

Analiza merenja osovinskog opterećenja teških teretnih vozila B-WIM uređajem na mreži državnih puteva

Ivana Andrijanić, Javno preduzeće „Putevi Srbije”, ivana.andrijanic@putevi-srbije.rs

Marko Bajić, Javno preduzeće „Putevi Srbije”, marko.bajic@putevi-srbije.rs

Ivana Kuljanin, Javno preduzeće „Putevi Srbije”, ivana.kuljanin@putevi-srbije.rs

Jelena Dogandžić, Javno preduzeće „Putevi Srbije”, jelena.dogandzic@putevi-srbije.rs

Rezime: U poslednjih nekoliko decenija zabeležen je značajan porast saobraćajnog opterećenja izazvan promenama u ekonomskim, tehnološkim i društvenim aspektima. Ovo povećanje Saobraćajnog opterećenja neizbežno utiče na stanje infrastrukture a posebno na stanje mostovskih konstrukcija, izlažući elemente konstrukcije većem riziku od oštećenja i habanja. Stoga, razumevanje i praćenje veličine saobraćaja na putnoj mreži postaje esencijalno, odnosno polazna osnova za prevenciju mogućih posledica. U 2020. godini Javno preduzeće Putevi Srbije u saradnji sa Svetskom bankom uspešno je implementiralo merenje osovinskog opterećenja u pokretu na 17 lokacija na mreži državnih puteva. Nakon realizacije projekta B-WIM uređaj je postavljen na deonici puta IA reda, petlja Batajnica – petlja Beograd, i vrši kontinualno merenje osovinskog opterećenja u pokretu sve do danas. Cilj ovog istraživanja jeste analiza osovinskog opterećenja, sa fokusom na učešće vozila koja prelaze dozvoljenu težinu, odnosno preopterećenih vozila, u ukupnom saobraćajnom toku na predmetnoj deonici. Rad obuhvata dva perioda posmatranja, period pre završetka obilaznice i period nakon završetka obilaznice oko Beograda. Takođe, korišćenjem podataka sa automatskih brojača saobraćaja analizirana je promena saobraćajne slike, sa fokusom na komercijalna vozila. Analiza osovinskog opterećenja pruža dublje razumevanje saobraćajnih tokova i potencijalnih izazova koji se mogu javiti na putnoj mreži. Na osnovu rezultata istraživanja, mogu se identifikovati ključne oblasti za intervenciju i razvoj efikasnih strategija za upravljanje saobraćajem, što doprinosi boljem iskorišćenju resursa i povećanju bezbednosti saobraćaja.

Ključne reči: saobraćaj, osovinsko opterećenje, protok vozila, infrastruktura

1 UVOD

Saobraćajna infrastruktura, naročito putevi, predstavlja osnovu za funkcionisanje savremenih društava i ekonomija. Kroz proces urbanizacije i širenja industrijskih zona, kao i razvoj ruralnih područja, putevi postaju od presudnog značaja za efikasan transport robe, putnika i drugih ključnih resursa. Kvalitet i dugovečnost puteva direktno utiču na nivo usluge, bezbednost korisnika i ekonomsku stabilnost regiona. U tom kontekstu, pravilno merenje i upravljanje osovinskim opterećenjem vozila je od presudne važnosti.

Osovinsko opterećenje je deo ukupne mase vozila u horizontalnom položaju kojim njegova osovina opterećuje kolovoz u stanju mirovanja vozila. [4] Opterećenje preneseno preko osovina izaziva stres i deformaciju asfaltne površine. Na prvi pogled, opterećenje vozila može delovati kao nevažan faktor u poređenju sa drugim izazovima u upravljanju

infrastrukturu. Međutim, dugoročni efekti prekomernog opterećenja na puteve su značajni. Putevi su projektovani da izdrže određene nivoe opterećenja, a prekoračenje tih granica može izazvati deformacije, pukotine, i generalno pogoršanje stanja puta. Ove promene ne samo da utiču na kvalitet puta već imaju i uticaj na bezbednost saobraćaja i troškove održavanja. Na primer, lose stanje kolovoza može uzrokovati povećanje troškova goriva, povećanje rizika od saobraćajnih nezgoda zbog oštećenja na kolovozu, i potrebu za intenzivnijim i češćim radovima na obnovi i rehabilitaciji puteva. Osim direktnog uticaja na stanje puteva, merenje osovinskog opterećenja je takođe ključno za usklađivanje sa saobraćajnim regulativama. Mnoge zemlje, uključujući i Republiku Srbiju, imaju zakonske limite za maksimalna opterećenja koja vozila mogu preneti, kako bi se zaštitila infrastruktura i obezbedila sigurnost. U skladu sa tim regulativama, merenje opterećenja pomaže u preventivnom nadzoru i kaznenim merama za neusklađena vozila, čime se smanjuje rizik od prekomernog opterećenja i oštećenja.

U 2020. godini Javno preduzeće Putevi Srbije je u saradnji sa Svetskom bankom uspešno implementiralo merenje osovinskog opterećenja u pokretu na 17 lokacija na mreži državnih puteva. Nakon realizacije projekta B-WIM uređaj je postavljen na deonici puta IA reda, petlja Batajnica – petlja Beograd, i vrši kontinualno merenje osovinskog opterećenja u pokretu sve do danas. Rad analizira procenat vozila koja prelaze dozvoljenu težinu na deonici puta na kojoj je uređaj za merenje osovinskog opterećenja postavljen u periodima pre i nakon završetka obilaznice oko Beograda.

2 MERENJE OSOVINSKOG OPTEREĆENJA VOZILA U POKRETU

Merenje opterećenja vozila u normalnim uslovima saobraćaja (pri realnim brzinama kretanja) predstavlja najrazvijeniji sistem za ovu vrstu merenja. WIM sistemi imaju mogućnost da dostavljaju detaljne informacije u realnom vremenu bez ometanja saobraćajnog protoka. U zavisnosti od tehnologije, oni mogu biti:

- Road WIM, stacionarni, permanentno instalirani na jednoj lokaciji u kolovoznoj konstrukciji, kako bi nadgledali razvoj saobraćajnog protoka kroz vreme na tom određenom mestu,
- B-WIM (Bridge Weigh-in-Motion) instalirani u mostovskim konstrukcijama koji se mogu koristiti za uzorkovanje na celoj putnoj mreži, ako se prenose sa jedne lokacije na drugu, ali se mogu koristiti i kao stacionarni ako su instalirani na jednom mostu.

B-WIM sistemi (Bridge Weigh-in-Motion) se uglavnom koriste za prikupljanje podataka o opterećenju vozila u ukupnom saobraćajnom toku (statistički pokazatelji) i za predselekciju vozila koja su preopterećena.

Mostovi su kritične komponente putne infrastrukture i predstavljaju idealna mesta za merenje opterećenja u pokretu. Sistemi za merenje opterećenja postavljeni ispod mostova ne narušavaju kolovoznu konstrukciju i ne izazivaju oštećenja na mostovskoj konstrukciji, što omogućava diskretno i efikasno praćenje opterećenja. [1] Takođe, ovaj sistem može predstavljati efikasan alat za nadzor opterećenja, s obzirom na mogućnost merenja težine vozila koja se kreću pri operativnim brzinama. [3] Kako bi se izmerilo osovinsko opterećenje vozila u pokretu, svi B-WIM sistemi koriste postojeće mostove ili odvodne kanale na mreži puteva, na koje se postavljaju instrumenti. Generalno, naprezanja se mere na glavnim uzdužnim elementima mosta kako bi se dobili podaci o

ponašanju konstrukcije pod osovinskim opterećenjem vozila u pokretu. WIM sistemi za mostove su tradicionalno zahtevali detektore osovina na kolovoznoj konstrukciji neposredno ispred mosta ili na mostu kako bi se utvrdile dimenzije, brzina kretanja i klasifikacija vozila. U današnje vreme, ovi sistemi su uglavnom zamenjeni FAD („detektor odsustva osovine“) ili NOR („ništa na putu“) instalacijama. Iako NOR tačnije opisuje princip (izbegavanje senzora na površini kolovozne konstrukcije), FAD je poznatiji u WIM zajednici i primenjen je kod nas. [1]

FAD sistem prikuplja neophodne informacije o osovinama bez potrebe za postavljanjem detektora osovina na kolovoznoj konstrukciji. Merenja tokom čitavog prolaska vozila preko konstrukcije pružaju veći broj podataka, što omogućava preciznije rešavanje problema koji nastaju usled dinamičkih interakcija između vozila i mosta. Ovo je najvažnija prednost nad WIM sistemima na kolovoznoj konstrukciji kod kojih se merenja osovine vrše tokom svega nekoliko milisekundi (osim kod instalacija sa više senzora). B-WIM sistemi (Bridge Weigh-in-Motion WIM za mostove je posebno prikladan za:

- Kratkotrajna merenja jer se može lako instalirati i skinuti sa mosta i predstavlja jedini WIN sistem kod kojeg i potpuno prenosive i trajne instalacije pružaju jednaku tačnost rezultata (pod uslovom da se koristi ista procedura za kalibraciju).
- Merenja na licu mesta, gde instaliranje opreme na ili u kolovoznu konstrukciju nije dozvoljeno ili bi bilo veoma skupo zbog velikog saobraćajnog opterećenja.
- Procenu mosta (ako je B-WIM sistem instaliran na predmetnom mostu) kroz obezbeđivanje dodatnih „konstrukcijskih“ podataka, kao što su faktor uticaja (dinamičko pojačanje osovinskih opterećenja), raspodela opterećenja i podaci o naprezanju. [1]

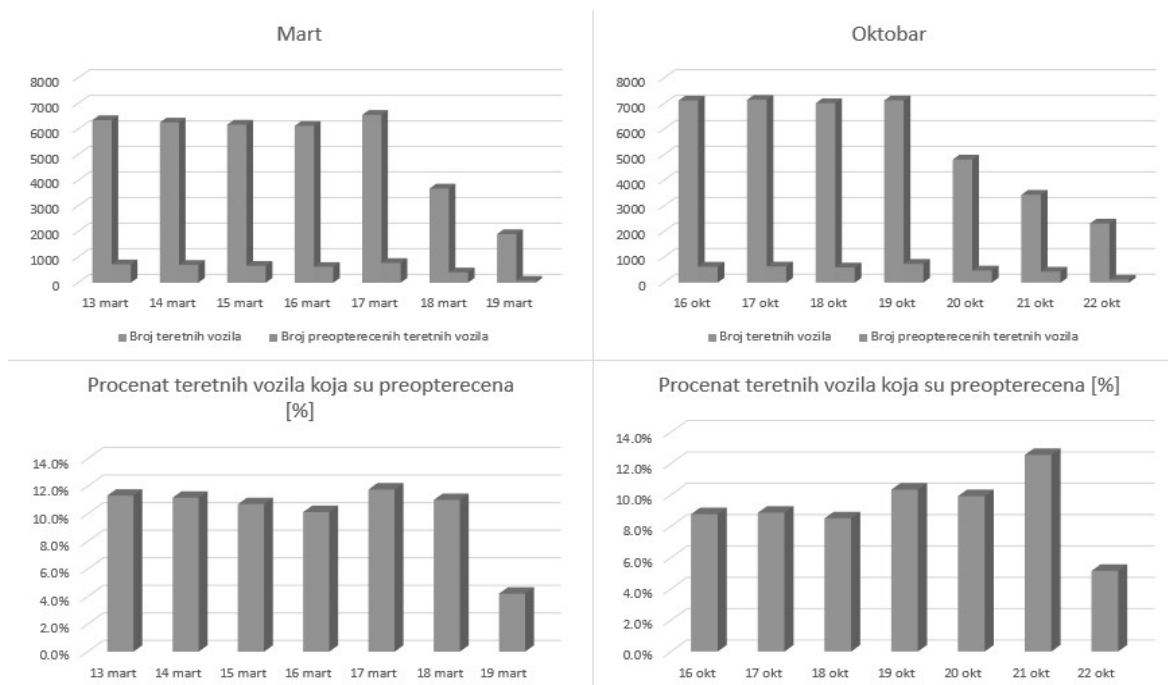
Uređaj je konstruisan da precizno detektuje i evidentira prolazak vozila po smerovima kretanja i različitim saobraćajnim trakama. Dodatno, uređaj ima sposobnost da detektuje teretna vozila i da posebno evidentira preopterećena teretna vozila. Ova funkcionalnost omogućava uređaju da prikuplja podatke o ukupnom broju teretnih vozila, kao i da identifikuje ona koja prelaze dozvoljene težinske limite, pružajući detaljnu analizu prema smerovima i saobraćajnim trakama.

3 ANALIZA DOBIJENIH REZULTATA

3.1 Analiza rezultata sa B-WIMa

Nakon realizacije projekta, B-WIM uređaj postavljen je na deonici puta IA reda broj 1045/1046, petlja Batajnica – petlja Beograd, i vrši kontinualno merenje osovinskog opterećenja u pokretu sve do danas.

U ovom istraživanju sprovedena je uporedna analiza podataka o teretnim vozilima za sedmodnevne periode u mesecu martu i oktobru 2023. godine, korišćenjem B-WIM uređaja koji beleži ukupan broj vozila, broj teretnih vozila i njihovu težinu u realnom vremenu. Na Slici 1 prikazani su rezultati analize osovinskog opterećenja dobijeni uz pomoć B-WIM uređaja.



Slika 14 – Rezultati analize osovinskog opterećenja na posmartanoj deonici

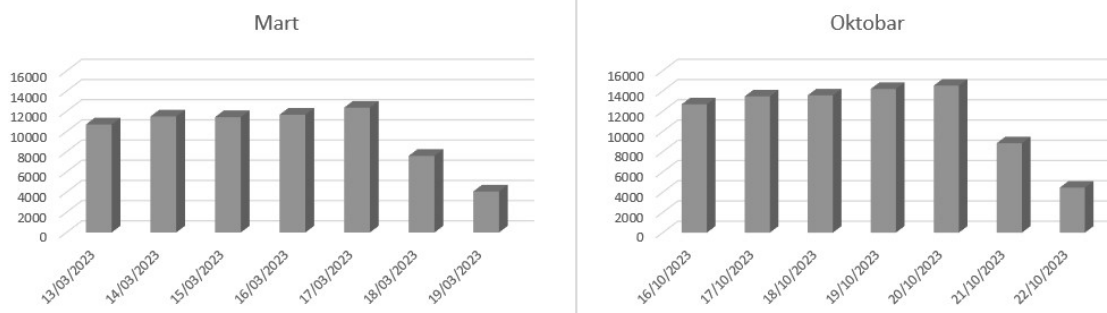
Za mesec mart 2023. godine, podaci ukazuju na prosečan dnevni broj teretnih vozila od oko 6000 tokom radnih dana, dok je tokom vikenda zabeležen značajan pad broja teretnih vozila što je posledica smanjene ekonomske aktivnosti tokom vikenda. Prosečna vrednost procenta preopterećenih teretnih vozila tokom posmatrane sedmice u martu iznosi 10,04%. Ova vrednost ukazuje na relativno visok nivo preopterećenja.

S druge strane, za mesec oktobar 2023. godine, u prva četiri dana posmatrane sedmice, broj teretnih vozila iznosio je približno 7000 vozila dnevno, što ukazuje na povećanje broja teretnih vozila u odnosu na mart. Međutim, u poslednja tri dana sedmice, broj vozila opada, što može biti posledica različitih faktora kao što su promene u poslovnim aktivnostima ili sezonske oscilacije u transportnom sektoru. Prosečna vrednost procenta preopterećenih teretnih vozila tokom sedmice u oktobru iznosi 9,15%, što je nešto niže u odnosu na mart, ali i dalje veoma značajno.

3.2 Analiza teretnog saobraćaja

Analiza saobraćaja obuhvatila je dva vremenska perioda: pre i nakon završetka izgradnje obilaznice oko Beograda. B-WIM uređaj postavljen je na deonici puta od petlje Batajnica do petlje Beograd. Za dodatnu analizu saobraćajnog opterećenja, sa posebnim fokusom na teretna vozila, posmatrana je susedna deonica puta između petlje Surčin i petlje Surčin jug i za te potrebe korišćeni su podaci sa automatskih brojača saobraćaja.

Analizom prikupljenih podataka, bilo je moguće kvantifikovati promene u saobraćajnom opterećenju i proceniti uticaj izgradnje obilaznice na saobraćajne tokove, posebno u pogledu teretnog saobraćaja.



Slika 15 – Analiza podataka sa automatskih brojača saobraćaja

Na Slici 2 predstavljeni su rezultati analize podataka o dnevnom protoku teretnih vozila na posmatranoj deonici puta. Analiza je obuhvatila broj teretnih vozila koja koriste ovu deonicu sa fokusom na promene pre i nakon završetka izgradnje obilaznice oko Beograda.

Tokom radnih dana u martu, broj teretnih vozila na posmatranoj deonici kretao se između 10.000 i 12.000 vozila dnevno. U skladu sa očekivanjima, broj teretnih vozila je bio značajno manji tokom vikenda.

Međutim, nakon završetka izgradnje obilaznice, u oktobru, primećene su značajne promene u broju teretnih vozila. Radnim danima u ovom periodu, broj teretnih vozila na posmatranoj deonici puta povećao se i sada iznosi između 12.000 i 14.000 vozila dnevno. Ova promena ukazuje na povećanje saobraćajnog opterećenja, što je rezultat preraspodele saobraćaja usled završetka izgradnje obilaznice.

4 ZAKLJUČAK

Pravilno merenje i upravljanje osovinskim opterećenjem je od presudne važnosti za dugovečnost puteva, bezbednost saobraćaja i ekonomsku efikasnost. Razumevanje i primena odgovarajućih metoda za nadzor i regulaciju opterećenja može značajno doprineti očuvanju infrastrukture i obezbeđivanju sigurnog i efikasnog transportnog sistema.

Ukoliko se uzmu u obzir rezultati dobijeni primenom B-WIM sistema, koji ukazuju da je prosečan procenat preopterećenih teretnih vozila u odnosu na ukupni broj teretnih vozila između 9% i 10% u posmatranom periodu, zajedno sa rezultatima analize podataka sa automatskih brojača saobraćaja koji ukazuju i na samo povećanje saobraćajnog opterećenja na posmatranoj deonici nakon završetka izgradnje obilaznice oko Beograda, može se doneti sledeći zaključak:

Prisutnost preopterećenih teretnih vozila, čiji se broj povećava proporcionalno rastu teretnog saobraćaja, u ovom procentualnom rasponu ukazuje na značajan nivo opterećenja izazvanog saobraćajem koje može imati negativne posledice na životni vek saobraćajne infrastrukture. Udeo preopterećenih vozila sugeriše potrebu za implementacijom dodatnih mera kontrole i regulacije opterećenja vozila. Ove mere su neophodne kako bi se očuvala infrastruktura i smanjili troškovi održavanja, koji se povećavaju usled intenzivnog opterećenja. Stoga, efikasno praćenje i upravljanje opterećenjem vozila postaju ključni za očuvanje dugoročne funkcionalnosti i sigurnosti saobraćajne mreže.

LITERATURA

- [1] „SiWIM® Bridge Упутство за мерење осовинског оптерећења у покрету на мосту”, Slovenian National Building and Civil Engineering Institute, CESTEL d.o.o., septembar 2020.
- [2] Klemen P., „SiWIM – S and SiWIM – M Supervision and Monitoring Manual – fourth edition”, CESTEL d.o.o., Slovenija, septembar 2020.
- [3] Carraro F., Silva Gonçalves M., „Weight estimation on static B-WIM algorithms: A comparative study”, Engineering Structures, novembar 2019.
- [4] Zakon o bezbednosti saobraćaja na putevima ("Sl. glasnik RS", br. 41/2009, 53/2010, 101/2011, 32/2013 – odluka US, 55/2014, 96/2015 – dr. zakon, 9/2016 – odluka US, 24/2018, 41/2018, 41/2018 – dr. zakon, 87/2018, 23/2019, 128/2020 – dr. zakon i 76/2023)

SUMMARY

Analysis of Axle Load Measurements of Heavy Trucks Using B-WIM Devices on the National Road Network

Abstract: In recent decades, there has been a significant increase in traffic load driven by changes in economic, technological, and social aspects. This increase in traffic load inevitably affects the state of infrastructure, particularly the condition of bridge structures, exposing structural elements to a higher risk of damage and wear. Consequently, understanding and monitoring traffic volumes on the road network have become essential, serving as a foundational basis for preventing potential consequences. In 2020, the Public Enterprise Roads of Serbia, in collaboration with the World Bank, successfully implemented axle load measurements in motion at 17 locations on the national road network. Following the project's implementation, a B-WIM device was installed on the IA class road section, from the Batajnica interchange to the Belgrade interchange, and has been continuously measuring axle loads in motion to this day. The aim of this research is to analyze axle loads, with a focus on the proportion of vehicles exceeding the permitted weight limits, i.e., overloaded vehicles, within the overall traffic flow on the studied section. The study encompasses two observation periods: before and after the completion of the Belgrade bypass. Additionally, data from automatic traffic counters were used to analyze changes in traffic patterns, with a focus on commercial vehicles. The analysis of axle loads provides a deeper understanding of traffic flows and potential challenges that may arise on the road network. Based on the research results, key areas for intervention and the development of effective traffic management strategies can be identified, contributing to better resource utilization and enhanced traffic safety.

Key words: Traffic, Axle Load, Vehicle Flow, Infrastructure