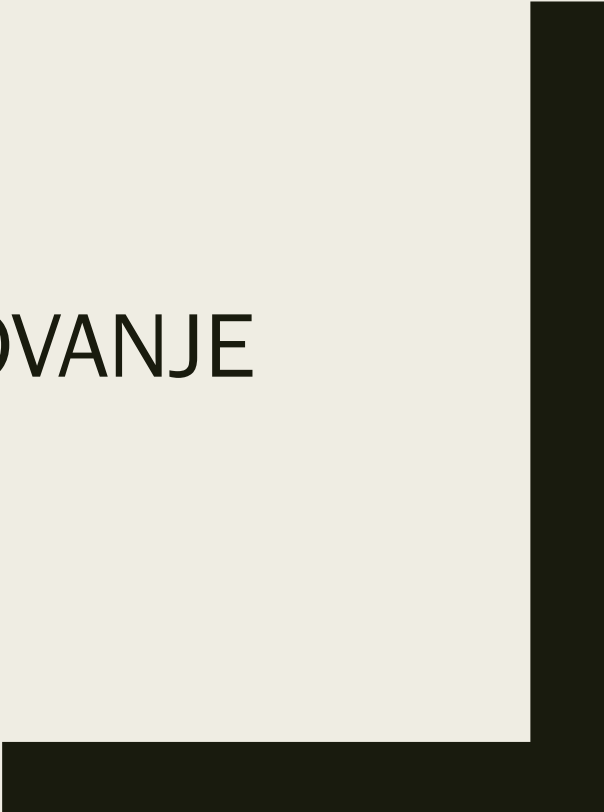




SAOBRAĆAJNO PROJEKTOVANJE

VJEŽBE 3

Mirjana Grdinić-Rakonjac
Podgorica 2020/2021



ELEMENTI PROJEKTNE GEOMETRIJE

Situacioni plan puta se sastoji iz projektnih linija koje prikazuju tok karakterističnih tačaka poprečnog profila (osovina kolovoza, ivice planuma, granice trupa puta, granice putnog pojasa i sl.) i definišu njihov položaj u horizontalnoj ravni (X, Y koordinate).

Najveći broj geometrijskih oblika situacionog plana sastavljen je kombinacijom **pravaca**, **kružnih krivina** i **prelaznih krivina**.

PRAVCI

U savremenom projektovanju puteva prave linije služe kao pomoćno sredstvo u formiranju povijene linije trase.

KOD SUPROTNO ORIJENTISANIH KRIVINA:

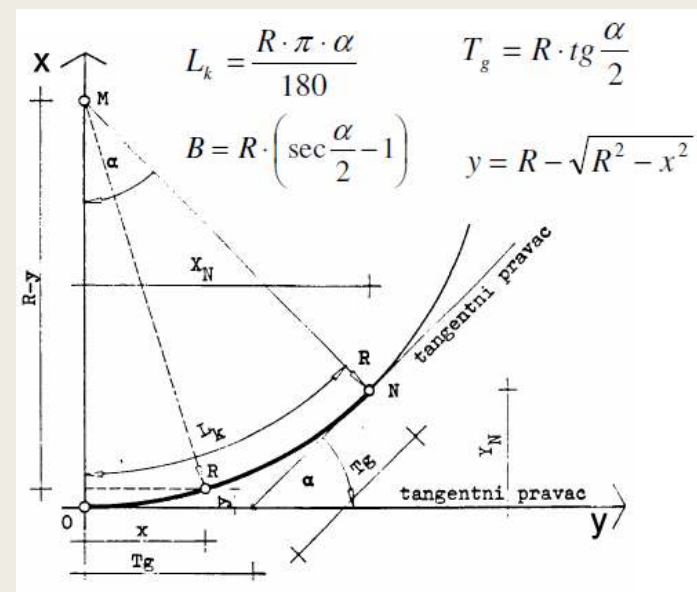
$$L(m) \quad 2 \cdot V_{rač} \leq L(m) \leq 20 \cdot V_{rač}$$

KOD ISTOSMERNO ORIJENTISANIH KRIVINA:

$$L(m) \quad 4 \cdot V_{rač} \leq L(m) \leq 20 \cdot V_{rač}$$

KRUŽNE KRIVINE

Najprostiji oblik krive je kružni luk. To je kriva linija konstantne zakrivljenosti ($1/R = \text{const.}$)



ELEMENTI PROJEKTNE GEOMETRIJE

GRANIČNI RADIJUSI

Za razliku od pravca, krivina proizvodi određene uticaje na vozila u kretanju. U projektovanju puteva dolazi u obzir primjena kružnih lukova čiji radijusi leže u granicama $\min R \leq R \leq \max R$.

Minimalni poluprečnik horizontalne krivine se određuje iz uslova stabilnosti vozila na isklizavanje.

$$R_{\min} = \frac{V_r^2}{127 \cdot (f_{rd} + q_{\max})}$$

Vr [km/h]	40	50	60	70	80	90	100	110	120
minR [m]	50	80	120	180	250	350	450	600	750

Minimalni radijus primjenjuje se samo na onim mjestima gdje bi primjena $R > R_{\min}$ bila neprihvatljiva zbog investicionih posledica.

Maksimalni radijus ($R_{\max}$), kao i pravac, nema ograničenja sa voznodinamičke strane. Što je radijus veći, manje su bočne sile. $R_{\max}$ treba ograničiti na mjeru gdje vozač gubi osjećanje zakrivljenosti ($R \geq 10000\text{m}$), pa se za gornju graničnu vrijednost preporučuje $R_{\max} = 5000\text{m}$.

Najpovoljniji efekti postižu se kod odnosa $R_{\max}/R_{\min} \leq 6$.

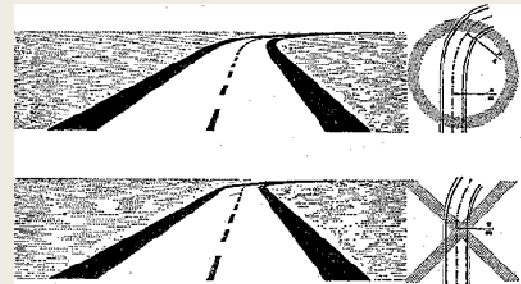
ELEMENTI PROJEKTNE GEOMETRIJE

PRELAZNE KRIVINE

Pri direktnom prelasku iz pravca u kružni luk i obrnuto, javljaju se sledeće posledice:

1. Usled skokovite promjene zakrivljenosti od $1/R = 1/\infty = 0$ (pravac), do $1/R = \text{const}$ (kružni luk), trebalo bi da na samom ulazu u kružnu krivinu trenutno bude ostvaren okret upravljača koji odgovara zakrivljenosti $1/R = \text{const}$.
2. Pri nagloj promjeni zakrivljenosti javlja se skokovita promjena radijalnog ubrzanja (V^2/R), što se manifestuje kao bočni udar $d(V^2/R)/dt$.
3. Direktan prelazak iz pravca u kružnu krivinu ostavlja utisak preloma vodećih linija puta.
4. Vozač se osjeća nesigurno pošto nije u stanju da sagleda krivinu i prilagodi svoje ponašanje.

Pređeni put i izvršeno okretanje prednjih točkova od početka prelazne krivine do određenog mjesta moraju biti srazmjerni proteklom vremenu.



Matematičko rješenje

Promjena poluprečnika prelazne krivine treba da bude obavljena postupno od $R_0 = \infty$ do $R = R_i$, što znači da zakrivljenost podliježe linearnoj promeni.

Kružni luk i prelazna krivina treba da u dodirnoj tački imaju zajedničku tangentu.

Pri konstantnoj brzini vožnje ($V = \text{const.}$) brzina okretanja prednjih točkova treba da bude konstantna, tj. $dv/dt = \text{const.}$

ELEMENTI PROJEKTNE GEOMETRIJE

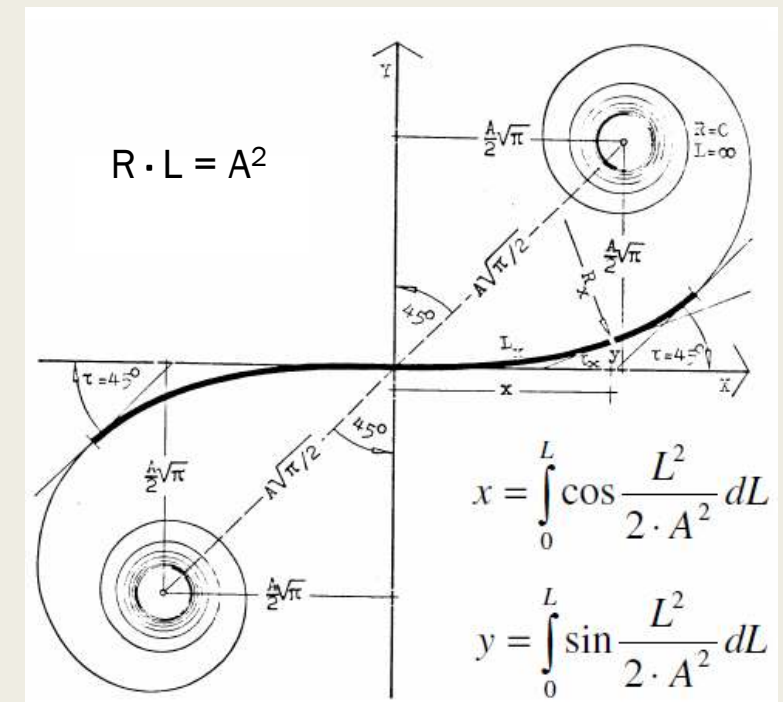
KLOTOIDA

Kriva koja ispunjava prethodne zahtjeve ima spiralni oblik i naziva se klotoida ili lučna radioida. Ona je samo za jedan stepen složenija kriva od kruga. Obezbeđuje:

- ravnomjernu promjenu zakrivljenosti tako da se njenim posredstvom može vršiti spajanje pravca i kruga ili krugova različitih radijusa
- na mjestu spajanja sa kružnim lukom klotoida i kružni luk imaju zajedničku tangentu
- pri konstantnoj brzini vožnje ostvaruje se ravnomjerna brzina okretanja upravljača, što proističe iz linearne promjene zakrivljenosti, tj. $1/R = \text{const} \cdot L$

RAZLIKE I STEPEN SLOŽENOSTI

KLOTOIDA	KRUG
$R \cdot L = \text{const.} = A^2$	$R = \text{const}$
$R = A^2/L = L/2\tau = A/2 \cdot \sqrt{\tau}$	
$\tau = L/2 \cdot R = L^2/2 \cdot A^2 = A^2/2 \cdot R^2$	$\hat{a} = L/R$
$L = A^2/R = 2 \cdot \tau \cdot R = A \cdot \sqrt{2 \cdot \tau}$	$L = \hat{a} \cdot R$
Faktor veličine parametar klotoida A (m)	Faktor veličine radijus kruga R (m)

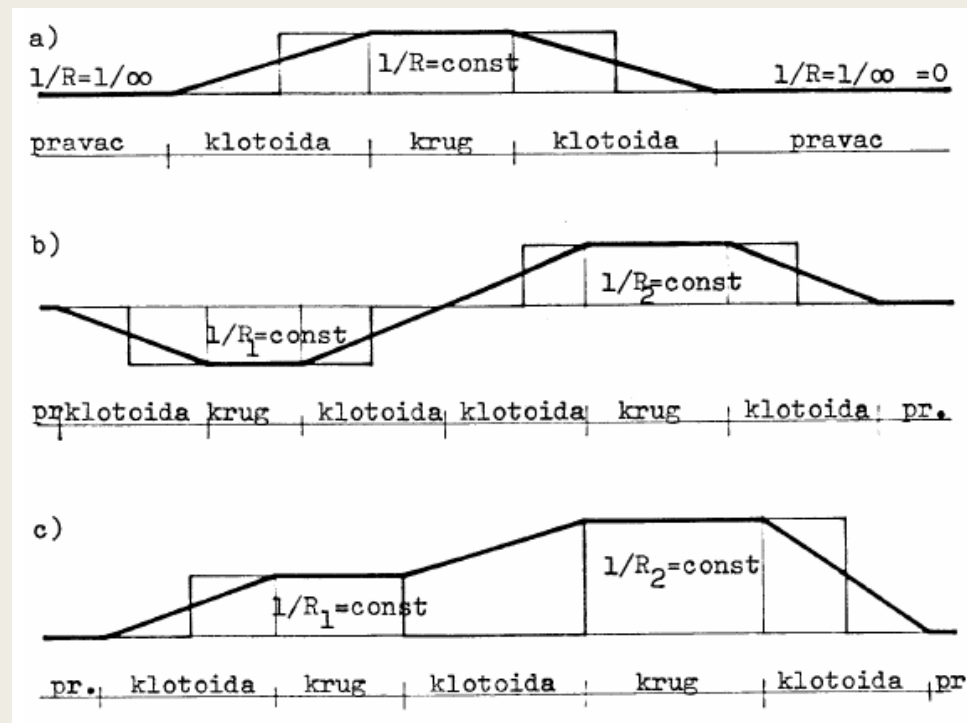


ELEMENTI PROJEKTNE GEOMETRIJE

UTICAJ KLOTOIDE NA PROMJENU ZAKRIVLJENOSTI

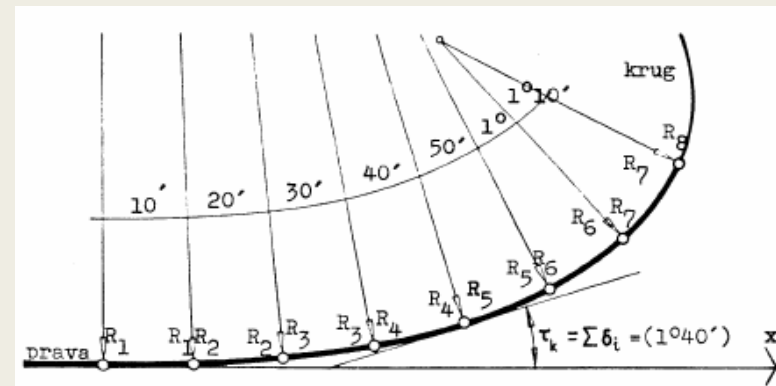
Šematski prikaz uticaja klotoide na promjenu zakrivljenosti

- a) prelazak iz pravca u kružnu krivinu
- b) spoj dvije suprotno usmjerene kružne krivine
- c) spoj dvije istosmjerne kružne krivine različitog radijusa



Pored prelazne krivine tipa klotoide u SAD i nekim anglosaksonskim zemljama upotrebljava se **Searles-ova spirala**.

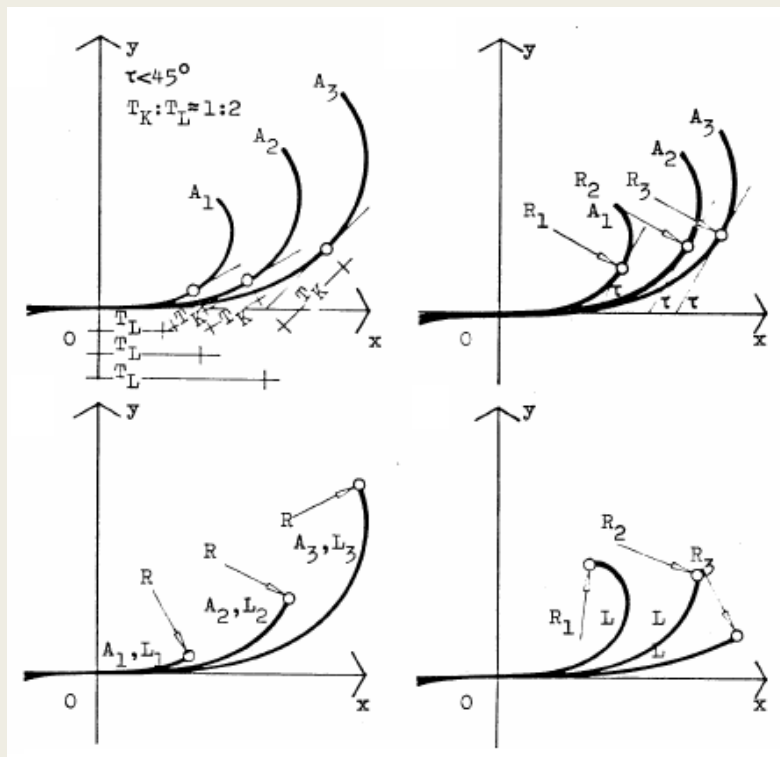
Sastoji se od niza kružnih lukova različitih radijusa, čije su tetive dužine 100 stopa, a centralni uglovi od $10'$, $20'$, $30'$, $40'$, ..., respektivno odgovaraju radijusima od $R = R_1$ do $R = R_k$.



ELEMENTI PROJEKTNE GEOMETRIJE

OSOBIKE KLOTOIDE

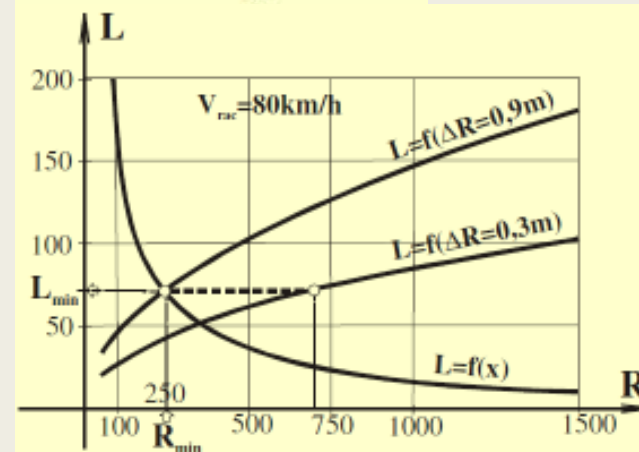
Klotoida se definiše parametrom **A** koji predstavlja **faktor veličine**. Za klotoidu parametar A ima isto značenje kao i radijus R za kružnu krivinu. Njegovim uvećanjem ili smanjenjem mijenja se veličina klotoida ali njen oblik ostaje isti. To znači da su sve klotoide geometrijski slične.



GRANIČNA VRIJEDNOSTI KLOTOIDE

Apsolutno minimalna vrijednost koja se smije primijeniti na osnovu vožno dinamičkog kriterijuma:

$$L = \frac{2,725 \cdot V_r \cdot f_{Rd}}{x}$$



za R_{min} :

$$A_{min} = \sqrt{R_{min} \cdot L_{min}}$$

za $R_{min} < R < R_g = 3 \cdot R_{min}$

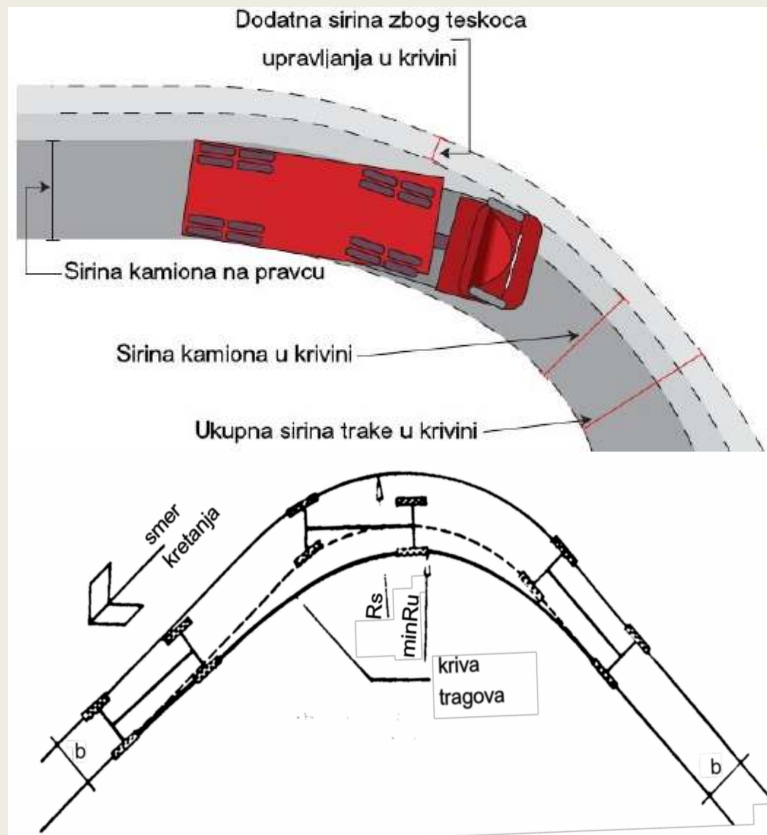
$$A = \sqrt{R \cdot L_{min}} = A_{min} \sqrt{\frac{R}{R_{min}}}$$

za $R \geq R_g = 3 \cdot R_{min}$

$$A = 1,638 \cdot R^{0,75}$$

POSEBNI OBLICI PUTNIH KRIVINA

U projektovanju i građenju puteva često se susrećemo sa potrebom oblikovanja putnih krivina kada su brzine male (<30km/h) ali su dominantni zahtjevi za minimalnim korišćenjem prostora. U tim slučajevima se geometrijski oblik mora dobiti na osnovu elemenata minimalne prohodnosti vozila. Ovakva kriva se može konstruisati za bilo koji oblik putanje koju opisuje prednji spoljni točak, naziva se **kriva tragova**, **kriva minimalnog skretanja** ili **traktrisa**.



Da bi se pojednostavila upotreba krive tragova izvršena je njena aproksimacija kružnim krivinama. Najmanja odstupanja daje složena krivina sa tri centra sa odnosima:

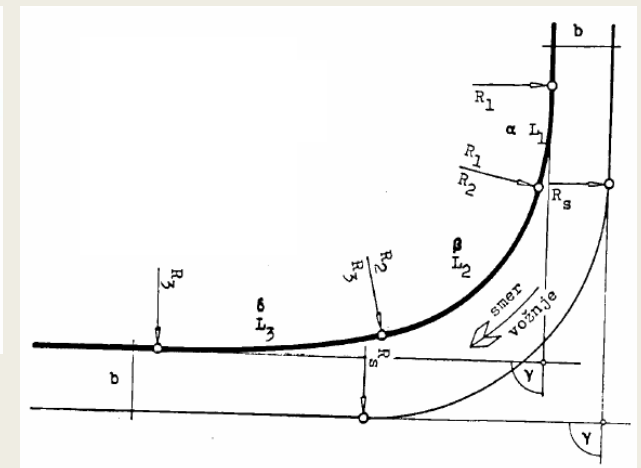
$$\alpha : \beta : \delta = 1 : 5,5 : 1$$

$$R_1 : R_2 : R_3 = 2,5 : 1 : 5,5$$

$$L_1 = 0,01571 \cdot R_1 \cdot \alpha^g$$

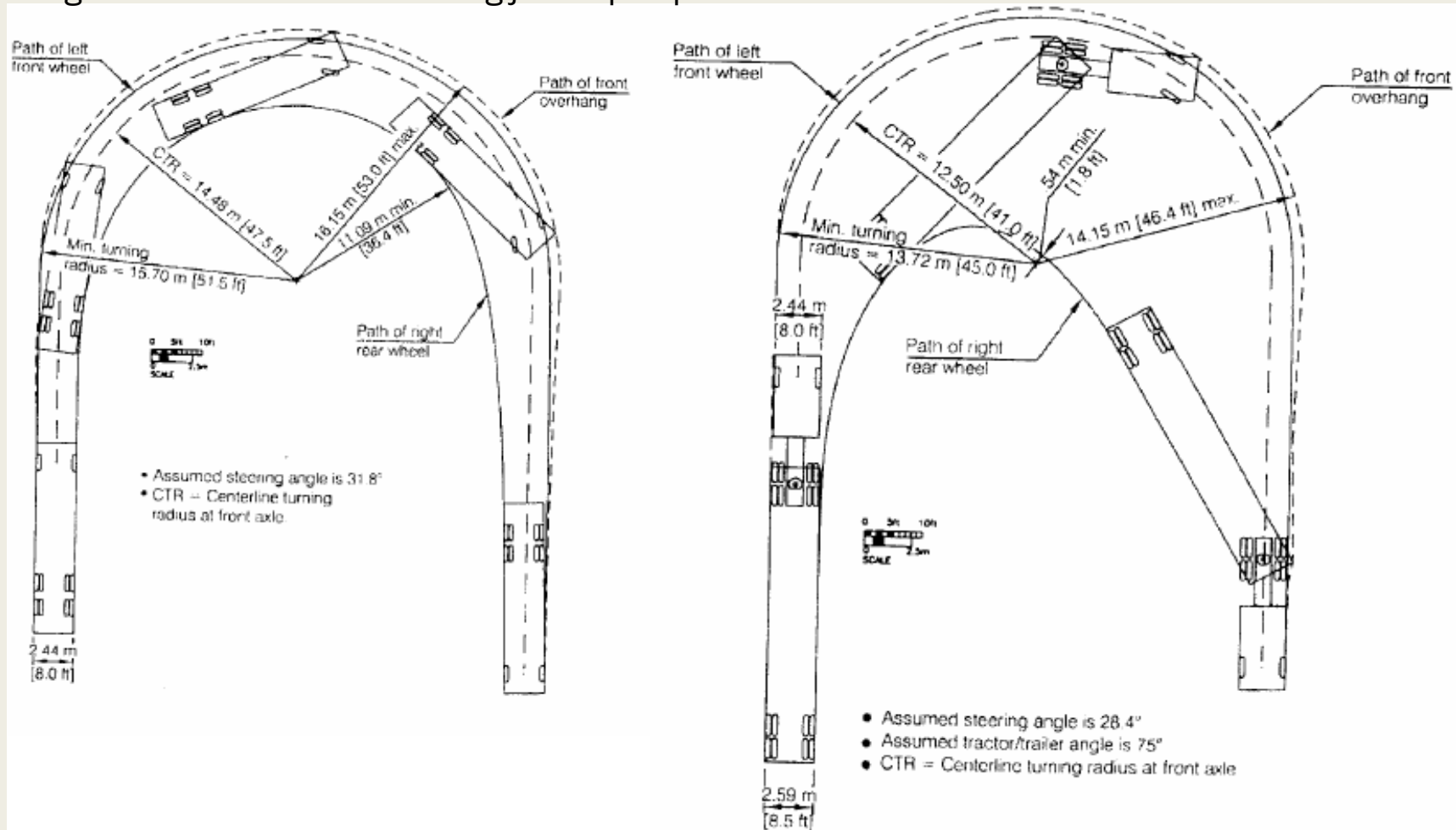
$$L_2 = 0,01571 \cdot R_2 \cdot \beta^g$$

$$L_3 = 0,01571 \cdot R_3 \cdot \delta^g$$



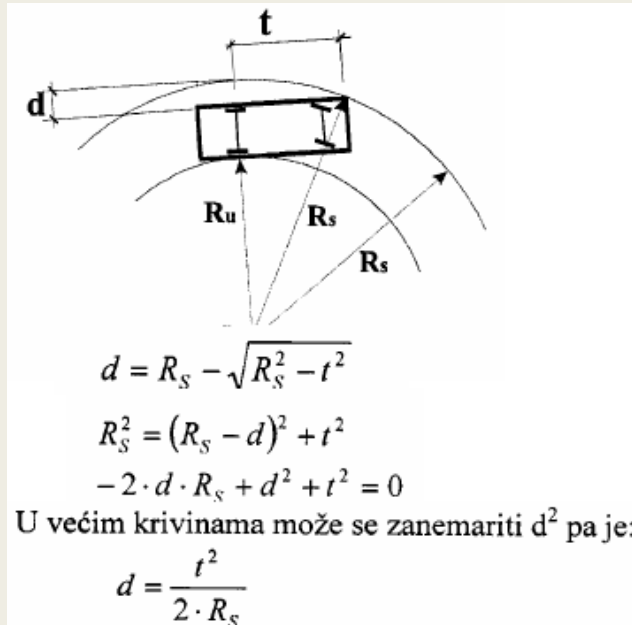
POSEBNI OBLICI PUTNIH KRIVINA

Krive tragova za teretno vozilo i za tegljač sa poluprikolicom

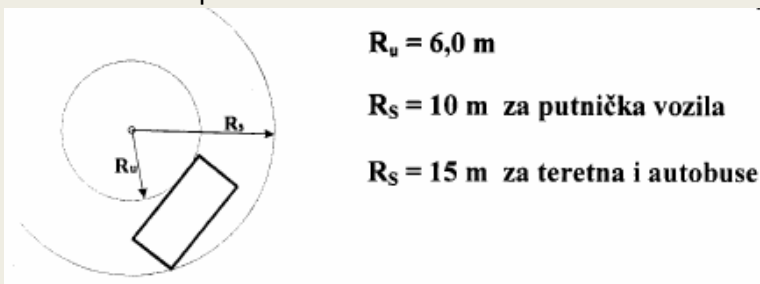


POSEBNI OBLICI PUTNIH KRIVINA

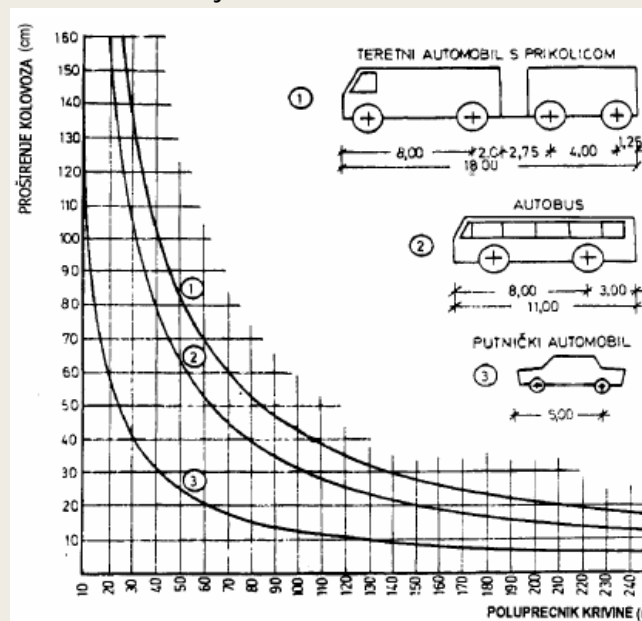
Princip određivanja proširenja kolovoza u krivini



Manevarska površina vozila



Proširenje kolovoza u krivini



Proširenje je potrebno:

- Za putnička vozila za $R < 50 \text{ m}$
- Za autobuse i kamione za $R < 150 \text{ m}$
- Za autovozove za $R < 220 \text{ m}$

U principu proširenje se izvodi sa unutrašnje strane krivine.

$$d = \frac{10}{R} \quad \text{za putnička vozila}$$

$$d = \frac{30}{R} \quad \text{za autobuse i kamione}$$

$$d = \frac{45}{R} \quad \text{za autovozove}$$

POSEBNI OBLICI PUTNIH KRIVINA

SERPENTINE

U planinskom terenu, za savlađivanje velikih visinskih razlika, kada nemamo dovoljnu dužinu da bismo je savladali uz prihvatljivu vrijednost uzdužnog nagiba nivelete, pristupamo razvijanju trase pri čemu se javlja potreba za izradom serpentina. To su krivine poluprečnika manjeg od 40m, čiji je skretni ugao veći od 90°. Svaka serpentina se sastoji od okretnice i dijve priključne krivine istog ili suprotnog smjera zakrivljenosti.

Na autoputevima serpentine se po pravilu ne izvode.

Na putevima 1. i 2. razreda najmanji poluprečnik u serpentine ne smije biti manji od 20m.

Poluprečnici priključnih kružnih lukova R_1 su: $2R \leq R_1 \leq 4R$.

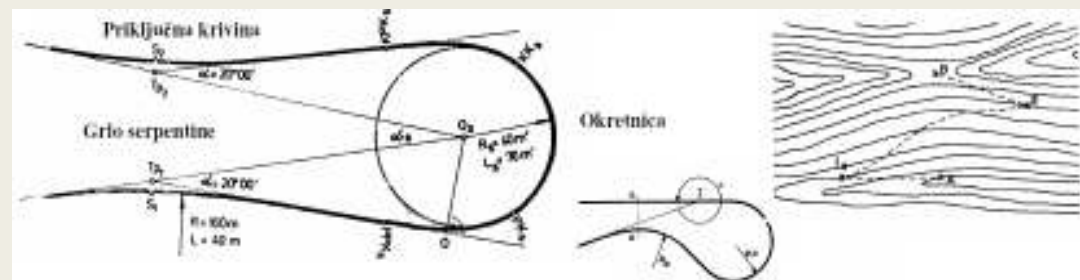
Svi prelazi iz pravca u kružni luk, odnosno iz jednog u drugi kružni luk moraju biti izvedeni sa prelaznicama. Dužina prelaznice jednaka je sa dužinom prelazne rampe ($i_r = 1,5\%$).

Proširenje kolovoza u serpentine vrši se sa spoljašnje strane u okretnici a sa unutrašnje strane u priključnim krivinama.

Poprečni nagib kolovoza u serpentine može biti primjenjen do 9%.

Uzdužni nagib u glavnoj krivini (okretnici), uključujući i prelaznice je veličine:

- do 3% na putevima 1. i 2. razreda
- do 5% na putevima 3., 4. i 5. razreda.



VITOPERENJE KOLOVOZA

Poprečni nagib kolovoza:

Na pravcu, zbog potrebe odvodnjavanja atmosferskih voda, može biti:

- Jednovodan, kod savremenih kolovoznih zastora (asfalt beton 2,5%, cement beton 2,0%) i za širinu kolovoza do ~9,0 m (širina tri saobraćajne trake).
- Dvovodan, kod nesavremenih kolovoza (šljunčani, makadamski, ~ 4%) i kod savremenih kolovoza sa četiri i više saobraćajnih traka.

Smjer poprečnog nagiba kolovoza na pravcu zavisi od načina prihvatanja atmosferskih voda i njihovog daljeg kontrolisanog odvođenja.

U krivini, poprečni nagib ima zadatak i da poništi jedan dio centrifugalne sile koja deluje na vozilo dok se kreće kroz krivinu. Zbog toga je smjer poprečnog nagiba kolovoza u krivini uvek usmjeren ka centru kružne krivine. Promjene smjera krivina u situacionom planu zahijtevaju i stalnu promjenu smjera poprečnog nagiba kolovoza. Ta promjena poprečnog nagiba kolovoza naziva se **vitoperenje kolovoza**.

Ta promjena mora da zadovolji određene zahtjeve:

- Da površina kolovoza u nagibu manjem od neophodnog za efikasno odvodnjavanje bude što manja;
- Da promjene bočnih potisaka budu logične i ne stvaraju nelagodnost kod vozača;

Granične vrijednosti nagiba rampe vitoperenja

V_r	40	50	60	70	80	100	120
i_{min}	0,55%		0,60%		0,65%	0,70%	0,75%
i_{max}	1,5%	1,0%			0,75%		

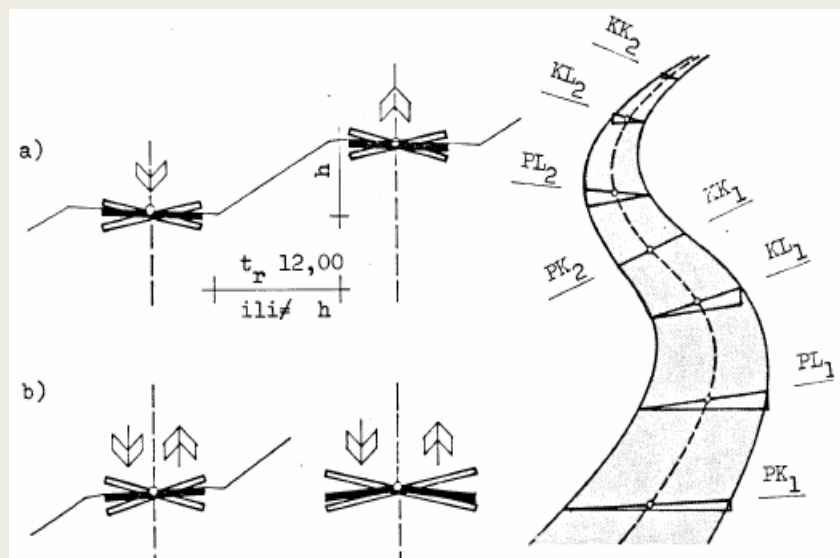
Da bi se ovi zahtevi realizovali definisana su ograničenja u pogledu minimalnog i maksimalnog relativnog nagiba ivice kolovoza u odnosu na niveletu, takozvanog **nagiba rampe**.

VITOPERENJE KOLOVOZA

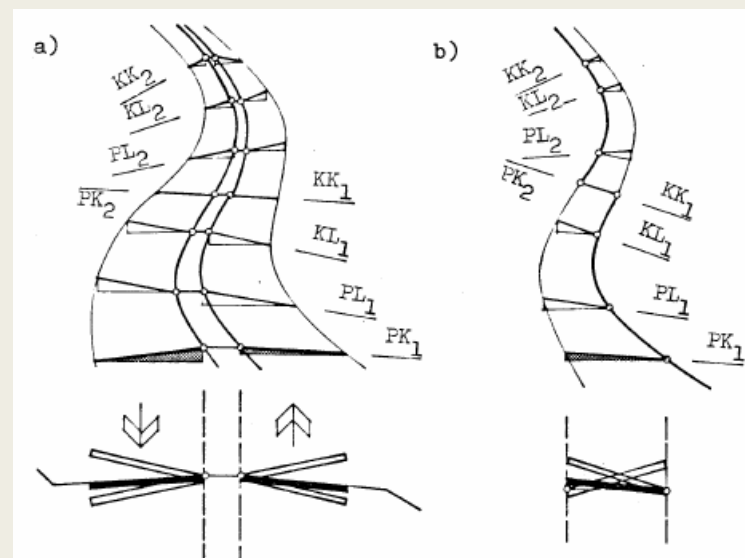
Vitoperenje kolovoza sa dvije saobraćajne trake se po pravilu vrši:

- U lakim terenskim uslovima – oko niže ivice kolovoza
- U teškim terenskim uslovima – oko osovine kolovoza

Vitoperenje odvojenih jednosmjernih kolovoza po pravilu se vrši oko ivice razdjelne trake da bi razdjelna traka ostala nepromijenjenog oblika na prelaznoj rampi i u kružnoj krivini.



Preporučeno vitoperenje oko osovine kolovoza:
a) Autoput sa prostorno razdvojenim kolovozima
b) Dvosmjerni putevi i ulice



Preporučeno vitoperenje oko unutrašnje ivice kolovoza:
a) Autoput sa minimalnom razdelnom trakom
b) Samostalne jednosmerne rampe na denivelisanim raskrsnicama