

VERTIKALNO VOĐENJE TRASE PUTA

nivelacioni tok puta utvđuje se linijskim projekcijama u vertikalnoj ravni, definiše visinski položaj karakterističnih tačaka poprečnog profila

- nagib nivelete
- vertikalne krivine
- poprečni nagibi kolovoza

eksploatacioni i konstruktivni kriterijum, rang puta i uslovi lokacije

VERTIKALNO VOĐENJE TRASE PUTA



NAGIB NIVELETE

podužni nagib puta ili nagib nivelete $i_N\%$ u granicama min, max

Min i_N određuje se iz uslova odvodnjavanja.

- horizontalna niveleta moguća za slučaj postojanja poprečnog nagiba, dionice u pravcu i nasipu gdje nije spriječeno bočno oticanje vode sa planuma puta
- za dionice u usjeku, odvodnjavanje se rješava rigolima ili kanalima, $mini_N = 0.3\%$, za betonske profilisane elemente i $mini_N = 0.5\%$, za zatravljene kanale
- min vrijednost treba posmatrati kao rezultujući nagib sastavljen od vektorskog zbira nagiba nivelete i sekundarnog podužnog nagiba (nagiba rampe vitoperenja), $mini_N \sim 0.8\%$

NAGIB NIVELETE

Max i_N predstavlja gornju granicu na koju utiču uslovi vuče, troškovi građenja i eksploatacioni faktori.

Razred puta	Max i_N (%) za uslove terena			
	ravničarski	brežuljkasti	brdovit	planinski
Autoput		4	5	7
Put I razreda		5	6	7
Put II razreda		6	7	8
Put III razreda		7	8	10
Put IV razreda		8	10	11
Put V razreda		10	11	12

NAGIB NIVELETE

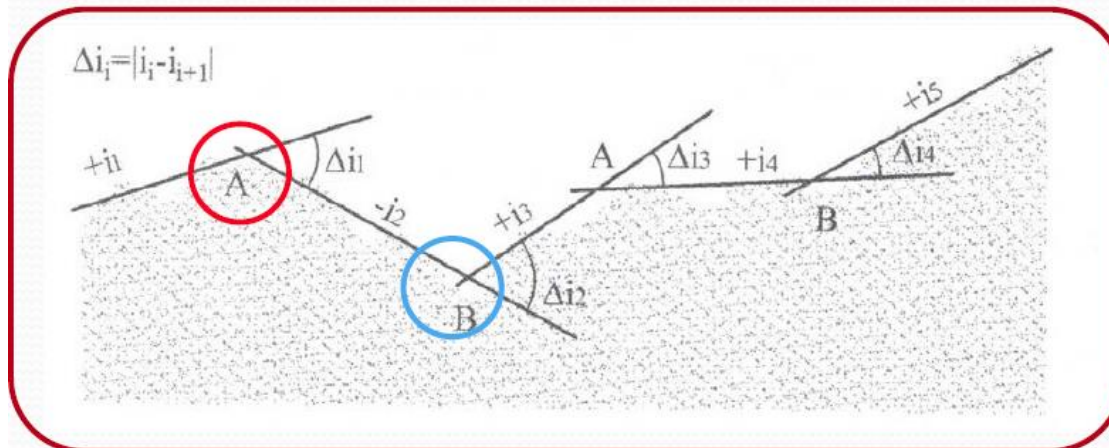
Povećanjem nagiba puta:

- smanjuju se investicioni troškovi
- povećavaju se troškovi eksploatacije
- smanjuje se propusna moć

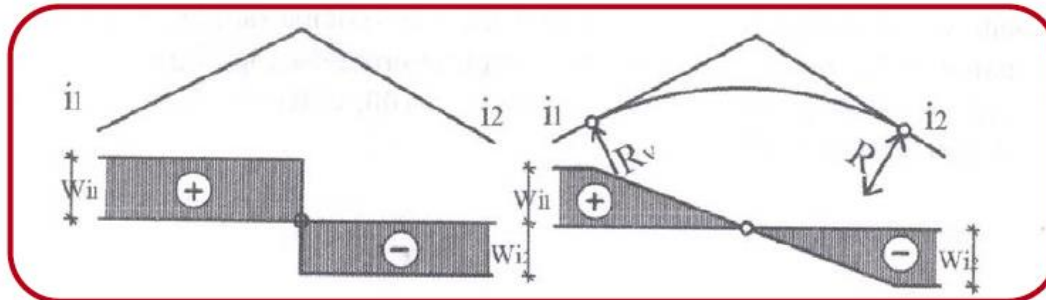
U primjeni max i_N bitan faktor je dužina puta na kojoj vlada taj nagib, odnosno toleriše se primjena maksimalnog nagiba na kratkim dionicama. Svako $i_N > 2.5\%$ značajno utiče na teretna vozila \Rightarrow negativan uticaj na protočnost i saobraćajni komfor.

VERTIKALNE KRIVINE

-konveksan i konkavan prelom nivelete, zaobljenje kružnim lukom radijusa R_v



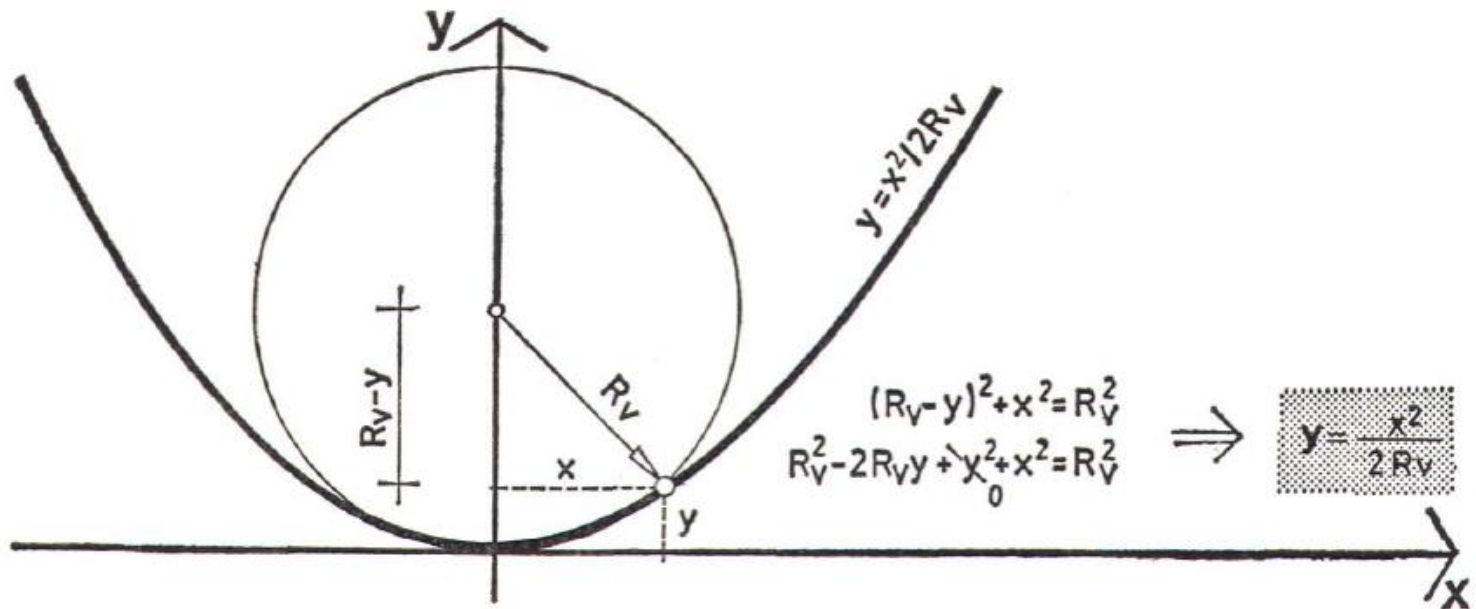
karakteristični tipovi preloma



dijagram otpora bez zaobljenja i sa zaobljenjem

VERTIKALNE KRIVINE

-matematički oblik funkcije zaobljenja je kvadratna parabola koja sa dovoljno tačnosti aproksimira krug



VERTIKALNE KRIVINE

Granični radijusi

Vozno-dinamički kriterijum

- uzima se u obzir uticaj centrifugalne sile koja se kod vertikalnih krivina javlja u smjeru upravnom na kolovoznu ravan
- dejstvo sile se odražava kao povećanje ili smanjenje sopstvene težine, neudobnost
- postavlja se uslov da radijalno ubrzanje bude manje od 0.5m/s^2

$$\min R_v = 0.154V_r^2$$

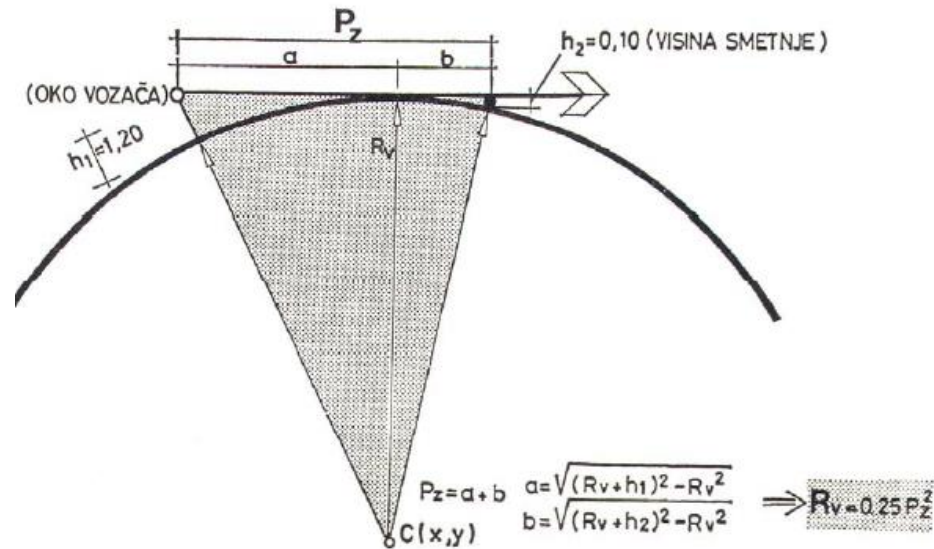
VERTIKALNE KRIVINE

Granični radijusi

Kriterijum preglednosti

- za **konveksne krivine** zaobljenje mora biti obavljeno tako da omogućuje vozaču da na dužini zaustavnog puta sagleda prepreku

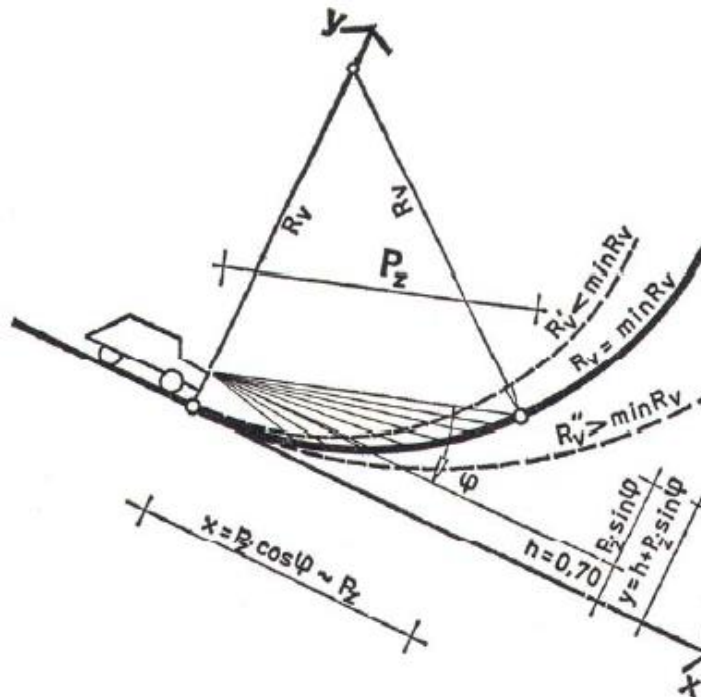
$$\min R_v = 0.25P_z^2$$



VERTIKALNE KRIVINE

Kriterijum preglednosti

- za **konkavne krivine** mjerodavna je preglednost u noćnoj vožnji, mora se zadovoljiti uslov da farovi vozila, pri normalnom uglu rasipanja svjetlosti, osvjetle dionicu puta najmanje jednaku vizuri zaustavne preglednosti



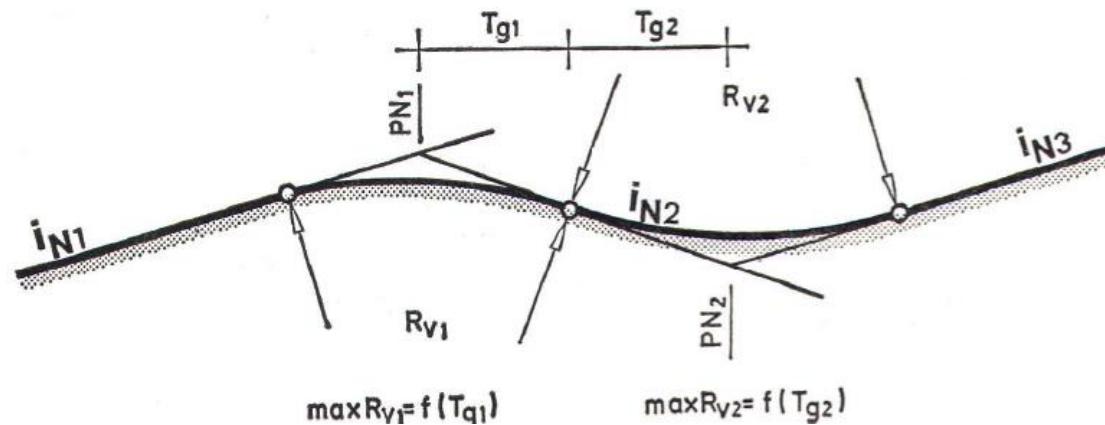
$$\min R_v = \frac{P_z^2}{2(h + P_z \sin \varphi)}$$

VERTIKALNE KRIVINE

max R_v

- za konveksne prelome
- kod preloma $\Delta i < 2\%$, manje vrijednosti radijusa vertikalnih krivina

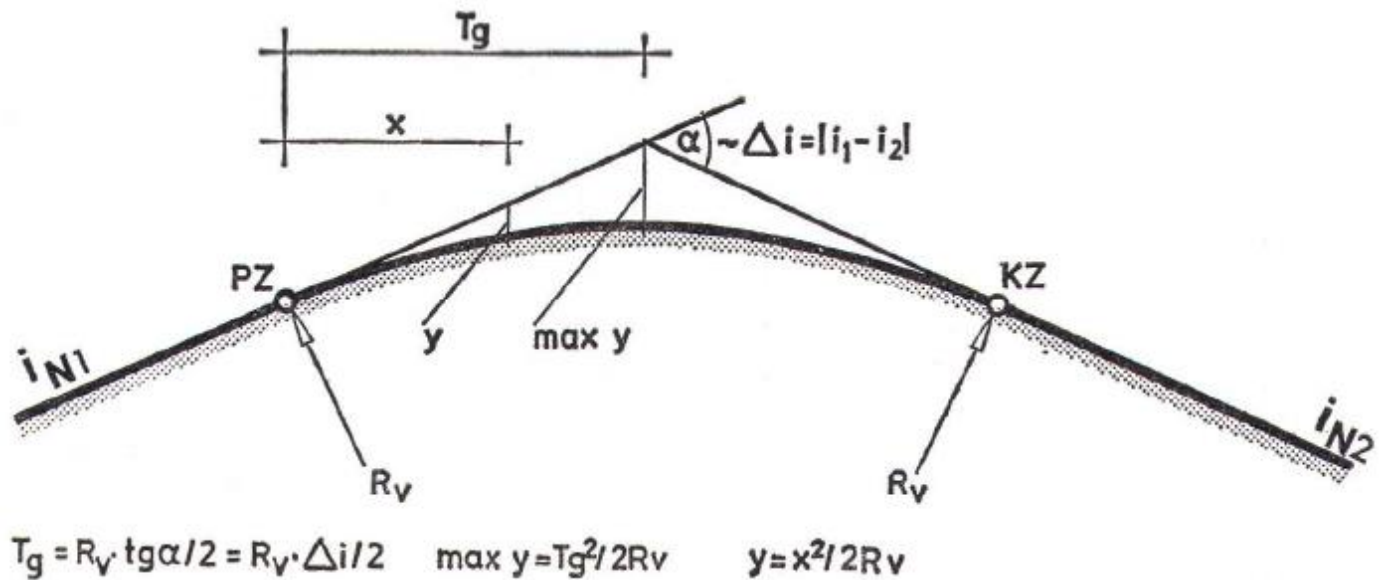
$$R_v^{\text{konk}} \geq \frac{2}{3} R_v^{\text{konv}}$$



geometrijski uslov za određivanje max R_v

KONSTRUKCIJA I PRORAČUN VERTIKALNE KRIVINE

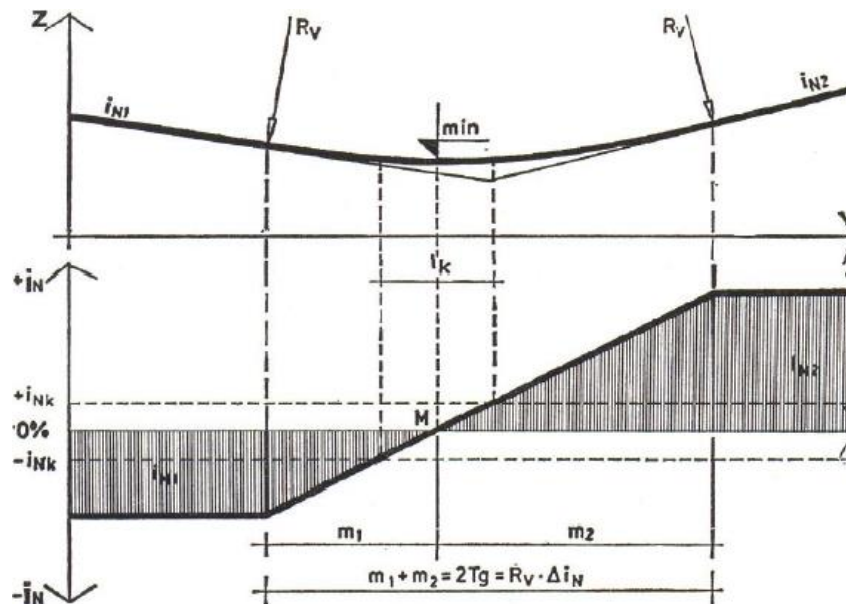
za poznati radijus i oštrinu preloma, konstrukcija se izvodi po ortogonalnoj metodi



karakteristični geometrijski elementi za konstrukciju i proračun vertikalne krivine

KONSTRUKCIJA I PRORAČUN VERTIKALNE KRIVINE

važno utvrditi pozicije ekstremnih tačaka: najviše tačke na konveksnoj i najniže na konkavnoj krivini, dijagram "sektorne sile" (otpor od nagiba)



analiza vertikalne krivine pomoću dijagrama sektorne sile

VITOPERENJE KOLOVOZA

- u horizontalnim krivinama povećan poprečni nagib kolovoza-savlađivanje centrifugalne sile
- veličina i smjer nagiba zavise od stepena zakrivljenosti i orijentacije krivine
- vitoperenje kolovoza izaziva promjenu internih nivelacionih odnosa u poprečnom profilu
- vitoperenje se obavlja na prelaznoj krivini pod uslovom da se na početku kružne krivine postigne potreban poprečni nagib
- prethodno utvrditi veličine poprečnih nagiba u krivini, usvojiti sistem vitoperenja i definisati granične vrijednosti sekundarnih podužnih nagiba

DIMENZIONISANJE POPREČNOG NAGIBA

- po pravilu orijentisan prema središtu krivine i uvećan srazmjerno zakrivljenosti
- max poprečni nagib iznosi 7%, kod serpentina 9%
- vektorski zbir podužnog i poprečnog nagiba $i_{rez}=10\%$ kod puteva I, II i III razreda, $i_{rez}=12\%$ za IV i V razreda
- min poprečni nagib iznosi 2.5%, uslovi odvodnjavanja
- idealan poprečni nagib, rezultanta svih sila koje djeluju na vozilo upravna na kolovoz, ravnoteža radijalnih sila, ne osjeća se radijalno ubrzanje, upravljanje vozilom bez dodirivanja volana="brzina slobodnog volana" (za maksimalne radijuse)

$$V_s = \sqrt{127 \cdot i_{pk} \cdot R} \text{ [km / h]}$$

DIMENZIONISANJE POPREČNOG NAGIBA

- realno se primjenjuju znatno manji radijusi, pa u prijemu radijalne sile učestvuju i poprečni nagib i raspoloživo radijalno trenje
- na osnovu utvrđenih konturnih uslova ($\max_{pk}=7\%$, $\min_{pk}=2.5\%$, $R_g=5\min R$), poprečni nagib u krivini proizvoljnog radijusa R_i :

$$i_{pki} = 7 \sqrt[3]{\left(\frac{\min R}{R_i}\right)^2} [\%]$$

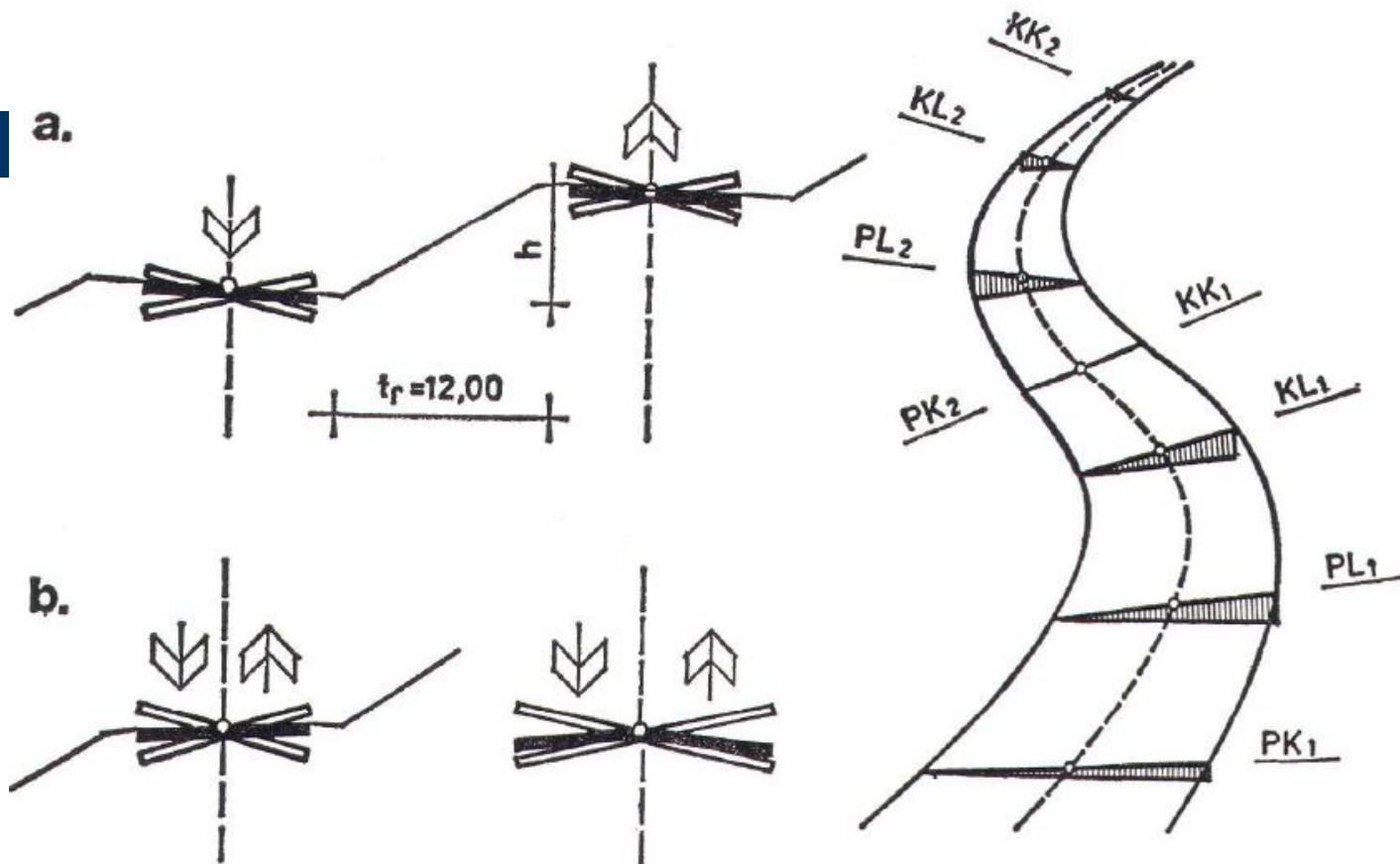
- sračunata veličina zaokružuje se na 0.5
- poprečni nagib u principu pozitivnog smjera, dozvoljava se kontra nagib kod blagih krivina, pod uslovom da je radijalno ubrzanje manje od 0.5m/s^2

SISTEMI VITOPERENJA

- okretanje kolovozne ploče može se vršiti oko bilo koje unaprijed usvojene ose vitoperenja, tehnički ispravno ako se vitoperi oko geometrijski poznate projektne linije: vitoperenje oko ose i vitoperenje oko unutrašnje ivice kolovoza

Vitoperenje oko ose kolovoza

- preporučen sistem kod dvosmjernih puteva i autoputeva
- prednost: ravnomjerno raspodjeljene deformacije ivičnih linija, blaži nagib rampe vitoperenja
- osovina se poklapa sa niveletom, pa u konačnoj razradi nivelacionog plana nema odstupanja od usvojene nivelete



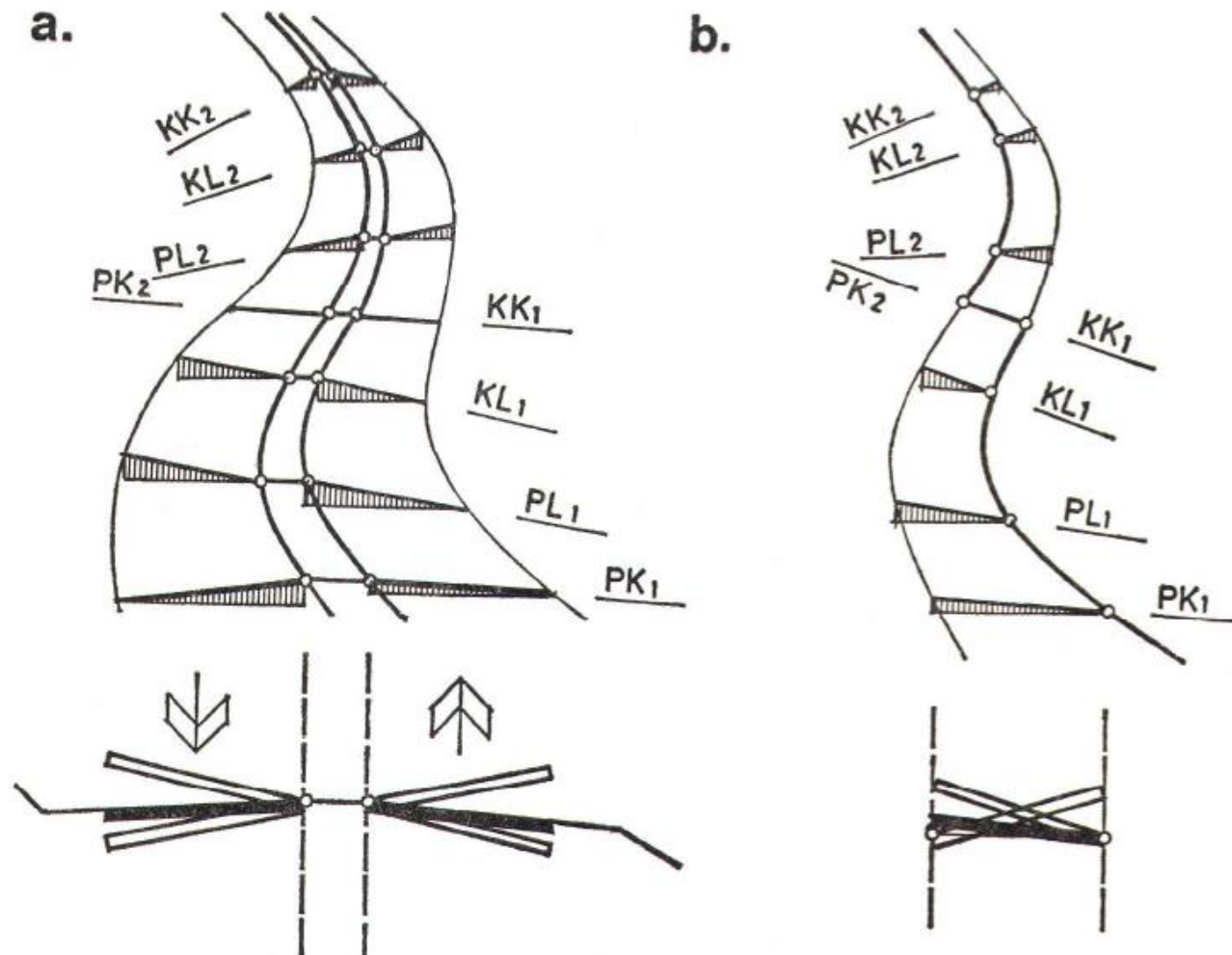
karakteristični tipovi putnih profila za vitoperenje oko ose:

a. autoput sa razdvojenim kolovozima, b. dvosmjerni putevi i ulice

SISTEMI VITOPERENJA

Vitoperenje oko ivice kolovoza

- dvostruko veće dužine prelaznih rampi
- primjenjuje se kod jednosmjernih kolovoza u okviru denivelisanih raskrsnica i kod autoputeva sa minimalnom širinom razdjelnog ostrva
- obično se vitoperi oko unutrašnje ivice, spoljna ivica mijenja svoj nivelacioni tok, kao i osa kolovoza
- niveleta trpi određene korekcije



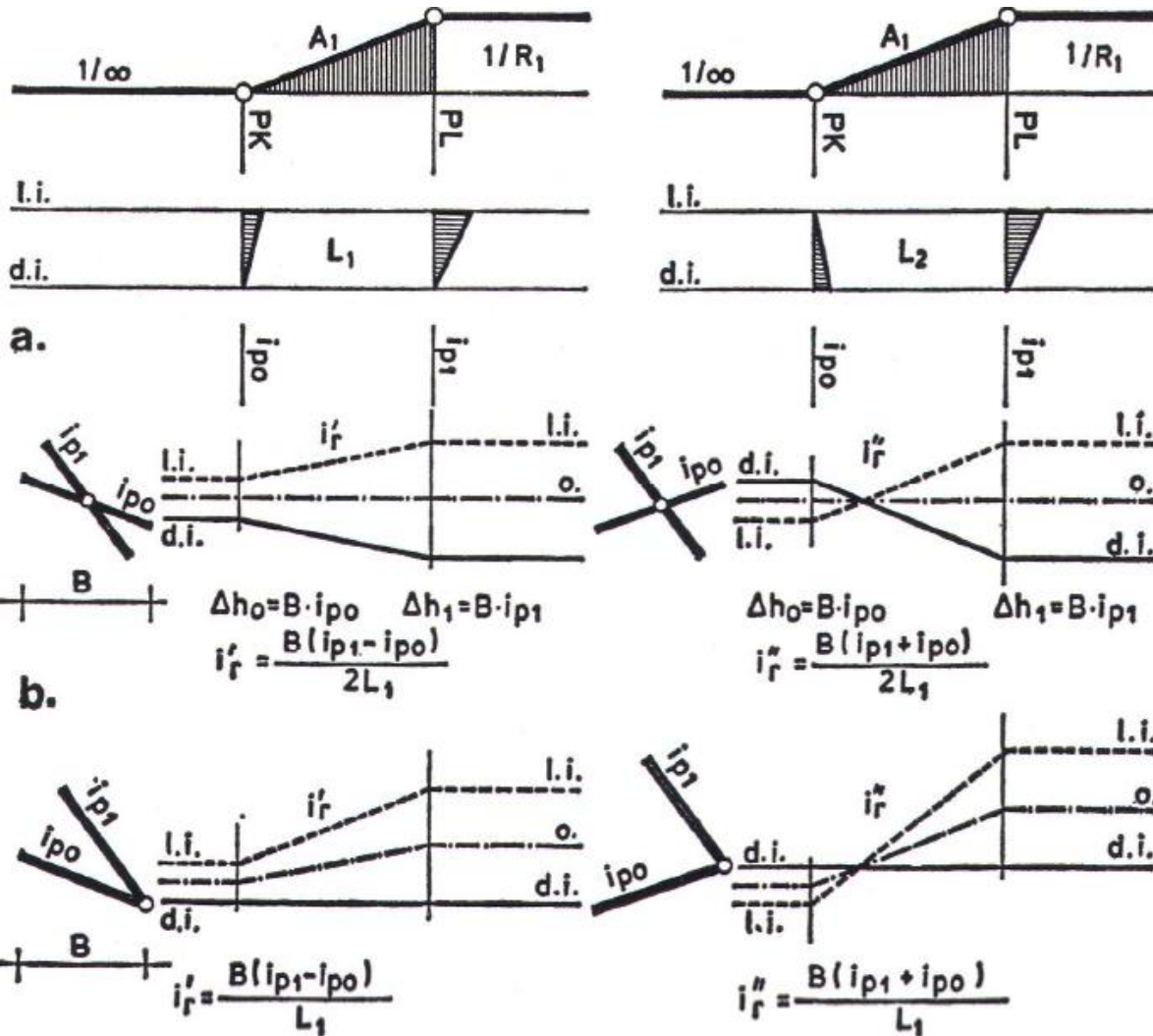
karakteristični tipovi putnih profila za vitoperenje oko ivice kolovoza:
 a. autoput sa min razdjelnom trakom, b. samostalne jednosmjerne rampe

ŠEME VITOPERENJA

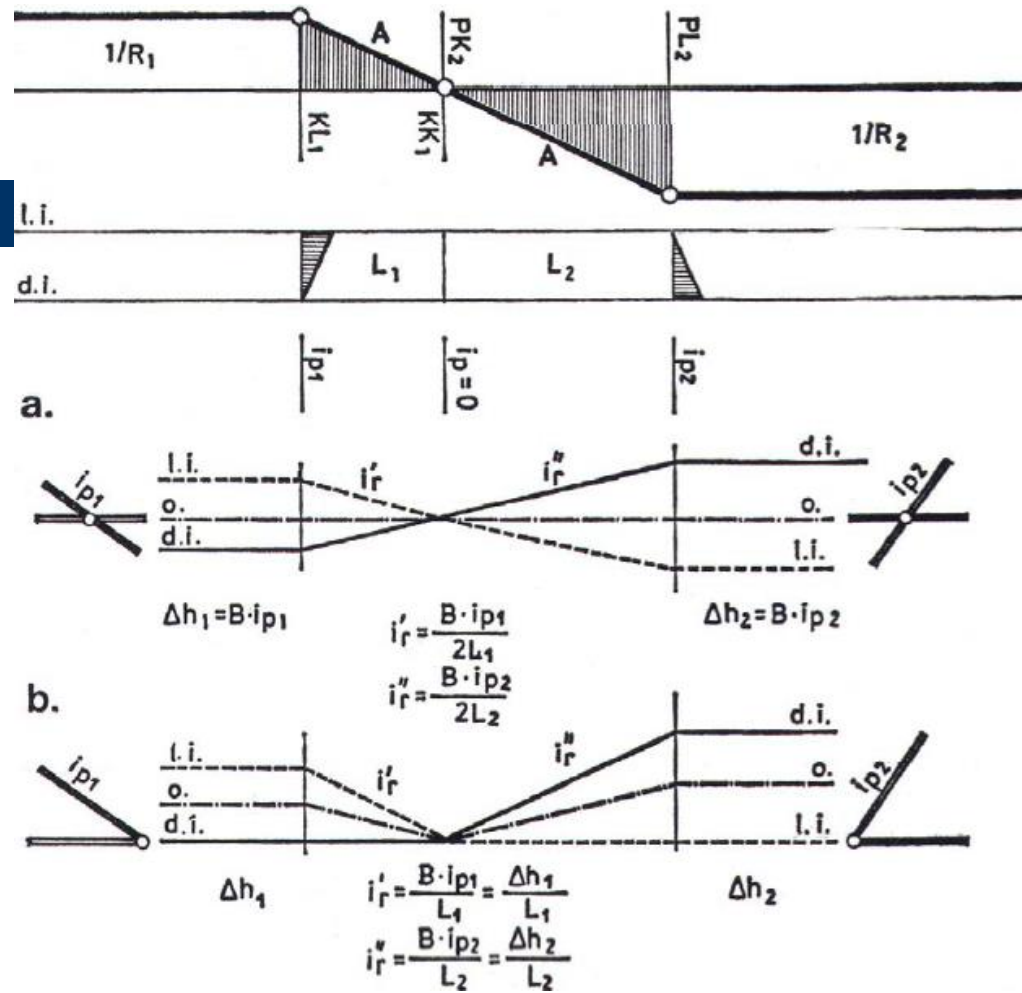
- linearne šeme kojima se utvđuje zakonitost visinskih promjena i sagledavaju estetske, konstruktivne i vozno-dinamičke posledice

Konstrukcija

- poznati parametri: radijus R , parametar prelazne krivine A odnosno dužina prelaznice L , širina kolovoza B , početni i završni poprečni nagibi $i_{po} - i_{pk}$ i usvojen sistem vitoperenja
- sračunate visinske razloke strukturnih linija h_i u karakterističnim tačkama krivine



karakteristični šeme vitoperenja proste putne krivine:
 a. vitoperenje oko ose, b. vitoperenje oko unutrašnje ivice



šema vitoperenja S krivine:

a. vitoperenje oko ose, b. vitoperenje oko unutrašnje ivice

RAMPA VITOPERENJA

- podužni nagib ivice kolovoza – nagib rampe vitopernja

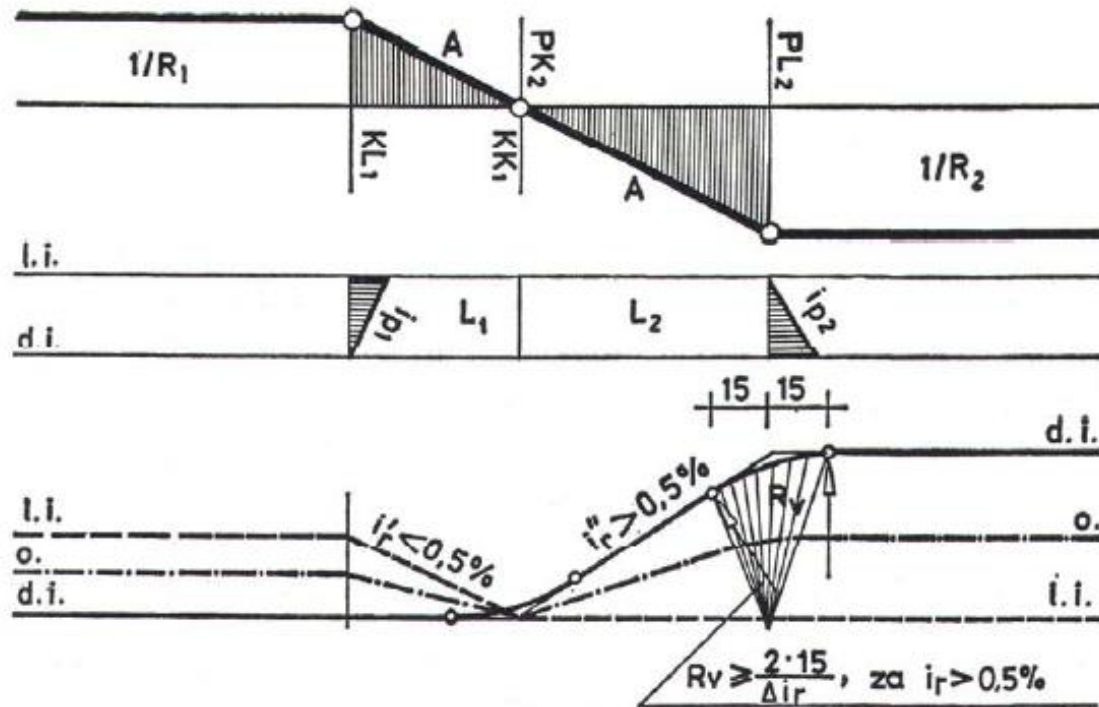
za vitoperenje oko ivice kolovoza:

V_r	40	50	60	70	90	100	120
i_{rmin}	0.55%		0.60%		0.65%	0.70%	0.75%
i_{rmax}	1.5%	1%			0.75%		

za vitoperenje oko ose, vrijednosti iz tabele se dijele sa 2

RAMPA VITOPERENJA

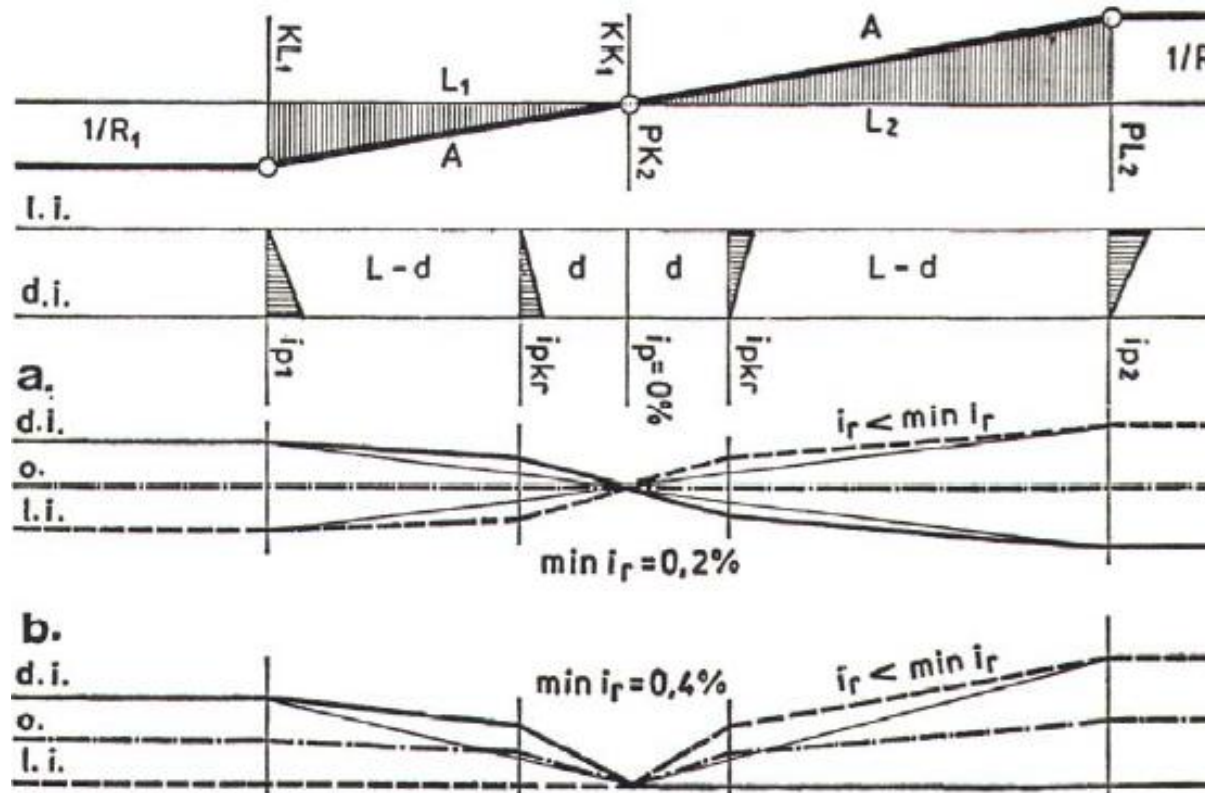
ako je nagib rampe vitoperenja $i_r > 0.5\%$ (u izuzetnim slučajevima kod planinskih puteva i kod veznih rampi na denivelisanim raskrsnicama), vidljivi su prelomi ivice kolovoza-vrši se zaobljenje radijusima $R_v \geq 2 \cdot 15 / i_r$



zaobljenje ivičnih linija u slučaju kada je nagib rampe za vitoperenje $i_r > 0.5\%$

RAMPA VITOPERENJA

ako je nagib rampe vitoperenja $i_r < 0.2\%$ (za vitoperenje oko ose) odnosno $i_r < 0.4\%$ (za vitoperenje oko ivice kolovoza) nema adekvatnog odvodnjavanja kolovoza (aqua-planing)



vitoperenje kolovoza na dugim prelaznim krivinama: a. vitoperenje oko ose kolovoza b. vitoperenje oko unutrašnje ivice kolovoza

PRIMJER KONSTRUKCIJE ŠEME VITOPERENJA I REZULTUJUĆIH BOČNIH POTISAKA

$$q_1 = \frac{R_{\min} \cdot q_{\max}}{R_1} = \frac{250 \cdot 0,07}{300} = 0,0583 = 0,06$$

$$q_2 = \frac{R_{\min} \cdot q_{\max}}{R_2} = \frac{250 \cdot 0,07}{700} = 0,025$$

$$q_p = 0,025$$

$$\Delta h_1 = 2 \cdot S_t \cdot q_1 = 2 \cdot 3,25 \cdot 0,06 = 0,39m$$

$$\Delta h_2 = 2 \cdot S_t \cdot q_2 = 2 \cdot 3,25 \cdot 0,025 = 0,16m$$

$$\Delta h_p = 2 \cdot 3,25 \cdot 0,025 = 0,16m$$

$$c_1 = \frac{V_{rac}^2}{12,96R_1} = \frac{80^2}{12,96 \cdot 300} = 1,646 \frac{N}{kg}$$

$$c_2 = \frac{V_{rac}^2}{12,96R_2} = \frac{80^2}{12,96 \cdot 700} = 0,705 \frac{N}{kg}$$

$$g \cdot q_1 = 9,81 \cdot 0,06 = 0,589 \frac{N}{kg}$$

$$g \cdot q_2 = 9,81 \cdot 0,025 = 0,245 \frac{N}{kg}$$

$$g \cdot f_{R_1} = c_1 - g \cdot q_1 = 1,646 - 0,589 = 1,057 \frac{N}{kg}$$

$$g \cdot f_{R_2} = c_2 - g \cdot q_2 = 0,705 - 0,245 = 0,460 \frac{N}{kg}$$

SEMA KRIVINA:

