavanja preporučene brzine, ona se upoređuje sa projektovanim ograničenjem i trenutnim 85. percentilom brzine toka, pri čemu se na VSL-u prikazuje najmanja od ove tri vrednosti. Ograničenje se ažurira u skladu sa promenama uslova na terenu, ali ostaje prikazano najmanje jedan minut kako bi se izbeglo zbunjivanje vozača [4].

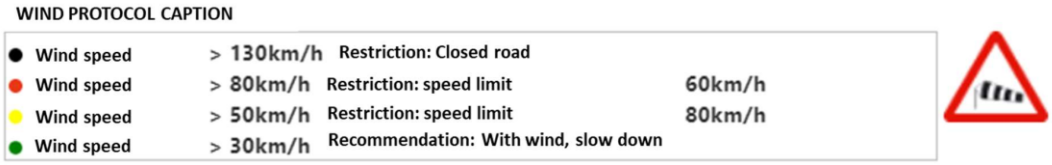
Analiza algoritma pokazuje da dužina vidljivosti predstavlja dominantan faktor pri određivanju preporučenog ograničenja brzine. Pri vidljivosti od 200 m, mokar kolovoz ima mali uticaj na preporučenu brzinu, dok sneg (μ = 0,3) dovodi do njenog smanjenja na 90 km/h, a poledica (μ = 0,1) na 60 km/h. Smanjenjem vidljivosti na 100 m preporučene brzine dodatno opadaju, pri čemu algoritam daje stroža ograničenja za kombinaciju smanjene vidljivosti i suvog kolovoza nego za dobru vidljivost uz prisustvo snega. Ograničenje od 40 km/h preporučuje se tek pri istovremenom dejstvu dva nepovoljna faktora – veoma male vidljivosti i veoma niskog koeficijenta prianjanja.

4.2 Uticaj magle i vetra na saobraćaj na autoputu A-8 – Alto del Fiouko, Španija

Kantabrijski auto-put A-8 (u daljem tekstu A-8) u oblasti Alto del Fiouko (Alto del Fiouco), karakterišu specifični vremenski uslovi sa pojavom guste magle praćene jakim vetrovima koji otežavaju vožnju. Zbog toga je ponekad neophodno zatvoriti auto-put i preusmeriti vozila na put N-634, jer nije moguće garantovati minimalne bezbednosne uslove za njegovo korišćenje.

Iz tog razloga, Generalna direkcija za saobraćaj (u daljem tekstu DGT) uspostavila je protokole za upravljanje putem u nepovoljnim vremenskim uslovima magle i vetra, i instalirala ITS opremu koja je omogućila efikasnije, bezbednije i automatsko upravljanje ograničenjima, odnosno potpunom obustavom saobraćaja, uz istovremeno povećanje broja sati tokom kojih je auto-put u funkciji [5].

Protokoli za maglu i vetar, koji su prikazani na slikama 6 i 7, uspostavljaju četiri nivoa koji povećavaju stepen ograničenja kako se uslovi na putu pogoršavaju.



Slika 6: Pragovi za promenu ispisa na VMS-ovima i zatvaranje deonice u slučaju jakog vetra [5]

Protokol za upravljanje saobraćajem usled jakog vetra definiše četiri nivoa reagovanja. Pri brzini vetra većoj od 30 km/h preporučuje se umerena brzina kretanja, dok se pri prekoračenju 50 km/h ograničenje brzine smanjuje na 80 km/h, a pri brzini vetra većoj od 80 km/h na 60 km/h. Kada brzina vetra premaši 130 km/h, predviđeno je potpuno zatvaranje auto-puta.

Slika 7: Pragovi za promenu ispisa na VMS-ovima i zatvaranje deonice u slučaju magle [5]

Sličan pristup primenjuje se i u uslovima magle. Pri vidljivosti od 150 do 250 m preporučuje se umerena brzina, dok se za vidljivost od 75 do 150 m ograničenje postavlja na 80 km/h, a za 30 do 75 m na 60 km/h. Kada vidljivost padne ispod 30 m, auto-put se zatvara, a saobraćaj preusmerava na alternativni pravac.

Automatsko preusmeravanje je stoga eliminisalo potrebu za prisustvom radnika na putu, a samim tim smanjuju profesionalni rizici i skraćuje vreme potrebno za koordinaciju između različitih uključenih subjekata.

4.3 Smernice navedene u priručniku RABT 2006 – Nemačka

RABT 2006 (Richtlinien für die Ausstattung und den Betrieb von Straßentunneln) predstavlja zvanične nemačke smernice za opremanje i rad drumskih tunela, koje je izdalo Udruženje za istraživanje drumskog saobraćaja (FGSV) nakon teških tunelskih nezgoda u Evropi krajem prošlog veka. Ovaj tehnički dokument propisuje stroge bezbednosne standarde za drumske tunele duže od 400 metara, sa primarnim ciljem da se rizik od nastanka nezgoda svede na minimum. Poseban akcenat stavljen je na automatizovane sisteme za upravljanje saobraćajem, koji u realnom vremenu obrađuju podatke sa meteo-stanica i senzora za maglu, led, vetar ili koncentraciju štetnih gasova. Zbog svoje izuzetne preciznosti, visoke pouzdanosti i usklađenosti sa evropskom direktivom 2004/54/EC, RABT 2006 je prihvaćen kao zvanična inženjerska osnova za projektovanje i upravljanje pametnim autoputevima i tunelima u mnogim zemljama van Nemačke, uključujući i Republiku Srbiju. Na slici 8 prikazane su smernice sadržane u RABT 2006 u pogledu ograničenja brzine na prilazima i u samim tunelima u slučaju vremenskih neprilika.

Prema RABT-u u slučaju smanjene vidljivosti izazvane maglom brzina se postepeno smanjuje sa 100 km/h pri vidljivosti od 290–190 m, na 80 km/h za 190–120 m, zatim na 60 km/h za 120–70 m, dok se pri vidljivosti manjoj od 70 m ograničava na 40 km/h.

Pri pojavi jakog bočnog vetra ograničenje brzine zavisi od njegovog intenziteta i iznosi 100 km/h za brzine vetra od 12 do 14 m/s, 80 km/h za 14 do 18 m/s i 60 km/h za 18 do 22 m/s.

Tokom kišnih padavina brzina se ograničava na 100 km/h pri intenzitetu od 1 do 7 mm/h, 80 km/h za 8 do 15 mm/h, dok se pri intenzitetu većem od 15 mm/h smanjuje na 60 km/h radi smanjenja rizika od akvaplaninga.

U zimskim uslovima ograničenje brzine određuje se kombinacijom padavina i temperature kolovoza. Kada je temperatura kolovoza iznad 0 °C, brzina se ograničava na 80 km/h, dok se pri temperaturi 0 °C ili nižoj, zbog povećanog rizika od stvaranja leda, dodatno smanjuje na 60 km/h.

Parameters from RABT 2006

Visibility:
- From 290-190m => A sign - speed limit 100 km/h
- From 190-120m => A sign - speed limit 80 km/h
- From 120-70m => A sign - speed limit 60 km/h
- Less than 70m => A sign - speed limit 40 km/h

B sign should show Danger (TLS code 1) and C sign word "FOG" alternating with "SLOW SPEED".

Side wind:
- 12-14m/s => A sign - speed limit 100 km/h
- 14-18m/s => A sign - speed limit 80 km/h
- 18-22m/s => A sign - speed limit 60 km/h

B sign should show Side wind (TLS code 14) and C sign word "Wind".

Precipitation (rain):
- From 1 – 7mm/h => A sign - speed limit 100 km/h
- From 8 – 15mm/h => A sign - speed limit 80 km/h
- More than 15mm/h => A sign - speed limit 60 km/h

B sign should show sign Danger and the C sign word "Slippery road".

Cold weather with snow or ice:
- Only rain or snow and lane temperature >0 => speed limit 80 km/h
- Rain or snow and lane temperature <0 => speed limit 60 km/h

B sign should show sign Danger and the C sign word "Slippery road".

Slika 8: Pragovi za promenu ispisa na VMS-u u slučaju vremenskih neprilika prema RABT 2006 [6]

5 DISKUSIJA

U prethodnim poglavljima analizirani su različiti pristupi određivanju ograničenja brzine u zimskim uslovima odvijanja saobraćaja. U Republici Srbiji trenutno se istovremeno primenjuju dva međusobno neusaglašena režima upravljanja saobraćajem. Stalna zimska saobraćajna signalizacija, postavljena na osnovu Rešenja nadležnog Ministarstva, propisuje ograničenje brzine od 60 km/h u uslovima snega, leda i poledice, dok algoritmi upravljanja izmenjivom saobraćajnom signalizacijom za iste uslove prikazuju ograničenje od 40 km/h. U oba slučaja meteorološki uslovi predstavljaju osnov za aktiviranje odgovarajućeg režima, ali je ograničenje brzine unapred određeno i ne prilagođava se intenzitetu vremenske pojave, kombinaciji različitih nepovoljnih faktora, lokalnim karakteristikama deonice niti stvarnim uslovima odvijanja saobraćaja.

Na deonicama opremljenim ITS opremom, naročito u zoni tunela i na auto-putevima, ovakav pristup dovodi do istovremenog prikazivanja dva različita ograničenja brzine za iste uslove odvijanja saobraćaja. Da bi izbegli ovakvu situaciju, operateri u kontrolnim centrima često aktiviraju alternativne signalne planove koji nisu projektovani za konkretne vremenske uslove. Na ovaj način se privremeno obezbeđuje usklađenost između stalne i izmenjive saobraćajne signalizacije, ali se istovremeno ograničava mogućnost prilagođavanja ograničenja brzine stvarnim uslovima na deonici. Umesto da se ograničenje brzine određuje na osnovu konkretne kombinacije meteoroloških i saobraćajnih uslova, primenjuje se unapred definisana vrednost iz alternativnog signalnog plana, čime se smanjuje mogućnost dinamičkog i stepenastog prilagođavanja režima saobraćaja nivou rizika.

Analiza međunarodnih primera pokazuje bitno drugačiji pristup. I američke FHWA smernice i automatizovani sistem na auto-putu A-8 (Kraljevina Španija) zasnivaju određivanje ograničenja brzine na parametrima koji neposredno utiču na bezbednost saobraćaja, prvenstveno dužini vidljivosti i koeficijentu prianjanja. Poređenjem ova dva sistema uočena je velika podudarnost kritičnih pragova, pri čemu se u uslovima izrazito male vidljivosti ograničenja brzine postepeno smanjuju, dok se u ekstremnim uslovima predviđa i privremena obustava saobraćaja.

Sličan pristup može se uočiti i u nemačkom standardu RABT 2006, koji za uslove snega i mogućeg stvaranja poledice preporučuje ograničenje brzine od 60 km/h, ali ne predviđa ograničenje od 40 km/h. Iako se RABT odnosi isključivo na tunele, njegove preporuke dodatno potvrđuju da ograničenja brzine treba određivati na osnovu procene stvarnog nivoa rizika, a ne primenom unapred definisanih i nepromenljivih scenarija.

Za kraj diskusije razmotren je model algoritma iz relacije (3), koji ograničenje brzine određuje na osnovu više ulaznih parametara, poput dužine vidljivosti, koeficijenta prianjanja i karakteristika posmatrane deonice. Preporučene brzine za različite kombinacije ulaznih parametara prikazane su u tabeli 1.

Rezultati pokazuju da je osnovna prednost algoritma njegova mogućnost prilagođavanja lokalnim uslovima, jer omogućava kalibraciju u odnosu na uzdužni nagib, stanje kolovoza i ostvarivi koeficijent prianjanja, kao i preglednost puta koja određuje raspoloživu dužinu vidljivosti.

Za povoljnije kombinacije vidljivosti i koeficijenta prianjanja preporučuju se veća ograničenja brzine, dok se sa pogoršanjem uslova uvodi postepeno smanjenje na 80 km/h, a zatim na 60 km/h. U uslovima izrazito male vidljivosti i niskog koeficijenta prianjanja, naročito kada su oba faktora istovremeno nepovoljna, algoritam ukazuje da bi, umesto daljeg smanjenja brzine, trebalo razmotriti privremenu obustavu saobraćaja i njegovo preusmeravanje na alternativne pravce do normalizacije vremenskih prilika.

Posebnu grupu predstavljaju polja bordo boje u tabeli 1, za koja algoritam preporučuje ograničenje brzine od 40 km/h. Ove vrednosti nalaze se na granici između drugog nivoa upozorenja i potpune obustave saobraćaja, zbog čega upravljač puta treba da definiše da li će ih tretirati kao drugi nivo upozorenja, uvesti treći nivo sa ograničenjem od 40 km/h ili u tim uslovima predvideti obustavu saobraćaja. Uvođenje trećeg nivoa upozorenja zahtevalo bi jasno definisanu hijerarhijsku prednost izmenjive nad stalnom zimskom saobraćajnom signalizacijom, čime bi se omogućilo dinamičko prikazivanje ograničenja brzine zasnovanih na stvarnim uslovima na putu.

Zanimljivo je da je algoritam iz relacije (3) u uslovima suvog kolovoza u potpunosti usklađen sa značenjem saobraćajnih znakova III-89, III-89.1 i III-89.2.

U uslovima kiše, naročito pri intenzivnim padavinama, opravdanije je ograničenje brzine određivati na osnovu izmerenog koeficijenta prianjanja i dužine vidljivosti, nego isključivo prema intenzitetu padavina ili visini vodenog sloja, budući da savremene meteorološke stanice raspolažu podacima o oba parametra.

Za snežne padavine, pri koeficijentu prianjanja od 0,2–0,3, algoritam ukazuje da bi ograničenje od 80 km/h bilo odgovarajuće pri vidljivosti većoj od 150 m, dok bi se pri vidljivosti od 70 do 150 m primenjivalo ograničenje od 60 km/h. Kada vidljivost padne ispod 70 m, zbog istovremenog dejstva nepovoljnih faktora, trebalo bi razmotriti privremenu obustavu saobraćaja.

U slučaju poledice i leda preporučeno ograničenje od 60 km/h ostaje opravdano dok je vidljivost veća od 130 m, dok bi pri daljem smanjenju vidljivosti trebalo razmotriti obustavu saobraćaja.

Tabela 1: Rezultati preporučene brzine primenom relacije (3) za različite vrednosti dužine vidljivosti i koeficijenta prianjanja, dok je podužni nagib konstanta (0.00)

i=0%(0,00)	***koeficijent prianjanja μ***								
S_{vid} [m]	***0.1***	***0.2***	***0.3***	***0.4***	***0.5***	***0.6***	***0.7***	***0.8***	***0.9***
10	*0*	*10*	*10*	*10*	*10*	*10*	*10*	*10*	*10*
20	*10*	*10*	*20*	*20*	*20*	*20*	*20*	*20*	*20*
30	*20*	*20*	*20*	*30*	*30*	*30*	*30*	*30*	*30*
40	*20*	*30*	*30*	*30*	*30*	*40*	*40*	*40*	*40*
50	*20*	*30*	*40*	*40*	*40*	*40*	*50*	*50*	*50*
60	*30*	*40*	*40*	*50*	*50*	*50*	*50*	*60*	*60*
70	*30*	*40*	*50*	*50*	*60*	*60*	*60*	*60*	*60*
80	*30*	*40*	*50*	*60*	*60*	*60*	*70*	*70*	*70*
90	*30*	*50*	*60*	*60*	*70*	*70*	*70*	*80*	*80*
100	*40*	*50*	*60*	*70*	*70*	*80*	*80*	*80*	*90*
110	*40*	*50*	*60*	*70*	*80*	*80*	*90*	*90*	*90*
120	*40*	*60*	*70*	*80*	*80*	*90*	*90*	*100*	*100*
130	*40*	*60*	*70*	*80*	*90*	*90*	*100*	*100*	*110*
140	*50*	*60*	*80*	*80*	*90*	*100*	*100*	*110*	*110*
150	*50*	*70*	*80*	*90*	*100*	*100*	*110*	*110*	*120*
160	*50*	*70*	*80*	*90*	*100*	*110*	*110*	*120*	*120*
170	*50*	*70*	*90*	*100*	*100*	*110*	*120*	*120*	*130*
180	*50*	*70*	*90*	*100*	*110*	*120*	*120*	*130*	*130*
190	*60*	*80*	*90*	*100*	*110*	*120*	*130*	*130*	*130*
200	*60*	*80*	*90*	*110*	*120*	*120*	*130*	*130*	*130*
250	*70*	*90*	*110*	*120*	*130*	*130*	*130*	*130*	*130*
300	*70*	*100*	*120*	*130*	*130*	*130*	*130*	*130*	*130*
350	*80*	*110*	*130*	*130*	*130*	*130*	*130*	*130*	*130*
400	*90*	*120*	*130*	*130*	*130*	*130*	*130*	*130*	*130*

Navedene pragove treba posmatrati kao ilustraciju primene algoritma, a ne kao univerzalne vrednosti. Budući da je u tabeli 1 pretpostavljen uzdužni nagib od 0%, za svaku konkretnu deonicu neophodno je izvršiti kalibraciju modela u skladu sa geometrijskim karakteristikama puta, kvalitetom kolovoznog zastora i stvarnim uslovima preglednosti i vidljivosti.

Trenutni sistem reagovanja u uslovima težih vremenskih neprilika zasniva se na jedinstvenom ograničenju brzine od 60 km/h, pri čemu se odgovornost za prilagođavanje vožnje u najvećoj meri prenosi na vozače. Takav pristup ne uzima u obzir razlike u njihovom ponašanju, zbog čega dolazi do povećanja varijanse brzina. Dok će jedan deo vozača voziti u skladu sa ograničenjem ili sporije, drugi će brzinu smanjiti samo delimično, a pojedini vozači neće značajnije korigovati način vožnje. Posledica je istovremeno kretanje vozila sa znatno različitim brzinama, čime se, naročito u uslovima smanjene vidljivosti, povećava rizik od saobraćajnih nezgoda, pre svega sudara u sustizanju.

Upravo zbog toga smernice američke FHWA preporučuju sprovođenje studija brzina u nepovoljnim vremenskim uslovima. Ukoliko se utvrdi značajno odstupanje između stvarnih brzina vozila i brzina koje preporučuje algoritam, potrebno je uvesti stepenastu korekciju ograničenja brzine. Na taj način sistem se prilagođava stvarnim uslovima na putu i ponašanju vozača, čime se dodatno potvrđuje fleksibilnost predloženog modela.

6 ZAKLJUČAK

Sprovedeno istraživanje pokazalo je da u zimskim uslovima odvijanja saobraćaja na državnim putevima Republike Srbije postoji sistemska neusklađenost između stalne i izmenjive saobraćajne signalizacije. Istovremena primena stalnog ograničenja brzine od 60 km/h i automatskog prikazivanja ograničenja od 40 km/h na VMS portalima za iste uslove dovodi do neujednačenog vođenja saobraćaja, stvara nedoumice kod vozača i primorava operatore na ručne intervencije u radu sistema.

Analiza međunarodne prakse pokazala je da savremeni sistemi upravljanja saobraćajem ograničenja brzine određuju na osnovu podataka o vidljivosti, koeficijentu prianjanja i drugim parametrima koji direktno utiču na bezbednost saobraćaja. Takav pristup omogućava postepeno prilagođavanje ograničenja brzine stvarnim uslovima na putu, uz mogućnost privremene obustave saobraćaja u ekstremnim situacijama.

Predloženi model zasnovan na algoritmu iz relacije (3) omogućava kalibraciju za svaku pojedinačnu deonicu uz uvažavanje geometrijskih karakteristika puta, stanja kolovoza i lokalnih meteoroloških uslova. Na taj način ograničenja brzine mogu biti zasnovana na objektivnim podacima, umesto na unapred definisanim scenarijima koji ne odražavaju stvarni nivo rizika.

Rezultati istraživanja ukazuju da je za unapređenje postojećeg sistema potrebno sprovesti studiju brzina u zimskim uslovima, redefinisati signalne planove i uspostaviti hijerarhijsku prednost izmenjive u odnosu na stalnu saobraćajnu signalizaciju. Time bi se omogućilo dinamičko upravljanje ograničenjima brzine, smanjila potreba za intervencijama operatera i unapredila bezbednost i ujednačenost odvijanja saobraćaja na državnim putevima Republike Srbije.

LITERATURA

[1] Zakon o bezbednosti saobraćaja na putevima, „Službeni glasnik RS“, br 41 od 2. juna 2009, sa poslednjom izmenom br 19 od 6. marta 2025.