



# ŽELJEZNICE – DONJI I GORNJI USTROJ

Skripta iz predmeta Prometnice za učenike graditeljskih tehničkih škola

Marina Cindori Kovačević, dipl. ing. građ.

**Nakladnik:**

Vlastita naklada

**Urednik:**

Marina Cindori Kovačević, dipl. ing. građ.

**Recenzent:**

Krešimir Buzov, dipl. ing. građ.

**Lektor:**

Branka Brozinić, prof.

Upotreba skripte odobrena je rješenjem Agencije za strukovno obrazovanje i obrazovanje odraslih, klasa UP/I-602-03/18-08/01, ur. broj. 332-04-00/1-18-03 od 13. ožujka 2018.

## SADRŽAJ:

PREDGOVOR	5
GRADNJA ŽELJEZNIČKIH PRUGA	6
POVIJEST ŽELJEZNIČKOG PROMETA	7
PODJELA ŽELJEZNICA	9
KONSTRUKTIVNI ELEMENTI ŽELJEZNIČKE PRUGE	10
<b>DONJI USTROJ ŽELJEZNIČKIH PRUGA</b>	11
POSTUPCI IZRADA NASIPA	11
POSTELJICA (RAVNIK) ŽELJEZNIČKE PRUGE I ZAŠTITNI SLOJ	14
DEFORMACIJE TRUPA PRUGE	18
SANACIJA ZEMLJANOG TRUPA PRUGE	19
POTPORNI I UPORNI ZIDOVICI	20
ODVODNJA TRUPA PRUGE	22
ZAŠTITA PRUGA OD SNJEŽNIH NANOSA	25
ZAŠTITA PRUGA OD ODRONA KAMENJA	27
ZAŠTITA PRUGA OD VJETRA	27
<b>GORNJI USTROJ ŽELJEZNIČKIH PRUGA</b>	28
NORMALNI POPREČNI PROFIL ŽELJEZNIČKE PRUGE	28
TOVARNI I SLOBODNI PROFIL	29
ŽELJEZNIČKI ZASTOR	30
PRAGOVI	31
TRAČNICE S KOLOSiječnim PRIBOROM	36
PRUGE BEZ DILATACIJA	44
UREĐENJE KOLOSIJEKA U PRAVCU I KRIVINI	45

PRIJELAZNE KRIVINE	47
MEDUPRAVCI	48
SKRETNICE	49
ŽELJEZNIČKE STANICE	53
LITERATURA	56

## PREDGOVOR

Projektiranje, gradnja i održavanja željezničkih pruga složen je posao koji zahtijeva poznavanje različitih područja graditeljstva od geotehnike, geodezije, hidrotehnike, do konstrukcija i ostalih grana graditeljstva. No, unatoč tome, udžbenika, stručne literature i objavljenih radova iz ovog područja nema baš previše.

Potaknuta nedostatkom literature prilagođene uzrastu srednjoškolskih učenika, odlučila sam napisati skriptu ŽELJEZNICE – donji i gornji ustroj. Skripta je namijenjena učenicima srednjih graditeljskih tehničkih škola koji u sklopu predmeta PROMETNICE u trećem i četvrtom razredu izučavaju područje gradnje željezničkih pruga.

U prvom su dijelu opisani postupci izgradnje nasipa i usjeka na dobro i slabo nosivom tlu, deformacije posteljice i pokosa nasipa, načini odvodnje željezničkih pruga, načini zaštite od snijega, vjetra i lavina. U drugom se dijelu detaljno obrađuju sastavni dijelovi gornjeg ustroja; tračnice, pragovi i željeznički zastor, govori se o uređenju kolosijeka u pravcu i krivini, prikazani su sastavni dijelovi skretnice te podjela željezničkih stanica.

Skripta je rezultat mog dugogodišnjeg rada u Graditeljskoj tehničkoj školi u Zagrebu, s namjerom da učenicima olakša bavljenje ovom problematikom, da im brojnim skicama i crtežima približi metode i načine gradnje donjeg i gornjeg ustroja željezničkih pruga.

Autorica

## GRADNJA ŽELJEZNIČKIH PRUGA

### Definicija, svojstva i karakteristike

Željeznice su prometna sredstva kod kojih su kotači vozila prisilno vođeni po metalnom putu, tj. tračnicama.

Trenje između kotača i tračnica je vrlo malo, a vlakovi velikih duljina i masa koji voze velikom brzinom imaju veliku kinetičku energiju. Posljedica su dugi zaustavni putovi (nekoliko stotina metara do 1 km).

Zbog toga se kod većine željeznica provodi princip vožnje u vremenskim razmacima koji glasi: u jednom pružnom odsjeku obostrano zaštićenom glavnim signalima smije se u isto vrijeme nalaziti samo jedna kompozicija vlaka.

Željeznice ne voze na vid (vidljivost može biti manja od zaustavnog puta), već se promatranje puta svodi na promatranje signala.

Prisilnost vođenja vozila onemogućuje križanje i pretjecanje pa se ove pogonske operacije mogu izvoditi samo u postajama koje za tu svrhu moraju biti opremljene dodatnim kolosijecima - ukrštajnim i pretjecajnim, kao i uređajima za prijelaz s jednog kolosijeka na drugi - skretnicama.

### Prednosti željeznica pred ostalim prometnim sredstvima:

- vožnja na slijepo (prema signalima)
- velika kvantitativna sposobnost (prijevoz velikog broja putnika i robe)
- velika sigurnost prometa
- ekonomičnost.

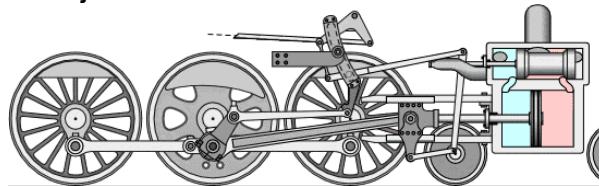
### Nedostaci željezničkog prometa:

- vezanost na kruti vozni red
- mogućnost svladavanja manjih uspona i padova u odnosu na ceste
- u pogledu brzine zaostaju za zračnim i cestovnim prijevozom
- česta kašnjenja zbog zajedničkih prometnih pravaca za putnički i teretni promet.

## POVIJEST ŽELJEZNIČKOG PROMETA

Prvi vagoni vođeni po tračnicama koristili su se još u 16. st., a služili su za izvlačenje ugljena i iskopane rude iz rudnika u Njemačkoj i Engleskoj. Tračnice su u početku bile drvene, vagone su vukli ljudi, a kasnije životinje.

Prva javna željeznička pruga puštena je u promet 27. 9. 1825. god. u Engleskoj između gradova Stockton i Darlingtona u dužini od 40 km. Vagone je vukla parna lokomotiva koju je 1803. god. konstruirao Richard Trevithick, a unaprijedio George Stephenson koji je uveo upotrebu klipova i cilindara te kotača s utorima. Lokomotiva je mogla prevesti 50 tona tereta brzinom od 5 milja/sat.



Princip rada parne lokomotive

Ubrzo nakon toga javljaju se prve željeznice i u drugim europskim zemljama. Francuska dobija prvu željeznicu 1827. god., Austrija, Češka i SAD 1829. god., Belgija i Njemačka 1835. god., carska Rusija 1838. god., Indija 1853. god. i Australija 1854. god.

Prva pruga u Hrvatskoj sagrađena je 1860. god. na relaciji Kotoriba – Čakovec – Pragersko, a 1.10.1862. god. puštena je u promet pruga Zidani Most – Zagreb – Sisak u duljini od 75 km.

MREŽA ŽELJEZNIČKIH PRUGA U HRVATSKOJ



Za razvoj željeznica u svijetu značajne su gradnje transkontinentalnih željeznica. Prva je izgrađena 1869. god. od jedne do druge obale SAD-a. Transsibirska željezница se gradila od 1892. god. do 1905. god., a njena ukupna dužina je 9.337 km.

Danas u svijetu postoji oko 1.500 000 km pruga. Oko 70% ukupne mreže željezničkih pruga izgrađeno je u Europi i Sjevernoj Americi. U Europi ima oko 370.000 km pruga. Najgušću željezničku mrežu s obzirom na teritorij ima Belgija. Najveću ukupnu duljinu imaju SAD i Rusija. Najelektrificirane željeznice ima Švicarska - 98%. Najveći promet putnika ima Japan. Najveći robni promet imaju Rusija i SAD.

Francuske željeznice imaju nekoliko super brzih vlakova s prosječnim brzinama iznad 150 km/h te s brzinom od 380 km/h na pruzi Pariz -Lyon.

Vlak TGV Atlantic (Train à Grande Vitesse) postigao je kod grada Toursa brzinu od 515,3 km/sat.



TGV Atlantic

Jedna od najpoznatijih brzih željeznic u svijetu je Tokaido željezница u Japanu (relacija Tokyo – Osaka) s vlakovima koji voze brzinom većom od 250 km/h Japanski magnetski levitirajući vlak postigao je tijekom pokusne vožnje brzinu od 603 km/h.



Vlak Shinkansen na relaciji Tokyo -Osak

## PODJELA ŽELJEZNICA

Podjela prema namjeni:

### A – Željeznice javnog prometa

#### 1) Željeznice dalekog prometa

- normalna širina kolosijeka (**1435 mm**) 70% pruga u svijetu
- uskotračne pruge 1067 mm – J. Afrika, Japan  
1000 mm - dijelovi Švicarske  
750 mm - dijelovi Indonezije
- širokotračne pruge 1524 mm – Rusija  
1665 mm – Portugal  
1667 mm - Španjolska

(Širina kolosijeka je razmak između unutarnjih rubova tračnica, a mjeri se na 14 mm ispod gornjeg ruba tračnice.)

#### 2) Željeznice bliskog prometa

- brze gradske željeznice – nadzemne i podzemne
- cestovne željeznice – tramvaji

### B – Željeznice koje ne služe javnom prometu

- 1) industrijski kolosijeci
- 2) provizorni i radni kolosijeci

Podjela prema tehničkim uređajima:

### A – Adhezione željeznice – vučna sila postiže se uz pomoć trenja između kotača i tračnica

- 1) klasične na dvije tračnice
- 2) jednotračne



### B – Specijalne željeznice

- 1) zupčaste
- 2) na principu lebdenja
- 3) žičane željeznice ( uspinjače i viseće žičare)



Pruge normalnog kolosijeka dijele se na:

- glavne pruge I reda
- glavne pruge II reda
- sporedne pruge III reda

RED PRUGE (RANG)	I			II			III
	Ia	Ib	Ic	IIa	IIb	IIc	III
<b>max v (km/h)</b>	140	120	100-120	80-100		60	
<b>max i (%)</b>	12	18	35	25	30	30	30
<b>min R (m)</b>	500	300	250	300	250	200	200
<b>dozv P (kN)</b>	220	200	180-200	180	180	180	160

### KONSTRUKTIVNI ELEMENTI ŽELJEZNIČKE PRUGE

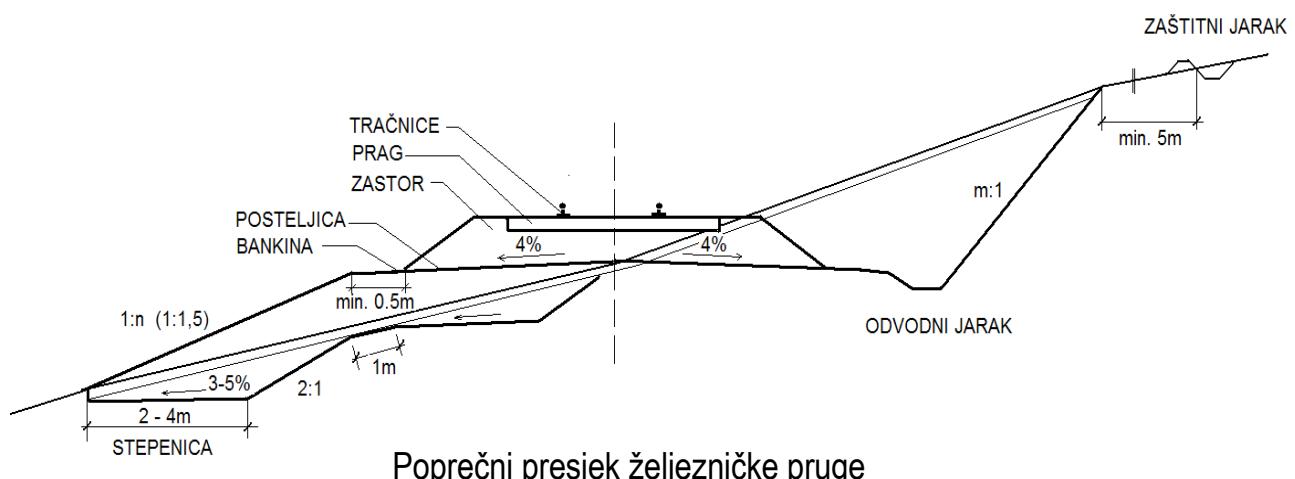
Željeznička pruga sastavljena je od donjeg i gornjeg ustroja te signalno – sigurnosnih uređaja.

U donji ustroj spadaju:

- zemljani radovi (nasip, usjek, zasjelek...)
- radovi osiguranja (potporni i uporni zidovi...)
- radovi zaštite (zaštita pokosa, odvodnja...)
- objekti u trupu pruge (mostovi, tuneli, propusti...)

Gornji ustroj pruge čine:

- tračnice s kolosiječnim priborom
- pragovi
- željeznički zastor



Kad je prirodni pad tla veći od 20 % u poprečnom presjeku, zbog opasnosti od klizanja nasipa izvode se stepenice ili temeljne stube.

# DONJI USTROJ ŽELJEZNIČKIH PRUGA

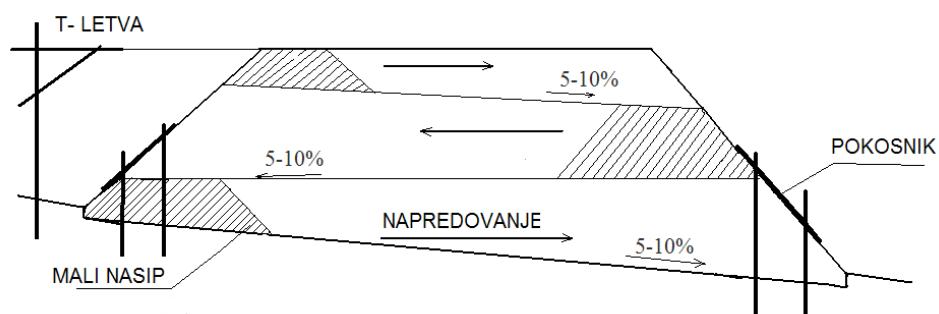
## POSTUPCI IZRADE NASIPA

### 1) Izrada nasipa na dobro nosivom tlu

Najefikasnija metoda kod izrade nasipa na dobro nosivom tlu je izrada nasipa u horizontalnim slojevima. Debljina pojedinog sloja u zbijenom stanju treba biti:

- kod sitnozrnatih koherentnih materijala (les, glina, prašina) 20 – 40 cm
- kod nevezanih materijala (pijesak, šljunak, drobljenac) 30 – 70 (100) cm

Radi bolje odvodnje slojeve je potrebno ugrađivati u odgovarajućem poprečnom nagibu, jednostranom ili dvostranom min. 5 -10 %.



Izrada nasipa u horizontalnim slojevima

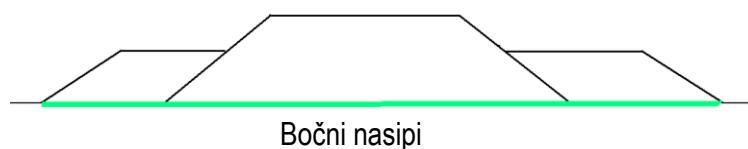
Pri izradi nasipa potrebno je poštovati sljedeća iskustvena pravila:

- a) stišljive i manje nosive materijale treba ugrađivati u niže slojeve nasipa kako bi se pod pritiskom gornjih slojeva i pri zbijanju postigla veća zbijenost
- b) zbijanje uvijek obavljati od rubova nasipa prema sredini kako bi se spriječilo istiskivanje materijala
- c) ne zbijati po kišnom vremenu naročito ako se radi sa sitnozrnatim koherentnim materijalima
- d) ne ugrađivati zaledene materijale i materijale u velikim grudama

### 2) Izrada nasipa na slabo nosivom tlu

Ukoliko je nasip potrebno graditi na stišljivom tlu nedovoljne nosivosti, postoji nekoliko konstruktivnih postupaka pomoću kojih će se osigurati stabilnost nasipa u toku izgradnje i povećati brzina konsolidacije tla.

- a) Proširenje nasipa izradom bočnih nasipa od istog materijala



Ovim se postupkom smanjuje pritisak na stišljivo tlo u osnovi nasipa zbog povećanja površine nalijeganja. Time se povećava stabilnost protiv sloma tla.

b) Ubrzanje konsolidacije privremenim preopterećenjem

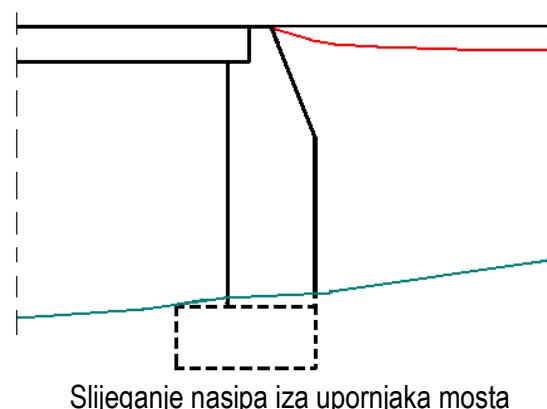
Na temeljno tlo nanosi se dodatno opterećenje nasipavanjem materijala bez zbijanja koji se zadržava tako dugo dok se ne postignu predviđena slijeganja u tlu. Nakon toga se dodatno opterećenje uklanja i pristupa se zbijanju nasipa te izradi gornjeg ustroja.

c) Djelomična ili potpuna zamjena stišljivog temeljnog tla materijalom za izradu nasipa

Ukoliko se ni dodavanjem bočnih nasipa niti privremenim preopterećenjem ne mogu postići zadovoljavajući rezultati i osigurati stabilnost nasipa, pristupa se djelomičnoj ili potpunoj zamjeni temeljnog tla materijalom za izradu nasipa (najčešće nekim šljunkovitim ili pjeskovitim materijalom).

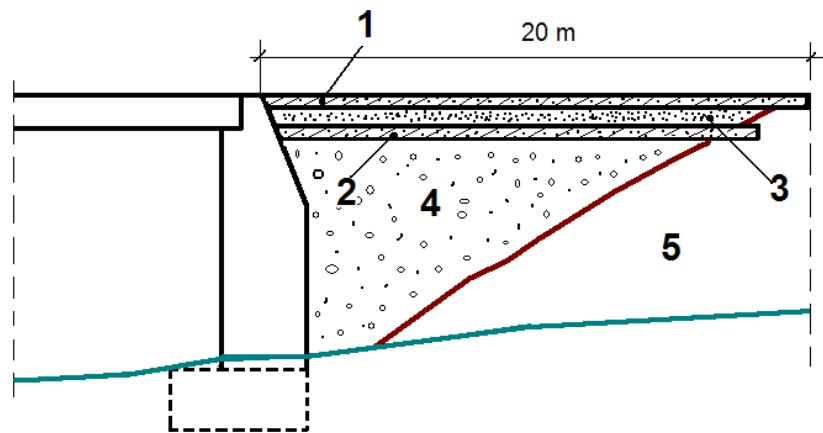
### 3) Izrada nasipa uz objekte

Objektu u trupu pruge - nasipu ili usjeku (mostovi, propusti, zidovi) prekidaju kontinuitet izgradnje i stvaraju zone drukčije nosivosti. Nasip se tokom vremena sliježe zbog nedovoljne zbijenosti ili zbog slijeganja temeljnog tla tako da se na prijelazu s nasipa na objekt stvara neka vrsta stepenice ili skoka.

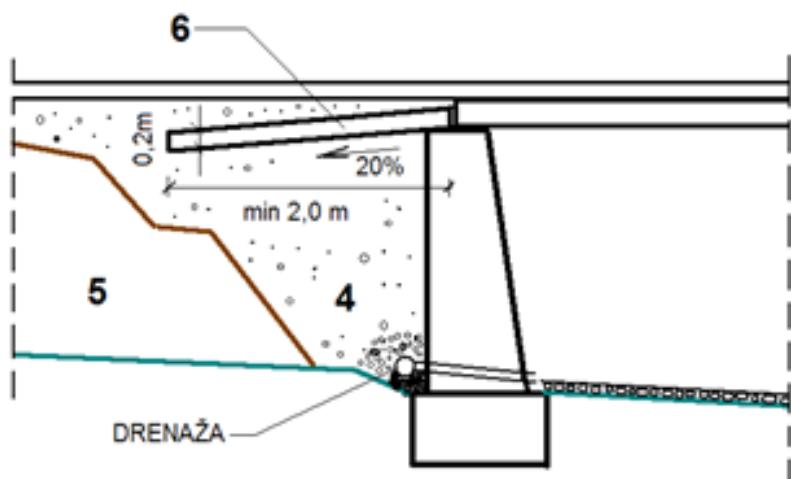


Ova se štetna pojava može izbjegći primjenom neke od sljedećih tehničkih mjera:

- korištenjem dobrog materijala za ispunu iza objekta
- primjenom prijelaznih ploča
- ispravnim načinom odvodnje vode iz posteljice i iza objekta



Korištenje dobrog materijala za ispunu iza upornjaka



Dodavanje prijelazne ploče i odvodnja vode iza upornjaka

- 1 i 2 – cementom stabilizirani šljunak (20 cm)
- 3 – pjeskoviti šljunak (25 cm)
- 4 – nevezani pjeskovito-šljunkoviti materijal
- 5. – zemljani materijal
- 6 – armirano-betonska ploča

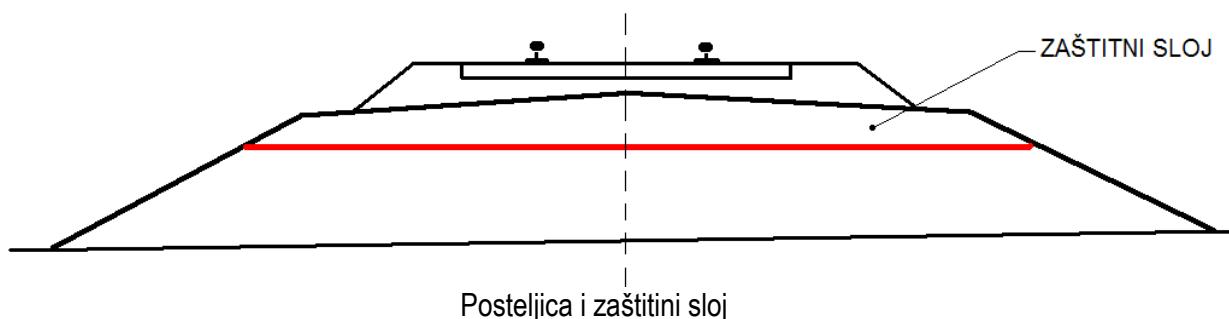
## POSTELJICA (RAVNIK) ŽELJEZNIČKE PRUGE I ZAŠTITNI SLOJ

Posteljica (ravnik) zemljanih tijela i njena nosivost odlučujući je faktor o kojem ovisi kvaliteta i trajnost željezničke pruge. Nosivost posteljice provjerava se proctorovim pokusom u laboratoriju i kružnom pločom na terenu.

Kod proctorovog pokusa -zemljani se materijal zbija u standardnom kalupu te se mjeri suha prostorna masa i vlažnost pri zbijanju. Postupak se ponavlja više puta uz promjenu vlažnosti, a rezultati zbijanja ucrtavaju se u proctorov dijagram. Dobiva niz krivulja iz kojih se može odrediti optimalna vlažnost za zbijanje, utvrditi najpovoljnija debljina sloja za zbijanje i odabrati odgovarajući stroj.

Kod pokusa kružnom pločom određuje se modul stišljivosti **Ms** ( $MN/m^2$ ) koji treba iznositi minimalno  $60\text{ MN}/m^2$ .

Ispod posteljice pruge izvodi se zaštitni sloj (tampon) kojem je cilj spriječiti prodiranje vode u trup pruge, odnosno zaštитiti trup pruge od djelovanja mraza.



Od zaštitnog se sloja očekuje da bude:

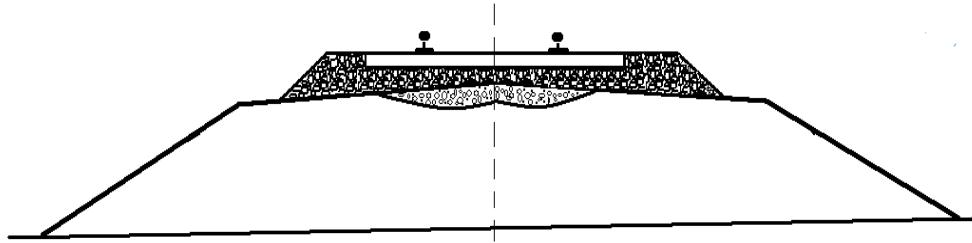
- vodonepropustan – da bi oborinska voda otjecala po posteljici prema jarcima za odvodnju
- dobre nosivosti
- u stanju dobro prigušiti vibracije kolosijeka
- postojan – ne smije sadržavati organske sastojke ni materijale koji se mijenjaju pod atmosferskim utjecajima

Zaštitni sloj može se izvesti od sljedećih materijala:

- nevezanog kamenog materijala propisanog granulometrijskog sastava i određenih fizikalno-mehaničkih svojstava (prirodni pijesak, šljunak, drobljeni kamen te mješavina ovih materijala) u debljini od oko  $50\text{ cm}$ .  $Ms = 60\text{ MN}/m^2$
- cementna stabilizacija (zrnati kameni materijal + cement  $/80\text{-}100\text{ kg}/m^3$  /+ voda) u debljini od  $15\text{ - }20\text{ cm}$ .  $Ms = 80\text{ - }100\text{ MN}/m^2$
- stabilizacija vapnom – pogodna je za glinovita tla. Dodaje se  $5\text{ - }8\%$  vapna, a ukupna debljina stabiliziranog sloja je  $15\text{ - }25\text{ (40) cm}$ .  $Ms = 60\text{-}80\text{ MN}/m^2$

## Deformacije posteljice

Na željezničkom trupu vrlo često dolazi do deformacija koje imaju za posljedicu slijeganje kolosijeka. Deformacije se najčešće javljaju u proljetnim i jesenskim mjesecima zbog vlaženja koherentnog tla nasipa i usjeka uslijed čega se tučenac iz zastora utiskuje u posteljicu i donji ustroj.

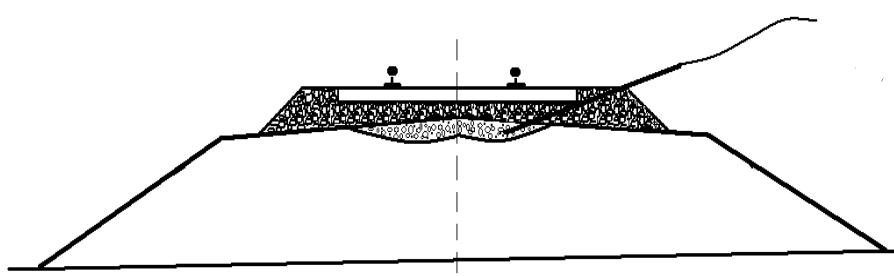


Deformirana posteljica

Ukoliko se ova štetna pojava ne uoči na vrijeme, utiskivanje zastora izazvat će slijeganje kolosijeka, a neravnine u kolosijeku povećavat će se uslijed velikih dinamičkih opterećenja. Kod najvećih deformacija, za vrijeme prolaska vlaka, iz kolosijeka može prskati blatna voda ili čak početi rasti trava.

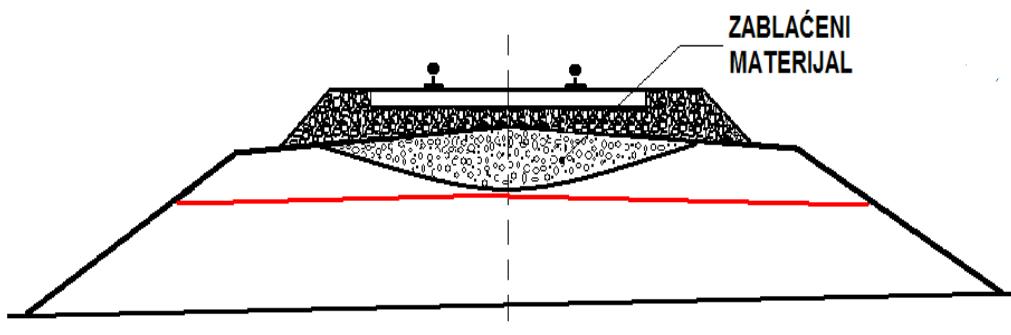
Ovisno o obliku koji se formira deformacije posteljice mogu biti:

- a) **zastorni džep** – sanira se injektiranjem hidrauličkog ili ugljikovodičnog veznog sredstva, tj. cementnog morta ili bitumena

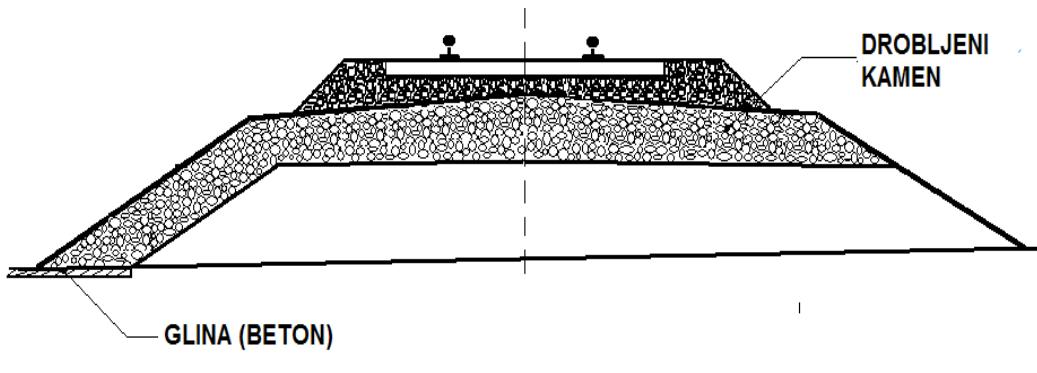


Sanacija zastornog džepa

- b) **zastorno korito** – sanira se zamjenom materijala u završnom sloju donjeg ustroja u debljini 30 - 50 cm te ugradnjom drenažnih rebara (prokapnica) od zrnatog kamenog materijala

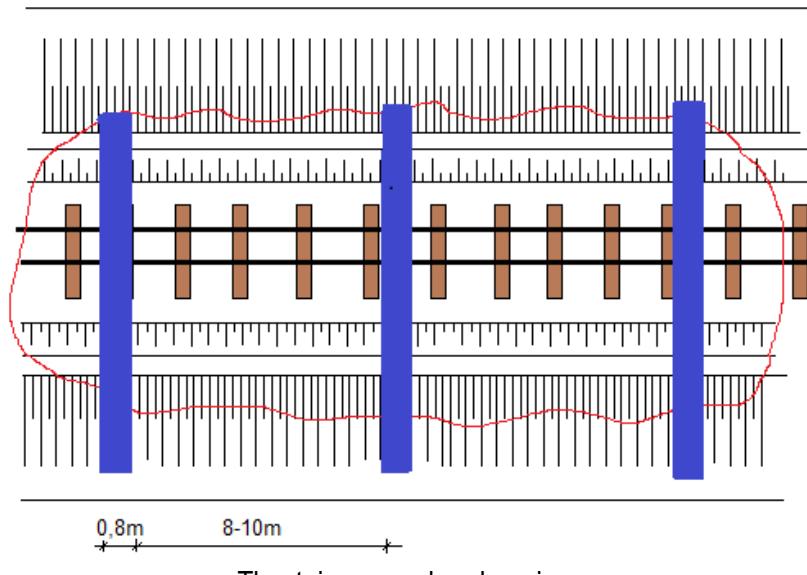


Zastorno korito



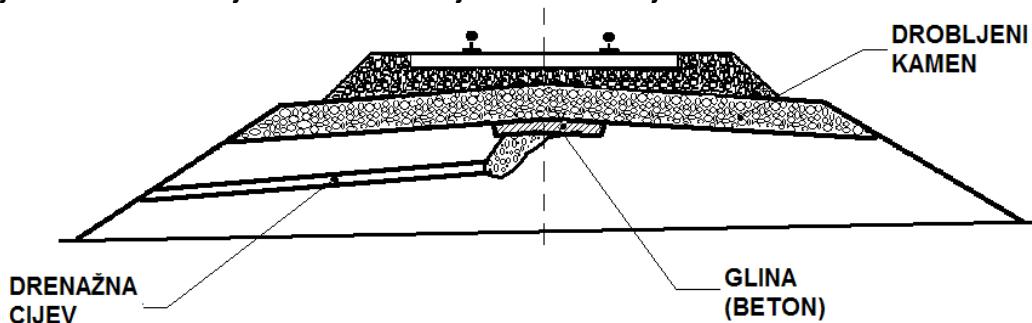
Gotova prokapnica

Prokapnice (drenažna rebra) izvode se u širini od 0,8 m, a najčešće postavljaju na razmaku od 8 - 10 m.



Tlocrtni raspored prokapnica

**c) zastorna vreća** - sanira se zamjenom zablaćenog materijala zrnatim kamenim materijalom te dodavanjem drenažnih cijevi za odvodnju suvišne vode



Sanacija zastorne vreće



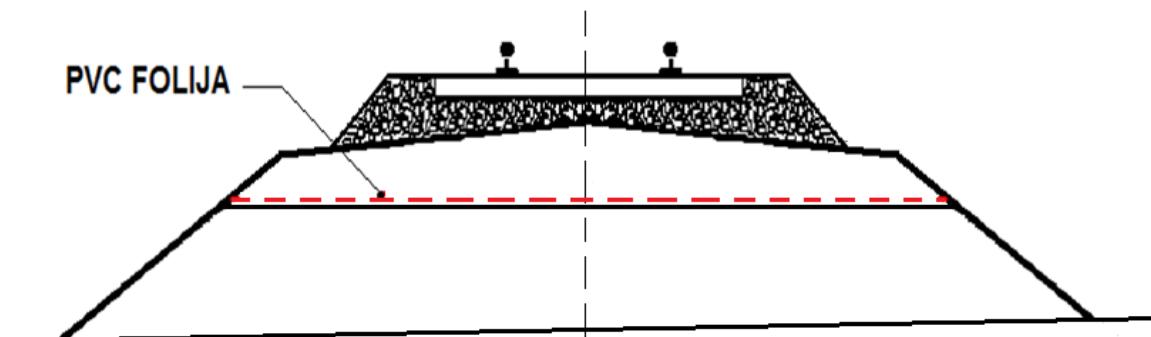
Posljedice deformirane posteljice na pruzi Lupoglav – Štalije (Istra)

### Preventivna zaštita posteljice

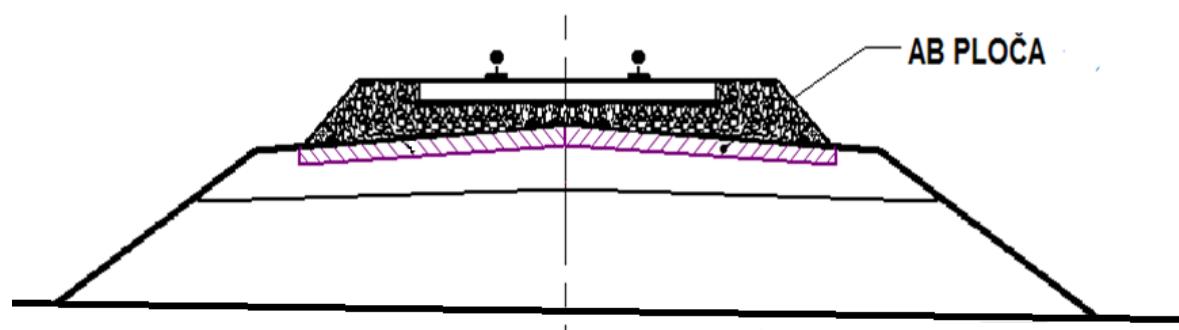
Kako bi se spriječio kasniji nastanak deformacija posteljice, tijekom samog izvođenja nasipa posteljicu se može preventivno zaštititi.

Zaštita se vrši polaganjem tamponskog sloja ispod zastora u koji se preporuča ubaciti PVC folija koja će štititi od djelovanja vode.

Ukoliko se ustanovi da posteljica neće imati dovoljnu nosivost, preporuča se izvesti ojačanje polaganjam AB ploča.



Preventivna zaštita posteljice PVC folijom

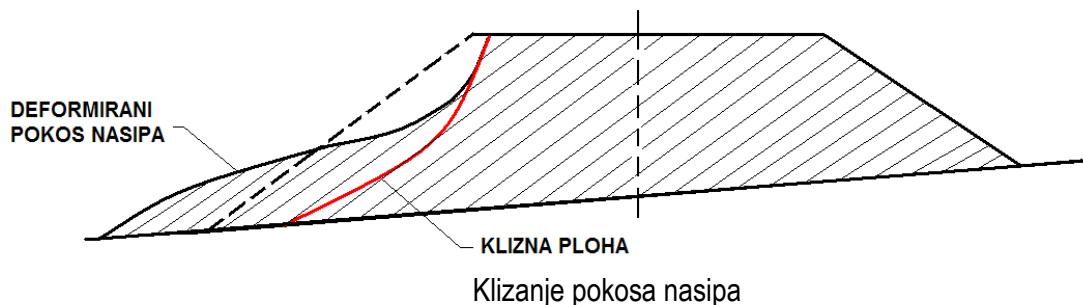


Ojačanje posteljice pomoću AB ploče

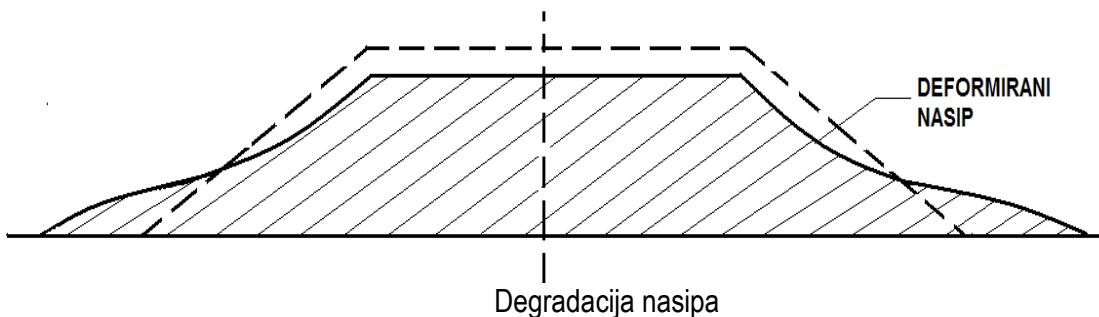
## DEFORMACIJE TRUPA PRUGE

Najčešće deformacije zemljjanog trupa su:

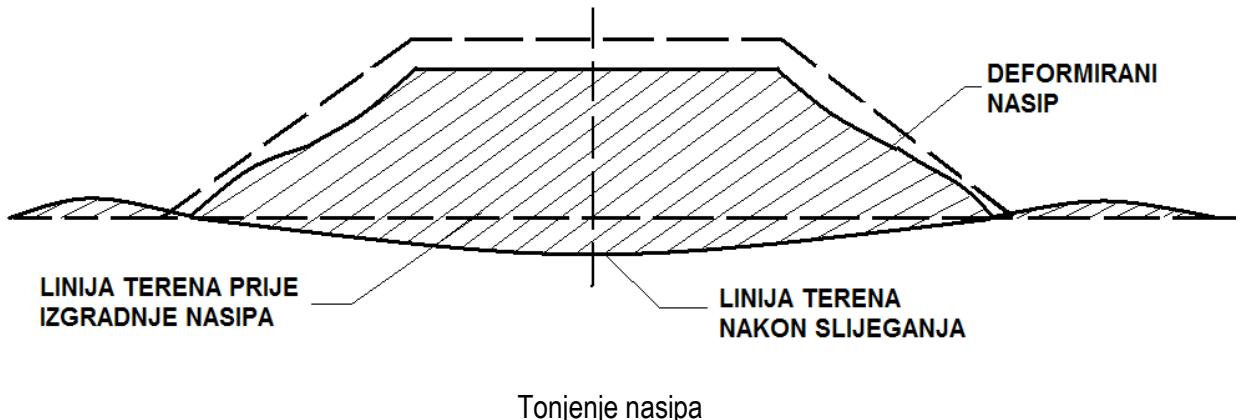
- 1) **Klizanje ili otkidanje pokosa usjeka ili nasipa** koje nastaje kao posljedica smanjenja kohezije, raznih dinamičkih djelovanja (potres), djelovanja mraza, vlaženja uslijed odmrzavanja, loše odvodnje i erozije.



- 2) **Degradacija nasipa** posljedica je nepovoljnih geotehničkih karakteristika sitnozrnatog koherentnog tla ili neodgovarajućeg ugrađivanja (miješanje materijala različitih geotehničkih karakteristika, jako vlažnih ili smrznutih materijala, glinovitih materijala u obliku gruda, izgradnje nasipa sa čela bez zbrijanja ili zbog neujednačene zbrijenosti).



- 3) **Tonjenje nasipa** nastaje uslijed slijeganja terena pod opterećenjem nasipa i prometa kao posljedica nedovoljne nosivosti ili velike stišljivosti tla. Posljedica tonjenja je izdizanje tla uz nožicu nasipa.



## SANACIJA ZEMLJANOOG TRUPA PRUGE

U ovisnosti od vrste i stupnja deformacija, primjenjuju se i različiti načini sanacije trupa pruge. U slučaju oštećenja nastalih od klizanja kosina, površinskih erozija i otkidanja materijala primjenjuju se različiti postupci biološke i mehaničke zaštite.

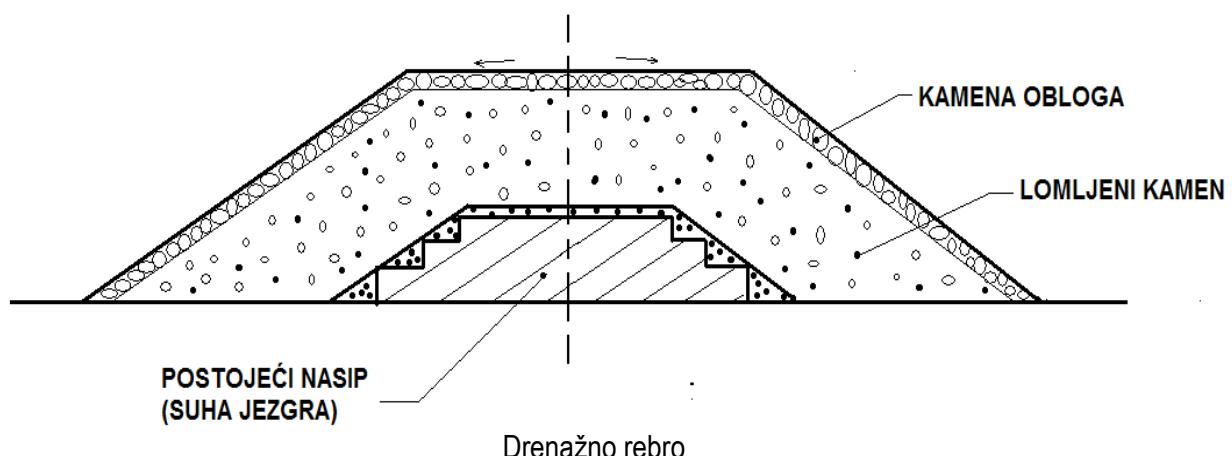
U zemljanim materijalima najčešće se primjenjuje:

- a) zasijavanje kosina travom
- b) oblaganje kosina busenjem
- c) sađenje drveća
- d) pleter

Ako je zemljani trup izведен od kamenog materijala zaštita pokosa izvodi se:

- a) kamenom oblogom
- b) žičanom mrežom
- c) žičanom mrežom i prskanim betonom
- d) obložnim zidovima

Sanacija nasipa koji se degradirao moguća je uz pomoć drenažnih rebara koja se postavljaju na međusobnim razmacima od 6 – 8 metara.



Tonjenje nasipa može se sprječiti izgradnjom bočnih nasipa sa strane, no ako do ove deformacije ipak dođe tada će na tom potezu pruge biti potrebna zamjena temeljnog tla kvalitetnim šljunkovitim ili pjeskovitim materijalom.

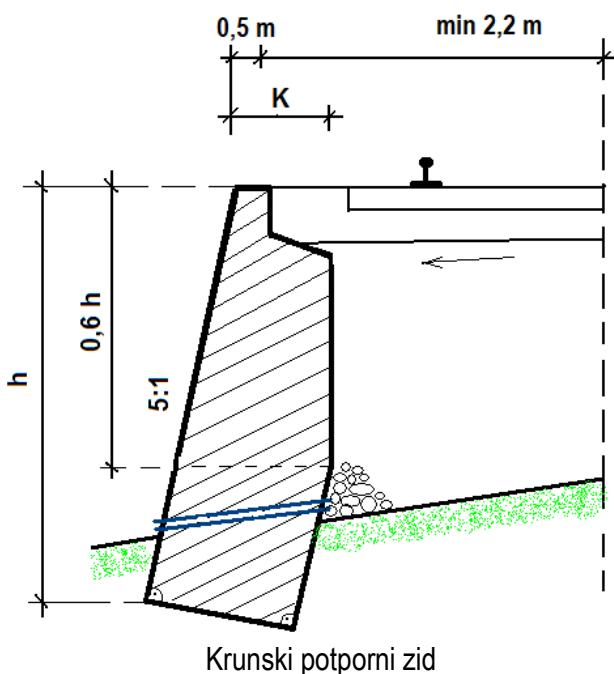
## POTPORNI I UPORNI ZDOVI

Uloga potpornih i upornih zidova je da svojom težinom prihvate pritisak zemljanih masa te održe u ravnoteži trup nasipa odnosno kosinu usjeka.

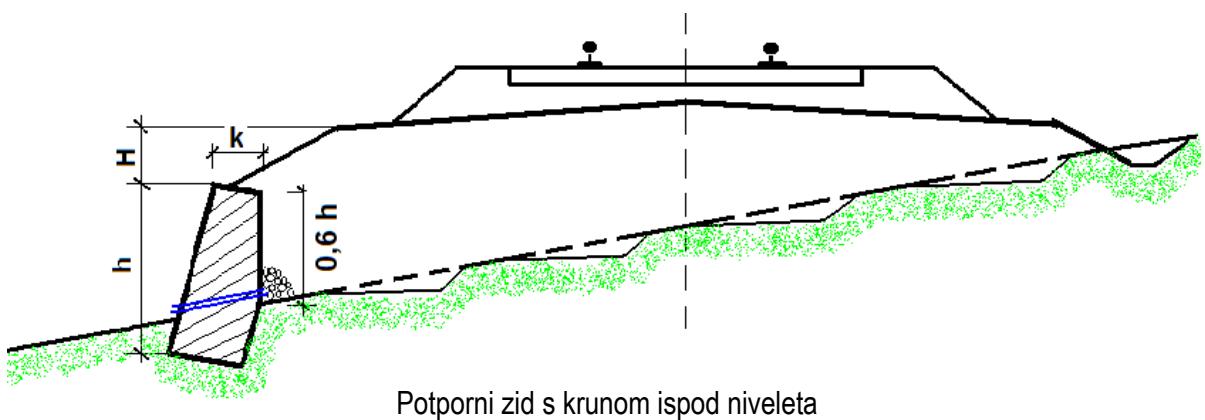
**Potporni zidovi** u nasipu primjenjuju se:

- kad se nagib terena i pokos nasipa se sijeku ili im je sjecište jako daleko
- kad treba smanjiti kubaturu nasipa
- kad treba smanjiti kosinu nasipa zbog blizine objekta pored pruge

Ako su padina terena i pokos nasipa približno istog nagiba potporni se zid izvodi s krunom u visini nivelete – tzv. krunski zid.



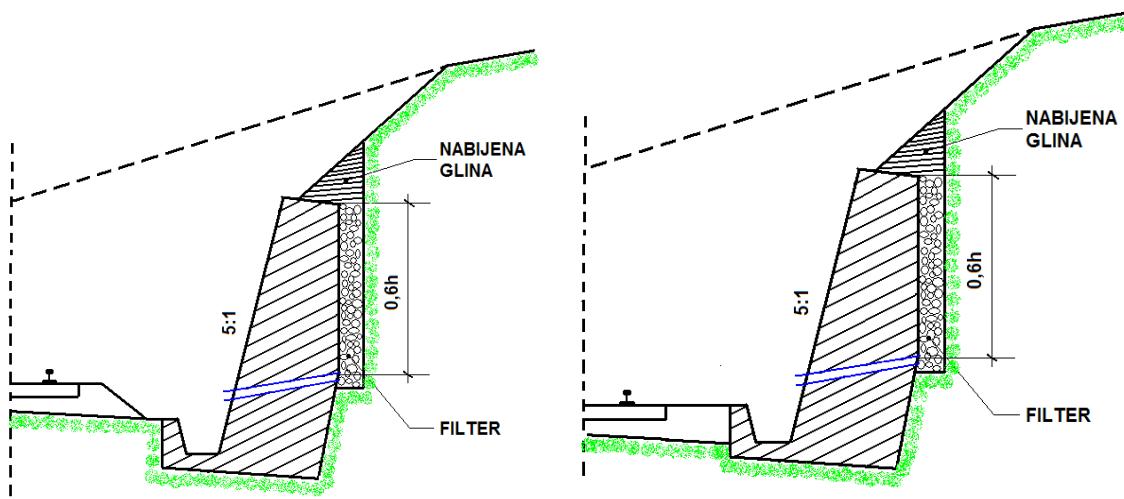
Ako je nagib padine terena manji od nagiba nasipa potporni se zid postavlja s krunom ispod niveleta.



**Uporni zidovi** u usjecima primjenjuju se u slučajevima:

- kad izradom zida smanjujemo kubaturu iskopa
- kod nestabilnog terena, radi osiguranja pokosa usjeka

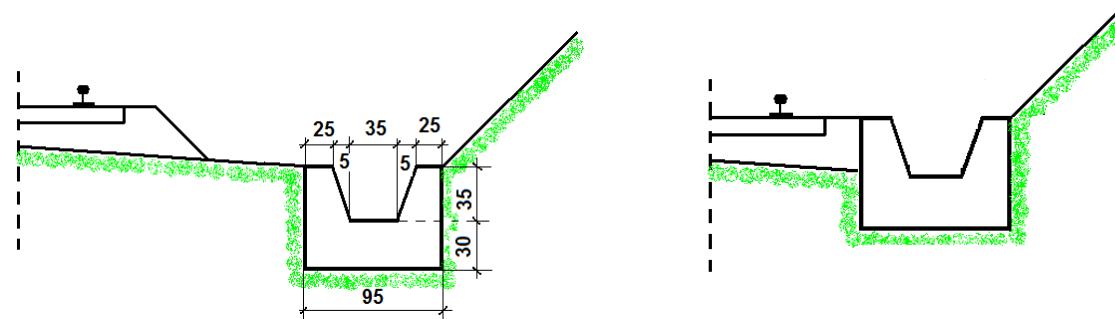
Izvode se najčešće u kombinaciji s odvodnim jarcima s tim da gornja površina jarka može biti u visini posteljice ili u visini gornjeg ruba kolosijeka.



Jarak u visini posteljice

Jarak u visini gornjeg ruba kolosijeka

U slučaju da je potrebno osigurati samo nožicu usjeka od urušavanja, a nije potrebno raditi uporni zid, mogu se izvesti ojačani jaci i to do visine posteljice ili do visine gornjeg ruba praga.



Ojačani jaci za odvodnju

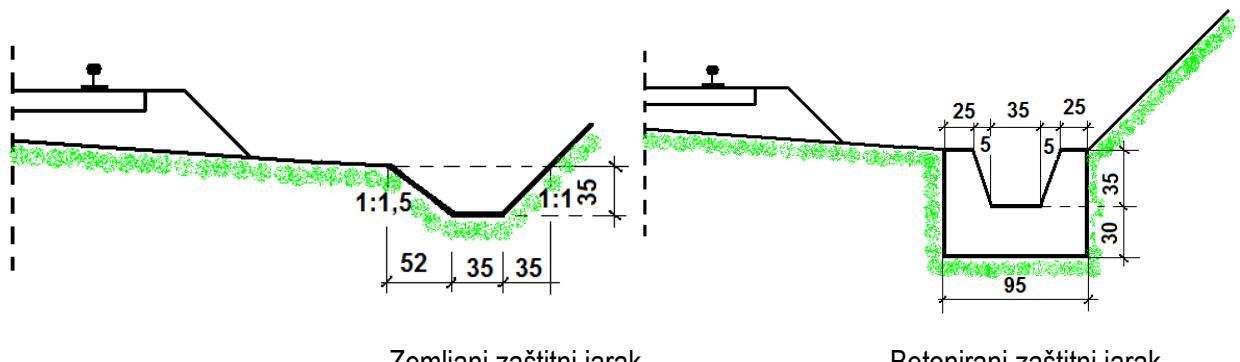
## ODVODNJA TRUPA PRUGE

Sustav odvodnje i dreniranja projektira se tako da se površinske i podzemne vode najkraćim i najlakšim putem odvedu s bilo kojeg mesta trupa pruge do mesta na kojem više ne predstavljaju opasnost za objekt u toku njegovog korištenja.

Ovisno o vrsti vode koju treba odvesti razlikujemo površinsku i podzemnu odvodnju.

**Površinska odvodnja** izvodi se radi prihvaćanja i odvodnje atmosferske vode s trupa pruge otvorenim kanalima najčešće trapeznog oblika čije dimenzije ovise o količini vode koju primaju, vrsti materijala od kojeg su napravljeni, uzdužnom nagibu i namjeni ( odvodni ili zaštitni kanali).

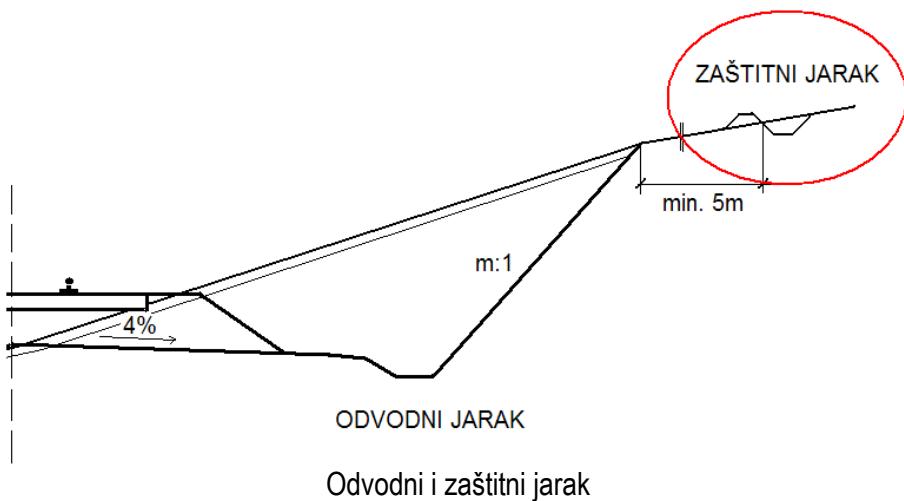
Ovodni kanali ili jarci izvode se uz posteljicu pruge u usjeku ili zasječku te uz višu nožicu nasipa. U uzdužnom profilu prate niveletu pruge (GRP), a poželjno je da budu u pravcu ili krivini velikog radijusa. Uzdužni nagib im je 2 – 25 %. Kod manjih nagiba ( 2 - 10 %), zbog sprečavanja taloženja mulja, kanali se betoniraju.



Zemljani zaštitni jarak

Betonirani zaštitni jarak

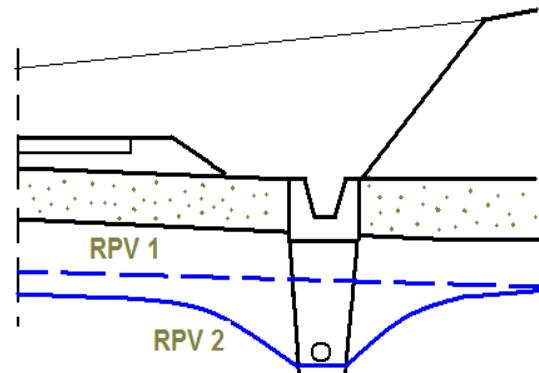
Zaštitni kanali ili jarci se projektiraju i izvode radi odvodnje terena uz trasu pruge, tj zbog sprječavanja ispiranja pokosa usjeka. Najčešće su trapeznog oblika, minimalne širine dna od 0,3 m.



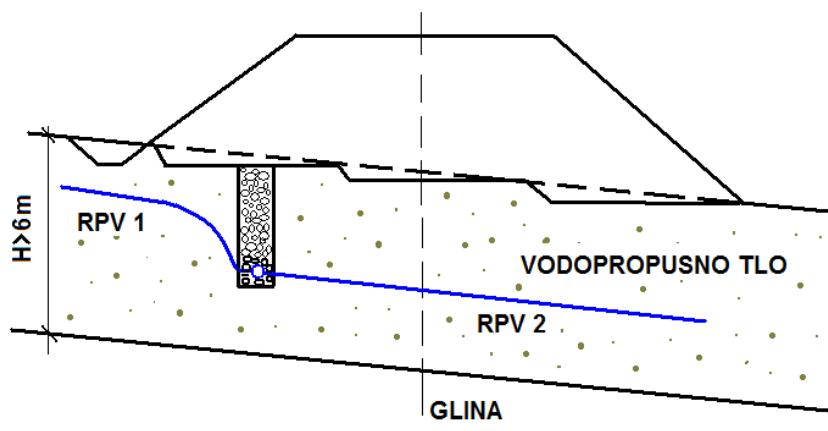
Ovodni i zaštitni jarak

**Podzemna odvodnja** mora se provoditi radi spuštanja razine podzemne vode ili prihvaćanja podzemne vode iz vodonosnih slojeva. Na taj se način poboljšava stabilnost objekata ili terena poremećene stabilnosti.

Spuštanje razine podzemne vode vrši se pomoću dubokih drenaža koje se postavljaju ispod odvodnih kanala ili u slobodnim površinama. Dubinu drenaže određuje razina podzemne vode.

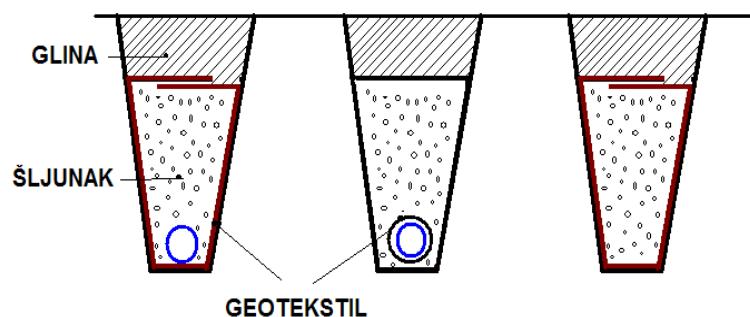


Duboka drenaža ispod odvodnog jarka



Duboka drenaža u slobodnoj površini

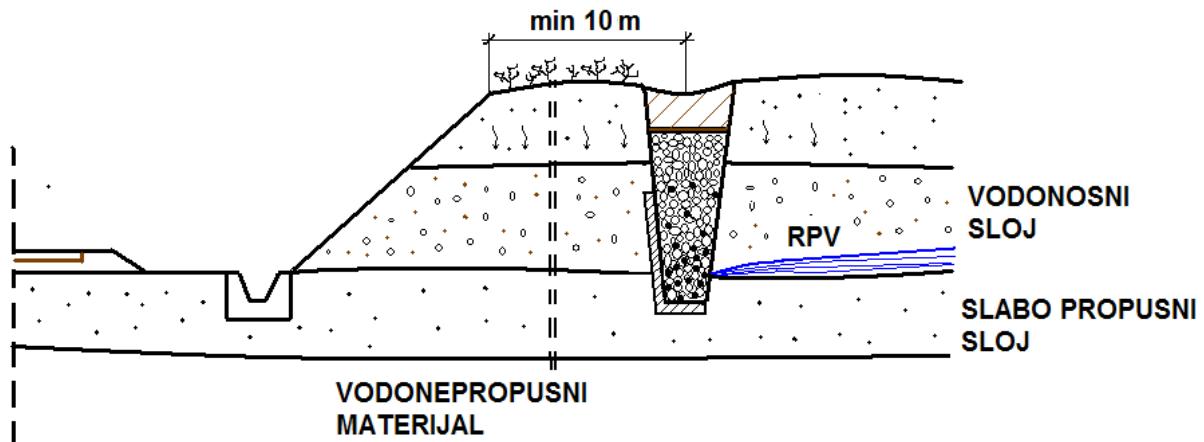
Kod izvedbe doboke drenaže dodaje se geotekstil kako bi se sprječilo miješanje filterskog sloja šljunka i zemljjanog materijala. Geoteksilom se može omotati drenažna cijev kako u nju ne bi ulazile sitne čestice materijala koje bi mogle dovesti do začepljenja.



Načini izvedbe dobokih drenaža

Prihvaćanje vode iz vodonosnog sloja i osiguranje trupa pruge potrebno je ako se izgradnjom usjeka presječe vodonosni sloj pa postoji opasnost od stvaranja klizne plohe i klizanja pokosa usjeka. Pri projektiranju drenaže mora se osigurati:

- da dno drenaže bude niže od maksimalni dubine djelovanja mraza
- da se dno ukopa oko 0,5 m u vodonepropusni sloj
- na bočnoj strani nasuprot onoj s koje pritječe voda treba izgraditi vodonepropusni sloj radi sprječavanja otjecanja vode kroz drenažnu ispunu



Duboka drenaža u usjeku

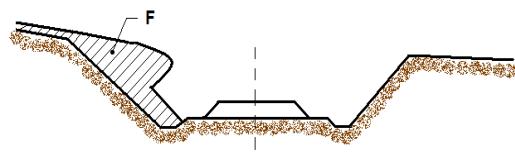
Na ovaj se način omogućuje da drenaža primi vodu sa strane, a isušuje se teren između drenaže i usjeka. Površina terena ispred drenaže se izravna, zasadi pogodnim raslinjem, a na njoj se napravi zaštitni kanal na udaljenosti od minimalno 10 m od nožice usjeka.

## ZAŠTITA PRUGA OD SNJEŽNIH NANOSA

Pri projektiranju pruga uvijek treba izbjegavati mesta na kojima može doći do većih snježnih nanosa. Ukoliko to nije moguće, na tim mjestima treba predvidjeti određene mjere zaštite od snijega.

Veličina nanosa mjeri se površinom nataloženog snijega (F) u smjeru puhanja vjetra.

U našim krajevima veličina nanosa dostiže do  $50 \text{ m}^2$  (lička pruga), a u srednjoj Evropi prosječno  $25 - 30 \text{ m}^2$  mjestimično i  $100 \text{ m}^2$ .



Nataloženi snijeg u usjeku

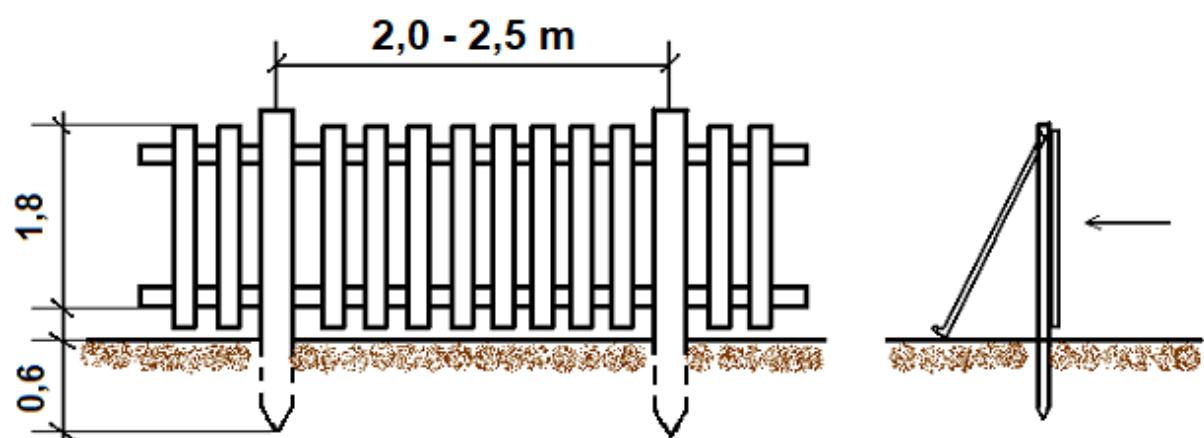
U praksi se pokazalo da kod nasipa visine iznad  $0,7 \text{ m}$  ne postoji opasnost od zatrpanjavanja pruge snijegom. Preporuča se da visina nasipa bude  $0,5 \text{ m}$  viša od normalne visine snijega u određenom području.

Puno je češće zatrpanjavanje pruge u usjecima pa se i zaštita sastoji uglavnom od zaštite usjeka.

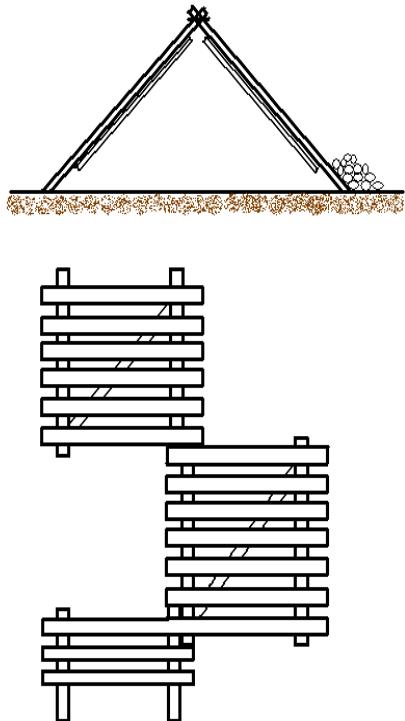
### Načini zaštite pruge

Pruga se najčešće štiti od nanosa postavljanjem posebno izgrađenih pregrada u smjeru puhanja vjetra. Pregrade mogu biti prijenosne ili stalne.

Prijenosne pregrade se rade u obliku ploča  $1,8 \times 2,0 \text{ m}$  ili  $1,8 \times 2,5 \text{ m}$ . Ploče se izrađuju od drvenih letvi širine  $6 - 10 \text{ cm}$  postavljenih vertikalno ili horizontalno s međusobnim razmakom tako da formiraju rešetku s  $35 - 50\%$  šupljina.



Prijenosne pregrade



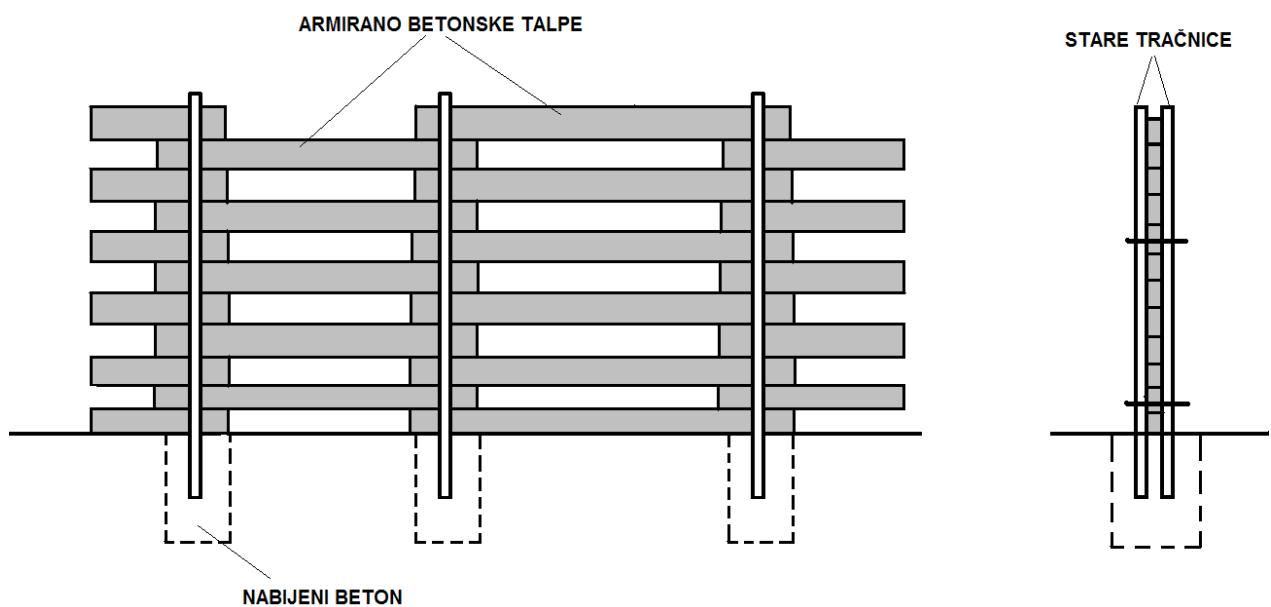
Ako se ne stigne pravovremeno zabititi kolce uslijed iznenadne pojave snježnih nanosa, pregrade se formiraju tako da se prijenosne ploče naslanjaju jedna na drugu u obliku šatorskog krila. Na gornjem kraju se međusobno povezuju žicom, a na donjem zasipaju zemljom ili opterete kamenjem.

Pregrade se postavljaju na udaljenosti od oko 30 m od osi pruge. Ako mečava traje dugo treba postaviti drugu paralelnu pregradu udaljenu 40 - 50 m od prve.

#### Postavljanje prijenosnih pregrada

Stalne pregrade se ugrađuju u tlo i ne prenose se. Mogu se izvesti od drveta, betona, zemlje itd. Najčešće su drvene, visine  $H = 4,0 - 9,0$  m, postavljene na udaljenosti  $(10-12) H$  od ruba usjeka.

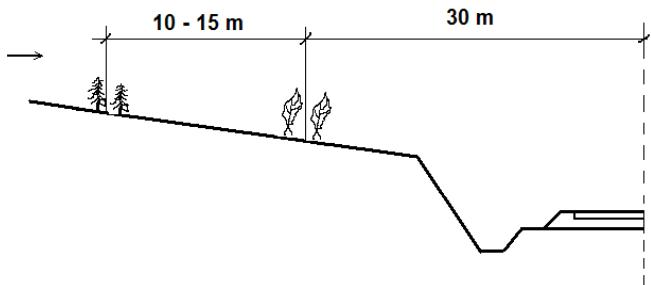
Stalne pregrade se mogu izvesti i od starih tračnica koje se koriste kao stupovi između kojih se kao ispuna ubacuju armirano-betonske talpe (ploče).



Stalne pregrade

### Zaštita pruga zasađivanjem

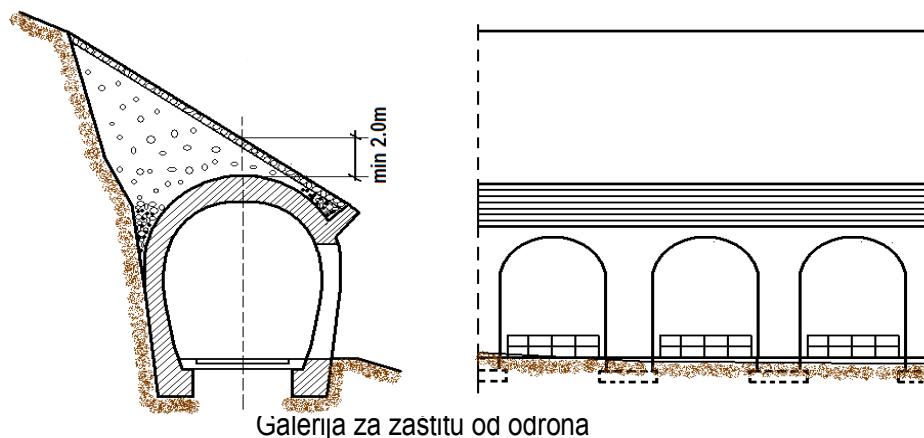
Za ovaj vid zaštite najpogodnija je crnogorica , najčešće smreka. Tamo gdje su nanosi slabi, dovoljno je posaditi dva reda sadnica na razmaku 0,7 – 1,0 m i to 30 m od osi pruge dok tamo gdje su nanosi veći, treba dodati još jednu traku žive ograde 10 – 15 m udaljenu od prve.



Zaštita pruga zasađivanjem

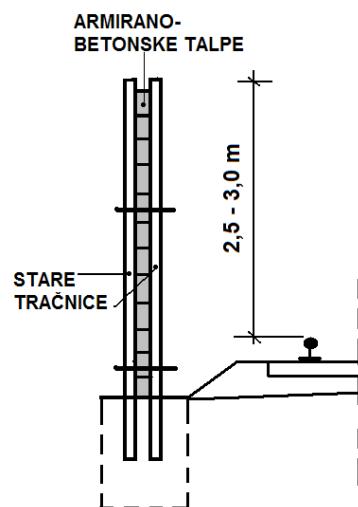
### ZAŠTITA PRUGA OD ODRONA KAMENJA

Najefikasniji način zaštite pruge od odrona je njezino prekrivanje galerijom koja se izvodi u obliku tunelske cijevi ili kao okvirna konstrukcija otvorena na strani okrenutoj padini. Galerije se prekrivaju nasutim kamenom tako da iznad osi pruge minimalna visina nasipa bude 2,0 m radi amortiziranja udara kamenja. Gornja površina nasutog materijala treba biti u što strmijem nagibu da bi se smanjili udari i omogućilo kotrljanje kamenja preko galerije.



### ZAŠTITA PRUGA OD VJETRA

Na mjestima gdje je pruga izložena jakim udarima vjetra postavljaju se čvrste pregrade koje dosežu visinu do gornjeg ruba prozora putničkog vagona. Sastoje se od stupova (starih tračnica) između kojih se ubacuju AB talpe ili pragovi.



## GORNI USTROJ ŽELJEZNIČKIH PRUGA

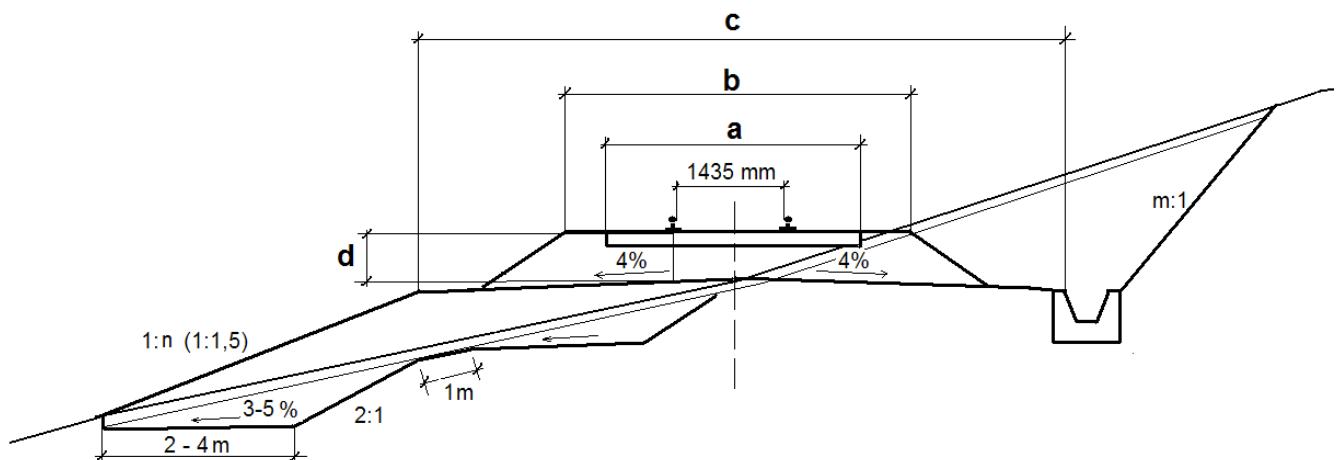
Za razliku od donjeg ustroja željezničke pruge koji se u osnovi ne razlikuje od donjeg ustroja ceste, gornji ustroj u potpunosti je drugačiji.

Elementi gornjeg ustroja željezničke pruge su:

- kolosiječni zastor
- pragovi
- tračnice
- kolosiječni pribor

Svojom izvedbom ovi elementi moraju omogućiti jednostavnu montažu i ugradnju te brzu i laku zamjenu.

### NORMALNI POPREČNI PROFIL ŽELJEZNIČKE PRUGE



Osnovne dimenzije elemenata gornjeg ustroja

	a (m)	b (m)	c (m)	d (m)
GL. PRUGA I REDA s drvenim pragovima	2,60	3,30	6,00	0,45
GL. PRUGA I REDA s betonskim pragovima	2,40	3,20	6,00	0,45
GL. PRUGA II REDA	2,50	3,20	5,40	0,40
SPOREDNA PRUGA	2,50	2,90	4,50	0,33

a – duljina praga

b – širina zastorne prizme

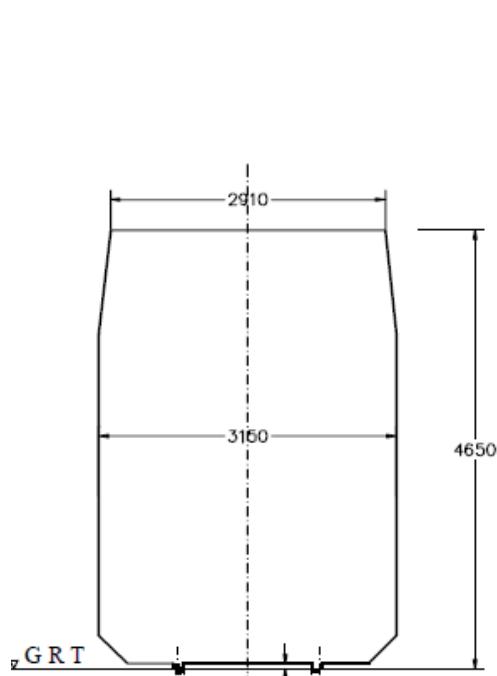
c – širina posteljice

d – visina zastora ispod tračnice

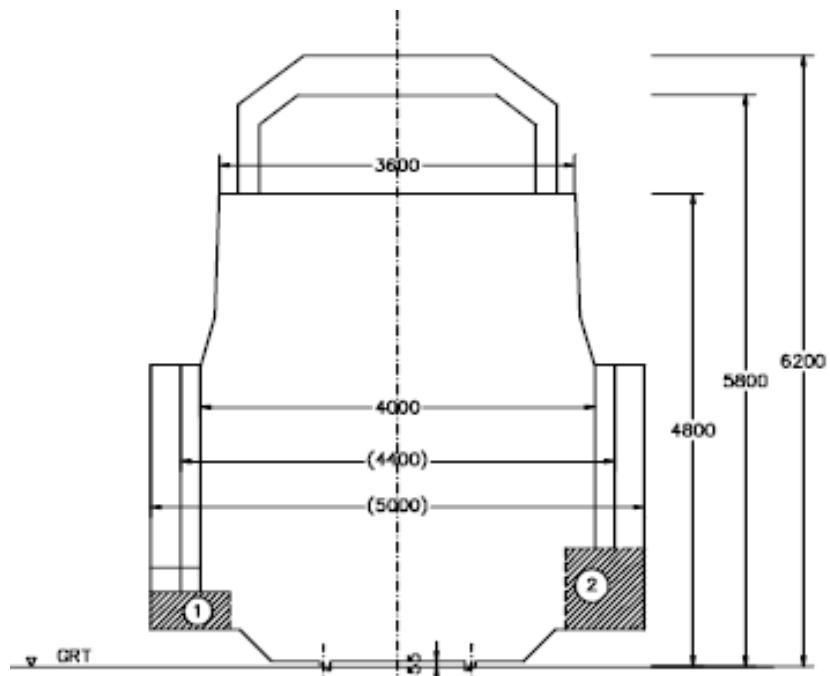
## TOVARNI I SLOBODNI PROFIL

**Tovarni profil** je ograničen prostor u poprečnom presjeku iz kojeg natovarena željeznička vozila ne smiju izlaziti niti jednim svojim dijelom.

**Slobodni profil** je ograničen prostor u poprečnom presjeku u koji ne smije ništa zadirati izvana (dijelovi uređaja i pružnih građevina, signali, itd.).



Tovarni profil



Slobodni profil

1 - ograničenje slobodnog prostora za smještaj perona

2 - ograničenje slobodnog prostora za smještaj utovarno-istovarnih rampi

5800 mm – visina za pantograf na postojećim prugama (iznimno i manje)

6200 mm – visina za pantograf za nove pruge

Slobodni profil je veći od tovarnog zbog:

- nepravilnosti na kolosijeku (geometriji)
- nepravilnosti u teretu
- prolaza kroz krivine
- sigurnosnih razloga
- grešaka na vozilima

## ŽELJEZNIČKI ZASTOR

Zadaci kolosiječnog zastora su:

- a) elastično i ravnomjerno prenošenje opterećenja s tračnica i pragova na planum i donji ustroj
- b) sprječavanje uzdužnog i vertikalnog pomicanja kolosijeka te osiguranje pravilnog položaja kolosijeka po smjeru i visini
- c) osiguravanje brzog otjecanja vode iz kolosijeka



Za izradu zastora kod nas se koristi kamen tučenac (tucanik), rijetko šljunak. Tučenac se dobiva drobljenjem eruptivnih stijena (bazalt, gablo, granit, diabaz itd.). U nedostatku eruptivnih, mogu se koristiti i sedimentne stijene (silikatni pješčenjak, vapnenci) te metamorfne stijene (gnajs, amfibolit). Kamen mora biti tvrd, žilav, otporan na mraz, ne smije upijati vodu i mora biti otporan na udarce pri strojnom podbijanju. Zrna tucanika moraju biti oštih bridova te imati približno jednake dimenzije u svim smjerovima (3 – 6 cm).

Za kontrolu kvalitete tucanika predviđaju se sljedeća ispitivanja:

### Petrografsко-mineraloška ispitivanja

- vrsta kamena (mineraloški sastav)
- struktura i veličina zrna
- raspucanost, šupljine i pore

### Otpornost na smrzavanje

Upijanje vode smije iznositi 0,1 do 0,7 % od težine suhog uzorka. Kada je upijanje veće od 0,5 % potrebno je ispitati otpornost kamena na smrzavanje. Ispitivanje se provodi u 10 ciklusa smrzavanja i odmrzavanja vodom natopljenog uzorka kamena pri temperaturama od  $-17,5^{\circ}\text{C}$  do  $+20^{\circ}\text{C}$ . Nakon završetka ispitivanja agregat se pregledava, traže se pukotine, mjeri se gubitak mase, a po potrebi i promjena čvrstoće.

### Otpornost na udare i drobljenje

Ispitivanje se provodi u bubenju koji rotira. Prije početka ispitivanja izmjeri se postotak sitne frakcije  $F_0$ . Kamen se ubaci u bubanj te se nakon određenog broja okreaja bubenja ponovno mjeri postotak sitne frakcije  $F_1$ . Otpornosti na udar i drobljenje dobije se iz izraza:  $D = F_1 - F_0$ . Prema propisima, veličina D smije iznositi od 0,5 do 1,3 %.

### Otpornost (čvrstoća) na pritisak

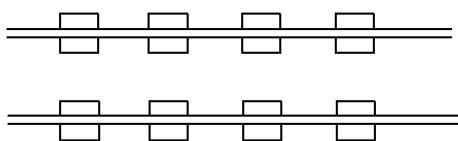
Ispitivanje se vrši na probnim kockama. Čvrstoća koja se mora dobiti kreće se u rasponu od  $15\,000 \text{ N/cm}^2$  (vapnenci) do  $40\,000 \text{ N/cm}^2$  (eruptivne stijene).

## PRAGOVI

Uloga željezničkih pragova je ravnomjeran prijenos opterećenja s tračnica na zastor. S obzirom na materijal od kojeg su izrađeni pragove dijelimo na: drvene, armirano-betonske, čelične i kombinirane.

### S obzirom na način oslanjanja tračnice na prag:

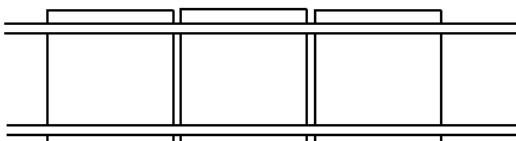
a) pojedinačni oslonci (nije osigurana konstantna širina kolosijeka, primjenjivani kod prvih kolosijeka, u rudnicima)



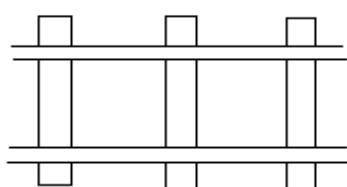
b) uzdužni pragovi (kolosijeci iznad jama, otežana odvodnja, nije osigurana širina kolosijeka)



c) specijalne AB ploče ( kod konstrukcije gornjeg ustroja bez zastora, gdje nije moguće osigurati gabarit klasičnom konstrukcijom kolosijeka)



d) poprečni pragovi



Danas su u primjeni u većini država svijeta iz sljedećih razloga:

- ekonomični (jeftiniji u odnosu na ostala rješenja)
- lako se izvode

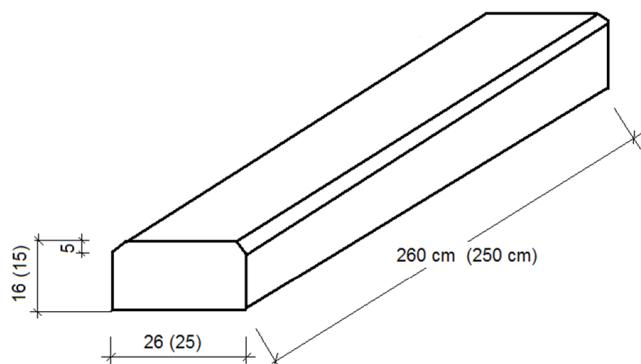
- jednostavno se regulira širina kolosijeka, nagib i visina tračnica
- jednostavno je održavanje kolosijeka (izmjena praga bez zastoja prometa)
- osiguravaju direktnu odvodnju
- jednostavno je pojačati kolosijek (dodavanjem pragova)

## Drveni pragovi

Prednosti drvenog praga u odnosu na ostale:

- jednostavna obrada
- lako izvođenje pričvršćenja tračnice na prag
- elastični prijenos sila na zastor i amortiziranje dinamičkih udara
- jednostavno održavanje (lako se podbija)

Na glavne pruge ugrađuju se pragovi iz tvrdog drveta (bukva, hrast) dok je primjena pragova od mekog drveta (bor, cer) jako mala zbog bržeg propadanja. Kod nas se upotrebljavaju drveni pragovi sljedećih dimenzija:



Oblik i dimenzije drvenog praga

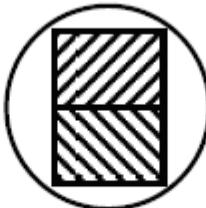


Kolosijek s drvenim pragovima

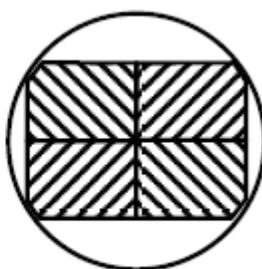
Poprečni presjeci drvenih pragova mogu biti oštih i tupih bridova. Ovisno o promjeru drveta koje se obrađuje i iz kojeg se dobivaju pragovi razlikujemo prag samac, dvojac i četverac.



PRAG SAMAC



PRAG DVOJAC



PRAG ČETVERAC

Da bi se produžio vijek trajanja drvenog praga potrebno ga je zaštititi od truljenja. Zaštita se vrši impregnacijom pri čemu se u pore drveta utiskuju antiseptička sredstva koja sprječava razvitak gljivica i štetno djelovanje insekata.

Razlikujemo antiseptike topive u vodi (cink klorid  $ZnCl_2$ , Volmanove soli, živin klorid  $HgCl_2$ ) i antiseptike netopiva u vodi (kreozot).

Impregnacija se vrši u čeličnom cilindru promjera 2 m i duljine 20 m. U prosušeno drvo prvo se 10 minuta utiskuje zrak pod pritiskom od 4 atmosfere, a nakon toga vruće kreozotno ulje pod pritiskom od 8 – 10 atmosfere i to 160 minuta. Prethodno utisnuti zrak sprječava da se pore u pragu napune impregnacijskim sredstvom već da ono samo obloži njegove stjenke .



Impregnacija drvenih pragova

TRAJNOST PRAGOVA (projekat trajanja u god)		
VRSTA DRVETA	NEIMPREGNIRANI	IMPREGNIRANI
HRAST	11	18
BUKVA	2.5	20
BOR	5	16

### Armirano-betonski pragovi

Ovi se pragovi danas sve više koriste zbog veće trajnosti te nestošica i visoke cijene drveta.

Prednosti betonskih pragova su :

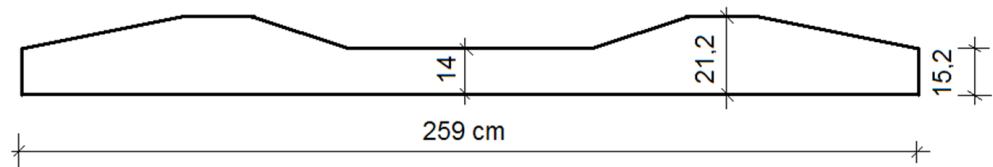
- veća trajnost (oko 60 god)
- velika čvrstoća
- otpornost na požar
- zbog velike težine (200-300 kg) ublažavaju uzdužno pomicanje tračnica uslijed temperturnih promjena te sila od kočenja i ubrzavanja (putovanje tračnica)

Nedostaci betonskih pragova su:

- neelastičnost u vertikalnom smislu
- osjetljivost na udarce
- potrebno mehanizirano polaganje i održavanje

S obzirom na način armiranja razlikujemo :

- a) pragove s klasičnom armaturom
- b) pragove s prednapregnutom armaturom



Dimenzije betonskog praga



Kolosijek s armirano-betonskim pragovima

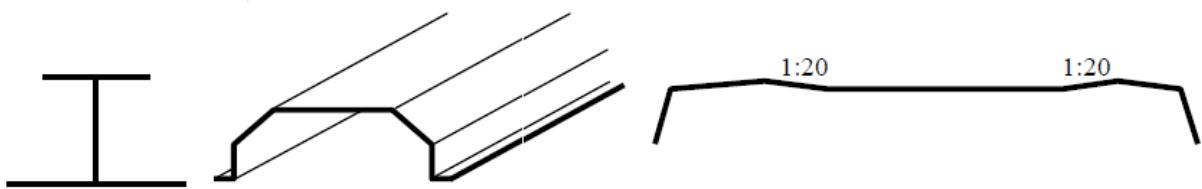
## Čelični pragovi

Nedostaci čeličnih pragova:

- otežana električna izolacija kod električne vuče
- zahtijevaju kvalitetan zastorni materijal
- vožnja preko kolosijeka sa čeličnim pragovima je bučna
- dosta su kruti, nemaju elastičnih svojstava kao drveni prag
- otežano održavanje geometrije kolosijeka

Prednosti čeličnih pragova:

- lagani su (lakši od AB i drvenih pragova)
- jednostavniji za transportiranje (pragovi se uklapaju jedan u drugi)
- jednostavna regeneracija (oštećeni dijelovi se uklone rezanjem te varenjem zamijene novim)



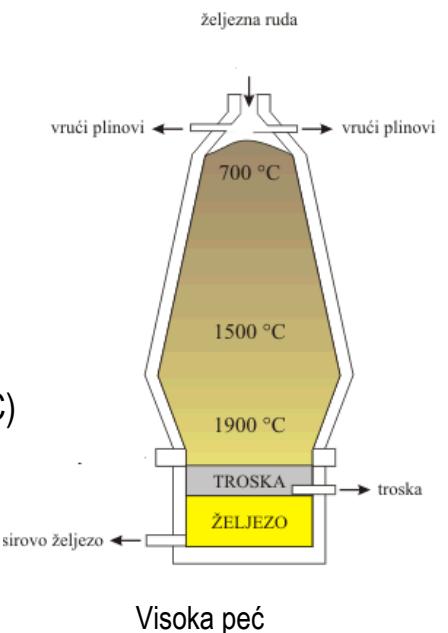
Vrste i oblici čeličnih pragova

## TRAČNICE S KOLOSIJEČNIM PRIBOROM

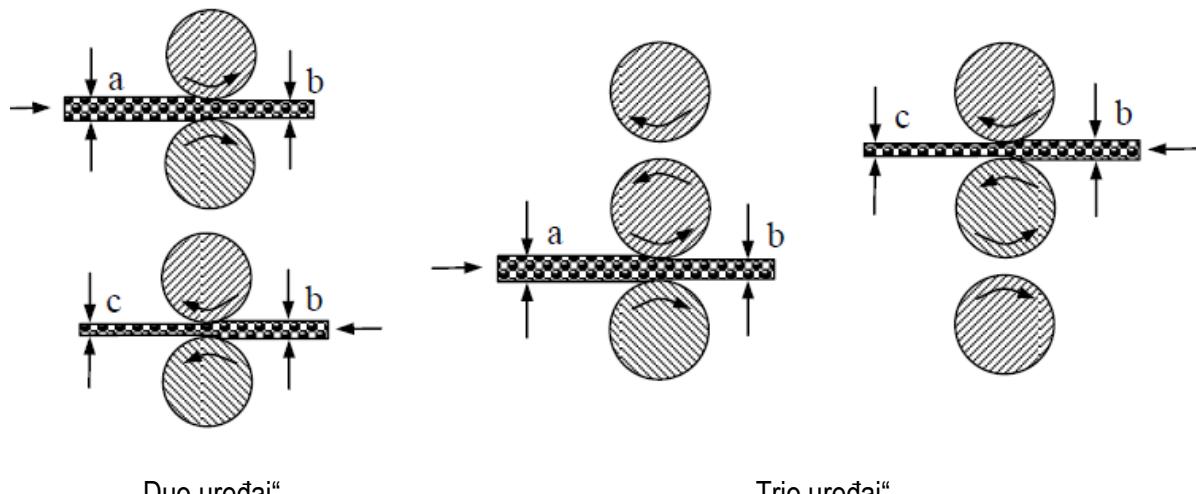
Tračnice služe za vođenje željezničkih vozila i prijenos opterećenja s kotača vozila na pragove.

Proizvode se u željezarama iz valjanog čelika. Željezna ruda se u visokim pećima zagrijava do tekućeg stanja. Dodaje joj se staro željezo, silicij i mangan radi povećanja čvrstoće i elastičnosti, a oslobađa se štetnih primjesa (fosfor i sumpor).

Zagrijana čelična masa lijeva se u kalupe KOKILE, djelomično se hlađe i dobivaju se odljevi INGOTI.  
(Ingot za tračnicu S49 ima dimenzije 65 x 65 x 220 cm)

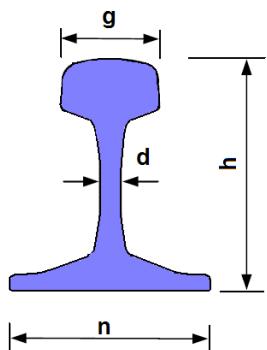


Ingoti se zatim valjaju (temperatura valjanja 1150 °C – 1250 °C) višekratnim prolazom između dva ili tri valjka i dobiva se konačan oblik tračnice.



## Oblici i dimenzije tračnica

### Vignol (Vinjol) tračnica

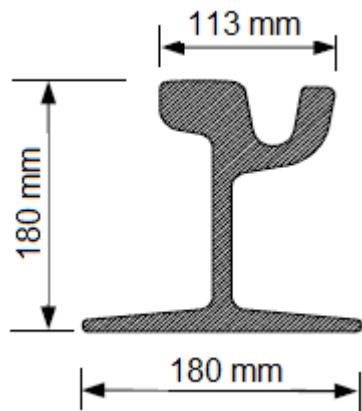
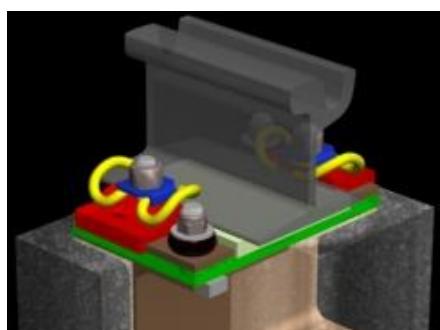


$h$  = visina tračnice  
 $g$  = širina glave tračnice  
 $n$  = širina nožice  
 $d$  = širina vrata

TIP TRAČNICE		$h$ (mm)	$g$ (mm)	$n$ (mm)	$d$ (mm)	$G$ (kg/m)
Stare oznake	Oznake prema EN					
S 49	49 E1	149	67	125	14	49,43
UIC 54E	54 E2	161	67	125	16	53,81
UIC 54	54 E1	159	70	140	16	54,43
UIC 60	60 E1	172	72	150	16,5	60,34

Na prugama HŽ standardni su tipovi tračnica S 49 (49 E1) i UIC 60 (60 E1).

**Tramvajska tračnica (žljebasta )** – žlijeb služi za vođenje vijenca kotača jer je gornji rub tračnice u ravnini s površinom kolnika ceste.



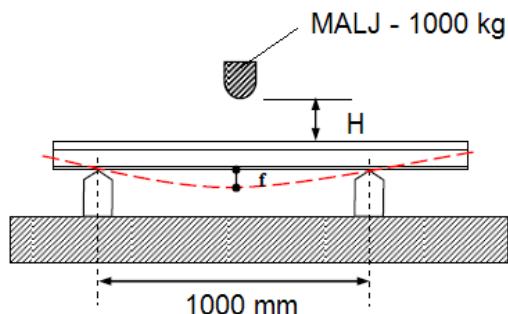
Prema kvaliteti čelika tračnice se dijele na:

KVALITETA	MINIMALNA VLAČNA ČVRSTOĆA (N/mm <sup>2</sup> )
NORMALNA KVALITETA	680
KVALITETA OTPORNA NA TROŠENJE	880
SPECIJALNA KVALITETA	1080 - 1400

Tračnice se proizvode u duljinama od 22 – 25 m, a prije ugradnje u kolosijek treba provesti sljedeća ispitivanja:

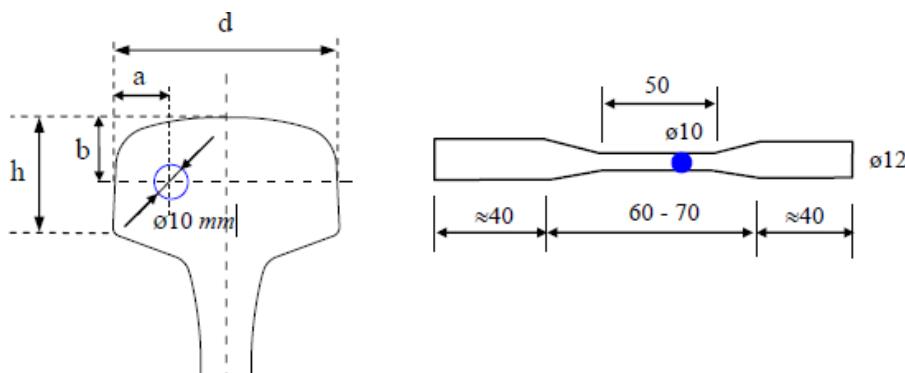
-**ispitivanje kemijskog sastava** –količine ugljika **C** (0,4 - 0,75 %), mangana **Mn** (0,8 - 1,7 %), silicija **Si** (0,05 -0,5 %), fosfora **P** (max 0,05 %), sumpora **S** (max 0,05 %) moraju odgovarati normama

-**ispitivanje na udar** – tračnica se postavi na oslonce na razmacima 1m i udara maljem mase 1000 kg. Nakon dva udarca malja ne smije biti oštećenja ni pukotina



Ispitivanje tračnice za udar

- **ispitivanje minimalne zatezne čvrstoće** – vrši se na epruvetama (uzorcima) izvađenim iz glave tračnice, a minimalna zatezna čvrstoća ovisno o kvaliteti čelika mora biti 680 - 880 N/mm<sup>2</sup>



Epruveta (uzorak) izvađena iz točno određenog mesta na tračnici

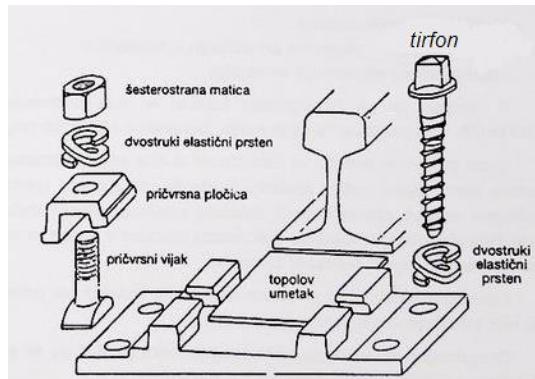
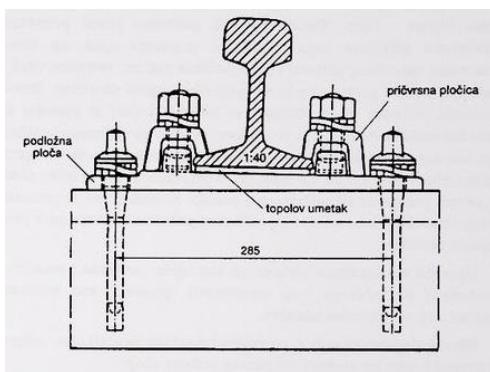
- **ispitivanje tvrdoće po Brinellu** – kuglica promjera 10 ili 25 mm utiskuje se 15 sekundi u glavu tračnice silom od 29 429 N, tj. 1 839 N. Očita se promjer udubljenja i uspoređuje s vrijednostima iz tablica (HB 200 - 319)

- **kontrola geometrije** (oblika, mjera i mase) - provjeravanje se vrši propisanim šablonama i mjerilima ( visina glave, širina glave i nožice)

### Pričvršćenje tračnice na prag

Tračnice se na pragove pričvršćuju pomoću kolosiječnog pribora koji omogućuje uzdužno pomicanje uslijed temperaturnih promjena, ali održava konstantan razmak između tračnica, tj. sprječava poprečne pomake – elastično pričvršćenje.

Postoji više načina pričvršćenja, a jedan od najčešćih na našim prugama je pričvršćenje pričvrsnim priborom tipa K.



Pričvrsni pribor tipa K (njemački sistem) - 24 kg čelika po pragu



Pribor za pričvršćenje čine:

**Podložna pločica** – smanjuje specifični pritisak i utiskivanje tračnice u prag

- omogućuje uzdužno pomicanje tračnice (manje trenje)
- daje nagib tračnici (25 :1) prema osi kolosijeka radi boljeg nalijeganja kotača na tračnicu i centriranja vozila

**Tirfon** – spaja podložnu pločicu s pragom

**Pričvrsni vijak i pričvrsna pločica** – spajaju tračnicu s podložnom pločicom

**Elastični prsten i topolov umetak** – omogućuju elastični prijenos sila

Ostali sistemi pričvršćenja:



Njemački sistemi SKL12 i SKL14



Pribor PANDROL – Velika Britanija



Pribor RN - Francuska

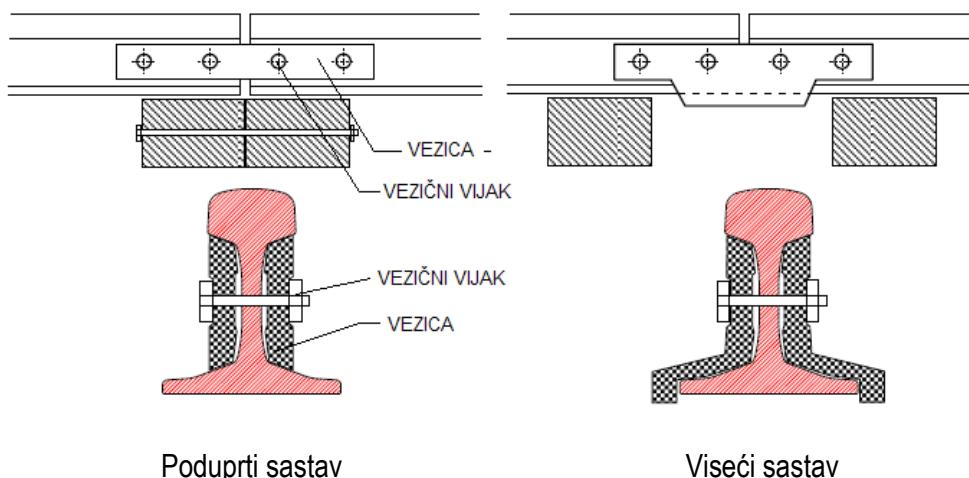
## Sastavi tračnica

Sastav tračnica je mjesto na kojem se jedna tračnica povezuje s drugom na način da im se vozni rubovi i površine kotrljanja podudaraju. To je jedna od najslabijih točaka na kolosijeku jer uzrokuje velika trošenja tračnica i kotača vozila pa se nizom konstrukcija nastojalo problem trošenja što povoljnije riješiti. Tako su nastali kosi, stepenasti i normalni sastavi tračnica.

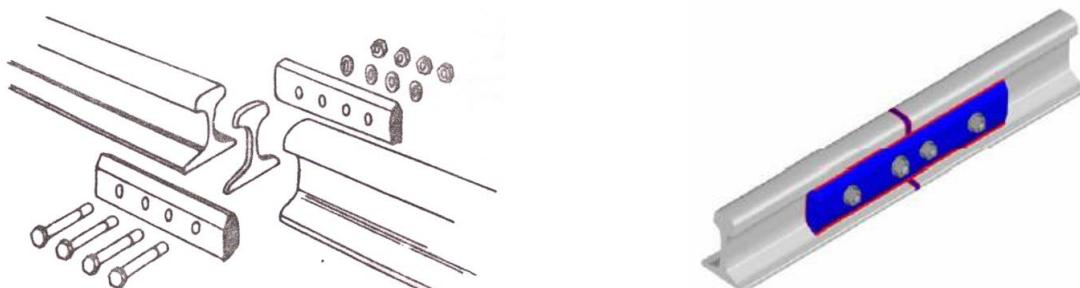


Najbolje rješenje i najmanje trošenje tračnica je kod kolosijeka bez sastava, tj. kontinuirano zavarenog kolosijeka. No postoje mjesta na pruzi kao što su stanični kolosijeci i manje važne pruge gdje se i dalje primjenjuje klasični sastav kod kojeg se tračnice spajaju putem vezica i vezičnih vijaka.

Prema načinu izvedbe sastavi mogu biti **poduprti** (na dva međusobno spojena praga) i **viseći** (pragovi su razmaknuti).



U sastave tračnica spada i **izolirani sastav** koji se koristi kod signalno-sigurnosnih postrojenja gdje je vozna tračnica provodnik struje pa se prolazom kotača zatvara strujni krug koji aktivira odgovarajuće električne uređaje. U tom slučaju izoliranim se sastavom određeni pružni odsjek izolira od ostatka kolosijeka.



Izolirani sastav tračnica

## Dilatacijski razmak između tračnica

Nastavljanje tračnica pomoću vezica i vezičnih vijaka predviđa dilatacijski razmak koji omogućuje stezanje i rastezanje svake tračnice. Maksimalna veličina dilatacije iznosi 20 mm, a određuje se prema temperaturi u tračnici, duljini tračnice, tipu kolosijeka i otporima koji se u kolosijeku javljaju.

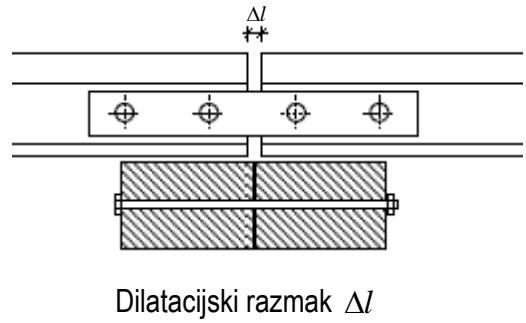
Ekstremne temperature koje se javljaju na našim željeznicama su +65 °C ljeti i (-5 °C do -30 °C) zimi.

Veličina dilatacijskog razmaka računa se po izrazu:

$$\Delta l = \alpha t \cdot \Delta t \cdot l$$

gdje je :

$$\Delta t = t_{\max} - t_{polaganja}$$



Dilatacijski razmak  $\Delta l$

$$t_{\max} = 65^{\circ} C,$$

$$t_{polaganja} = 15^{\circ} C$$

$l$  = duljina tračnice

$\alpha t$  = temperaturni koeficijent za čelik ( $1,15 \cdot 10^{-5}$  -  $1,2 \cdot 10^{-5}$ )

Primjer:

Treba izračunati dilatacijski razmak između tračnica ako je zadano:

- duljina tračnice 25 m
- maksimalna temperatura u tračnici 65 °C
- temperatura kod polaganja tračnica 15 °C
- $\alpha t$  = temperaturni koeficijent za čelik  $1,15 \cdot 10^{-5}$

Rješenje:

$$\Delta l = \alpha t \cdot \Delta t \cdot l$$

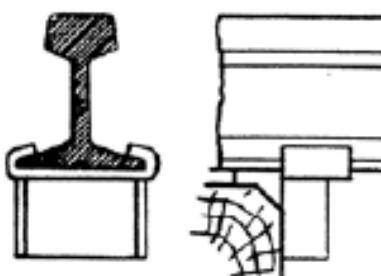
$$\Delta l = 1,15 \cdot 10^{-5} \cdot (65 - 15) \cdot 25000$$

$$\Delta l = 14,375 \text{ mm}$$

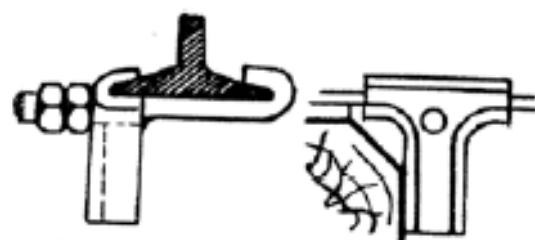
## Sprave protiv putovanja tračnica

Uzdužne sile u kolosijeku čiji su uzrok temperaturne promjene te kočenje i ubrzavanje vlakova dovode do pojave uzdužnog pomicanja ili „putovanja tračnica“ koje za posljedicu ima pomicanje cijelog gornjeg ustroja: pragova i zastora. Ova se štetna pojava ne može i ne smije u potpunosti spriječiti, ali se može ublažiti i to pomoću sprava protiv putovanja tračnica.

Ovaj dio kolosiječnog pribora pričvršćuje se svojim gornjim dijelom na nožicu (rijedje na vrat) tračnice, a donjim dijelom upire o prag. Kako se pragovi upiru o zastor na ovaj se način ublažava uzdužno pomicanje (putovanje) tračnica do kojeg dolazi zbog temperaturnih promjena i sila od ubrzavanja i kočenja. Sprave se pričvršćuju pomoću vijka ili se postavljaju na tračnicu u vrućem stanju tako da nakon hlađenja čvrsto prihvataju tračnicu.



sprava „Tomka“



sprava „Rambaher“

## Zadaci kolosiječnog pribora

- a) pričvršćenje tračnice na prag (podložne pločice, pričvrsne pločice i vijci, tifroni)
- b) smanjenje specifičnog pritiska tračnice na prag (podložna pločica)
- c) spajanje tračnica na sastavima (vezice i vezični vijci)
- d) sprječavanje putovanja tračnica (sprave protiv putovanja)
- e) omogućavanje upotrebe električnih sigurnosnih uređaja (izolacijske vezice i umetci)

## PRUGE BEZ DILATACIJA

Obzirom da na mjestima dilatacijskih sastava dolazi do najvećeg trošenja tračnica i kotača vozila, s vremenom se javila potreba za izvedbom pruga bez dilatacija. Umjesto spajanja vezicama i vijcima, tračnice su se počele zavarivati.

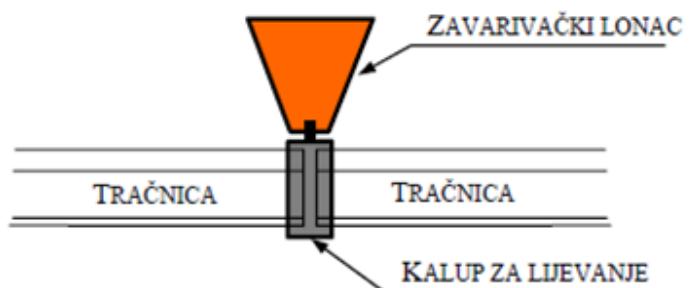
Varenje se izvodi direktno na gradilištu. Tračnice se slobodno polože na pripremljene pragove i zavare u polja duljine 250 - 300 m. Nakon toga se cijela dionica pričvrsti za pragove, uredi joj se smjer i nagib i zavari s drugom takvom dionicom u dugi tračnički trak (DTT) od po nekoliko kilometara. Zavarivanje se vrši na neutralnoj temperaturi od  $+15^{\circ}\text{C}$ . DTT se polaže isključivo na kvalitetan tučenac i na teške AB pragove te zahtijeva polumjere krivina koji su veći od 500 m.

### Zavarivanje tračnica

Elektrooporno zavarivanje - jedan od najkvalitetnijih postupaka zavarivanja koji se izvodi u radionicama, rijetko na terenu. Dužine na koje se tračnice mogu zavariti su 120 do 280 m.

Zavarivanje se izvodi izmjeničnim stezanjem i otpuštanjem krajeva tračnica kroz koje se propušta električna struja jačine  $I \approx 1000 \text{ A}$  i napona  $U = 6 - 15 \text{ V}$ . Nakon završenog postupka zavarivanja vrši se obrada varu (opsijecanje užarenog varu i brušenje hladnog varu) te njegovo ispitivanje.

Aluminotermijsko zavarivanje – izvodi se na terenu (u kolosijeku)



Postupak:

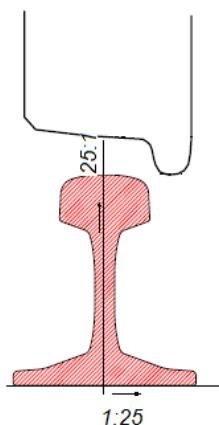
- poravnaju se krajevi tračnica Aluminotermijsko zavarivanje tračnica
- postavlja se kalup za lijevanje
- krajevi tračnica se predgrijavaju
- postavlja se zavarivački lonac ispunjen smjesom željeznog oksida i aluminija
- zapali se smjesa u loncu (nastaje burna kemija reakcija)
- rastaljena smjesa ispušta se u kalup za lijevanje
- kalup se otvara i čisti se var
- var se brusi

Prednosti zavarenih kolosijeka:

- a) uklanjanje dinamičkih udaraca (mirnija vožnja)
- b) ušteda čelika
- c) smanjenje troškova održavanja pruga za 25 %
- d) smanjenje troškova vuče vlakova zbog manjih otpora kretanju vozila
- e) smanjenje troškova održavanja vozila

## UREĐENJE KOLOSIJEKA U PRAVCU I KRIVINI

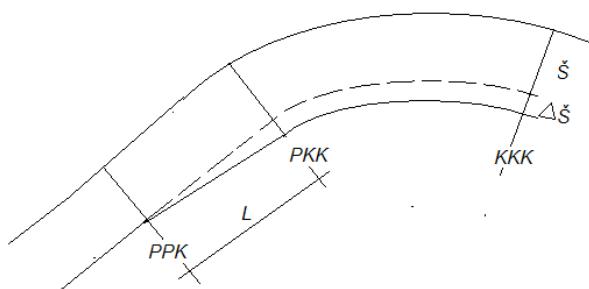
### Kolosijek u pravcu



- obje tračnice su na istoj visini
- razmak između tračnica je konstantan ( 1435 mm, a kod pruga za velike brzine  $v > 100 \text{ km/h}$  razmak je 1432 mm)
- kod novoizgrađenih pruga dozvoljeno odstupanje od propisane širine je  $\pm 3 \text{ mm}$
- tračnica je u odnosu na vertikalnu os blago nagnuta prema sredini kolosijeka zbog konusnog oblika vjenca kotača kako bi se težiste vozila održalo u sredini kolosijeka
- nagib tračnice od 25 : 1 osiguran je podložnom pločicom čija je nožica nejednake debeline

Kolosijek u krivini – radi lakšeg savladavanja zavoja na ovim je dijelovima željezničke pruge često potrebno izvesti proširenje i nadvišenje kolosijeka.

**a) proširenje kolosijeka** – u krivinama malog radijusa (manjeg od 300 m) širina kolosijeka se mora povećavati. Pri prolazu kroz krivinu željezničko se vozilo zbog krutog donjeg ustroja postavlja bočno pa je potreban veći razmak između tračnica. Na taj se način vozilima olakšava prolaz, smanjuje trenje i bočno trošenje (ojedanje) tračnica i kotača. Proširenje se izvodi postupnim odmicanjem unutrašnje tračnice na prostoru prijelazne krivine dok na prostoru kružne krivine zadržava konstantnu vrijednost. Maksimalna vrijednost proširenja iznosi 30 mm.



**b) nadvišenje kolosijeka** – radi ublažavanja djelovanja centrifugalne sile koja nastoji udaljiti vozilo od središta krivine, kod prolaza vozila kroz krivinu potrebno je vanjsku tračnicu nadvisiti u odnosu na unutrašnju da veličinu „ $h$ “.

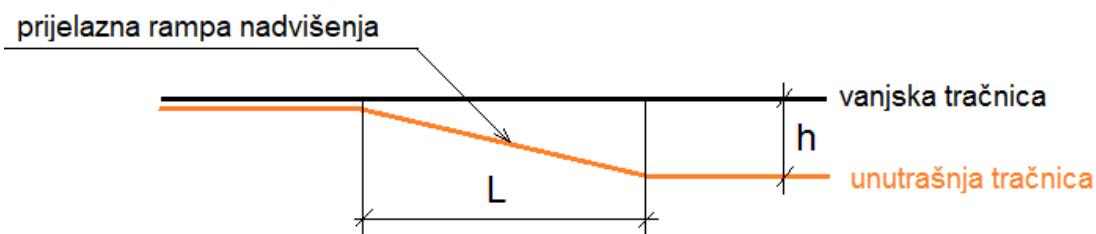
Nadvišenje ima punu vrijednost u kružnoj krivini, a postepena promjena od 0 do pune vrijednosti „ $h$ “ izvodi se u prijelaznoj rampi nadvišenja koja se najčešće podudara s duljinom prijelazne krivine.

Nadvišenje se može izvesti na tri načina:

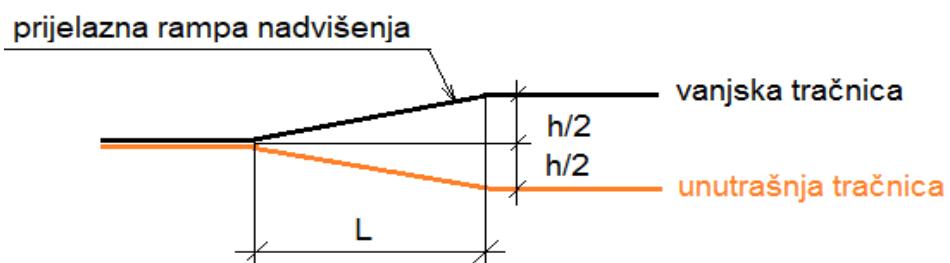
- 1) unutrašnja tračnica ostaje na nepromijenjenoj visini, a vanjska se diže za vrijednost „ $h$ “ (Ovakav se način primjenjuje na prugama HŽ)



- 2) vanjska tračnica ostaje na nepromijenjenoj visini, a unutarnja se spušta za vrijednost „ $h$ “



- 3) vanjska se tračnica diže, a unutarnja spušta za vrijednost „ $h/2$ “  
( Švicarske željeznice, Tokaido pruga u Japanu)



Veličina nadvišenja ovisi o radijusu krivine i maksimalnoj brzini.

- Normalno  $h = 8 \frac{v_{\max}^2}{R}$  (mm)
- Minimalno  $h_{\min} = 11,8 \frac{v_{\max}^2}{R} - 100$
- Maksimalno  $h_{\max} = 150\text{mm}$

## PRIJELAZNE KRIVINE

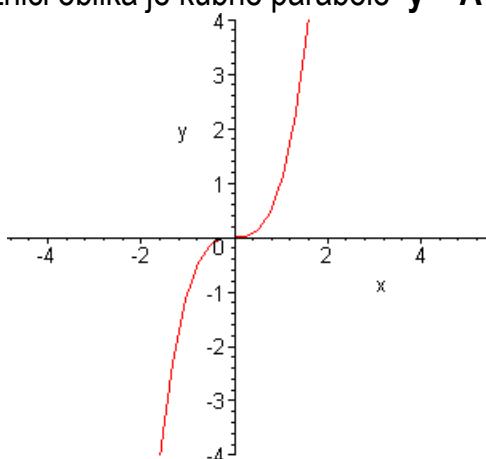
Pri ulasku željezničkog vozila u kružni luk dolazi do nagle promjene bočnog ubrzanja, a zbog djelovanja centrifugalne sile vanjski kotač vozila nalijeće na tračnicu i dolazi do trzaja vozila. Da ne bi došlo do takvih situacija između pravca i kružnog luka ubacuju se prijelazne krivine.



Os željezničke pruge u zavoju

Na taj se način smanjuje trošenje gornjeg ustroja pruge i donjeg ustroja željezničkih vozila.

Prijelazna krivina na željeznici oblika je kubne parabole  $y = A \cdot x^3$



Kubna parabola

Na dionicama prijelaznih krivina izvodi se promjena proširenja kolosijeka i promjena nadvišenja tračnica.

Duljina prijelazne krivine ograničena je propisima.

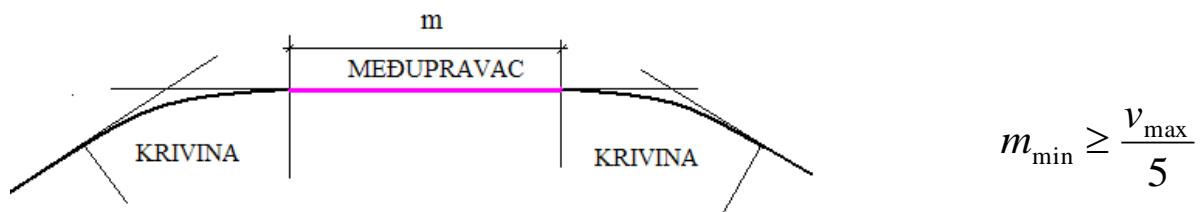
$$L_{\min} = 400 \cdot h \quad (h = \text{nadvišenje})$$

$$\text{Za udobnu vožnju traži se da } L = n \cdot h \quad (n = 10 \cdot v_{\max})$$

## MEĐUPRAVCI

Između dvaju krivina u tlocrtu željezničke pruge potrebno je interpolirati međupravac kako bi se kompozicija vlaka koja je zbog djelovanja centrifugalnih sila u krivini nagnuta, na potezu međupravca uspjela izravnati.

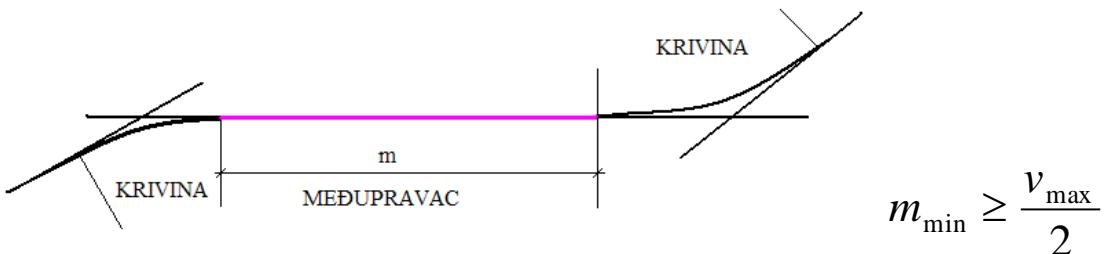
### Istosmjerne krivine



Međupravac između istosmjernih krivina

Ukoliko kod trasiranja istosmjernih krivina nema mjesta za međupravac, te se dvije krivine zamjenjuju jednom krivinom većeg radijusa.

### Protusmjerne krivine



Međupravac između protusmjernih krivina

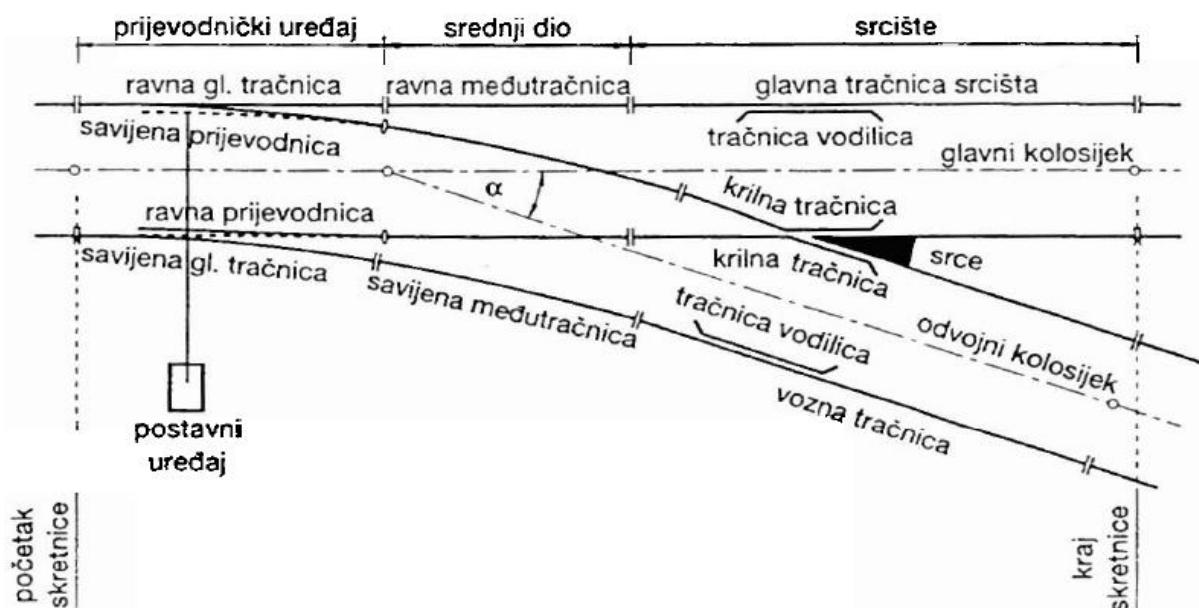
U slučaju da kod trasiranja između krivina suprotnog smjera nema dovoljno mesta za izvedbu međupravca, on se izostavlja.

## SKRETNICE

Skretnice su konstrukcije željezničkog gornjeg ustroja koji omogućuju prijelaz željezničkih vozila s jednog kolosijeka na drugi.

Sastoje se od:

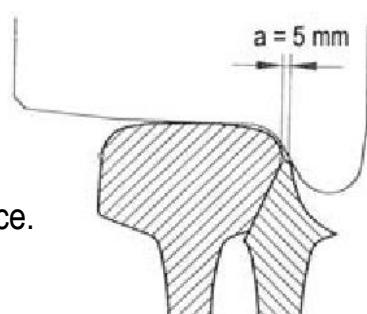
- prijevodničkog uređaja
- srednjeg dijela ili međutračnica
- srišta



Dijelovi skretnice

**Prijevodnički uređaj** je dio skretnice koji služi za usmjeravanje željezničkih vozila u željeni smjer vožnje. Sastoje se od dviju glavnih naležnih tračnica, dviju prijevodnica i postavnog uređaja. Postavni uređaj može biti mehanički, električni i hidraulični.

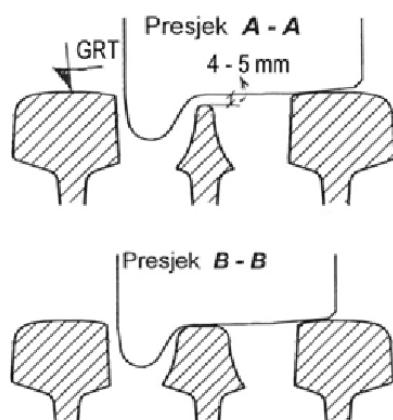
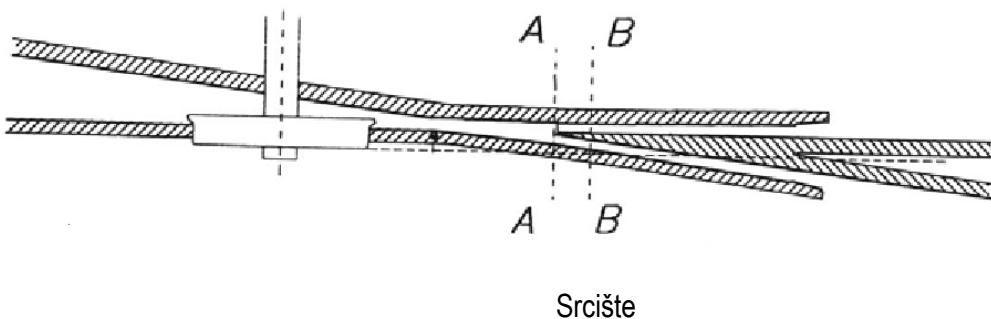
Prijevodnica se dobiva brušenjem obične tračnice i prislanjanjem uz glavu glavne tračnice.



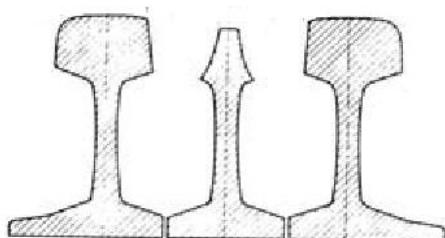
Prijevodnica naslonjena na glavu tračnice

**Srednji dio ili međutračnice** je dio skretnice koji povezuje prijevodnički uređaj sa srištem. Sastoji se od četiriju običnih voznih tračnica od kojih jedan par vodi u pravac, a drugi u skretanje.

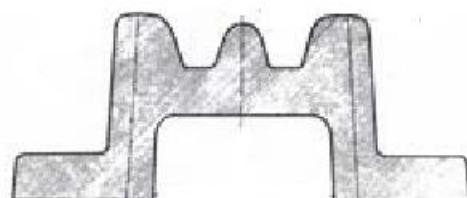
**Srčiste** je dio skretnice na kojem se sijeku tračnice za vožnju u pravac i u skretanje. Sastoji se od vrha srca, dviju krilnih tračnica, dviju vodilica i dviju voznih tračnica. Srce je najosjetljiviji dio skretnice, a vrh srca se najviše troši jer se po njemu odvija vožnja i u pravac i u skretanje. Sastoji se od vrha srca i krilnih tračnica.



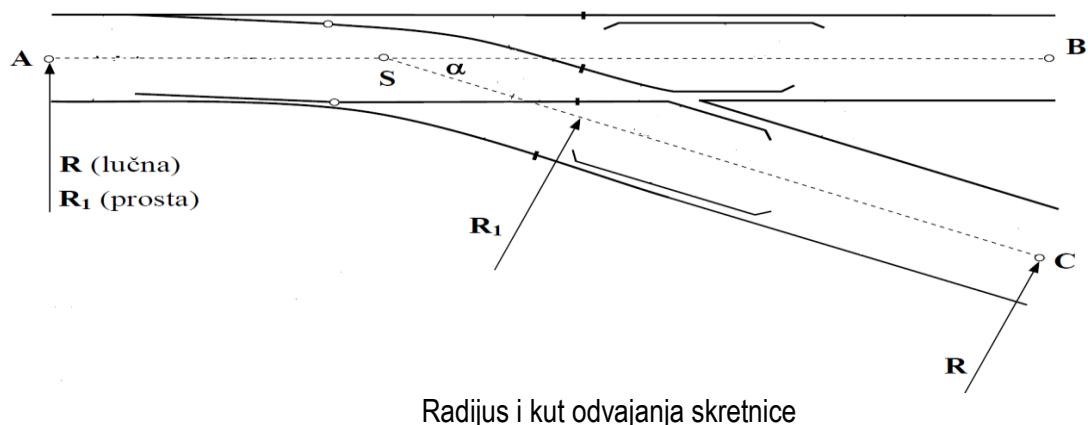
Vrh srca i krilne tračnice



Srce izrađeno od običnih tračnica



Srca izrađena iz jednog komada (monoblok)



**R → Radijus (polumjer) skretnice** - može završavati na kraju skretnice ili prije srca skretnice. Ako završava prije srca skretnice govorimo o prostoj (jednostavnoj) skretnici, a ako završava na kraju, tada govorimo o prostoj lučnoj skretnici. Veličina radijusa kreće se od 150 m do 3000 m.

**α → Kut odvajanja skretnice** - izražava u stupnjevima ili tangesom kuta (npr.  $6^\circ$ ,  $7^\circ$ ,  $1 : 9$ ,  $1 : 12$ ,  $1 : 14$ ).

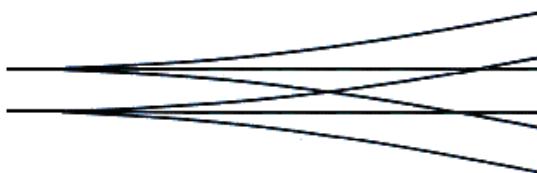
Veličina kuta kreće se od  $3^\circ$  (za  $R = 3000$  m) do  $11^\circ$  (za  $R = 150$  m).

#### Podjela skretnica prema namjeni i konstrukciji:

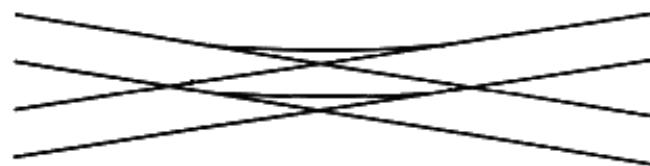
**Jednostrukе** – od glavnog kolosijeka odvaja se samo jedan kolosijek koji vodi u skretanje.



**Dvostrukе** – služe za povezivanje tri kolosijeka.



**Križne** – postavljaju se na križanjima dvaju kolosijeka u istoj razini ako je na tome mjestu potrebno osigurati i prelaženje vozila s jednog kolosijeka na drugi.



**Kombinirane** – povezuju kolosijeke različitih širina.

**Križišta** su mjesta križanje dvaju kolosijeka pod određenim kutom. Omogućuju vožnju po svakom kolosijeku, ali ne dopuštaju prijelaz željezničkih vozila s jednog kolosijeka na drugi kao kod križnih skretnica.

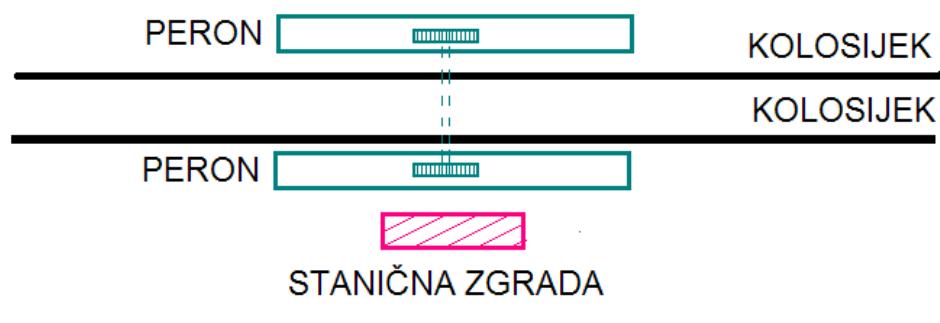


Dvostruka križna skretnica

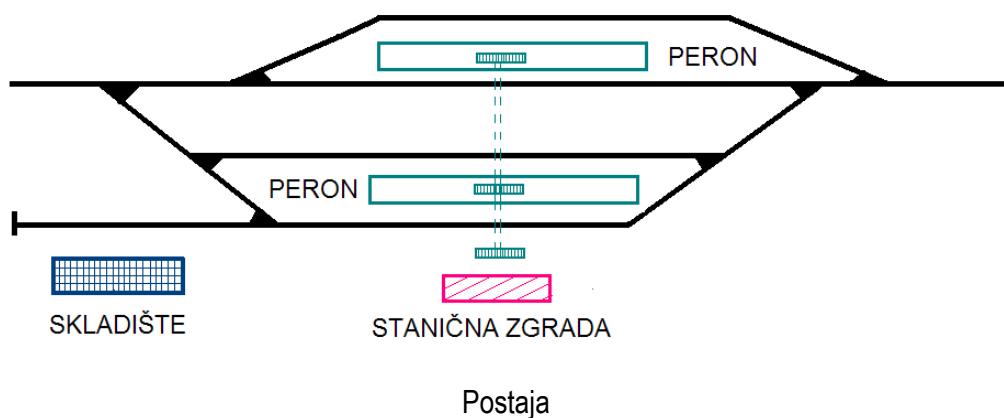
## ŽELJEZNIČKE STANICE

Željezničke stanice su službena mjesta na pruzi na kojima se zaustavljaju kompozicije vlakova prema voznom redu. Razlikujemo:

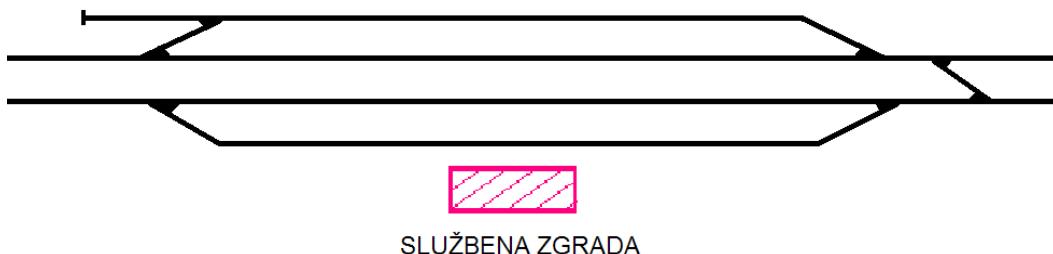
- a) **Stajalište** - službeno mjesto na pruzi na kojem se zaustavljaju lokalni putnički vlakovi. Sastoje se od stanične zgrade sa čekaonicom i perona za ulaz i izlaz putnika



- b) **Postaja** - manje službeno mjesto na pruzi u kojem se obavljaju potpun ili ograničen prihvat i otprema putnika, utovar i istovar stvari. Sastoje se od glavnog i sporednih kolosijeka, perona, stanične zgrade i skladišta za robu.

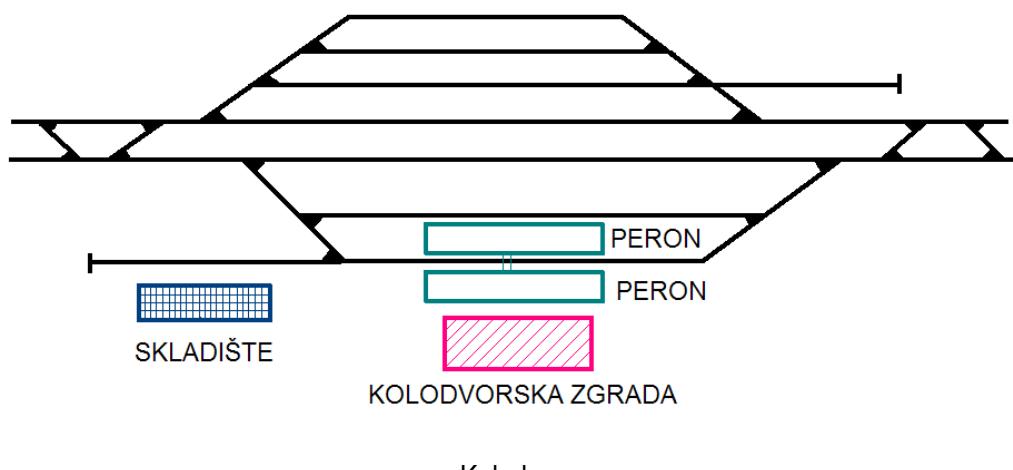


c) **Mimoilaznica** - službeno mjesto na dvokolosiječnoj pruzi na kojem se obavlja mimoilaženje i pretprecanje vlakova. Pored dva glavna prolazna kolosijeka, obično ima još dva kolosijeka za pretprecanje i mimoilaženje.

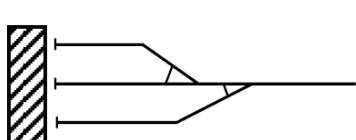


Mimoilaznica na dvokolosiječnoj pruzi

d) **Kolodvor** - veće službeno mjesto na pruzi u kojem se obavljaju prihvati i otprema putnika, utovar i istovar stvari, križanje i pretprecanje vlakova, a prema potrebi razvrstavanje, odnosno sastavljanje vlakova. Kolodvor u svom sastavu mora imati određen broj kolosijeka, signalno-sigurnosne uređaje, postrojenja za putnički promet i promet robe te posebne funkcije (čišćenje, opskrbljivanje i održavanje vagona).



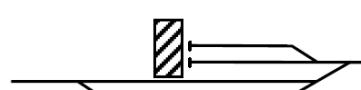
Podjela kolodvora prema tlocrtnom obliku



Čeoni kolodvor



Prolazni kolodvor



Kombinacija čeonog i prolaznog kolodvora

**Ranžirni kolodvor** je željeznički kolodvor u kojem se rastavljaju i sastavljaju teretni vlakovi. Opremljen je posebnom skupinom kolosijeka i postrojenjem za manevriranje. U njemu se obavlja:

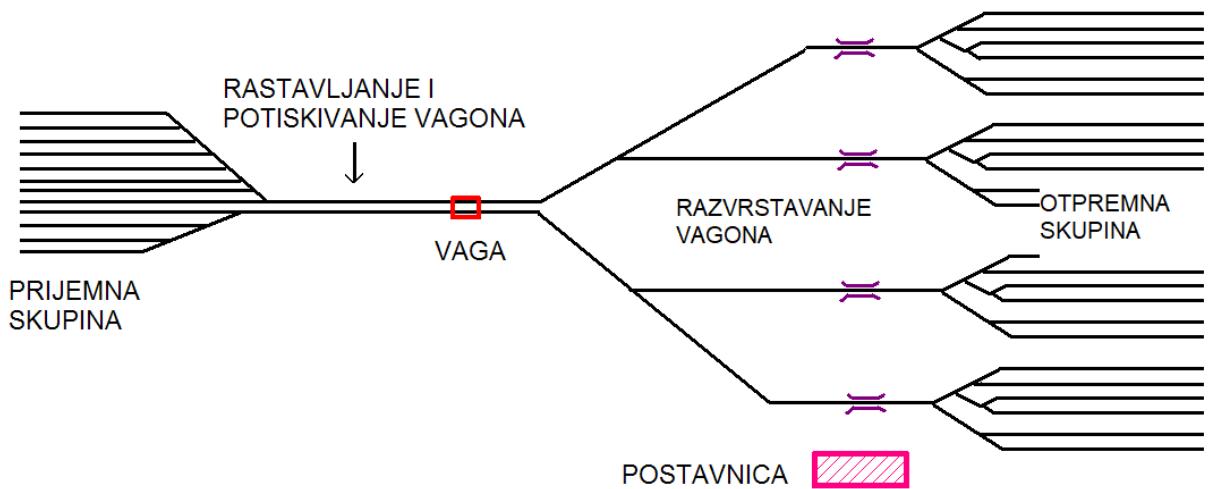
- rastavljanje prispjelih teretnih vlakova
- razvrstavanje vagona po prvcima i kolodvorima
- sklapanje novih teretnih vlakova.

U sastavu ranžirnog kolodvora obično se nalaze i postrojenja za održavanje, pranje, opskrbljivanje lokomotiva te održavanje i pranje vagona.

Smješteni su u okviru velikih željezničkih čvorova, gdje se sastaje više željezničkih pruga sa znatnim teretnim prometom ili u okviru velikih industrijskih ili gospodarskih središta s masovnim utovarom ili istovarom robe.

Dijelovi ranžirnog kolodvora:

- prijamna skupina kolosijeka - služi za prihvatanje vlakova s priključnih pruga i rastavljanje vlakova.
- spuštalica - postrojenje za obavljanje manevarskog rada većeg obujma
- skupine kolosijeka za razvrstavanje vagona
- otpremne skupine kolosijeka - služi za otpremnu novo sastavljenih vlakova
- radionica za održavanje lokomotiva i vagona
- postrojenja za pranje i opskrbljivanje lokomotiva



Tlocrt ranžirnog kolodvora



LITERATURA:

- 1.) Lakušić S. , Željeznice – predavanja za studente 3. godine građevinskog fakulteta, Građevinski fakultet sveučilišta u Zagrebu, Zagreb, 2005.
- 2.) Lakušić S. , Gornji ustroj željeznica - predavanja za studente 4. godine građevinskog fakulteta, Građevinski fakultet sveučilišta u Zagrebu,Zagreb, 2006.
- 3.) Marušić D., Projektiranje i građenje željezničkih pruga, Građevinski fakultet sveučilišta u Splitu, Split, 1994.
- 4.) Mikulić J., Stipetić A., Željezničke pružne građevine, Institut građevinarstva Hrvatske, Zagreb 1999.
- 5.) Dragčević V., Rukavina T., Donji ustroj prometnica, Građevinski fakultet sveučilišta u Zagrebu, Zagreb, 2006.
- 6.) Simović V., Leksikon građevinarstva, Masmedia, Zagreb, 2002.
- 7.) Tehničar 4. građevinski priručnik, Građevinska knjiga, Beograd, 1987.