

STABILNOST KOLOSEKA OD DTŠ POD UTICAJEM LETNJIH TEMPERATURA

Gordan Radivojević¹ Predrag Ćirić² Aleksandar Kostić³ Vladimir Milovanović⁴

Rezime: U radu je analiziran uticaj letnjih temperaturnih promena na stabilnost koloseka od DTŠ. Za usvojeni matematički model određena je minimalna temperaturna sila pritiska koja dovodi do bočnog izbacivanja koloseka kod DTŠ. Na osnovu dobijenih vrednosti za minimalnu temperaturnu silu pritiska predložen je odgovarajući železnički gornji stroj.

Ključne reči: stabilnost koloseka, temperaturna sila pritiska, bočno izbacivanje koloseka

DTS TRACK OF STABILITY UNDER THE INFLUENCE OF TEMPERATURE SUMMER

Summary: The paper analyzed the impact of summer temperature changes on the stability of the DTS track. For the adopted mathematical model is determined by the minimum temperature power pressure that leads to the elimination of a side track in DTS. Based on the value of the minimum temperature pressure force is proposed above the corresponding rail machine.

Key words: stability track, temperature power pressure, side ejection track

1 UVOD

U statičkom smislu, za problem koji se tretira kolosek predstavlja roštilj od podužnih greda zajedno sa elastičnim oslanjanjem poprečnih greda. Ovakvu vrstu konstrukcije obično nazivamo "kolosečna rešetka".

Stabilnost koloseka zavisi od različitih uticaja, od statičkog i dinamičkog opterećenja, kvaliteta izrade donjeg i gornjeg stroja, tipa i materija šina, eksploatacije, temperature i dr.

Usled promene temperature dolazi do promene dužine šina, izduženja ili skraćanja, što dovodi do izvijanja koloseka u horizontalnoj ili vretikalnoj ravni.

Prilikom zagrevanja šina zracima sunca i okolnim vazduhom dolazi do promena temperature šina pri čemu temperatura $t(x,y,z)$ u pojedinim tačkama poprečnog preseka šina i u pojedinim presecima po dužini šine, u opštem slučaju nije jednaka. Obično se posmatra temperatura glave šine ili srednja temperatura t_s °C poprečnog preseka šine čija je površina A prema izrazu:

$$t_s = \frac{\iint t(x,y) \cdot dy \cdot dx}{A} \quad (1)$$

Temperaturnom promenom smatramo promenu neutralne temperature do ekstremne temperature.

Temperatura šina se razlikuje od temperature okolnog vazduha. Pri većim pozitivnim temperatura-

¹ mr. dipl. inž. građ., Građevinsko-arhitektonski fakultet Niš

² inž. građ. - BSc, MSc student, Građevinsko-arhitektonski fakultet Niš

³ MSc student, Građevinsko-arhitektonski fakultet Niš

⁴ MSc student, Građevinsko-arhitektonski fakultet Niš

ma, temperatura šina se znatno razlikuje od temperature okolnog vazduha, i sve više se povećava ta razlika sa porastom temperature, tako da pri određenoj temperaturi šine odnosno vazduha, ova razlika dostiže maksimalnu vrednost. Kada se temperature šine, vazduha i dalje povećava, razlika temperatura šine i vazduha počinje da se smanjuje. Maksimalna vrednost razlike temperature šine i vazduha može da dostigne 20°-25°C, i to pri temperaturama vazduha koje su nešto niže od maksimalnih temperatura vazduha. Pri maksimalnim temperaturama vazduha razlika između temperature šine i temperature vazduha je oko 16°-17°C (šina ima višu temperaturu za 16°-17°C od maksimalne temperature vazduha). Za svako klimatsko područje odnosno prugu ove zavisnosti treba utvrditi na osnovu velikog broja merenja i statističke obrade podataka. Kod nas se smatra da maksimalna temperatura šina može biti +60°C.

Prilikom zagrevanja šina zracima sunca i okolnim vazduhom dolazi do složenih termo-dinamičkih procesa. Razmatranja deformacija šina se ogledaju u promenama dimenzija šina, odnosno u izduženjima ili skraćenjima šina u pravcu podužne ose šina, što je tema ovog rada.

2 STABILNOST KOLOSEKA SA DUGIM TRAKOVIMA ŠINA

Razmotrićemo slučaj koloseka opterećenog aksijalnom temperaturnom silom pritiska, kada ne deluju dinamička opterećenja i vertikalne sile od vozila, a smatraćemo da je krutost šinskih trakova nepromenljiva po dužini koloseka, tj. slučaj dugih trakova šina (ili slučaj neprekidnog koloseka) gde nema sastava kao mesta smanjene krutosti. Stabilnost koloseka obezbeđujemo sprečavanjem porasta aksijalnih temperaturnih sila u šinskim trakovima iznad kritičnih vrednosti pri kojima je moguće izbacivanje koloseka.

Aksijalna temperaturna sila se izračunava po obrascu:

$$P = E \cdot A \cdot \alpha \cdot t \quad (2)$$

gde je:

E modul elastičnosti,

A površina,

α koeficijent linearne temperaturne dilatacije čija

je veličina $\alpha = \frac{1}{85000} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$,

t temperaturna promena u odnosu na neutralnu temperaturu kada smo šinski trak ugradili ili kada smo započeli merenje.

Kada aksijalna temperaturna sila dostigne kritičnu vrednost, može doći do savijanja rešetke u horizontalnoj ili vertikalnoj ravni tj. izvijanja koloseka pri čemu se savlađuju otpori zastora. Kod uobičajenog pričvršćenja šina za pragove, šine se pri tome ne savijaju tako da je dužina polutalasa deformacije jednaka rastojanju pragova, već se rešetka savija kao celina.

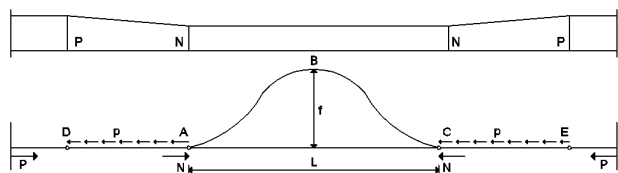
Utvrđeno je da proces izvijanja kolosečne rešetke u pravcima odvija na sledeći način.

Sa porastom temperature raste i aksijalna temperaturna sila pritiska u šinama, ali ne dolazi ni do kakvih poprečnih niti podužnih pomeranja sve dok temperature šine ne poraste npr. za oko 50-60°C u odnosu na temperature polaganja. Aksijalna sila u jednoj šini je onda npr. 80-100 tona. Pri ovoj veličini aksijalne sile, na jednom mestu u koloseku, zavisno od veličine i forme početnih ekscentriciteta, tj. neravnina, i veličine otpora poprečnim pomeranjima pragova u zastoru, može da počne da se odvija proces poprečnih pomeranja kolosečne rešetke. Uz dalji porast temperature ova poprečna pomeranja rastu relativno sporo, ali sve brže i brže ukoliko se temperatura šina povećava za još npr. 5-10°C u odnosu na temperature šina pri kojoj je počeo da se odvija proces poprečnih pomeranja. Veličina ovih pomeranja iznosi oko 5-6mm za vreme 5-10°C porasta temperature. Tada su u koloseku i na oko vidljive deformacije, tzv. "sunčane zmijice", koje na prugama predstavljaju znak za opasnost od izbacivanja koloseka. Ukoliko temperature dalje ne raste i dođe do hlađenja šina, neće nastupiti izvijanje, ali poprečne deformacije neće isčeznuti jer se šine ne mogu vratiti u prvobitni položaj zbog otpora trenja u zastoru. Ukoliko temperatura i dalje raste, ili ako posle hlađenja temperatura počne ponovo da raste, izvijanje nastupa naglo i to pri manjem porastu temperature nego u slučaju prvog zagrevanja.

Prema tome, iako imamo jednostavniji slučaj kada ne deluju vibracije i sile od vozila, nego samo aksijalna temperaturna sila, ipak izbacivanje koloseka predstavlja veoma složen proces koji se odvija u prostoru, a ne u jednoj ravni. Na odvijanje procesa utiču mnogi faktori koje poznajemo samo kao slučajne veličine u širokim granicama, pri deformacijama do kojih dolazi prekoračuje se granica elastičnosti itd.

Zbog svojih tehničko-ekonomskih preimućstava, kolosek sa dugim zavarenim trakovima našao je primenu na prugama svih zemalja.

2.1 MIŠČENKOVO REŠENJE



Slika 1 – Izvijeni deo proračunske grede sa dijagramom aksijalnih sila

Ako uzmemo za primer izvijeni deo proračunske grede DE gde ista pod dejstvom aksijalne sile pritiska (P), iz pravolinijske forme ravnoteže prede u krivolinijsku formu ravnoteže ostvaruju se četiri vrste deformacionih radova:

- A_1 – rad promenljive aksijalne sile na pravolinijskim delovima grede DA i EC,
- A_2 – deformacioni rad na krivolinijskom delu grede ABC usled pada aksijalnih sila od vrednosti P na vrednost N,
- A_3 – deformacioni rad na savijanju grede ABC,
- A_4 – rad na izdizanju tereta g odnosno na savlađivanju sila poprečnih otpora q.

Ukupna energija sistema je određena algebarskim zbirom navedenih deformacionih radova. Tako dobijamo energiju deformacije u funkciji od karakteristika elastičnog sistema I, g, q, p i nezavisnih argumenata L i f izvijenog dela ABC.

Jednačine elastične ravnoteže pri krivolinijskoj formi grede predstavljaju one veze između sila izvijanja i uravnotežujućih parametara koje određujemo iz ekstremnih uslova:

$$\frac{\partial \varepsilon}{\partial f} \cdot df + \frac{\partial \varepsilon}{\partial L} \cdot dL = 0 \quad (3)$$

odakle je:

$$\frac{\partial \varepsilon}{\partial f} = \varphi_1 \cdot (C_1, f, L, P) = 0 \quad (4)$$

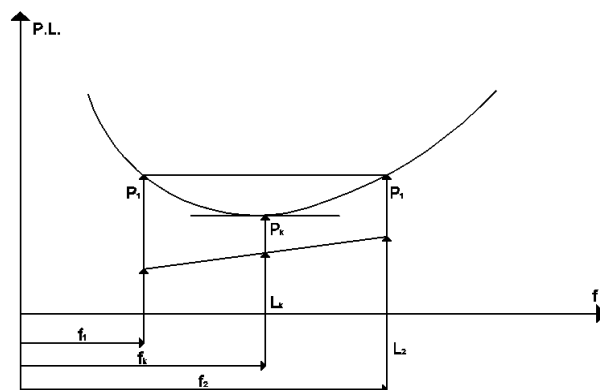
$$\frac{\partial \varepsilon}{\partial L} = \varphi_2 \cdot (C_2, f, L, P) = 0 \quad (5)$$

Međutim ove dve jednačine sistema nisu dovoljne za jednoznačno određivanje tri tražene veličine:

- P – sila izvijanja,
- f i L – parametri krivolinijske forme.

Problem se rešava zadavanjem niza vrednosti za veličinu f i određivanjem odgovarajućih vrednosti P i L. Konstrukcijom dijagrama zavisnosti veličina P i L

usled f možemo odrediti karakteristike stabilnosti koloseka.



Slika 2 – Zavisnos sile P i dužine izvijenog talasa L od njegove strele f

Vrednost strele f_1 odgovara nestabilnom ravnotežnom položaju koji će kod vrednosti $f=f_2$ dostići stabilni ravnotežni položaj. Minimalna vrednost sile pritiska P_{kr} se očitava iz dijagrama a odgovara paru vrednosti parametara izvijenog talasa f_{kr} i L_{kr} .

Ordinata P_{kr} deli krivu liniju na dve grane. Leva grana karakteriše početak procesa izbacivanja koloseka, odnosno područje nestabilne ravnoteže. Desna grana karakteriše završetak procesa odnosno prelaz u područje stabilne ravnoteže.

Ukoliko su vrednosti temperaturnih sila pritiska manje od vrednosti kritične sile izbacivanja koloseka P_{kr} , tada je usvojena kolosečna konstrukcija stabilna.

Kod rešavanja problema stabilnosti koloseka u krivinama treba računati i sa bočnim otporima koloseka koji su izazvani aksijalnom silom štapa kružnog oblika.

Iz poznate veze:

$$P = q \cdot R \quad (6)$$

Sledi izraz za bočne otpore:

$$q = \frac{P}{R} \quad (7)$$

2.2 MIŠČENKOVO REŠENJE ZA KRITIČNU SILU IZBACIVANJA KOLOSEKA

Pri upotrebi metoda energije treba izabrati takav oblik izvijene grede kako bi se ostvarili svi granični uslovi koji odgovaraju obliku koloseka sa započetim izbacivanjem u stranu ili uvis. Ukoliko je izabrani

oblik krive verniji stvarnoj krivoj utoliko će i tačnije biti rešenje.

Za razliku od većine autora koji su za oblik izvijene grede usvajali pomerenu sinusoidu, Miščenko je pošao od linije određene zbirom kosinusoide i kvadratne parabole:

$$Y = a \cdot (\cos bx - c \cdot x^2 + d), \quad (8)$$

gde se konstante a, b, c i d određuju iz sledećih graničnih uslova:

$$Y_{x=0} = f \quad Y'_{x=\pm \frac{L}{2}} = 0$$

$$Y_{x=\pm \frac{L}{2}} = 0 \quad Y''_{x=\pm \frac{L}{2}} = 0$$

2.2.1 Stabilnost koloseka u horizontalnoj ravni za slučaj obostranog talasa

$$P_{kr} = \frac{2.416}{\sqrt[4]{n}} \cdot \sqrt[4]{J_H \cdot F_E^2 \cdot q^2} \quad L_{kr} = 19.18 \cdot \sqrt{\frac{E \cdot J_H}{P_{kr}}}$$

$$q_{kr} = \frac{P_{kr}^2 \cdot \sqrt{n}}{5.84 \cdot E \cdot \sqrt{J_H}} \quad f_{kr} = 2.88 \cdot \sqrt{\frac{n \cdot J_H}{F}} \quad (10)$$

2.2.2 Stabilnost koloseka u krivini protiv bočnog izbacivanja

$$q_{kr} = \frac{P_{kr}^2 \cdot \sqrt{n}}{7.18 \cdot \sqrt{J_H \cdot F}} + \frac{P_{kr}}{R} \quad L_{kr} = 13.92 \cdot \sqrt{\frac{E \cdot J_H}{P_{kr}}}$$

$$f_{kr} = 4.18 \cdot \sqrt{\frac{P \cdot J_H}{F}} \quad (11)$$

2.2.3 Stabilnost koloseka protiv izbacivanja uvis

$$P_{kr} = \frac{2.68}{\sqrt[4]{n}} \cdot \sqrt[4]{J_V \cdot F \cdot g^2 \cdot E^2} \quad L_{kr} = 13.92 \cdot \sqrt{\frac{E \cdot J_V}{P_{kr}}}$$

$$g_{kr} = \frac{P_{kr}^2 \cdot \sqrt{n}}{7.18 \cdot E \cdot \sqrt{J_V \cdot F}} \quad (12)$$

$$f_{kr} = 4.18 \cdot \sqrt{\frac{n \cdot J_V}{F}} \quad n = 1 + \frac{P_{kr}}{4 \cdot p \cdot L_{kr}}$$

2.3 ZAKLJUČAK

Mnogi eksperimenti su pokazali da uvek dolazi do bočnog izbacivanja, tako da se veoma retko kontroliše stabilnost protiv izbacivanja uvis, dok se vrednosti kritičnih sila prema formulama (10), (11), (12) određuju probanjem i račun se ponavlja sve dok se razlika između dve uzastopne vrednosti ne smanji na 2%.

2.3.1 Primer

Zadat je šinski trak dužine $L=2l=180m$ od šina S49 na drvenim pragovima razmaka 65cm. Podužni linijski otpori pomeranja šina iznose 7.4kPa/cm jedne šine a otpor šinskog spoja $P_s=19000kPa$. Kontrolisati stabilnost koloseka protiv izbacivanja sa obostranim talasom. Ekstremne temperature iznose: $t_{max}=60^\circ C$, $t_{min}=-35^\circ C$. Bočni otpor uzeti sa $q=9.0kPa/cm$.

$$(P_0)_{max} = \frac{(P_{kr})_{min}}{1.2}$$

$$P_{kr} = 1.2 \cdot 66.118 \cdot 2 = 158683kPa$$

$$J_H = 4 \cdot I_H = 4 \cdot 320 = 1280cm^4$$

$$L_{kr}^I = 19.18 \cdot \sqrt{\frac{2.1 \cdot 10^6 \cdot 1280}{158683}} = 2496.31cm$$

$$P_{kr} = 172702kPa$$

Koeficijent sigurnosti protiv izbacivanja koloseka u stranu:

$$k = \frac{172702}{2 \cdot 66118} = 1.31 > 1.2$$

LITERATURA

[1] *Gornji stroj željeznica*, Slavko Ranković, Građevinski fakultet univerziteta u Beogradu, 1976, Beograd, 191-217.

[2] *Gornji stroj železnica – konstrukcije i proračuni* - , Dušan Ignjatić, Skriptarnica saveza studenata građevinskog fakulteta u Beogradu, 1965, Beograd, 290-316.