

PRILOG DIMENZIONISANJU KOLOSEKA NA ASFALTOJ PODLOZI

Mirjana Tomičić-Torlaković¹
Zdenka Popović²

Rezime

U radu se definišu tehnički zahtevi po pojedinim elementima gornjeg i donjeg stroja konstrukcije koloseka na nosećoj asfaltnoj podlozi. Pored toga, prikazuje se jedan od postupaka za dimenzionisanje ove konstrukcije na višeslojnoj čvrstoj podlozi i analizira konkretan numerički primer.

Ključne reči: *železnica, kolosek na asfaltnoj podlozi.*

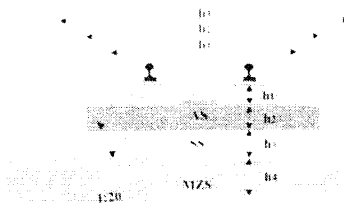
1. TIPOVI I ELEMENTI KONSTRUKCIJE KOLOSEKA NA ASFALTOJ PODLOZI

Prva konstrukcija gornjeg stroja na čvrstoj podlozi sa asfaltnim umesto betonskim slojem, kao kolosečnom podlogom, ugrađena je u kolosek daleke 1963. godine, na opitnoj deonici u Ingolštatu, u Nemačkoj. Dužina opitne deonice iznosila je 200m. Kolosek je postavljen na asfaltni sloj debljine 15cm, regulisan po visini i smeru, a zatim zaliven livenim asfaltom na licu mesta.

Kasnije, pod uticajem kolosečnog sistema Reda(Rheda,1972.god.), razvijeni su kolosečni sistemi SBT (monolitni sistem sa pragovima na asfaltnom sloju, koji se nakon visinske i horizontalne regulacije zalivaju mastiksom, 1976.god.) i SBV (pragovi zaliveni bitumenom, 1987.god.). Na osnovu tih iskustava, a naročito na osnovu uspeha u stanici Hösbach (1988.god.), gde je prvi put postignuta visinska tačnost izvođenja završnog sloja asfaltne podloge $\pm 2\text{mm}$, razvijen je kolosečni sistem tipa ATD, koji je prvi put primenjen 1993. godine.

¹ dr Mirjana Tomičić-Torlaković, dipl.ing.građ., red.prof. Građevinskog fakulteta u Beogradu

² dr Zdenka Popović, dipl.ing.građ., docent Građevinskog fakulteta u Beogradu

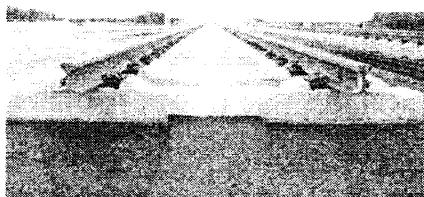


slika 1. Konstrukcija sistema ATD

Naziv sistema ATD potiče od nemačkog naziva: **A**sphalt**t**ragschicht mit **D**irektauf**l**agerung, što znači direktno polaganje na asfaltnom sloju. Dakle, Sistem ATD predstavlja prvu konstrukciju koloseka, koja se direktno polaže na višeslojnu asfaltnu podlogu. Preduslov za primenu ovakvog rešenja je visoka tačnost izvođenja asfaltno podloge (ravnost i visinska tačnost $\pm 2\text{mm}$), što podrazumeva posebnu tehnologiju njenog izvođenja i određeni sastav asfaltno mešavine, uz permanentnu kontrolu kvaliteta. Direktnim polaganjem koloseka na asfaltnu ploču izbegava se zametna faza visinske i horizontalne regulacije koloseka, koja se kod sistema SBV izvodila regulacionim zavrtnjima, po ugledu na sistem Reda.

Konstrukciju sistema ATD (slika 1) na zemljanoj podlozi, u opštem slučaju, čine sledeći elementi: šine tipa 60E1, prethodno napregnuti jednodelni, ili dvodelni betonski pragovi, asfaltni sloj (AS), sloj stabilizacije sa hidrauličnim vezivom (SS) i sloj za zaštitu od mraza (MZS).

Karakteristično za ovu konstrukciju je trapezno ispupčenje po uzdužnoj osi asfaltno ploče (tzv. "sokla"), koja služi za prijem horizontalnih sila i očuvanje bočne stabilnosti koloseka (slika 1). Širina ovog ispupčenja iznosi oko 60cm i izvodi se istovremeno sa završnim slojem asfaltno ploče. Pragovi dužine 2,60m u novije vreme rade se kao monoblok, a postoje i rešenja sa dvodelnim pragovima. U svakom slučaju, srednji deo praga prilagođen je trapeznom poprečnom preseku "sokle", radi postizanja potrebnog otpora bočnom pomeranju koloseka. Slobodan prostor između sokle i bokova praga popunjava se posebnom masom za lepljenje, kao što ilustruje slika 2 (svaki drugi, ili treći prag).



slika 2. Poprečni presek konstrukcije ATD na pruži za velike brzine Hannover-Berlin, 1994. god

Maksimalno nadvišenje spoljne šine u krivini iznosi, kao i kod ostalih tipova konstrukcija na čvrstoj podlozi, 180mm. Kontinualna uzdužna uzdignuta sokla ometala bi odvodnjavanje koloseka u prelaznoj i kružnoj krivini, te se u svakom trećem polju između pragova useca šlic u sokli, minimalne širine 2cm, za efikasno odvođenje atmosferske vode iz koloseka u krivini.

Osnovna konstrukcija ATD dopunjuje se elementima za zaštitu okoline od buke. Primenom uobičajenih prefabrikovanih kasetiranih elemenata za zaštitu od buke, nivo buke se umanjuje ispod maksimalnog propisanog nivoa, koji po nemačkim propisima za šinske sisteme iznosi 53dB(A). Ovo zadovoljava naše propise: JUS U.16.205 propisuje najviši dozvoljeni nivo buke noću duž magistralnih i gradskih saobraćajnica do 55dB(A).

Za tramvajске pruge razvijena je modifikacija konstrukcije ATD, tzv. ATD(G). Dodatak "G" dolazi od nemačke reči "grün", što znači da se radi o još jednoj varijanti koloseka sa niskim dekorativnim zelenilom, koje pored estetske uloge, ima zadatak da apsorbuje buku. Ovaj sistem koristi dvodelne pragove povezane čeličnim profilima. Prostor između pragova, iznad gornje površine asfalne podloge sa soklom, popunjava se nevezanim materijalom, pa substratom (humusna hranljiva podloga), a zatim se seje niska trava, ili cvetnice, otporne na sušu i visoke temperature (primer tramvajski kolosek u Berlinu).

1.1. Noseća asfaltna podloga

Idući od planuma nagore, višeslojnu noseću podlogu sistema ATD čine: sloj za zaštitu od mraza (MZS), sloj stabilizacije sa hidrauličnim vezivom (SS) i asfaltni sloj (AS). Gornji noseći sloj AS predstavlja asfaltnu mešavinu, koja se po pravilu ugrađuje u više slojeva.

Uobičajena ukupna debljina asfaltnog sloja na zemljanoj podlozi (usek, nasip) iznosi 30cm. Odozdo nagore izvode se dva sloja debljine po 10cm, treći sloj debljine 6cm i četvrti završni sloj debljine 4cm. Završni sloj se radi sa polimernim bitumenom.

U tunelu treba računati sa manjom debljinom asfaltne ploče. Stoga se asfalt ugrađuje u tri sloja.

Zahtevana tačnost ugradnje asfaltne kolosečne podloge veća je od tačnosti koja se propisuje u građenju puteva i aerodroma. Visoka zahtevana visinska tačnost izvedene gornje površine asfaltne podloge od $\pm 2\text{mm}$ može da se postigne samo ugradnjom asfalta u više slojeva. Svaki sloj ugrađuje se po vrućem postupku. Ugradnja završnog sloja vrši se sa povećanim zbijanjem, kako bi se šupljine u njemu svele na najmanju meru, čime se smanjuje prodor kiseonika (intenzivira proces starenja asfalta) i vode.

Upotreba livenog asfalta umesto asfaltbetona može biti prednost kada je potrebno popraviti ravnost i kada se radi u skućenom prostoru. U tom slučaju tražena tačnost $\pm 2\text{mm}$ na gornjoj površini ATS može da se postigne i manuelnom intervencijom.

Radi ostvarenja dobre veze između pojedinih slojeva asfalta, svaki prethodni sloj pre ugradnje narednog sloja mora biti suv i čist. Na tako osušen i očišćen sloj za bolju vezu nanosi se bitumenska emulzija pre ugradnje narednog sloja.

Gornja površina asfalta može da se koristi u logističke svrhe ukoliko je unutrašnja temperatura u asfaltu $< 50^{\circ}\text{C}$.

Poznata je osetljivost asfalta na ultravioletna zračenja. Zato je potrebno gornju površinu asfalta zaštititi rastresitim materijalom (npr. rizla, ili tucanik). Ova mera ujedno štiti asfalt od zagrevanja i smanjuje nivo buke. Isti višestruki efekat postiže se kod ATD(G) konstrukcije primenom dekorativnog zelenila.

Moduo elastičnosti asfaltnog sloja varira u granicama od 5000N/mm^2 do 10000N/mm^2 .

1.2. Sloj stabilizacije

Debljina sloja stabilizacije h_3 određuje se u postupku dimenzionisanja konstrukcije, uz zahtev da se na gornjoj površini sloja za zaštitu od mraza postigne moduo deformacije (lit. [2]):

- za nove pruge: $E_{v2} = 120\text{MN/m}^2$,
- za rekonstruisane pruge: $E_{v2} = 100\text{MN/m}^2$.

Ivične delove stabilizacije, ukupne širine $b_3 - b_2$ (slika 4), treba obavezno zaštititi od dejstva atmosferilija i mehaničkog oštećenja. Ovo se ostvaruje prskanjem bitumenskom emulzijom, pokrivanjem tucanikom, rizlom i sličnim postupcima.

Postoje rešenja ATD konstrukcije bez sloja stabilizacije. U tom slučaju povećava se debljina asfaltno ploče, što se definiše u postupku dimenzionisanja, uz zahtev da se na gornjoj površini sloja za zaštitu od mraza (od drobljenog materijala) postigne moduo deformacije $E_{v2} = 150\text{MN/m}^2$.

Pored toga, postoje mišljenja da sloj stabilizacije, zbog mogućnosti prodora atmosfere vode tokom eksploatacije, treba zameniti slojem od drobljenog materijala (TS–sloj od tucanika, obično se koristi za tramvaj-ske pruge).

1.3. Sloj za zaštitu od mraza

Ovaj sloj se sastoji od šljunkovito-peskovitog materijala otpornog na dejstvo atmosferijija, a posebno na dejstvo mraza. On sprečava kapilarno penjanje vlage iz donjih delova konstrukcije u sloj stabilizacije.

Debljina sloja za zaštitu od mraza h_4 određuje se u postupku dimenzionisanja konstrukcije, uz zahtev da se na gornjoj površini planuma postigne moduo deformacije (lit. [2]):

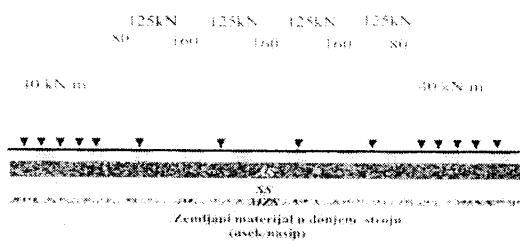
- za nove pruge: $E_{v2} \geq 60 \text{ MN/m}^2$,
- za rekonstruisane pruge: $E_{v2} \geq 45 \text{ MN/m}^2$.

2. POSTUPAK DIMENZIONISANJA

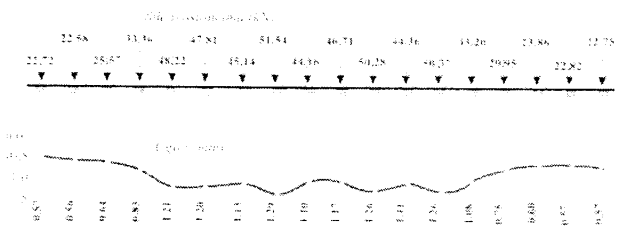
Radi određivanja stanja napona i deformacija, proračun prikazan u ovom radu, može se koristiti za bilo koju konstrukciju koloseka sa asfalt-nim slojem.

Dimenzionisanje višeslojne čvrste podloge u proračunskom primeru, koji sledi, ostvareno za šemu opterećenja UIC 71 (slika 3). Elastična linija šine i oslonache sile šine, koje su zapravo opterećenje za kolosečnu konstrukciju su sračunate po teoriji elastično oslonjene grede (slika 4).

Proračun konstrukcije je sproveden pomoću programa BISAR (*Bitumen Stress Analysis in Roads*, [1]), koji je razvijen u Šelovoj laboratoriji u Amsterdamu za proračun fleksibilnih kolovoznih konstrukcija.



slika 3. Šema opterećenja



slika 4. Elastična linija šine i sile u osloncima

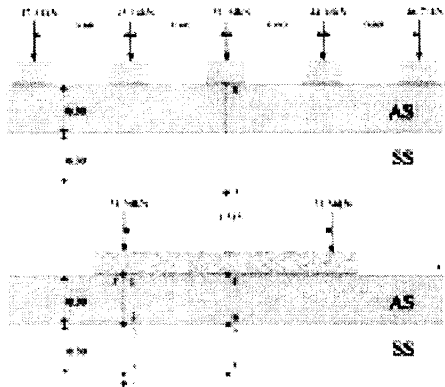
Pretpostavke proračuna su sledeće:

- kolovozna konstrukcija je linearni višeslojni sistem;
- slojevi su neograničeni u horizontalnoj ravni, a tlo je neograničeno u vertikalnoj ravni;
- materijali slojeva su homogeni i izotropni;
- karakteristike materijala su moduo elastičnosti i Poasonov koeficijent;
- vertikalno opterećenje od saobraćaja deluje na kružnim površima.

Ulazni podaci za konstrukciju su:

- asfaltni sloj: debljina 30cm, moduo elastičnosti $E_1=5000\text{N/mm}^2$, Poasonov koeficijent $n_1=0.35$;
- sloj stabilizovan hidrauličnim vezivom: debljina 30cm, moduo elastičnosti $E_2=5000\text{N/mm}^2$, Poasonov koeficijent $n_2=0.20$;

Kolosečna podloga (sloj za zaštitu od mraza sa tlom): moduo elastičnosti se menja $E_{31}=50\text{N/mm}^2$; $E_{32}=100\text{N/mm}^2$; $E_{33}=150\text{N/mm}^2$, Poasonov koeficijent $n_1=0.45$;



slika 5. Položaj opterećenja u koordinatnom sistemu

Koeficijent trenja između asfaltnog sloja i sloja stabilizacije je $a=0.30$, a između stabilizacije i tla $a=0.90$.

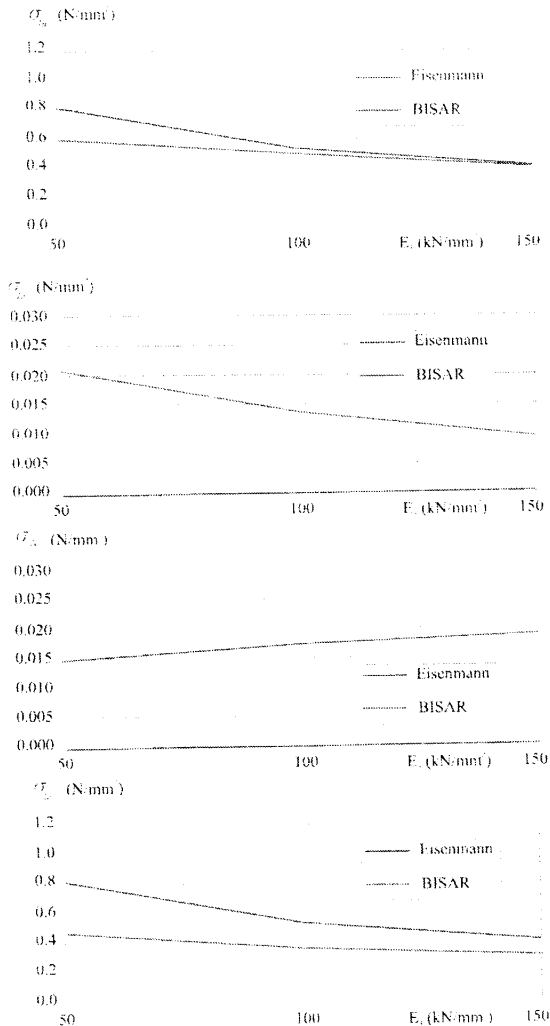
Oslonačka površ svakog praga je aproksimirana sa dve kružne površi radijusa 337.59mm.

Kako je analiza opterećenja pokazala, najveća oslonačka sila šine na prag (51.54kN) je ispod drugog točka, te je taj presek kroz konstrukciju merodavan za određivanje naprezanja u konstrukciji. Položaj opterećenja u koordinatnom sistemu i brojevi tačaka u merodavnom preseku konstrukcije, u kojima će se računati naprezanja, dato je na slici 5.

3. ANALIZA REZULTATA

Rezultati dobijeni korišćenjem programa BISAR pokazuju da su naponi savijanja u konstrukciji za sve tri vrednosti modula elastičnosti tla ($E_{31}=50\text{N/mm}^2$; $E_{32}=100\text{N/mm}^2$; $E_{33}=150\text{N/mm}^2$) ispod dozvoljenih vrednosti od 0.80N/mm^2 .

Zavisnost napona od modula elastičnosti tla računatih po približnoj metodi profesora Ajzimana (lit. [3], [4], [6]) i programu BISAR su prikazani na dijagramu na slici 6.



slika 6. Zavisnost napona od modula elastičnosti tla

Kako je očigledno sa dijagrama, naponi $s_{1,a}$ u gornjoj ivici asfaltnog sloja i $s_{2,b}$ u donjoj ivici sloja stabilizovanog hidrauličnim vezivom sračunati po metodi profesora Ajzenmana su veći nego po programu BISAR, a razlika među njima opada sa povećanjem modula elastičnosti tla, dok se naponi $s_{1,b}$ u donjoj ivici asfaltnog sloja i $s_{2,a}$ u gornjoj ivici sloja stabilizovanog hidrauličnim vezivom neznatno razlikuju u odnosu na obe metode proračuna.

4. ZAKLJUČAK

Navedena inostrana iskustva sa konstrukcijom koloseka na asfaltnoj podlozi i bogata domaća iskustva u građenju fleksibilnih kolovoznih konstrukcija čine realan okvir za primenu ove kolosečne konstrukcije koloseka kod nas, na opitnim deonicama, naročito kod gradskih šinskih sistema.

5. LITERATURA

- [1] BISAR (Bitumen Stress Analysis in Roads), MSR.0006.73, Koninklijke/Shell-laboratorijum, Amsterdam, (1973).
- [2] Darr E., Fiebig W.: "Feste Fahrbahn: Konstruktion, Bauarten, Systemvergleich Feste Fahrbahn - Schotteroberbau", Tetzlaff Verlag, Hamburg, S. 156, (1999).p
- [3] Eisenmann J., Mattner L.: "Konstruktion und Bemessung von Festen Fahrbahnen", Feste Fahrbahn, Edition ETR, Hestra-Verlag, S.19-23, (1997).
- [4] Eisenmann, J., Mattner L.: "Dimensionierung einer Festen Fahrbahn", Eisenbahningenieur, 42, H. 3, S.116-124, (1991).
- [5] Matten D., Langhagen K.: "Feste Fahrbahn im Spannungsfeld von Innovation und Bewährung", Feste Fahrbahn, edition ETR, S. 74-77, Damsadt, (1997)."
- [6] Popović Z.: "Konstrukcija i dimenzionisanje nosećih slojeva koloseka na čvrstoj podlozi po približnoj metodi profesora Eisenmann-a", časopis Železnice, broj 10-11, (2001)., zbornik radova, str. 1-4, (2001).
- [7] Siegmann J.: "Feste Fahrbahn als Teil der Unternehmensstrategie", Symposium Feste Fahrbahn – Mechanische Modellierung, Betriebserfahrung und Akustik-, Teil VII: S.1-8, TU Berlin, (1999).
- [8] Tomić M, Ranković S.: "Gornj stroj železnica", Univerzitet u Beogradu, str. 276, Beograd, (1996).Popović Z.: "Osnove projektovanja železničkih pruga", rukopis sa