

## Uticaj klimatskih promena na putnu i saobraćajnu infrastrukturu

Draženko Glavić<sup>a</sup>

<sup>a</sup> Univerzitet u Beogradu, Saobraćajni fakultet, Vojvode Stepe 305, Beograd, Srbija

### PODACI O RADU

DOI: 10.31075/PIS.71.05.08

Stručni rad

Primljen: 11.01.2025.

Prihvaćen: 25.02.2025.

Korespondent autor:

drazen@sf.bg.ac.rs

#### ORCID ID

Draženko Glavić: 0000-0002-0069-2153

#### Ključne reči:

Klimatske promene

Putna i saobraćajna infrastruktura

Klimatska otpornost

### REZIME

Klimatske promene su globalni problem koji negativno utiče na putnu i saobraćajnu infrastrukturu. Ekstremni vremenski uslovi, negativno utiču na kvalitet i dugovečnost puteva, mostova i drugih infrastrukturnih objekata. Ranjivost infrastrukture će se povećavati s nastavkom klimatskih promena, što zahteva hitnu akciju. Klimatske promene prouzrokuju učestala oštećenja i potrebu za čestim rekonstrukcijama i popravkama putne i saobraćajne infrastrukture, što povećava troškove i ugrožava efikasnost i bezbednost saobraćaja. Adaptacija na klimatske promene zahteva projektovanje klimatski otporne putne i saobraćajne infrastrukture kao i primenu novih materijala i tehnologija u izgradnji i održavanju putne i saobraćajne infrastrukture.

### 1. Uvod

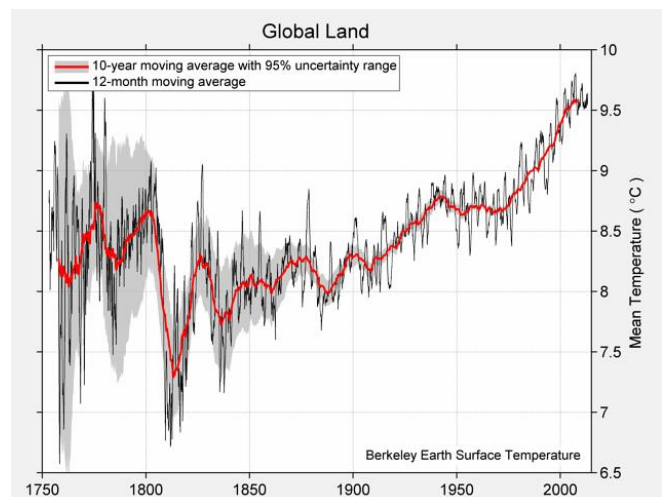
Klimatske promene predstavljaju jedan od najvećih globalnih izazova današnjice, sa širokim spektrom posledica koje pogađaju ekosisteme, ekonomije i zdravlje ljudi. Njihov uticaj postaje sve intenzivniji, uz učestalije prirodne katastrofe i degradaciju ekosistema. Suočavanje s ovim izazovima zahteva globalne napore, kao i razvoj efikasnih sistema adaptacije. [1]

Pored mera za smanjenje emisija gasova staklene bašte, neophodno je razviti strategije adaptacije koje će omogućiti društvima da se prilagode novim uslovima. Adaptacija podrazumeva identifikaciju ugrožene putne i saobraćajne infrastrukture, procenu ranjivosti i primenu mera za povećanje otpornosti [2].

Region Jugoistočne Evrope prepoznat je kao posebno osetljiv na klimatske promene. Evropska unija, kroz Bele knjige o prilagođavanju na klimatske promene, postavila je okvir za delovanje, a zemlje regiona, uključujući Srbiju, koje teže članstvu u EU, moraju intenzivno raditi na razvoju adaptivnih kapaciteta.

Klimatske promene donose značajne društveno-ekonomske posledice, a sektor saobraćaja je posebno ranjiv na ekstremne vremenske uslove poput intenzivnih padavina i povećanja temperature.

Klimatske promene rezultat su složenih procesa i ogledaju se kroz statistički značajne promene klimatskih parametara tokom dužih vremenskih perioda. Efekat staklene bašte nastaje kada gasovi staklene bašte apsorbuju toplotno zračenje i ponovo ga emituju u svim pravcima. Deo ovog infracrvenog zračenja vraća se na zemljinu površinu, uzrokujući njeno dodatno zagrevanje. Povećana temperatura dovodi do pojačane emisije infracrvenog zračenja, čime se efekat staklene bašte pojačava i formira pozitivnu povratnu spregu.



Slika 1. . Promene temperature 1750-2025

Izvor Berkeley Earth Surface temperature

Atmosferski gasovi koji mogu apsorbovati i emitovati dugo talasne zrake i infracrveno zračenje nazivaju se gasovima staklene bašte. Najzastupljeniji među njima su vodena para, ugljen-dioksid, metan, azot suboksid i ozon. Osim njih, u atmosferi su prisutni i gasovi u manjim koncentracijama, poput hloro-fluorouglijenika (CFC - CCIF<sub>2</sub>), hloro-fluorouglijenika sa vodonikom (HCFC - CHCIF<sub>2</sub>), tetrafluorometana (CF<sub>4</sub>), heksafluoretana (C<sub>2</sub>F<sub>6</sub>), sumpor-heksafluorida (SF<sub>6</sub>) i azot-trifluorida (NF<sub>3</sub>). Smatra se da je ugljen-dioksid ključni faktor u procesu globalnog zagrevanja.

Koncentracija ugljen-dioksida u atmosferi značajno zavisi od ljudskih aktivnosti. Povećanje koncentracije ugljen-dioksida je povezano s emisijama koje nastaju sagorevanjem fosilnih goriva i pretvaranjem prirodnih staništa u urbana i poljoprivredna područja. U poslednjih nekoliko decenija, koncentracija atmosferskog ugljen-dioksida značajno je porasla, što je direktno povezano s globalnim porastom temperature.

Klimatske promene predstavljaju ozbiljan izazov za putnu i saobraćajnu infrastrukturu, utičući na projektovanje, izgradnju, održavanje i dugovečnost putne i saobraćajne infrastrukture. Rastuće temperature, promenjeni obrasci padavina i ekstremni vremenski događaji čine putnu i saobraćajnu infrastrukturu podložnijim oštećenjima i degradaciji.

Sve veća učestalost ekstremnih vremenskih pojava predstavlja značajne izazove za projektovanje, izgradnju eksploataciju i održavanje putne infrastrukture. Posledice takvih događaja često zahtevaju skupe popravke i u nekim slučajevima, potpunu rekonstrukciju putne i saobraćajne infrastrukture, što dovodi do značajnih ekonomskih gubitaka i poremećaja u saobraćaju.

Kako bi se ublažili negativni uticaji klimatskih promena na putnu i saobraćajnu infrastrukturu, neophodno je redefinisati projektovanje putne i saobraćajne infrastrukture, koristiti klimatske otporne nove materijale i tehnologije i unaprediti rekonstrukciju puteva i održavanje.

## 2. Uticaj klimatskih promena na putnu infrastrukturu

Klimatske promene predstavljaju globalni izazov, sa uticajem na sve aspekte života, uključujući putnu i saobraćajnu infrastrukturu. Povećana učestalost ekstremnih vremenskih pojava, rast temperatura i promena obrazaca padavina predstavljaju izazove za projektovanje, izgradnju, eksploataciju i održavanje puteva širom sveta.

U zavisnosti od stepena globalnog zagrevanja i specifičnosti regiona u Evropi, saobraćajna infrastruktura je podložna jednoj ili više istovremenih promena u klimatskim uslovima, uključujući toplija leta, intenzivne padavine, snažne oluje i porast nivoa mora. Ukoliko se ovi uticaji ne uzmu u obzir prilikom projektovanja eksploatacije i održavanja saobraćajne infrastrukture, klimatske promene mogu ubrzati degradaciju puteva, povećati rizik od oštećenja, izazvati prekide saobraćaja i na taj način negativno uticati na društvene i ekonomske aktivnosti.

### 2.1. Vrste vremenskih uticaja na putnu i saobraćajnu infrastrukturu

#### • Povećane padavine i poplave

Poplavne vode mogu oslabiti trup puta i uzrokovati eroziju duž ivica puta, odneti deo puta i zatvoriti put na određeno vreme. Poplave su posebno problematične u urbanim sredinama, gde nepropusne površine poput betona i asfalta sprečavaju da se voda upije u zemlju. Ovo može dovesti do brzog oticanja i preopterećenja sistema za odvodnjavanje, što rezultira naglim poplavama koje mogu ozbiljno oštetiti puteve i drugu infrastrukturu. Ekonomski troškovi takve štete su značajni, ne samo u smislu popravke i održavanja, već i u poremećaju i prekidi saobraćaja, što može imati značajne efekte na ekonomiju i svakodnevni život.

#### • Erozijska tla i klizišta

U regionima sa brdovitim ili planinskim terenom, promene u obrascima padavina mogu povećati rizik od erozije zemljišta i klizišta, od kojih oba predstavljaju značajnu pretnju putnoj infrastrukturi. Kada obilne padavine počnu da imaju uticaj na tlo, to može dovesti do nestabilnosti tla, što dovodi do erozije koja mogu potkopati temelje puteva ili uništiti određene deonice puteva. Erozijska tla mogu da spere tlo koje podupire put, što dovodi do pukotina, sleganja, pa čak i potpunog prekida kolovozne konstrukcije.

Posebno ozbiljnu pretnju predstavljaju klizišta, jer mogu potpuno blokirati puteve ili čak čitavi delovi puteva mogu biti odneseni nizbrdo.

Nepredvidivost klizišta, u kombinaciji sa njihovim potencijalno katastrofalnim posledicama, čini ih glavnim problemom u oblastima u kojima se dešavaju promene u obrascima padavina. Oštećenja usled klizišta mogu biti izuzetno velika, uzrokujući zatvaranje puteva na duži period. Putevi pogođeni klizištima često zahtevaju opsežne popravke ili rekonstrukciju, što dovodi i do značajnih ekonomskih troškova.

- **Olujni udari i oštećenja priobalnih puteva**

Obalni putevi su posebno osetljivi na efekte olujnih udara, koji su sa klimatskim promenama postali sve češći. Tokom olujnog udara, voda može da preplavi puteve, uzrokujući ozbiljna oštećenja na putnim površinama i konstrukcijama kao što su mostovi i tuneli. Kombinacija vode i snažnih talasa može ubrzati propadanje materijala, što dovodi do češćih i skupljih popravki. U nekim slučajevima, čitavi delovi priobalnih puteva mogu biti odneseni, što zahteva obimne napore na rekonstrukciji.

- **Uticao vetra**

Jaki vetrovi povezani sa ekstremnim vremenskim pojavama kao što su uragani i tornada takođe mogu imati značajan uticaj na puteve. Vetar može direktno oštetiti putokaze, osvetljenje i zvučne barijere i počupati drveće koje može pasti na puteve i blokirati saobraćaj. Leteće krhotine mogu dodatno oštetiti površine puta i infrastrukturu. Posledice takvih događaja često uključuju opsežne operacije čišćenja i popravke.

- **Uticao visokih temperatura na asfalt i propadanje kolovoza**

Asfalt je posebno osetljiv na promene temperature. Sa porastom temperature, asfalt omekšava, što dovodi do smanjenja njegovog strukturalnog integriteta i pojave kolotruga. Vremenom, to može dovesti do pucanja, rupa i opšteg propadanja površine puta, što povećava potrebu za održavanjem i rekonstrukcijom puteva.

Ekstremna toplota takođe doprinosi bržoj oksidaciji asfalta, uzrokujući da postane krt i skloniji pucanju. Kontinuirano izlaganje toploti može značajno skratiti životni vek puteva.

Toplotno širenje i kontrakcija su posebno izazovni u regionima koji imaju velike temperaturne varijacije, što dovodi do postepenog slabljenja strukture puta što skraćuje životni vek puteva i povećava troškove održavanja.

- **Ciklusi smrzavanja - odmrzavanja i mraz**

Temperaturne oscilacije dovode do ciklusa smrzavanja i odmrzavanja. Tokom ovih ciklusa, voda koja je prodrla u površinu puta ili tlo ispod zamrzava se i širi, uzrokujući podizanje ili pucanje kolovoza. Ovaj proces, izaziva značajna oštećenja puteva. Uticaj ciklusa smrzavanja i odmrzavanja na puteve je često kumulativan, pri čemu svaki ciklus smrzavanja - odmrzavanja izaziva dodatnu degradaciju. Učestaliji ekstremni vremenski uslovi dodatno ubrzavaju ovaj proces, skraćujući životni vek puteva i povećavajući potrebu za održavanjem.

- **Uticao požara**

Požari se usled klimatskih promena i povećanja globalnih temperatura, javljaju sve češće i intenzivnije. Putna i saobraćajna infrastruktura je osetljiva na visoke temperature koje nastaju tokom požara. Kada su izloženi visokim temperaturama asfaltne površine se deformišu, dok betonske površine mogu puknuti zbog termalnog stresa i širenja materijala. Tokom požara saobraćajni znaci, svetlosna signalizacija i zaštitne ograde mogu biti uništeni ili oštećeni, što dovodi do pogoršanja bezbednosti saobraćaja.

- **Uticao produženih suša**

U sušnim regionima, produženi periodi suše mogu izazvati sušenje i skupljanje tla. To može dovesti do sleganja, gde tlo ispod puta tone, uzrokujući pucanje i deformaciju površine puta. Ovo ubrzava degradaciju puteva, što dovodi do većih troškova održavanja.

### 3. Posledice uticaja klimatskih promena na putnu infrastrukturu

Degradacija putne infrastrukture pod uticajem klimatskih promena nosi značajne ekonomske i društvene posledice. Putevi su ključni za transport robe i ljudi, a poremećaji u saobraćaju mogu ozbiljno uticati na društvene aktivnosti, ekonomiju, bezbednost saobraćaja i dostupnost osnovnih usluga.

Jedan od najvažnijih uticaja klimatskih promena na puteve su povećani troškovi održavanja i rekonstrukcije puteva. Ovi troškovi mogu dodatno opteretiti javne budžete. Finansijski teret povećanih troškova održavanja i rekonstrukcije puteva trpi privreda i građani, dok vozači snose i dodane troškove povezane sa pogoršanjem uslova na putevima (troškova održavanja vozila, troškova potrošnje goriva i troškova vremena putovanja).

Oštećenje puteva izazvano klimatskim promenama može dovesti do poremećaja u saobraćaju, utičući na protok robe i usluga i ograničavajući pristup osnovnim uslugama. U ekstremnim slučajevima, putevi mogu postati neprohodni.

Oštećena saobraćajna i putna infrastruktura pogoršava efikasnost i bezbednost saobraćaja [3]. Pukotine, rupe i neravnine na putevima mogu dovesti do povćanih troškova korisnika puteva, dok urušavanje mostova ili klizišta zbog erozije mogu imati katastrofalne posledice po bezbednost saobraćaja.

Povećani troškovi održavanja i rekonstrukcije puteva usled klimatskih promena mogu dovesti do većih emisija ugljenika, doprinoseći samom problemu koji zahteva ove akcije. Oštećenje puteva izazvano klimatskim promenama takođe može doprineti zagađenju vode i degradaciji zemljišta.

#### 4. Zaključak

Klimatske promene predstavljaju ozbiljan izazov za putnu infrastrukturu širom sveta, utičući na njenu izdržljivost, funkcionalnost i bezbednost. Analiza ovih uticaja pokazuje da ekstremni vremenski uslovi, direktno narušavaju kvalitet i dugovečnost putne i saobraćajne infrastrukture.

Povećani troškovi održavanja, ekonomski poremećaji, društvena nejednakost, narušavanje staništa i zagađenje su posledice neotpornosti putne i saobraćajne infrastrukture. Rešavanje ovih izazova zahteva da se prilikom projektovanja putne i saobraćajne infrastrukture uzme u obzir i aspekt otpornosti na klimatske promene, kao i primena savremenih materijala i tehnologija otpornih na klimatske promene.

#### Literatura

- [1] Pavić, M., Jokanović, I., & Glavić, D. (2023). Research on the Vulnerability and Resilience of Bridges to Climate Change and Disasters: The Current Practice in Serbia. *Journal of Road and Traffic Engineering*, 69(3), 1-6. <https://doi.org/10.31075/PIS.69.03.01>
- [2] The World Road Association (PIARC). (2023). *Climate Change Adaptation Framework for Road Infrastructure*, Technical report, [https://www.piarc.org/ressources/publications/source/2/fcce740-42639-2023R28EN-Climate-change-framework-2023-Technical-report Ed.pdf](https://www.piarc.org/ressources/publications/source/2/fcce740-42639-2023R28EN-Climate-change-framework-2023-Technical-report%20Ed.pdf)
- [3] D. Glavić and M. Milenković, *Komercijalna Eksploatacija Saobraćajne Infrastrukture*, 1st ed. Univerzitet u Beogradu, Saobraćajni fakultet, 2021.

#### The impact of climate change on road and transport infrastructure

**Draženko Glavić, Ph.D.**

University of Belgrade, Faculty of Transport and Traffic Engineering

**Abstract:** Climate change is a global problem that significantly affects road and transport infrastructure. Extreme weather conditions negatively affect the quality and lifecycle of roads, bridges and other infrastructure facilities. Infrastructure vulnerability will increase with the continuation of climate change, which requires urgent action. Climate change causes frequent damage and the need for frequent repairs of road and transport infrastructure, which increases costs and threatens the efficiency and safety of transport. Adaptation to climate change requires designing climate-resilient road and transport infrastructure and applying new materials and technologies in the construction and maintenance of road and transport infrastructure.

**Keywords:** *Climate Changes, Road and Transport Infrastructure, Climate Resilience*