

**Zdenka Popović**

# **GORNJI STROJ ŽELEZNICA**

**CI O 'MPLK C**  
**'Beograd, 2022**

## **GORNJI STROJ ŽELEZNICA**

**Prof. dr Zdenka Popović, dipl. građ. inž.**

**redovni profesor Građevinskog fakulteta Univerziteta u Beogradu**

### **Recenzenti:**

- *Dr Mirjana Vukićević, dipl. građ. inž.*  
*Redovni profesor Građevinskog fakulteta Univerziteta u Beogradu*
- *Dr Rade Hajdin, dipl. građ. inž.*  
*Redovni profesor Građevinskog fakulteta Univerziteta u Beogradu*
- *Dr Čedomir Ilić, dipl. građ. inž. - redovni profesor Građevinsko-arhitekonskog fakulteta Univerziteta u Nišu*
- *Dr Miloš Ivić, dipl. inž. saob.*  
*Redovni profesor Saobraćajnog fakulteta Univerziteta u Beogradu*

### **Izdavač:**

**AGM knjiga d.o.o. Beograd-Zemun**

*www.agmknjiga.co.rs; tel: +381 11 2618 554*

### **Glavni i odgovorni urednik:**

*Slavica Sarić Ahmić*

**Štampa:** *Donat graf, Beograd*

**Tiraž:** *200 primeraka*

**ISBN:** *978-86-6048-034-9*

CIP - Каталогизација у публикацији  
Народна библиотека Србије, Београд

625.14(075.8)

**ПОПОВИЋ, Зденка, 1961-**

Gornji stroj železnica / Zdenka Popović. - Beograd : AGM knjiga, 2022 (Beograd : Donat graf). - 264 str. : ilustr. ; 24 cm

Tiraž 200. - Bibliografija: str. [265-268].

ISBN 978-86-6048-034-9

a) Железничке пруге -- Горњи stroj

COBISS.SR-ID 71258889

***SVA PRAVA ZADRŽAVA AUTOR I IZDAVAČ.*** *Nijedan deo knjige ne sme se reprodukovati, fotokopirati ili prenositi u bilo kojoj formi: elektronski, mehanički, fotografski ili na drugi način, bez prethodne pismene saglasnosti autora i izdavača.*

## Predgovor

Ova knjiga je prvenstveno namenjena studentima koji izučavaju oblast gornjeg stroja železnica. Pored toga, ona treba da posluži i kao priručnik iz oblasti konstrukcija gornjeg stroja za sve inženjere koji se bave železničkom infrastrukturom.

Knjiga je nastala kao rezultat višegodišnjeg bavljenja autorke konstrukcijom gornjeg stroja kroz inženjerski rad, rad na izradi podzakonskih akata, učešće u radu Komisije Instituta za standardizaciju Srbije, držanje seminara za edukaciju inženjera iz prakse, aktivno učešće u radu Revizione komisije u svojstvu izvestioca za gornji i donji stroj, bogat naučno – istraživački rad, stručna usavršavanja u inostranstvu i veliki broj predavanja za studente Građevinskog fakulteta Univerziteta u Beogradu i Univerziteta Crne Gore, kao i predavanja na Visokoj železničkoj školi u Beogradu i na Saobraćajnom fakultetu Jana Pernera Univerziteta Pardubice u Češkoj.

Zajedno sa udžbenikom Osnove projektovanja železničkih pruga, koji je objavljen 2004. godine, i monografijom Konstrukcije koloseka na čvrstoj podlozi, koja je objavljena 2010. godine, ova knjiga zaokružuje neophodna opšta znanja u oblasti konstrukcija gornjeg stroja.

Knjiga se sastoji iz 11 poglavlja. Njen sadržaj je prvenstveno usmeren na konstrukcije gornjeg stroja sa kolosekom koji pliva u zastornoj prizmi od tucanika. Kao što je pomenuto, konstrukcije koloseka na čvrstoj podlozi predstavljene su u posebnoj knjizi,

Nadam se da će pažljivo birana savremena literatura, na kojoj je zasnovan sadržaj ove knjige, doprineti da studentima učenje bude interesantno i efikasno i da će inženjerima biti olakšano korišćenje velikog broja evropskih standarda i tehničkih specifikacija interoperabilnosti, koji su detaljno predstavljeni sa aspekta njihove praktične primene.

Svojim sugestijama poseban doprinos dali su recenzenti, redovni profesori Univerziteta u Beogradu, dr Mirjana Vukićević, dipl. građ. inž., dr Rade Hajdin, dipl. građ. inž. i dr Miloš Ivić, dipl. inž. saob. i dr Čedomir Ilić, dipl. građ. inž., redovni profesor Univerziteta u Nišu, kojima iskazujem veliku zahvalnost.

Unapred se zahvaljujem čitaocima na dragocenim sugestijama koje očekujem, a koje bi trebalo da doprinesu da u sledećem izdanju knjiga bude još bolja.

U Beogradu, 2022. godine

*Autorka*



## Sadržaj

<b>I</b>	<b>POJAM I ELEMENTI KONSTRUKCIJE GORNJEG STROJA</b>	1
1.	ELEMENTI KONSTRUKCIJE GORNJEG STROJA SA KOLOSEKOM U ZASTORU OD TUCANIKA	2
2.	ELEMENTI KONSTRUKCIJE GORNJEG STROJA SA KOLOSEKOM NA ČVRSTOJ PODLOZI	4
<b>II</b>	<b>KRATAK PREGLED RAZVOJA KONSTRUKCIJE KOLOSEKA</b>	9
<b>III</b>	<b>ŠINA KAO ELEMENT KONSTRUKCIJE GORNJEG STROJA</b>	21
1.	ULOGA ŠINE U KOLOSEKU	21
2.	DODIR TOČKA I ŠINE	24
2.1	Oblik točka, pojam osovinskog sklopa i obrtnog postolja	24
2.2	Uslovi dodira točka i šine	26
2.3	Sile u dodiru točka i šine	30
2.4	Koničnost i ekvivalentna koničnost i njen uticaj na dinamičko ponašanje vozila	34
3.	OBLICI POPREČNOG PRESEKA ŠINA	37
3.1	Poprečni presek Vinjlove šine	37
3.2	Poprečni presek šine sa žlebom	42
3.3	Poprečni presek kranske šine	45
3.4	Poprečni presek šine za provođenje struje	46
3.5	Poprečni profili šina u skretnicama	46
3.6	Sigurnosne šine na mostu	49
4.	DUŽINE ŠINA	51
5.	KVALITET ŠINSKOG ČELIKA	53
5.1	Standardni kvaliteti šinskog čelika i preporuke za primenu	54
5.2	Struktura šinskog čelika	57
5.3	Hemijski sastav šinskog čelika	59
<b>IV</b>	<b>PRAGOVI KAO ELEMENTI GORNJEG STROJA</b>	61
1.	ULOGA PRAGOVA U KOLOSEKU	61
2.	POLOŽAJ PRAGOVA U KOLOSEKU	61
3.	OBLIK PRAGOVA	62
4.	PODELA PRAGOVA PREMA VRSTI MATERIJALA	64
4.1	Drveni pragovi	64
4.2	Betonski pragovi	71
4.2.1	Specifičnosti oslanjanja betonskog praga	71
4.2.2	Prefabrikacija betonskog praga	74
4.2.3	Tehnički uslovi za betonske pragove na magistralnoj železničkoj mreži	76
4.2.4	Životni vek betonskih pragova	77
4.3	Čelični pragovi	80
4.4	Pragovi od sintetičkih materijala	83

<b>V</b>	<b>ZASTOR OD TUCANIKA</b>	85
1.	ZADACI ZASTORA OD TUCANIKA	85
2.	TUCANIK ZA IZRADU ZASTORNE PRIZME	85
2.1	Kvalitet tucanika za izradu zastorne prizme	87
2.2	Način proizvodnje tucanika	91
2.3	Organizacija prijema tucanika	91
2.4	Garancija kvaliteta isporučenog tucanika	92
2.5	Preuzimanje tucanika i vođenje evidencije	93
3.	OBLIK ZASTORNE PRIZME	93
4.	GRAĐENJE I ODRŽAVANJE ZASTORNE PRIZME OD TUCANIKA	95
4.1	Mehanizacija za građenje i održavanje zastorne prizme	95
4.2	Tolerancije za oblik zastorne prizme od tucanika	100
<b>VI</b>	<b>SISTEMI ŠINSKIH PRIČVRŠĆENJA</b>	101
1.	ZADACI SISTEMA ŠINSKIH PRIČVRŠĆENJA	102
2.	TEHNIČKI USLOVI ZA SISTEME ELASTIČNIH ŠINSKIH PRIČVRŠĆENJA	103
2.1	Osnovne kategorije sistema šinskih pričvršćenja	103
2.2	Postupci ispitivanja šinskih pričvršćenja	104
3.	SISTEMI ŠINSKIH PRIČVRŠĆENJA ZA DRVENE PRAGOVE	115
3.1	Direktna šinska pričvršćenja pomoću kotvi	115
3.2	Indirektna kruta šinska pričvršćenja	117
3.3	Indirektni elastični sistemi šinskih pričvršćenja za drvene pragove	120
3.4	Primeri sistema elastičnih pričvršćenja za drvene pragove	122
3.4.1	Sistem pričvršćenja KS za drvene pragove	122
3.4.2	Pandrol konverzije za drveni prag	125
4.	ŠINSKA PRIČVRŠĆENJA ZA BETONSKE PRAGOVE	127
4.1	Indirektno kruto pričvršćenje za betonske pragove	127
4.2	Elastični sistemi šinskih pričvršćenja za betonske pragove	128
4.3	Primeri sistema elastičnih pričvršćenja za betonske pragove	130
4.3.1	Sistem W14 sa stezaljkom Skl 14	130
4.3.2	Englesko pričvršćenje PANDROL sa stezaljkom tipa e	132
4.3.3	Englesko pričvršćenje PANDROL sa stezaljkom FAST CLIP	134
5.	SISTEMI PRIČVRŠĆENJA ŠINA ZA KOLOSEK NA ČVRSTOJ PODLOZI	136
5.1	Primeri šinskih pričvršćenja za kolosek na čvrstoj podlozi	136
5.1.1	System 300	137
5.1.2	Šinski elastični oslonac kelnsko jaje (Das Kölner Ei)	137
5.1.3	Pandrol VIPA DRS sistem pričvršćenja	138
5.1.4	Sistem šinskog pričvršćenja Pandrol VANGUARD	139

<b>VII</b>	<b>ŠINSKI SPOJEVI</b>	141
1.	MEHANIČKI ŠINSKI SPOJEVI	142
1.1	Poduprt šinski spoj na običnom drvenom pragu	148
1.2	Poduprt šinski spoj na širokom drvenom pragu	148
1.3	Poduprt šinski spoj na udvojenom drvenom pragu	148
1.4	Slobodan šinski spoj	150
1.5	Privremeni mehanički šinski spoj osiguran stegama	150
1.6	Ograničenja za primenu mehaničkih šinskih spojeva	152
2.	LEPLJENI SPOJEVI	154
3.	ZAVARENI ŠINSKI SPOJEVI	157
3.1	Gasno (autogeno) zavarivanje	158
3.2	Elektrolučno zavarivanje	158
3.3	Elektrootporno zavarivanje	158
3.4	Aluminotermijsko zavarivanje	159
3.5.	Izbor postupka za zavarivanje šina	161
4.	DILATACIONE SPRAVE	163
<b>VIII</b>	<b>KOLOSEČNI PRIBOR ZA POVEĆANJE STABILNOSTI KOLOSEKA</b>	169
1.	POVEĆANJE BOČNE STABILNOSTI KOLOSEKA SA KONTINUALNO ZAVARENIM ŠINAMA	169
2.	SPRAVE PROTIV PODUŽNOG POMERANJA ŠINA	177
<b>IX</b>	<b>NEPREKINUTI KOLOSEK SA KONTINUALNO ZAVARENIM ŠINAMA</b>	183
1.	RAZLOZI ZA KONTINUALNO ZAVARIVANJE ŠINA	184
1.1	Smanjenje buke i vibracija u dodiru točak/šina	185
1.2	Smanjenje troškova izrade šinskog spoja i troškova održavanja	185
1.3	Produženje životnog veka konstrukcije gornjeg stroja	185
1.4	Smanjenje troškova vuče vozova	186
2.	KARAKTERISTIKE KOLOSEKA SA KONTINUALNO ZAVARENIM ŠINAMA	186
3.	TEHNIČKI USLOVI ZA POLAGANJE KOLOSEKA SA KONTINUALNO ZAVARENIM ŠINAMA	189
4.	TEHNOLOGIJA POLAGANJA KOLOSEKA SA KONTINUALNO ZAVARENIM ŠINAMA	190
4.1	Karakteristične temperature u šinama za polaganja koloseka sa kontinualno zavarenim šinama	194
4.2	Završno zavarivanje šina u koloseku	196
5.	MAKSIMALNI NAPONI USLED TEMPERATURNIH PROMENA U KONTINUALNO ZAVARENIM ŠINAMA	200
6.	PRORAČUNSKI POSTUPAK ZA ODREĐIVANJE NAPONA USLED TEMPERATURNIH PROMENA U KONTINUALNO ZAVARENIM ŠINAMA	202
6.1	Aksijalne sile i pomeranja kratkih šina	207
6.2	Određivanje širine zazora pri pucanju kontinualno zavarenih šina	208

7.	STABILNOST KOLOSEKA SA KONTINUALNO ZAVARENIM ŠINAMA	210
7.1	Izbacivanje železničkog koloseka u horizontalnoj ravni	211
7.2	Energetska metoda za proračun stabilnosti koloseka	212
7.2.1	Postupak po ruskom autoru Miščenku	213
7.2.2	Postupak po nemačkom autoru Majeru	215
<b>X</b>	<b>UTICAJI OPTEREĆENJA OD SAOBRAĆAJA</b>	217
1.	OPTEREĆENJE OD ŽELEZNIČKIH VOZILA	217
1.1	Statičko opterećenje od železničkih vozila	219
1.2.	Opterećenje od saobraćaja – dinamički uticaji	220
2.	STATIČKI PRORAČUN KOLOSEKA PO CIMERMANOVOM POSTUPKU	222
2.1	Savijanje šinskog traka vertikalnim silama	225
2.2	Određivanje ugiba i sila u osloncima šina	231
2.3	Krutost šinskih oslonaca	232
2.3.1	Uticaj šinske podloške	234
2.3.2	Uticaj podloške ispod praga	234
2.3.3	Uticaj prostirke ispod zastora od tucanika	235
2.3.4	Uticaj zbijanja i gnječenja vlakana drvenih pragova	236
2.3.5	Uticaj zastora i donjeg stroja	237
3.	PRORAČUN SILA PRI PROLAŽU VOZILA KROZ KRIVINU	238
4.	OSNOVNI I DODATNI NAPONI U ŠINAMA	244
<b>XI</b>	<b>UREĐENJE KOLOSEKA U PRAVCU I KRIVINI</b>	247
1.	ŠIRINA KOLOSEKA	248
2.	PROŠIRENJE KOLOSEKA U KRIVINAMA	250
3.	NADVIŠENJE SPOLJNE ŠINE U KRIVINI	256
3.1	Krivina bez nadvišenja spoljne šine	256
3.2	Krivina sa nadvišenjem spoljne šine	258



## I POJAM I ELEMENTI KONSTRUKCIJE GORNJEG STROJA

Železničku infrastrukturu čine sledeći elementi: donji stroj pruge, gornji stroj pruge, telekomunikaciona, signalno-sigurnosna, elektrovučna, elektroenergetska i druga postrojenja i uređaji na pruzi, oprema pruge, poslovne zgrade železnice sa zemljištem, koje služi tim zgradama, zemljišni pružni pojas i vazdušni prostor visine 12 m iznad gornje ivice šine (GIŠ), odnosno 14 m iznad GIŠ-a u slučaju dalekovoda napona preko 220 kV. Železnička infrastruktura obuhvata i izgrađeni putni prelaz u slučaju ukrštanja (u istom nivou) železničke infrastrukture i puta sa obe strane koloseka u širini od tri metra mereno od ose krajnjeg koloseka, uključujući i prostor između koloseka kada se na putnom prelazu nalazi više koloseka [1].

Donji stroj omogućava da se poprečni presek železničke pruge prilagodi topografskim uslovima, uz očuvanje projektovane nivelete pruge. Takođe, donji stroj prihvata opterećenje od konstrukcije gornjeg stroja i prenosi ga na temeljno tlo. Donji stroj pruge čine sledeći elementi konstrukcije: zemljani trup, sloj za zaštitu planuma od mraza i sloj za ojačanje planuma (ukoliko su ovi slojevi predviđeni), inženjerski objekti (mostovi, vijadukti, estakade, propusti, tuneli, galerije, potporni i obložni zidovi) i temeljno tlo.

Gornji stroj železničke pruge čini kolosek i zastor. Kolosek čine dve šine na standardnom rastojanju, koje su sistemom šinskog pričvršćenja povezane sa pragovima. Zastor može biti od tucanika, ili u vidu višeslojne čvrste kolosečne podloge.

U širem smislu gornji stroj podrazumeva i složene kolosečne konstrukcije, kao što su skretnice, ukrštaji, okretnice, prenosnice, iskliznice, kolske vage, dilatacione sprave, grudobrani i drugo.

U upotrebi su dve ravnopravne modifikacije konstrukcije gornjeg stroja:

- kolosek u zastoru od tucanika,
- kolosek na čvrstoj podlozi.

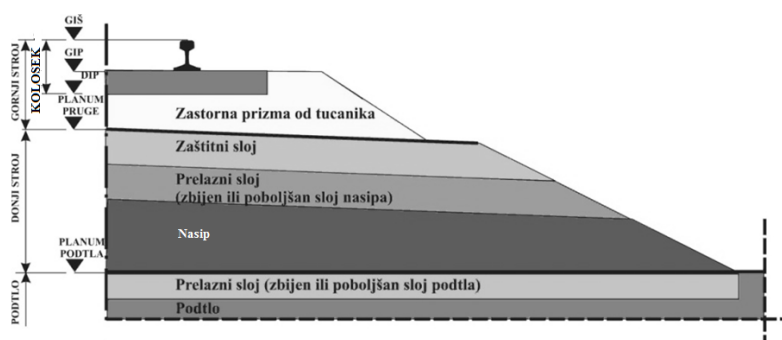
U inženjerskoj praksi često se nameće naizgled jednostavno pitanje: Kada treba primeniti konvencionalni gornji stroj sa kolosekom koji pliva u zastornoj prizmi od tucanika, a kada kolosek na čvrstoj podlozi?

Da bi se dao precizan odgovor na ovo pitanje, treba prvo definisati zahteve koje treba u opštem slučaju da ispuni savremeni gornji stroj, a zatim sastaviti listu kriterijuma za izbor optimalnog tipa gornjeg stroja u poznatim uslovima, čime se rešavanje problema usmerava ka oblasti višekriterijumske optimizacije [2].

## 1. ELEMENTI KONSTRUKCIJE GORNJEG STROJA SA KOLOSEKOM U ZASTORU OD TUCANIKA

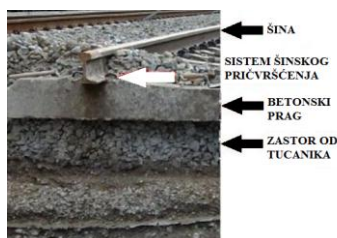
Konstrukciju gornjeg stroja sa kolosekom u zastoru od tucanika čine sledeći elementi: dve vozne šine koje su postavljene na standardnom rastojanju, kolosečni pribor, pragovi i zastorna prizma od tucanika. Kolosečni pribor ima zadatak da omogući međusobno povezivanje sučeljenih krajeva šina u koloseku (spojni kolosečni pribor), da pričvrsti vozne šine za pragove (pričvrstni pribor odnosno sistem šinskog pričvršćenja) ili da omogući realizaciju posebnih zadataka (tzv. dodatni kolosečni pribor, koji treba da spreči pomeranje šina ili koloseka).

Važna karakteristika konstrukcije gornjeg stroja sa zastorom od tucanika je da se položaj koloseka tokom vremena menja pod uticajem saobraćaja. Zato se često kaže da kolosek "pliva" u zastoru od tucanika. Na slici I-1 šematski su prikazani elementi konstrukcije gornjeg stroja sa kolosekom u zastoru od tucanika i elementi konstrukcije donjeg stroja, kao i podtlo (temeljno tlo).



Slika I-1. Poprečni presek željezničke pruge sa kolosekom u zastoru od tucanika na nasipu (oznake na slici: GŠ – gornja ivica u osi simetrije šine, GIP – gornja ivica praga)

Na slici I-2 prikazana je fotografija na kojoj su označeni elementi konstrukcije gornjeg stroja sa kolosekom u zastoru od tucanika, koju čine: dve vozne šine na standardnom rastojanju, poprečno postavljeni betonski pragovi, sistem šinskog pričvršćenja i zastor od tucanika.



Slika I-2. Elementi konstrukcije gornjeg stroja sa kolosekom koji pliva u zastoru od tucanika

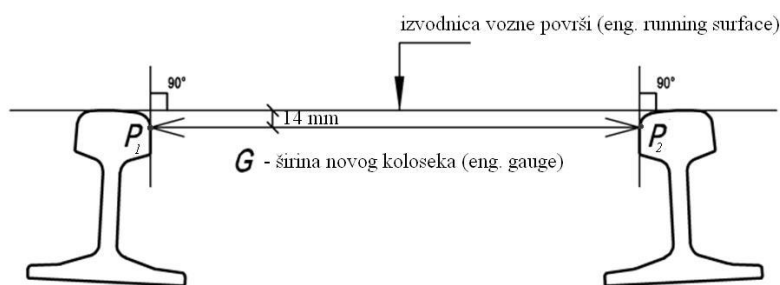
Konstrukcija koloseka može biti različita u zavisnosti od tipa šina, sistema šinskog pričvršćenja i vrste pragova.

Slika I-3 prikazuje kolosek sa jednodelnim pragovima od prethodno napretnutog betona koji su postavljeni poprečno u odnosu na dve vozne šine. Kolosek je prikazan u fazi građenja, pre ugrađivanja zastorne prizme od tucanika.



Slika I-3. Kolosek sa poprečno položenim betonskim pragovima i elastičnim šinskim pričvršćenjem u fazi građenja

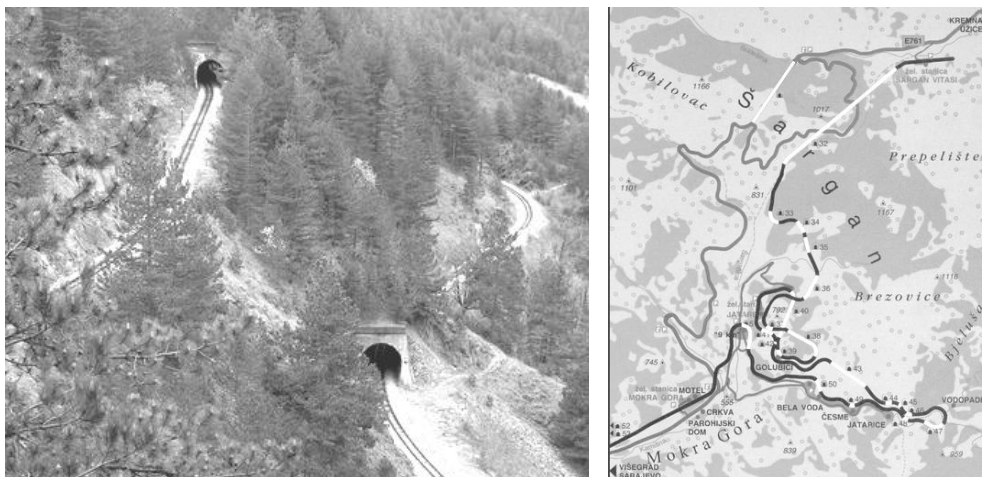
Važna karakteristika koloseka, pored njegove konstrukcije, je širina koloseka. Koloseci se često dele prema svojoj širini. Normalna širina novog koloseka je 1435 mm i meri se u ravni koja se nalazi na rastojanju 14 mm ispod ravni dodira točkova vozila i šina, kao što prikazuje slika I-4. Normalna širina koloseka (1435 mm) je standardna širina koloseka na magistralnoj železničkoj mreži u zemljama Evrope, kao i u Kini, Meksiku, SAD, Turskoj itd. Tokom eksploatacije, stvarna širina koloseka se menja. Širina koloseka u eksploataciji se meri na rastojanju 0-14 mm ispod ravni oslanjanja točkova, tamo gde je rastojanje vozničkih šina najmanje.



Slika I-4. Način određivanja standardne širine novog koloseka

U nekim zemljama se koriste širine koloseka veće od 1435 mm (tzv. "široki kolosek"), kao npr.: 1676 mm u Portugaliji i Španiji, 1600 mm u Irskoj i Brazilu, 1524 mm u Finskoj i zemljama bivšeg SSSR-a. Širine koloseka užje od 1435 mm (tzv. "uski kolosek") se, takođe, koriste u nekim zemljama: 1067 mm u Južnoj Africi, 1000 mm na nekim lokalnim prugama u Belgiji, Francuskoj, Grčkoj, Austriji, Portugaliji, Švajcarskoj, Španiji itd., dok se širina 760 mm zadržala na lokalnim železničkim prugama u Austriji i zemljama bivše Jugoslavije. Šarganska

osmica u Srbiji (turističko-muzejska železnica i jedinstveno graditeljsko remek delo među prugama uzanog koloseka u svetu, slika I-5) ima širinu koloseka 760 mm i na relaciji Mokra Gora - Šargan Vitasi prelazi visinsku razliku 300 m na dužini 15,5 km.



Slika I-5. Turističko-muzejska železnica Šarganska osmica sa širinom koloseka 760 mm

Magistralne pruge u Evropi se grade sa standardnom širinom koloseka 1435 mm bez obzira da li se radi o koloseku u zastoru od tucanika ili o koloseku na čvrstoj podlozi. Na taj način postiže se *interoperabilnost* evropske železničke mreže, odnosno sposobnost železničkog sistema da omogući siguran i neprekidan saobraćaj železničkih vozila bez ometanja na prelazu državnih granica.

## 2. ELEMENTI KONSTRUKCIJE GORNJEG STROJA SA KOLOSEKOM NA ČVRSTOJ PODLOZI

Pored koloseka koji pliva u zastoru od tucanika, primenjuje se i konstrukcija gornjeg stroja sa kolosekom položenim na čvrstu podlogu.

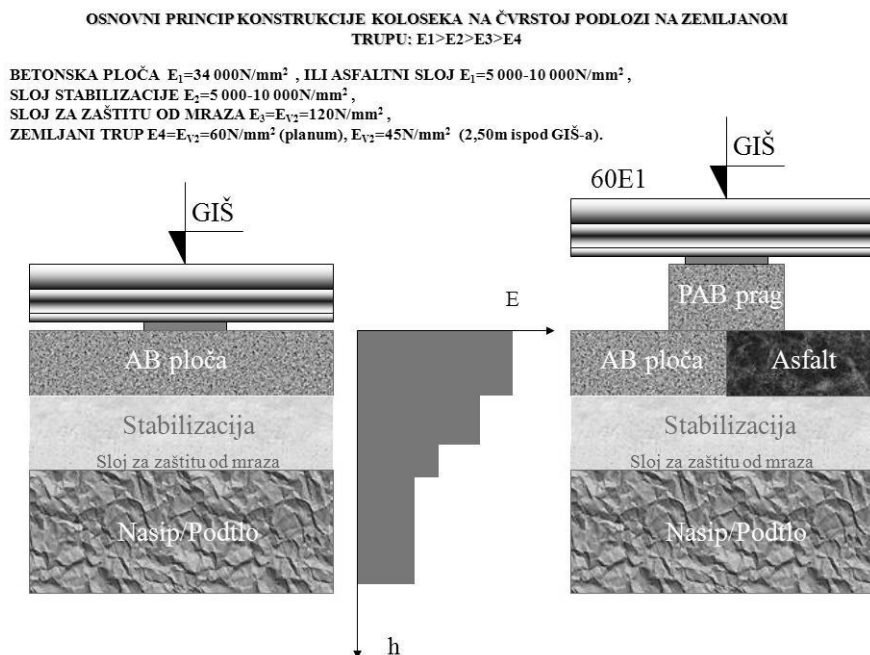
Čvrstu kolosečnu podlogu obično čine dva sloja:

- betonska ploča položena na sloju koji je stabilizovan hidrauličnim vezivom, ili
- asfaltna ploča položena na sloju koji je, takođe, stabilizovan hidrauličnim vezivom.

Na slici I-6 su prikazani osnovni principi konstrukcije koloseka na čvrstoj podlozi. Idući od šine ka temeljnom tlu smanjuje se krutost šinske podloge, koju čine elementi konstrukcije gornjeg i donjeg stroja.

Kolosek na betonskoj ploči može biti bez pragova (slika I-6, levo) i sa pragovima od prethodno napretnog betona (slika I-6, desno). Pragovi mogu biti postavljeni poprečno u odnosu na vozne šine ili podužno.

Kolosek na asfaltnoj ploči uvek sadrži poprečno položene pragove od prethodno napretnog betona (slika I-6, desno).



Slika I-6. Elementi konstrukcije koloseka na čvrstoj podlozi (levo: kolosek bez pragova, desno: kolosek sa pragovima od prethodno napretnog betona) i princip vertikalne raspodele modula elastičnosti E kroz slojeve konstrukcije

Slika I-7 prikazuje jedno rešenje konstrukcije koloseka bez pragova na betonskoj ploči. Ovakvo rešenje se može primeniti kada se šine preko elastičnih oslonaca polažu na posebno oblikovane betonske oslonce formirane na betonskoj ploči [2].



Slika I-7. Nemačko rešenje "*Hochtief*" sa naknadno betoniranim šinskim osloncima koji su armirani čeličnim vlaknima, na armirano-betonskoj ploči koja je izvedena na licu mesta [2]

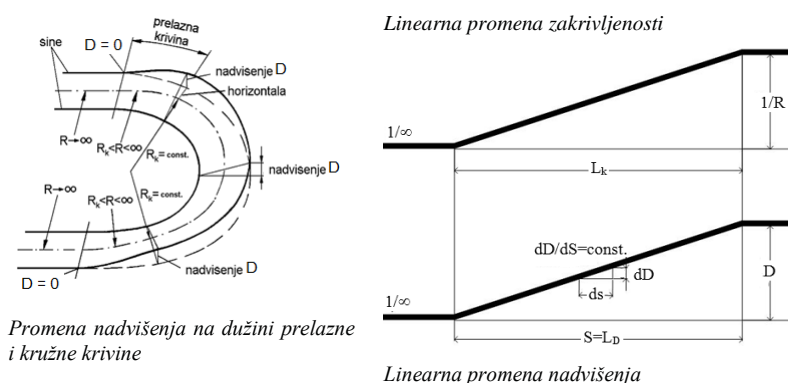
Utvrđen je kriterijum za osiguranje penjanju venca točka, sa graničnom vrednošću  $(Y/Q)_{lim} = 1,2$  (Nadalov kriterijum). Ova granična vrednost je opravdana velikim brojem ispitivanja u različitim uslovima. Granična vrednost je utvrđena da spreči oko 97,5% svih iskliznuća pri penjanju venca točka [123]. Ipak, da bi u realnim uslovima došlo do iskliznuća, neophodno je da nepovoljan odnos sila  $Y/Q$  deluje na dužini ne kraćoj od 2 m (slika XI-16).

Na slici XI -16 prikazan je kriterijum sigurnosti protiv iskliznuća vozila iz koloseka za radijuse  $R \geq 300 m$ , koji se primenjuju na prugama ŽS, prema kome se odnos bočne i vertikalne sile  $Y/Q$  ograničava na vrednost 0,8. Ovakvo ograničenje ima sledeći smisao: ako količnik sila  $Y/Q$  koje deluju na točak vozila ne pređe vrednost 0,8 pod normalnim uslovima eksploatacije, onda postoji dovoljna verovatnoća da se ni pri ekstremnim uslovima (loše održavan kolosek i/ili vozilo) neće prekoračiti granica 1,2 propisana Nadalovim kriterijumom.

Zaključci ORE B55 istraživanja [122] upućuju da verovatnoća iskliznuća raste kada je: (a) radijus krivine mali, (b) nadvišenje veliko (c) kola spora (spora kola se pomeraju ka unutrašnjoj šini, a sa približavanjem venca boku glave šine raste bočna sila  $Y$ ), (d) veliko trenje u dodiru točka i šine ( $Y=Qf$ , gde je  $f$  koeficijent trenja) i (e) kada su kola prazna. Ovo objašnjava zašto su česta iskliznuća praznih kola, koja se kreću lagano po sporednom koloseku, koji dugo nije bio u upotrebi (korozija šine utiče na povećanje koeficijenta trenja u dodiru točak/šina).

Puna vrednost projektovanog nadvišenja spoljašnje šine se izvodi na dužini kružne krivine. Na dužini prelazne krivine nadvišenje se menja od nule, na početku prelazne krivine, do pune projektovane vrednosti, na kraju prelazne, odnosno na početku kružne krivine. U normalnim okolnostima, dužina prelazne krivine odgovara dužini rampe za nadvišenje.

Nadvišenje se menja po istom zakonu po kome se menja zakrivljenost u oblasti prelazne krivine. Prema pravilniku [86] u Srbiji se koriste pravolinijske rampe za nadvišenje, koje odgovaraju pravolinijskoj promeni zakrivljenosti u oblasti prelazne krivine oblika kubne parabole i klotoide (Slika XI-17).



Slika XI-17. Linearna promena zakrivljenosti od 0 do  $1/R$  na dužini prelazne krivine i nadvišenja od 0 do  $D$  na dužini rampe za nadvišenje

U praksi nije moguće izvesti pravolinijsku rampu za nadvišenje tačno prema pravolinijskom dijagramu prikazanom na slici XI-16 zato što šina formira konkavno, odnosno konveksno zaobljenje na početku, odnosno na kraju rampe za nadvišenje. Na taj način u realnim uslovima, vrednost nadvišenja zaostaje u odnosu na vrednost zakrivljenosti na početku i na kraju rampe za nadvišenje. Ova neregularnost može da se prihvati u slučaju konvencionalnih pruga. U slučaju pruga za velike brzine primenjuju se prelazne krivine sa krivolinijskom promenom zakrivljenosti i odgovarajući oblici krivolinijske rampe za nadvišenje. U svakom slučaju, zakrivljenost i nadvišenje koloseka menjaju se uvek po istoj matematičkoj zakonitosti.

Nagib rampe za nadvišenje spoljašnje šine mora da se ograniči na vrednost manju od 3‰, kako se venac zadnjeg spoljašnjeg točka obrtnog postolja ne bi popeo na glavu šine, što bi dovelo do iskliznuća osovinskog sklopa iz koloseka. Zbog toga se projektuju dovoljne dužine prelaznih krivina, kako bi nagib rampe za projektovano nadvišenje bio dovoljno blag. Formule (XI-14) prikazuju normalne dužine rampe (prelazne krivine) na novim prugama, kao i dužinu u slučaju rekonstrukcije:

$$L_{novo} = \frac{10V \cdot D}{1000}; \quad L_{rekonstrukcija} = \frac{8V \cdot D}{1000} \quad (XI-14)$$

gde je:

$V$  – projektna brzina [km/h],

$D$  – izvedeno nadvišenje u [mm].

Sračunate dužine rampe prema formulama (XI-14) obezbeđuju nagib rampe za nadvišenje manji od 3‰ u normalnim uslovima eksploatacije i održavanja koloseka i vozila, čak i onda kada usled tonjenja unutrašnje šine u krivini (zbog viška nadvišenja za teretne vozove na pruzi za mešoviti železnički saobraćaj) nadvišenje spoljašnje šine dostigne vrednost 180 mm.