

**ANALIZA MERENJA UGIBA U KOLOVOZU METODOM FWD NA PRIMERU
DRŽAVNOG PUTA I-B REDA****REHABILITATION ANALYSIS OF PAVEMENT DEFLECTION MEASUREMENT
USING METHOD WITH FWD DEVICE, ON THE STATE ROAD I-B**

Aleksandar Janković, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad*

Oblast – GRAĐEVINARSTVO

Kratak sadržaj – Rad sadrži teorijske osnove metodologije za projektovanje pojačanja kolovoznih konstrukcija kao i analiza metoda za dimenzionisanje pojačanja kolovoznih konstrukcija pomoću izmerenih defleksija kolovoznih konstrukcija. Sam postupak je prikazan na primeru Državnog puta Zrenjanin-Ečka.

Ključne reči: kolovozna konstrukcija, rehabilitacija, defleksija.

Abstract – The document contains the theoretical foundations of the methodology for designing the reinforcement of pavement construction as well as the analysis of methods for dimensioning of the reinforcement of pavement construction using measured deflections of pavement construction. The procedure itself is shown on the example of a State road Zrenjanin-Ečka.

Keywords: pavement construction, rehabilitation, deflection.

1. UVOD

Posle određenog perioda eksploatacije kolovozne konstrukcije javlja se potreba za analiziranjem iste sa aspekta nosivosti, a sve u cilju određivanja trenutne / efektivne nosivosti i porjektovanja tehničkih mera rehabilitacije.

Dat je i osvrt na princip rada sledećih ugibomera kao i odogovarajuću metodologiju analize nosivosti kolovoznih konstrukcija :

- Benkelmanova greda
- Lakora-deflektograf
- FWD uređaj (Falling Weight Deflectometer)

Zatim, prikazano je Idejno-inženjersko rešenje projekta kolovozne konstrukcije za potrebe pojačanog održavanja državnog puta IB reda, broj 13, deonica:(Zrenjanin-Ečka). Analiza nosivosti kolovozne konstrukcije je izvršena prema defleksijama merenim padajućim tegom – FWD uređajem na osnovu kojih je izvršena i tehnička mera rehabilitacije/pojačanja postojeće kolovozne konstrukcije prema prethodno analiziranim uticajnim parametrima za predmetnu deonicu.

NAPOMENA:

Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je bio doc. dr Miloš Šešlija.

**2. PRIKAZ METODA ZA DIMENZIONISANJE
POJAČANJA KOLOVOZNE KONSTRUKCIJE****2.1. Benkelmanova greda**

Benkelmanova greda predstavlja mehanički merni uređaj koji prenosi vertikalne pokrete (ugib) površine kolovozne konstrukcije na merni sat (slika 5). Sastoji se od sledećih komponenti:

- prenosnog ili pokretnog držača sa tri oslonca; visinu oslonaca je moguće prilagođavati,
- vertikalnog pokretnog kraka senzora, koji je moguće blokirati,
- mernog sata (prečnika 100 mm), opsega merenja od 30 mm, sa podelom skale od 0,01 mm,
- vibratora koji je moguće podesiti u cilju uklanjanja trenja kraka senzora kao i trenja na mestu mernog sata.

Benkelmanova greda omogućava merenje:

- ukupnog, odnosno elastičnog i plastičnog ugiba površine kolovozne konstrukcije metodom „pri dolazećem opterećenju”) i,
- samo elastičnog ugiba (metodom „pri odlazećem opterećenju”), za koji se uglavnom smatra da određuje stvarno stanje kolovozne konstrukcije.

Benkelmanovu gredu treba postaviti na odabrano merno mesto, kako bi se obezbedio dobar kontakt sva tri nosača držača i kako bi se postigla poprečna horizontalnost držača. Pre početka merenja ugiba potrebno je izmeriti temperaturu asfaltnog zastora. Prilikom merenja ugiba, u skladu sa metodom „pri dolazećem opterećenju”, vozilo mora da se kreće unazad brzinom od 0.5 m/s, i mora pažljivo da se približi vrhu senzora na kraku Benkelmanove grede.

Par zadnjih točkova na vozilu mora, na početku merenja, biti 3 m udaljen od vrha senzora. U toku izvođenja ispitivanja, na određenim udaljenostima propisno opterećene osovine vozila od vrha senzora (2, 1, 0,5; i 0,25 m), i ukoliko se vrh senzora nalazi ispod osovine zadnjih točkova vozila, vrednosti ugiba treba očitavati na mernom satu.

Po isteku oko dva minuta, vozilo treba da se vrati nazad na polaznu tačku, brzinom od oko 0,5 m/s. Ugib treba izmeriti kada je opterećena osovina vozila 1 m i 3 m udaljena od vrha senzora.



Slika 1: Benkelmanova greda

2.2. Lakroa - deflektograf

Lakroa-deflektograf sastoji se iz sledećih osnovnih komponenti:

- Vozila, koje prenosi mernu spravu, i predstavlja opterećenje za izvođenje merenja
- merne sprave koja se sastoji od fiksnog nosivog okvira, pokretnog nosivog okvira sa dva kraka senzora, dva induktivna merača pokreta kraka senzora, sistema sa računarskom podrškom za nadzor nad merenjem, kontrolu pokreta pokretnog nosivog okvira, automatsko evidentiranje ugiba, i prenos podataka na računar računara sa programima za evidentiranje svih potrebnih podataka kao izvedenim merenjima i dobijenim rezultatima

Kako bi se izvršilo opterećenje mernog sata, zadnja osovina vozila mora da bude spravljena sa dva para točkova.

Osovinsko opterećenje treba da iznosi do 100 kN.

Opterećenje je moguće podešavati regulišući količinu vode koja se nalazi u rezervoaru postavljenom na vozilu. Pritisak u gumama točkova na mernoj osovini mora biti isti / konstantan i iznositi 0.7 do 0.8 MPa.

Za merenje temperature asfaltnog zastora upotrebljava se termometar u opsegu od 0 °C do 50 °C.



Slika 2: Lakroa deflektograf

2.3. FWD uređaj

Trenutno u svetu najzastupljeniji ugibomer sa padajućim teretom je FWD (Falling Weight Deflectometer) danskog proizvođača „DYNATEST“. Ugibomer sa padajućim teretom se sastoji od tega mase od 150 kg za puteve i 400+250 kg za aerodrome – HWD), koji vertikalno pada (visina varira od 0.04 do 0.4 m) na ploču prečnika 300 ili 450 mm, spregnutu sa oprugom. Maksimalna veličina tereta može da varira (od 15 do 150 kN) uz pomoć:

- promene mase tereta,
- promene visine pada (najparaktičniji način za promenu sile),
- promene konstantne opruge.



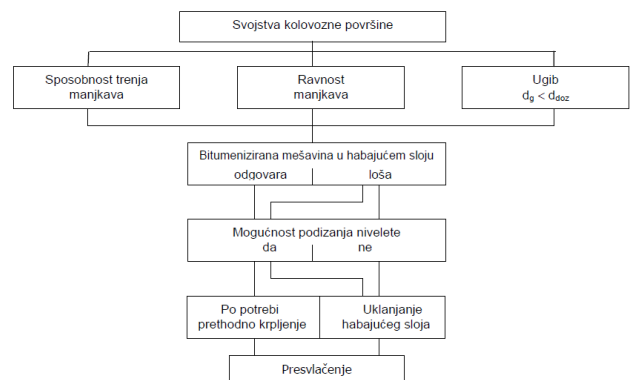
Slika 3: FWD

Način merenja ugiba površine kolovozne konstrukcije zasniva se na dinamičkom opterećenju kružne ploče padajućim teretom. Trajanje i sila opterećenja treba da budu isti kao i u slučaju opterećenja pomoću točkova vozila. Pre početka merenja ugiba potrebno je osigurati savršeno naleganje kružne ploče kao i grede sa geofonima na površinu kolovozne konstrukcije, izmeriti temperaturu asfaltnog zastora, postaviti pojedine osnovne i moguće dodatne parametre za merenje (način opterećenja, broj sprava za merenje)

3. PRIKAZ POSTOJEĆE ZAKONSKE I TEHNIČKE REGULATIVE ZA DIMENZIONISANJE POJAČANJA KOLOVOZNIH KONSTRUKCIJA

Projektovanjem ojačanja postojećih asfaltnih kolovoznih konstrukcija određuju se ukupne debljine ojačanja i debljine pojedinih slojeva za predviđeno ojačanje postojeće asfaltno konstrukcije. Asfaltna kolovozna konstrukcija, određena na ovaj način (u zavisnosti od stanja postojećeg kolovoza, predviđenog saobraćajnog opterećenja u toku veka trajanja, kvaliteta materijala, i hidroloških i klimatskih uslova) treba da spreči prevelik zamor (razaranje) strukture materijala postojeće kolovozne konstrukcije, kao i da održava upotrebljivost površine kolovozne konstrukcije na odgovarajućem nivou, u cilju obezbeđenja bezbedne, udobne i ekonomične upotrebljivosti.

Princip postupaka za određivanje ojačanja postojeće kolovozne konstrukcije prikazan je na slici 4.



Slika 4: Postupak za određivanje ojačanja

Prema toj osnovi ojačanje postojeće asfaltno konstrukcije moguće je izvršiti: nadogradnjom, delimičnom zamenom, ili potpunom zamenom.

Ukoliko je odabran postupak nadogradnje to podrazumeva ugradnju jednog ili više novih slojeva bitumenizirane mešavine na postojeću kolovoznu konstrukciju.

Postupak delimične zamene obuhvata: zamenu dela oštećene kolovozne konstrukcije (npr. habajućeg sloja) novim slojem odgovarajućeg materijala, ili obradu dela postojeće kolovozne konstrukcije primenom odgovarajućih postupaka za uspostavljanje specifičnih svojstava materijala (npr. stabilizacija nevezanog materijala odgovarajućim vezivima, remix itd.)

U slučaju potpune zamene, uklanja se celokupna oštećena asfaltna kolovozna konstrukcija, a na novouređenoj podlozi izgrađuje nova. Materijale uklonjene kolovozne konstrukcije moguće je ponovo reciklirati pod uslovom da se na odgovarajući način prerade.

Odluka o tome da li će se izvršiti nadogradnja ili da se predvidi zamena zavisi od sledećeg: prikladnosti postojećih slojeva za deo nove kolovozne konstrukcije, unapred postavljenih ograničenja (npr. ograničenja visine kolovoza, nosivost mosta itd.), uticaja na okolinu, i ekonomije (ekonomske analize)

4. PROJEKAT KOLOVOZNE KONSTRUKCIJE ZA POTREBE POJAČANOG ODRŽAVANJA DRŽAVNOG PUTA, DEONICA ZRENJANIN-EČKA

4.1. Postojeće stanje

Podaci o oštećenosti površine kolovoza su prikupljeni kontinualnim i detaljnim vizuelnim pregledom predmetne deonice uz odmeravanje i stacioniranje. Oštećenja su prikupljena u skladu sa katalogom oštećenja dostavljenom od strane JP Putevi Srbije. Karakterističnih oštećenja koja su uočena na predmetnoj deonici :

- (1) mrežaste-aligator pukotine, (2) kolotrazi, (3) intervencije, (4) izlučivanje bitumen, (5) pojedinačne-random pukotine, (6) podužne pukotine, (7) pojedinačne pukotine koje su reflektovane, (8) ulegnća



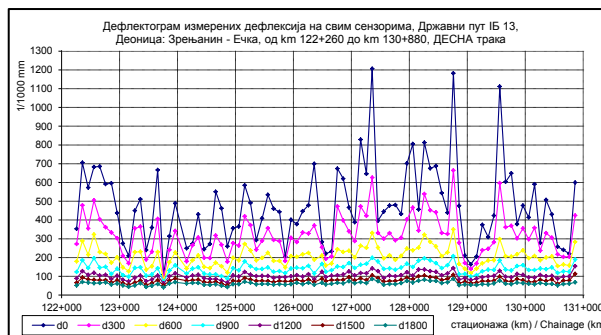
Slika 5: Karakteristična oštećenja

4.2. Struktura kolovozne konstrukcije

Merenje nosivosti postojeće kolovozne konstrukcije je izvršeno deflektometrom sa padajućim teretom Danskog proizvođača Dynatest FWD. Merenje je izvršeno izborom odgovarajućeg tereta i visine pada, nanošenjem sile od ~50 kN na kružnu ploču prečnika Ø300 mm, koja je bila postavljena na površinu kolovoza. Na svakoj mernoj tački na kolovozu, izvršena su 3 udarca. Merenje defleksije pri svakom udarcu je vršeno geofonima postavljenim na sledećim udaljenostima od centra kružne ploče: r=0 mm , 300 mm, 600 mm, 900 mm, 1200 mm, 1500 mm i 1800

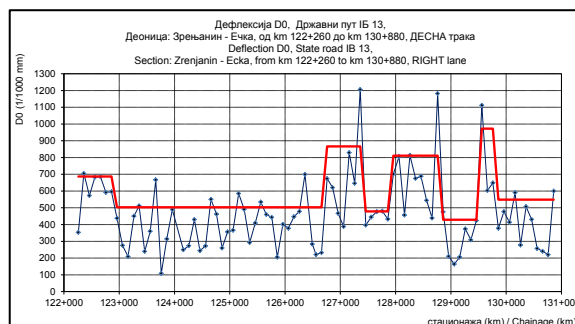
mm. Defleksije površine kolovoza merene su u desnom tragu točka obe saobraćajne trake uz ivicu kolovoza na svakih 100m, odnosno naizmenično na svakih 50m deonice puta. Merna mesta na levoj saobraćajnoj traci su smaknuta za po 50 metara u odnosu na merna mesta na desnoj saobraćajnoj traci.

Deflektogram izmerenih defleksija sa prikazanim vrednostima na svim sensorima (geofonima) dat je na sledećoj slici za desnu, odnosno, za levu saobraćajnu traku, respektivno.



Slika 6: Deflektogram izmerenih defleksija na svim senzorima

Definisanje homogenih poteza vrši se na osnovu metode kumulativnih razlika na bazi maksimalnog ugiba u centru opterećenja d_0 , odnosno definiše se promena ugiba duž deonice u odnosu na prosečnu vrednost ugiba na deonici.



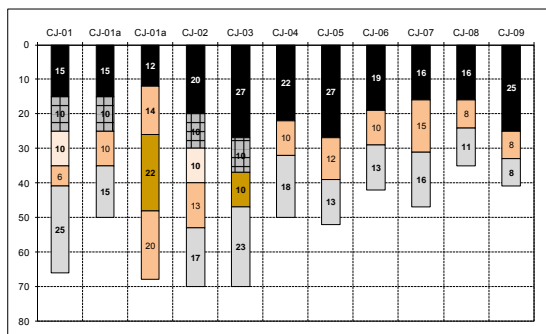
Slika 7: Merene vrednosti defleksija d_0 i podela na homogene poteze

	od	do	Dužina (m)	SCI (1/1000mm) srednja	Standardna devijacija	SCI (1/1000mm) 85%-na
1	122+260	122+860	600	211	66	264
2	122+860	127+059	4199	114	71	178
3	127+059	127+360	301	387	180	513
4	127+360	127+860	500	135	45	164
5	127+860	128+760	900	260	123	331
6	128+760	129+461	701	91	66	147
7	129+461	129+760	299	345	148	444
8	129+760	130+880	1120	105	70	176

Slika 8: Homogeni potezi

Za formiranje mehaničkog modela postojeće kolovozne konstrukcije neophodno je poznavanje strukture kolovozne konstrukcije i kvaliteta materijala u slojevima kolovoza. Sa tim ciljem obavljen je iskop istražnih jama kako bi se imao tačan uvid u strukturu izvedene kolovozne konstrukcije. Iskop istražnih jama na kolovozu je izvršen radi utvrđivanja vrste i debljine postojeće kolovozne konstrukcije, kao i za potrebe uzimanja

odgovarajućih uzoraka materijala za laboratorijska ispitivanja.



Slika 9: Struktura kolovozne konstrukcije iz sondažnih jama

4.3. Proračun potrebnog ojačanja

Proračun čini definisanje nosivosti postojeće kolovozne konstrukcije i definisanje potrebna nosivost kolovozne konstrukcije za buduće eksploatacione uslove. Potrebno pojačanje se proračunava po sledećoj jednačini:

$$d_{poj} = \frac{SN_{pot} - SN_{eff}}{a_1}$$

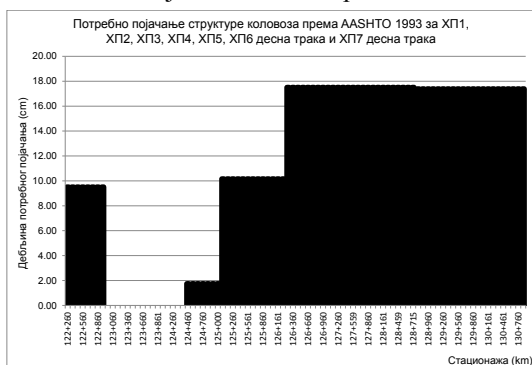
SN_{pot} - potreban strukturni broj

SN_{eff} - efektivan strukturni broj postojeće kolovozne konstrukcije

a_1 - koeficijent zamene sloja za pojačanje

Proračun je sprovodi u dva osnovna koraka:

1. proračun efektivnog strukturnog broja postojeće kolovozne konstrukcije SN_{eff}
2. proračun potrebnog strukturnog broja kolovozne konstrukcije za buduće eksploatacione uslove



Slika 10: Grafički prikaz proračuna potrebnog pojačanja

4.4. Usvojena projektna rešenja

Primer usvojenog projektnog rešenja za homogen potez 1:

1. Struganje postojećih asfaltnih slojeva u punoj širini profila u debljini od 6 cm i izrada novog sloja od asfalt betona AB16s sa PmB 45/80-65 u debljini od 7 cm.
2. Struganje postojećih asfaltnih slojeva na približno 60% trase u debljini od 8 cm i izrada

novog bitumeniziranog nosećeg sloja BNS 22sA sa PmB 45/80-65 u debljini od 8 cm.

3. Na približno 20% trase predviđena je duboka popravka slojem drobljenog kamenog agregata 0/31,5 mm u debljini od 30 cm.

Sloj	Debljina (cm)	Modul sloja (MPa)	Poasonov koeficijent
Habajući sloj AB16s sa PmB 45/80-65	7,0	3990	0,35
Bitumenizirani noseći sloj BNS 22sA sa PmB 45/80-65	8,0	6110	0,35
Sloj od nevezanog kamenog materijala	20	190	0,35
Unapređena posteljica slojem lomljenog kamena	-	80	0,35

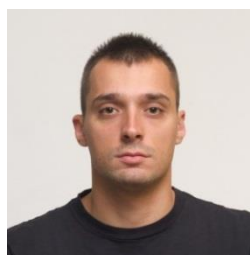
5. ZAKLJUČAK

Sa ekspanzijom savremenog građevinarstva i savremene tehnologije izvođenja radova na osnovu odgovarajućih tehničkih mera projektovanja, ojačanja kolovoznih konstrukcija sve više dobijaju na značaju protekle decenije. Osnovni cilj analize nosivosti i projektovanja tehničkih mera rehabilitacije/sanacije, na osnovu izmerenih ugiba, jeste produžetak eksploatacionog perioda kolovozne konstrukcije uz potrebno pojačavanje / zamenu slojeva kolovozne konstrukcije. Prema tome, značajno se smanjuju i finansijska sredstva potrebna za rehabilitaciju/sanaciju, s obzirom da se preciznim proračunom uz poznavanje strukture kolovozne konstrukcije definišu potrebne debljine slojeva za pojačanje. Ispitivanju i analizi nosivosti, prethode istražni radovi sa ciljem definisanja kvaliteta materijala i fundamentalnih karakteristika kolovozne konstrukcije koje koreliraju sa ostalim parametrima prilikom donošenja konačnih zaključaka.

6. LITERATURA

- [1] „Kolovozne konstrukcije” – prof. Dr. Aleksandar Cvetanović
- [2] „Kolovozne konstrukcije” – prof. Dr. Đorđe Uzelac I doc. Dr. Bojan Matić
- [3] „Priručnik za projektovanje puteva u Republici Srbiji” – JP „Putevi Srbije“:
- [4] „Ilustrovani tehnički uslovi u izgradnji puteva” – prof. Dr. Aleksandar Cvetanović
- [5] „Rehabilitacija kolovoznih konstrukcija” – Institut za puteve Srbije
- [6] www.putevi-srbije.rs – Internet stranica
- [7] www.putic.com – Internet stranica

Kratka biografija:



Aleksandar Janković rođen je u Loznici 1988. god. Završena Srednja Tehnička škola u Loznici. Posle studija građevinarstva na FTN-u u Novom Sadu, stiće zvanje diplomiranog inženjera građevine. Master rad na Fakultetu tehničkih nauka, na Departmanu za građevinarstvo i geodeziju odbranio je 2020.god. kontakt: aleksandarxjankovic@gmail.com