

Класе путева према функционалној класификацији

Разликују се четири врсте путева према основним функцијама:

- приступни путеви (ПП)
- сабирни путеви (СП)
- везни путеви (ВП)
- даљински путеви (ДП)

Карактеристике терена

Ванградски путеви класификују се и према топографским карактеристикама терена у непосредном окружењу. Прелиминарно одређивање карактера терена вршено је помоћу табеле

Показатељи за прелиминарно дефинисање карактера терена.

Релативна висинска разлика	равничарски	брдовит	планински
На 1.000 m одстојања	$\leq 50 \text{ m}$	50-150 m	$\geq 150 \text{ m}$
нагиб падина	$\leq 1:10$	1:10 - 1:2	$\geq 1:2$

Пројектни елементи

Основни параметри у пројектовању путева су брзина и проток на основу којих се дефинишу и димензионишу елементи попречног профила, ситуационог плана и подужног профила. Истовремено, они су и доминантан показатељ пројектних остварења и базни критеријуми за процес вредновања варијантних решења.

Рачунска брзина - V_r је усвојена теоријска вредност која служи за прорачун граничних геометријских елемената који се могу применити у пројектовању путева. Њоме се практично одређује доња граница пројектних елемената у најсложенијим теренским условима одређеног пута.

Вредности рачунске брзине V_r [km/h]

Врста пута	Карактеристике терена		
	равничарски	брдовит	планински
даљински	130	100	80
везни	100	80	70
сабирни	80	60	50
приступни	60	50	40

Возне траке - t_v намењене су искључиво проточном саобраћају. Ширина тих трака директно зависи од рачунске брзине деонице (V_{ri}) и дефинисана је у табели, док су попречни нагиби у границама од 2,5-7 %.

Ширина возних трака (t_v).

V_{ri} [km/h]	t_v [m]	Тип пута и карактер терена
$V_{ri} > 100$	$t_v = 3,75$	АП (равничарски)
$80 < V_{ri} \leq 100$	$t_v = 3,50$	АП (брдски, планински), ВП, П
$60 < V_{ri} \leq 80$	$t_v = 3,25$	П
$40 < V_{ri} \leq 60$	$t_v = 3,00$	П
$V_{ri} \leq 40$	$t_v = 2,75$	П

Ивичне траке и ивичне разделне линије - t_r, t_i служе, у првом реду, за визуелно разграничење проточног дела коловоза од осталих елемената пута. У аутопутним профилима примењује се ивична трака уз разделну траку, док се ивичне линије примењују за разграничења између возних трака, као и возне траке и траке намењене заустављању возила.

V_r (km/h)	Ивична трака t_i (m)
$V_{ri} \geq 100$	$t_i = 1,00$ (0,75), (0,50)
$80 \leq V_{ri} < 100$	$t_i = 0,35$
$V_{ri} < 80$	$t_i = 0,25$

Банкина – b , је ивични елемент пута у насипу. Њена функција је да обезбеди бочну стабилност путне конструкције, допринесе психичкој сигурности возача и послужи за смештај саобраћајне и грађевинске опреме (сигнализација, сигурносне заштитне ограде и сл.). Ширина банке утврђује се зависно од типа пута и карактера терена, док се попречни нагиб налази у границама од 12% до 6%

V_{ri} (km/h)	Коловоз без t_z		Коловоз са t_z	
	norm b	min b	norm b	min b
$V_{ri} > 100$			1,50	1,25
$80 < V_{ri} \leq 100$	1,50(2,50)	1,25	1,00	0,75
$60 < V_{ri} \leq 80$	1,50	1,25		
$V_{ri} \leq 60$	1,25	1,00		

Ригола – r , је пратећи елемент путног профила у усеку и служи за прихватање површинских вода и њихово усмерено и ефикасно вођење до канализационх колектора. Ригола прихвата воду како са површине коловоза тако и са косина усека. Димензије риголе се одређују на основу меродавних хидролошких података за дефинисани повратни период у складу са категоријом пута. Из конструктивних разлога ширина риголе је у опсегу 0,60-1,00m, док је висина ограничена на 0,15 m.

Берма – b' , је зараван између риголе и косине усека. Њена димензија износи не мање од 0,50 m. Служи за остварење боље прегледности, за постављање саобраћајне сигнализације, заштите риголе, саобраћајнице и возила од ерозивног материјала косина.

Кружне кривине

У циљу савладавања теренских препрека и прелома нивелете пута, у хоризонталном смислу, примењују се хоризонталне кривине. Њихов најједноставнији облик је кружни лук, односно крива линија константне закривљености ($\frac{1}{R} = \text{const}$). У зависности од топографских услова терена треба тежити примени што је могуће већих радијуса кружних кривина. Водећи се овом препоруком, директно се утиче на: побољшање прегледности саобраћајнице, смањење укупне дужине трасе, повећање сигурности и удобности вожње. Приликом пројектовања саобраћајница могу се примењивати лукови чији су радијуси: $\min R \leq R \leq \max R$.

Минималне вредности радијуса кружних кривина заједно с минималним дужинама кружних лукова за вредности рачунске брзине (V_n) дате су у табели:

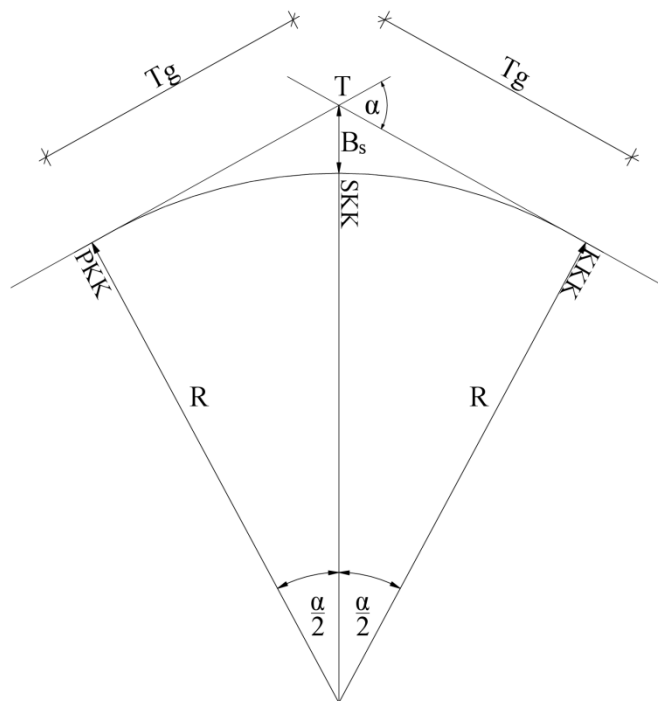
V_n [km/h]	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130
minR	45	75	120	175	250	350	450	550	675	800
minL_k	22	28	33	39	44	50	56	61	67	72

Максимални нагиб нивелете

Максимална вредност нагиба нивелете за ванградске путеве зависи од категорија терена и пута. У примени **max i_n** битан фактор је дужина на којој постоји тај нагиб, а утицај који тај нагиб има на проточност, безбедност вожње, еколошке последице и инвестициона улагања мора се посебно утврдити како са становишта обликовања елемената пројектне геометрије, тако и са становишта вредновања варијантних решења.

V_r (km/h)	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130
max i_n (%)	10	9	8	7	6	5,5	5	4,5	4	4

Хоризонталне кривине (без прелазница)



T – теме хоризонталне кривине

T_g – тангента хоризонталне кривине

B_s – бисектриса хоризонталне кривине

R – полупречник хоризонталне кривине

D_{kl} – дужина кружног лука

α – скретни угао

$T_g = R \cdot \tan \frac{\alpha}{2}$ – дужина тангенте

$B_s = R \cdot (\sec \frac{\alpha}{2} - 1) = R \cdot (\frac{1}{\cos \frac{\alpha}{2}} - 1)$ – дужина бисектрисе

$D_{kl} = \frac{R \cdot \pi \cdot \alpha}{180}$ – дужина кружног лука

Кривина 1

$$R_1=260,60\text{m}$$

$$\alpha_1=19^{\circ}09'45''$$

$$T_g=R*\text{tg}\frac{\alpha}{2}$$

$$T_g=260,60*\text{tg}\frac{19^{\circ}09'45''}{2} \rightarrow T_g=43,98\text{m}$$

$$B_s=R*(\sec\frac{\alpha}{2} - 1)$$

$$B_s=260,60*(\sec\frac{19^{\circ}09'45''}{2} - 1) \rightarrow B_s=3,68\text{m}$$

$$D_{kl}=\frac{R*\pi*\alpha}{180}$$

$$D_{kl}=\frac{260,60*\pi*19^{\circ}09'45''}{180} \rightarrow D_{kl}=87,16\text{m}$$

Кривина 2

$$R_2=220,50\text{m}$$

$$\alpha_2=26^{\circ}06'06''$$

$$T_g=R*\text{tg}\frac{\alpha}{2}$$

$$T_g=220,50*\text{tg}\frac{26^{\circ}06'06''}{2} \rightarrow T_g=51,11\text{m}$$

$$B_s=R*(\sec\frac{\alpha}{2} - 1)$$

$$B_s=220,50*(\sec\frac{26^{\circ}06'06''}{2} - 1) \rightarrow B_s=5,85\text{m}$$

$$D_{kl}=\frac{R*\pi*\alpha}{180}$$

$$D_{kl}=\frac{220,50*\pi*26^{\circ}06'06''}{180} \rightarrow D_{kl}=100,45\text{m}$$

Кривина 3

$$R_3=434,30\text{m}$$

$$\alpha_3=15^{\circ}29'22''$$

$$T_g=R*\text{tg}\frac{\alpha}{2}$$

$$T_g=434,30*\text{tg}\frac{15^{\circ}29'22''}{2} \rightarrow T_g=59,06\text{m}$$

$$B_s=R*(\sec\frac{\alpha}{2} - 1)$$

$$B_s=434,30*(\sec\frac{15^{\circ}29'22''}{2} - 1) \rightarrow B_s=4,00\text{m}$$

$$D_{kl}=\frac{R*\pi*\alpha}{180}$$

$$D_{kl}=\frac{434,30*\pi*15^{\circ}29'22''}{180} \rightarrow D_{kl}=117,41\text{m}$$

Кривина 4

$$R_4=81,50\text{m}$$

$$\alpha_4=90^{\circ}27'59''$$

$$T_g=R*\text{tg}\frac{\alpha}{2}$$

$$T_g=81,50*\text{tg}\frac{90^{\circ}27'59''}{2} \rightarrow T_g=82,17\text{m}$$

$$B_s=R*(\sec\frac{\alpha}{2} - 1)$$

$$B_s=81,50*(\sec\frac{90^{\circ}27'59''}{2} - 1) \rightarrow B_s=34,23\text{m}$$

$$D_{kl}=\frac{R*\pi*\alpha}{180}$$

$$D_{kl}=\frac{81,50*\pi*90^{\circ}27'59''}{180} \rightarrow D_{kl}=128,68\text{m}$$

Кривина 5

$$R_5=78,80\text{m}$$

$$\alpha_5=91^\circ 21' 50''$$

$$T_g=R*\operatorname{tg}\frac{\alpha}{2}$$

$$T_g=78,80*\operatorname{tg}\frac{91^\circ 21' 50''}{2} \rightarrow T_g=80,70\text{m}$$

$$B_s=R*(\sec\frac{\alpha}{2}-1)$$

$$B_s=78,80*(\sec\frac{91^\circ 21' 50''}{2}-1) \rightarrow B_s=34,00\text{m}$$

$$D_{kl}=\frac{R*\pi*\alpha}{180}$$

$$D_{kl}=\frac{78,80*\pi*91^\circ 21' 50''}{180} \rightarrow D_{kl}=125,65\text{m}$$

Кривина 6

$$R_6=541,20\text{m}$$

$$\alpha_6=5^\circ 23' 22''$$

$$T_g=R*\operatorname{tg}\frac{\alpha}{2}$$

$$T_g=541,20*\operatorname{tg}\frac{5^\circ 23' 22''}{2} \rightarrow T_g=25,47\text{m}$$

$$B_s=R*(\sec\frac{\alpha}{2}-1)$$

$$B_s=541,20*(\sec\frac{5^\circ 23' 22''}{2}-1) \rightarrow B_s=0,60\text{m}$$

$$D_{kl}=\frac{R*\pi*\alpha}{180}$$

$$D_{kl}=\frac{541,20*\pi*5^\circ 23' 22''}{180} \rightarrow D_{kl}=50,91\text{m}$$

Прелазне кривине

Код непосредног прелаза возила из правца у кружни лук јавља се центрифугална сила и изазива јак потисак у попречном смеру. Овај попречни потисак неповољно утиче на путнике са аспекта удобности вожње, а при већим брзинама може доћи и до превртања возила или искакања воза из шина. Поменута центрифугална сила се може поништити на тај начин што ће се спољна ивица коловоза, односно спољна шина код железница, издићи постепено од 0 до величине надвишења h , што даје дужину прелазне рампе, а самим тим и дужину прелазне кривине. У циљу испуњавања возно динамичких, конструктивних и саобраћајно-психолошких захтева, на свим јавним ванградским путевима обавезна је примена прелазних кривина облика **клотоиде**.

$$A^2 = R \cdot L$$

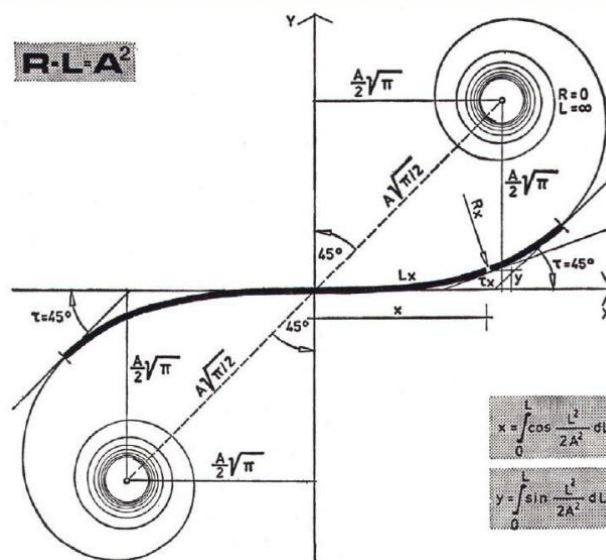
где је:

A (m) - параметар клотоиде;

R (m) - радијус (прикључни радијус на крају прелазне кривине);

L (m) - дужина прелазне кривине (од почетка прелазнице до прикључног круга).

Минималне вредности параметра прелазне кривине (**minA**) дефинисане су у функцији рачунске брзине деонице ($V_{\text{п}}$) и приказане у табели



$V_{\text{п}} \text{ (km/h)}$	$A \text{ (m)}$	$\text{min } A \text{ (возно-динам.)}$	$\text{min } A = R/3 \text{ (естетски)}$	$\text{min } A \text{ (конструктивни крит.)}$		
				(воо-П)	(вои-П)	(вои-АП)
40	35 (27,22)*	15	25	35		
50	55 (40,33)	25	30	50		
60	75 (46,88)	40	45	60		
70	100 (57,14)	60	55	80		
80	125 (62,50)	85	80	115		
90	155 (68,64)	120	100 (ВП*-120)	140 (ВП-170)		
100	195 (84,50)	150	120 (ВП-140)	170 (ВП-200)	190	
110	230 (96,18)	185				220
120	270 (108,00)	225				245
130	300 (112,50)	270				270

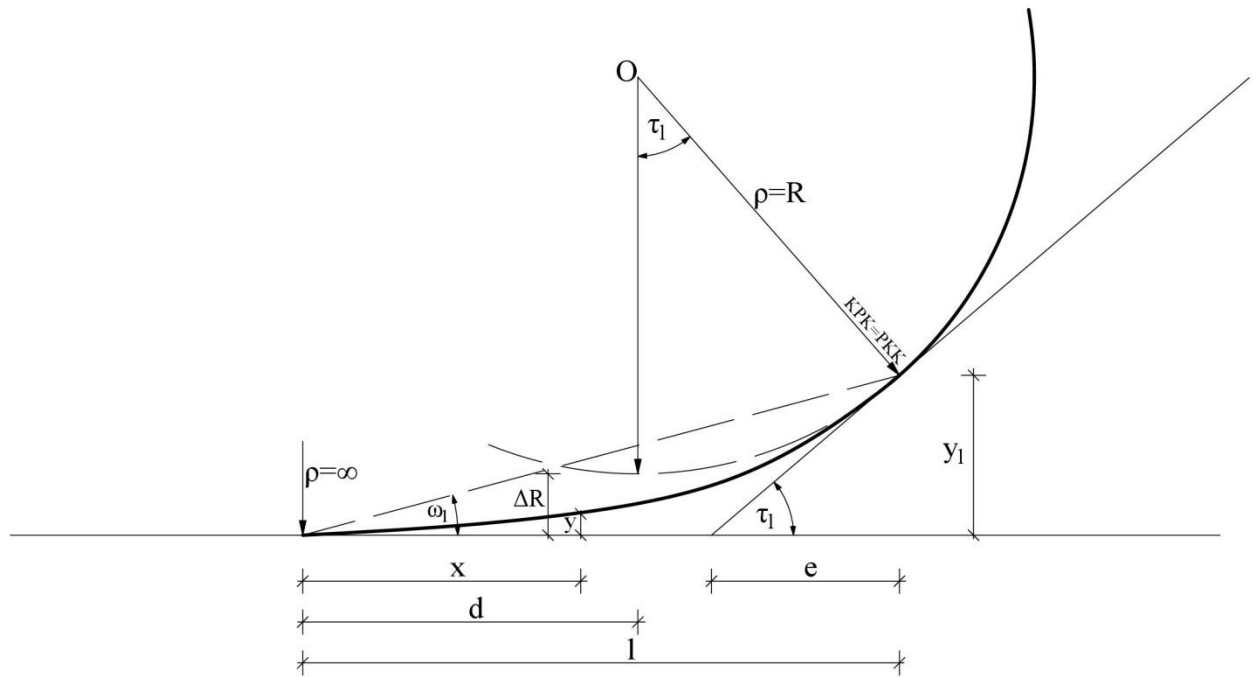
*) вредности у заградама су одговарајуће дужине прелазних кривина (m)

**) ВП - асиметрични профили (межупрофили M1 и M2)

воо - витоперење око осовине коловоза; вои - витоперење око ивице коловоза

Максимални нагиби рампи витоперења: $V_{\text{п}} \leq 70 \text{ km/h} \rightarrow 1,5\%$; $V_{\text{п}} = 80 \text{ i } 90 \text{ km/h} \rightarrow 1,0\%$; $V_{\text{п}} \geq 100 \text{ km/h} \rightarrow 0,9\%$

Елементи прелазне кривине



У естетском погледу, прелазна кривина треба ублажити утисак оштрине кривине. Према овом критеријуму минимална дужина прелазне кривине је:

$$L_{\min} = \frac{R}{9}$$

Минимална дужина прелазне кривине према возно-динамичком критеријуму треба обезбедити промену центрифугалне силе услед промене закривљености и промену бочне силе услед повећања попречног нагиба. Према овом критеријуму минимална дужина прелазне кривине може се израчунати:

$$L_{\min} = \frac{2,725 * V_r * f_r}{x}$$

Где је:

V_r – рачунска брзина $\left[\frac{\text{km}}{\text{h}} \right]$

R – полупречник кривине [m]

x – бочни удар $\left[\frac{\text{m}}{\text{s}^3} \right]$

f_r – коефицијент радијалног отпора клизању

Дозвољене вредности бочног удара, дужине прелазне кривине и минималног полупречника кривине дати су у наредној табели:

V_r (km/h)	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
x (m/s³)	0,909	0,773	0,651	0,555	0,469	0,396	0,338	0,290	0,252	0,224
L_{min} (m)	25	30	40	50	60	70	90	100	110	120
R_{min} (m)	25	45	75	120	180	250	350	450	600	750

Посматрано са конструктивне тачке гледишта, дужина прелазне кривине дефинише се из услова промене попречног нагиба (витоперења).

Према поменутом услову, минимална дужина прелазне кривине се рачуна:

- за витоперење око унутрашње ивице коловоза:

$$L_{\min} = \frac{B \cdot i_{pk}}{i_r}$$

- за витоперење око осовине коловоза

$$L_{\min} = \frac{B \cdot i_{pk}}{2i_r}$$

где је:

B – ширина коловоза [m]

i_{pk} – попречни нагиб коловоза [%]

i_r – нагиб рампе за витоперење [%]

Оптимална дужина прелазне кривине, гледано са ликовне тачке, је одређена односом:

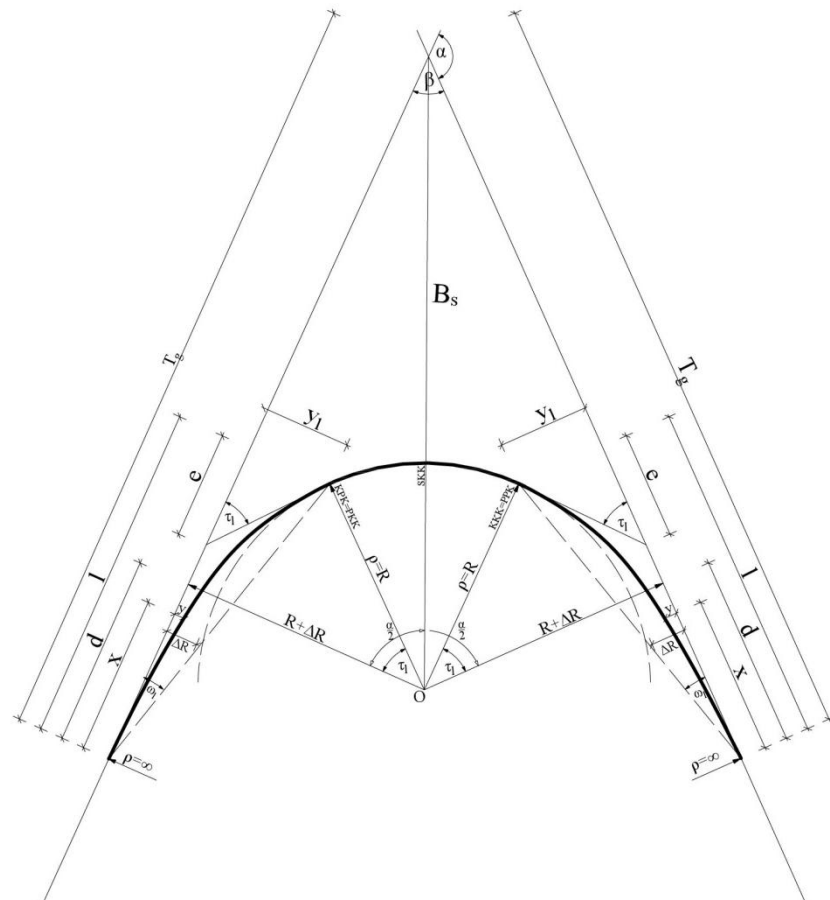
$$L_{\text{prel}}:L_{\text{kruž}}: L_{\text{prel}}=1:1:1$$

што је омогућено условом:

$$\tau:\alpha: \tau=1:2:1$$

Елементи хоризонталне кривине са прелазницима

Симетрична кривина



Тангента: $T_g = (R + \Delta R) * \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} + d$

Бисектриса: $B_s = (R + \Delta R) * (\sec \frac{\alpha}{2} - 1) + \Delta R$

Дужина кружног лука: $D_k = \frac{R * \pi * (\alpha - 2\tau_1)}{180}$

Дужина кривине: $D = D_k + 2L$

α – скретни угао

R – полупречник кривине

τ – скретни угао клотоиде

L – дужина прелазне кривине

Примери:

Кривина 1

$$R_1=190\text{m}$$

$$\alpha = 26^{\circ}18'50''$$

усвојена дужина прелазнице: $L=50\text{m}$

$$\text{очитано: } \Delta R=0,548$$

$$d=24,986$$

$$\tau_l = 7^{\circ}32'20''$$

$$T_g = (190+0,548) * \operatorname{tg} \frac{26^{\circ}18'50''}{2} + 24,986$$

$$T_g = 69,53\text{m}$$

$$B_s = (190+0,548) * (\sec \frac{26^{\circ}18'50''}{2} - 1) + 0,548$$

$$B_s = 5,68\text{m}$$

$$D_k = \frac{190 * \pi * (26^{\circ}18'50'' - 2 * 7^{\circ}32'20'')}{180}$$

$$D_k = 37,26\text{m}$$

$$D = 137,26\text{m}$$

Кривина 2

$$R_2=120\text{m}$$

$$\alpha = 56^{\circ}04'42''$$

усвојена дужина прелазнице: $L=60\text{m}$

$$\text{очитано: } \Delta R=1,247$$

$$d=29,938$$

$$\tau_l = 14^{\circ}19'26''$$

$$T_g = (120+1,247) * \operatorname{tg} \frac{56^{\circ}04'42''}{2} + 29,938$$

$$T_g = 94,51\text{m}$$

$$B_s = (120+1,247) * (\sec \frac{56^{\circ}04'42''}{2} - 1) + 1,247$$

$$B_s = 17,37\text{m}$$

$$D_k = \frac{120 * \pi * (56^{\circ}04'42'' - 2 * 14^{\circ}19'26'')}{180}$$

$$D_k = 57,45\text{m}$$

$$D = 177,45\text{m}$$

Кривина 3

$$R_3=120\text{m}$$

$$\alpha = 90^{\circ}16'56''$$

усвојена дужина прелазнице: $L=30\text{m}$

$$\text{очитано: } \Delta R=0,312$$

$$d=14,992$$

$$\tau_l = 7^{\circ}09'43''$$

$$T_g = (120+0,312) * \operatorname{tg} \frac{90^{\circ}16'56''}{2} + 14,992$$

$$T_g = 135,89\text{m}$$

$$B_s = (120+0,312) * (\sec \frac{90^{\circ}16'56''}{2} - 1) + 0,312$$

$$B_s = 50,56\text{m}$$

$$D_k = \frac{120 * \pi * (90^{\circ}16'56'' - 2 * 7^{\circ}09'43'')}{180}$$

$$D_k = 159,08\text{m}$$

$$D = 219,08\text{m}$$

Кривина 4

$$R_4=200\text{m}$$

$$\alpha = 68^{\circ}09'18''$$

усвојена дужина прелазнице: $L=80\text{m}$

$$\text{очитано: } \Delta R=1,331$$

$$d=39,947$$

$$\tau_l = 11^{\circ}27'33''$$

$$T_g = (200+1,331) * \operatorname{tg} \frac{68^{\circ}09'18''}{2} + 39,947$$

$$T_g = 176,14\text{m}$$

$$B_s = (200+1,331) * (\sec \frac{68^{\circ}09'18''}{2} - 1) + 1,331$$

$$B_s = 43,07\text{m}$$

$$D_k = \frac{200 * \pi * (68^{\circ}09'18'' - 2 * 11^{\circ}27'33'')}{180}$$

$$D_k = 157,91\text{m}$$

$$D = 317,91\text{m}$$

Кривина 5

$$R_5=200\text{m}$$

$$\alpha = 102^{\circ}39'28''$$

усвојена дужина прелазнице: $L=120\text{m}$

$$\text{очитано: } \Delta R=2,990$$

$$d=59,820$$

$$\tau_l = 17^{\circ}11'19''$$

$$T_g = (200+2,990) * \operatorname{tg} \frac{102^{\circ}39'28''}{2} + 59,820$$

$$T_g = 313,45\text{m}$$

$$B_s = (200+2,990) * (\sec \frac{102^{\circ}39'28''}{2} - 1) + 2,990$$

$$B_s = 124,86\text{m}$$

$$D_k = \frac{200 * \pi * (102^{\circ}39'28'' - 2 * 17^{\circ}11'19'')}{180}$$

$$D_k = 238,34\text{m}$$

$$D = 478,34\text{m}$$

Кривина 6

$$R_6=120\text{m}$$

$$\alpha = 109^{\circ}55'44''$$

усвојена дужина прелазнице: $L=80\text{m}$

$$\text{очитано: } \Delta R=2,213$$

$$d=39,852$$

$$\tau_l = 19^{\circ}05'55''$$

$$T_g = (120+2,213) * \operatorname{tg} \frac{109^{\circ}55'44''}{2} + 39,852$$

$$T_g = 214,16\text{m}$$

$$B_s = (120+2,213) * (\sec \frac{109^{\circ}55'44''}{2} - 1) + 2,213$$

$$B_s = 92,88\text{m}$$

$$D_k = \frac{120 * \pi * (109^{\circ}55'44'' - 2 * 19^{\circ}05'55'')}{180}$$

$$D_k = 150,23\text{m}$$

$$D = 310,23\text{ m}$$