

Univerza  
v Ljubljani  
Fakulteta  
*za gradbeništvo  
in geodezijo*

*Janova 2  
1000 Ljubljana, Slovenija  
telefon (01) 47 68 500  
faks (01) 42 50 681  
fgg@fgg.uni-lj.si*



Visokošolski program Gradbeništvo,  
Prometnotehnična smer

Kandidat:  
**Stanislav Škrjanc**

## **Trasiranje cestne osi z gibko žico**

**Diplomska naloga št.: 238**

**Mentor:**  
doc. dr. Alojzij Juvanc

Ljubljana, 3. 7. 2006

## **BIBLIOGRAFSKO-DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK**

**UDK: 625.72(043.2)**

**Avtor: Stanislav Škrjanc**

**Mentor: doc. dr. Alojzij Juvanc**

**Naslov: Trasiranje cestne osi z gibko žico**

**Obseg in oprema: 95 str., 2 pregl., 29 sl., 3 priloge**

**Ključne besede: gibka žica, trasiranje ceste, lastnosti gibkih žic**

### **Povzetek:**

Vsako cesto je treba zgraditi tako, da po njej vozila lahko vozijo s primerno hitrostjo in je vožnja pri tem za potnike kar se da udobna. Zato je treba izbrati pravilno širino voznih površin, pravilno velikost geometrijskih elementov, odvisnih predvsem od vozne hitrosti, in poskrbeti za skladnost uporabljenih elementov. Za presojo te uspešnosti se običajno uporabljajo računalniški programi. Na cestah, kjer načrti niso (bili) pripravljene v računalniški obliki, zahteva ta postopek obsežno pripravo predhodnih podatkov. Zato se praviloma ne izvaja. Obstaja pa skoraj že pozabljena metoda »gibke« žice. Gibka žica, položena med prisilne točke se namreč zaradi svojih mehanskih lastnosti (notranje sile) samooblikuje v linijo, ki je skoraj identična liniji vožnje vozila po cesti. Zato bi lahko bila uporabna tudi danes. Naloga je, da se z eksperimentalnim in analitičnim pristopom ugotovi, katera debelina gibke žice (pletence) je najuporabnejša glede na merilo (običajno 1:1000), v katerem se rišejo načrti za ceste, kolikšen je njen upogib (polmer loka) preden se trajno deformira in kako se oblikuje med dvema krožnima lokoma, če je razdalja med lokoma kratka ali dolga.

Najpomembnejše ugotovitve so:

- najprimernejša je žica debeline 4 mm,
- pri velikih razmakih med krožnima lokoma se na vmesnem delu žica formira kot prema in
- gibka žica je lahko tudi danes uporaben pripomoček za presojo skladnosti elementov cestne osi.

**BIBLIOGRAFIC-DOCUMENTALISTIC INFORMATION****UDC: 625.72(043.2)****Author: Stanislav Škrjanc****Supervisor: assit. prof. Alojzij Juvanc****Title: Road-line designing using flexible wire****Notes: 95 p., 2 tab., 29 fig., 3 ins.****Key words: flexible wire, road-line designing, characteristics of flexible wires****Abstract:**

Every road has to be designed for enabling a defined speed by driving the vehicle and tendering a comfortable feeling of the passengers in these vehicles. To reach these goals the use of the proper dimensions of lane-width and geometrical elements and mutual harmony of them must be taken into consideration. For the estimation of the quality if road-axis has not been designed using a computer, the data preparation for the computing takes a lot of time. That is why this kind of the estimation is abandoned as a rule. In the time, before the computer was born, a test by flexible-wire was used. Guided around fixed points the flexible-wire, due to its mechanical characteristic, self-forms a line, which shape is almost identical to the line of the vehicle-track on the road. This method could be use today also. The task is to find out which thickness of flexible-wire among the commercial sold ones is well enough to carry out the test on the layout, drawn in normal scale 1:1000, how great is its curving (minimal arc-radii) before the wire plastically deforms, and which kind of geometrical elements appears in dependence of the largeness of the distance between two neighbouring circles. the most important findings are:

- the most usable is the wire the 4 mm thickness,
- by larger distances between two circles the central part of the wire forms a straight line and
- the flexible-wire should be even today an applicable device for the estimation of the harmony of the road axis elements.

## **ZAHVALA**

Zahvaljujem se vsem, ki so mi s svojim delom in nasveti pomagali pri izdelavi diplomske naloge, še posebej mentorju doc. dr. Alojzu Juvancu, asistentu mag. Robertu Rijavcu za pomoč pri računalniških obdelavah, doc. dr. Mitji Laknerju za pomoč pri matematičnem programiranju, dr. Niku Čertancu in dr. Petru Liparju za eksperimentalno orodje in literaturo, Gregorju in Romanu Matečko za izdelavo fotografij in delo na računalniku ter vsem ostalim, ki ste bili udeleženi pri tej nalogi.

**KAZALO VSEBINE**

<b>1</b>	<b>UVOD .....</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>NAMEN IN CILJI NALOGE .....</b>	<b>3</b>
<b>3</b>	<b>METODE DELA .....</b>	<b>4</b>
3.1	Eksperimentalno delo .....	4
3.2	Analitično delo .....	5
<b>4</b>	<b>CESTNA OS .....</b>	<b>6</b>
4.1	Povezava med linijo cestne osi in linijo upognjene gibke žice .....	6
4.2	Elementi cestne osi .....	6
4.2.1	Prema .....	7
4.2.2	Krožni lok .....	7
4.2.3	Prehodnica .....	9
4.3	Skladnost elementov osi ceste .....	13
4.4	Diagram zakrivljenosti .....	14
4.5	Program PLATEIA za projektiranje cest .....	17
4.6	Geometrija linije osi ceste med zaporednimi krožnimi loki .....	28
<b>5</b>	<b>PLETENICA .....</b>	<b>30</b>
5.1	Karakteristike pletenice .....	31
5.1.1	Prožnost .....	31
5.1.2	Trdnost .....	32
5.2	Navodila za uporabo, skladiščenje in rezanje .....	33
5.3	Vrste jeklenih vrvi .....	36
<b>6</b>	<b>IZVEDBA EKSPERIMENTA .....</b>	<b>39</b>
6.1	Opis eksperimenta .....	39
6.2	Poskus za določitev minimalnega polmera uvijanja žice .....	42
6.2.1	Opis poskusa .....	42
6.2.2	Ugotovitve .....	45
6.3	Poskus s horizontalnim potekom .....	45
6.3.1	Opis poskusa .....	45
6.3.2	Ugotovitve .....	46
6.4	Poskus z vertikalnim potekom .....	47

6.4.1	Opis poskusa.....	47
6.4.2	Predhodna izločitev vizuelno neuporabnih rezultatov eksperimenta .....	49
6.4.3	Obdelava odčitanih koordinat s programom Mathematica.....	51
6.4.4	Izločitev posameznih rezultatov po obdelavi s programom Mathematica .....	54
6.4.5	Primerjava gibkih žic glede na debelino žice pri enaki višini podpore .....	54
6.4.6	Analiza gibke žice debeline 4 mm na razmak med krožnima lokoma .....	61
<b>7</b>	<b>ZAKLJUČKI.....</b>	<b>70</b>
	<b>PRILOGE.....</b>	<b>72</b>
	<b>VIRI .....</b>	<b>96</b>

**KAZALO PREGLEDNIC**

Preglednica 1: Karakteristike gibkih žic .....	39
Preglednica 2: Geometrijski elementi pri oblikovanju gibke žice 4mm na različnih višinah..	67

## KAZALO SLIK

Slika 4.1: Krožni lok.....	7
Slika 4.2: S-krivina.....	18
Slika 4.3: S-krivina.....	19
Slika 4.4: S-krivina.....	20
Slika 4.5:Povezava krožnih lokov s prehodnico.....	21
Slika 4.6:Povezava krožnih lokov s prehodnico.....	22
Slika 4.7:Dva enaka krožna loka.....	23
Slika 4.8:Potek lokov.....	25
Slika 4.9:Potek lokov.....	26
Slika 4.10:Potek lokov.....	26
Slika 4.11:Trije različni krožni loki.....	27
Slika 6.1: Gibke žice(pletence), pripravljene za izvedbo eksperimenta.....	39
Slika 6.2: Žice slikane še z drugega zornega kota.....	40
Slika 6.3: Prostorski prikaz trase (pogled s strani – vzdolžni prerez).....	40
Slika 6.4: Prostorski prikaz trase (pogled z vrha - tloris).....	41
Slika 6.5: Samooblikovanje obešene žice.....	42
Slika 6.6:Sled gibke žice.....	42
Slika 6.7: Deformacija gibke žice premera 2 mm.....	43
Slika 6.8:Gibka žica 3 mm pri polmeru R=30 mm.....	43
Slika 6.9:Gibka žica premera 3 mm.....	44
Slika 6.10: Debelina žice 4 mm, položena na polmeru R = 40 mm.....	44
Slika 6.11:Žica debeline 5 mm, položena na polmeru R = 50 mm.....	45



Slika 6.12: Poskus z žico debeline 5 mm na podlogi z dolgo premo in krožnim lokom.....	46
Slika 6.13: Na eni podpori podprte hkrati žice premera 2, 3, 4 in 5 mm.....	48
Slika 6.14: Prikaz »obešanja« in linije žice .....	49
Slika 6.15: Linije žic na eni podpori na milimetrskem papirju glede na višino .....	50
Slika 6.16: Gibka žica preko dveh podpor (enkrat 20, drugič 30 cm).....	50
Slika 6.17: Linije žice na 2 podporah na papirju .....	50
Slika 6.18: Tri podpore na enakomerni medsebojni razdalji .....	51
Slika 6.19: Graf točk gibke žice (Mathematica) .....	55
Slika 6.20: Graf linije osi ceste (Plateia).....	55
Slika 6.21: Graf zakrivljenosti .....	56
Slika 6.22: Graf točk gibke žice (Mathematica) .....	56
Slika 6.23: Graf linije osi ceste (Plateia).....	57
Slika 6.24: Graf zakrivljenosti .....	57
Slika 6.25: Graf točk gibke žice (Mathematica) .....	58
Slika 6.26: Graf linije osi ceste (Plateia).....	58
Slika 6.27: Graf zakrivljenosti .....	59
Slika 6.28: Graf točk gibke žice (Mathematica) .....	59
Slika 6.29: Graf linije osi ceste (Plateia).....	60
Slika 6.30: Graf zakrivljenosti .....	60
Slika 6.31: Graf linije osi ceste (Plateia).....	61
Slika 6.32: Graf zakrivljenosti .....	62
Slika 6.33: Graf linije osi ceste (Plateia).....	62
Slika 6.34: Graf zakrivljenosti .....	63
Slika 6.35: Graf linije osi ceste (Plateia).....	64

Slika 6.36: Graf zakrivljenosti.....	64
Slika 6.37: Graf linije osi ceste (Plateia).....	65
Slika 6.38: Graf zakrivljenosti.....	66
Slika 6.39: Graf linije osi ceste (Plateia).....	67
Slika 6.40: Graf zakrivljenosti.....	67

## 1 UVOD

Osnovna zahteva pri izgradnji vsake ceste je, da po njej vozila lahko vozijo in je vožnja za potnike kar se da udobna. Treba je izbrati pravilno širino in velikost geometrijskih elementov ceste in pravilno izbrati sodelujoče tehnične elemente, ki pa so odvisni predvsem od vozne hitrosti. Skratka: zagotoviti je treba elemente, ki bodo v polni meri odvisni od predvidene dinamike vožnje. Pri tem ima pomembno vlogo skladnost izbranih elementov. Voznikom motornih vozil je namreč treba zagotoviti tudi občutek varnosti, ko vozijo po cesti. Četudi izberemo zadostne velikosti elementov, dobi voznik na cesti občutek negotovosti, če ti elementi med seboj niso skladni. Za to skladnost obstojajo tehniška pravila in od projektanta ceste je odvisno, ali se bo odločil za najbolj ustrezne rešitve. Zagotavljanje skladnosti je v praksi torej predvsem subjektivno delo. Delno se je zadeva objektivizirala z razvojem projektantskih orodij, med njimi predvsem z uporabo tako imenovane vizualizacije pri računalniški obdelavi projektov.

Ker zahteva računalniška preveritev ustreznosti izbora elementov trase ceste povsem določene predhodne obdelave in podatke, jo za hitro preveritev ustreznosti vedno ni mogoče uporabiti. Obstoj pa že močno pozabljena metoda, imenovana »metoda gibke žice«, s katero so projektanti cest pred desetletji preverjali linije svojih izdelkov – cestnih osi. Gibka žica ali pletenica ima namreč svojo togost (odpornost proti zvijanju), zaradi katere se zakrivljenost žice, če jo dveh mestih uvijemo v krožni lok, na vmesnem delu med lokoma oblikuje linearno premo sorazmerno – torej enako kot krivulja klotoida, ki se jo pri projektiranju cestne osi uporablja (kot prehodnica) za izvedbo prehoda med dvema krožnim lokoma. Gibka žica se ukrivlja in ponazarja linijo osi kot premikajoča se kača.

V projektantski tehniki so minimalne velikosti parametra te krivulje (dolžina) določene po različnih kriterijih, za maksimalne pa veljajo le neka izkustvena merila. Pri gibki žici pa je to nekoliko drugače. Zaradi lastne togosti se pri prekratkih razdaljah med dvema lokoma žica deformira (s tem pokaže, da linija ni v redu), pri zelo dolgih pa se na vmesnem delu »poravna« v premo. Dolžina te preme je odvisna od velikosti delujočih sil, ki nastanejo zaradi zavijanja žice v krožna loka in se med dvema krožnima lokoma linearno razporedijo po žici. Na območju preme so namreč te sile manjše od togosti žice, ki se zato tam poravna.

Če to lastnost primerjamo z vožnjo po cesti ugotovimo, da voznik na cesti ravna podobno, če ne celo popolnoma enako: ker je sukanje volana navzdol fiziološko omejeno (voznik volana ne more zasukati za nek izredno majhen kot), voznik pri zelo dolgih prehodnicah nek srednji del prevozi v premi.

Omejitve pri oblikovanju linije gibke žice so torej skoraj v popolnosti enake fiziološkim omejitvam voznika. Zato je gibka žica zelo primerno orodje za načrtovanje cestnih osi. Predvsem pa je uporabna za preverjanje skladnosti elementov na že izdelani cestni osi.

## 2 NAMEN IN CILJI NALOGE

Namen diplomske naloge je ugotoviti, ali je gibka žica zares lahko orodje, s katerim je mogoče ustvarjati cestno os (delovna funkcija), predvsem pa z njo preverjati skladnost elementov že izdelane cestne osi (kontrolna funkcija).

Cilj te naloge je raziskati lastnosti gibke žice in določiti pogoje, v katerih je ta metoda uporabna. Zanima nas predvsem:

- katera debelina komercialne izvedbe gibke žice se najbolj približa fiziološkim lastnostim voznika
- kolikšno je njeno maksimalno ukrivljanje (za kolikšen minimalni polmer loka),
- način njenega oblikovanja med dvema krožnima lokoma pri različnih razmikih dveh sosednjih krožnih lokov in
- število »podpornih točk« pri kreiranju krožnih lokov (ena, dve ali tri).

Pred začetkom preizkusa smo si zastavili nekaj hipotez:

HIPOTEZA 1: gibka žica se med dvema lokoma oblikuje kot klotoida,

HIPOTEZA 2: za delo na načrtih za ceste vse debeline žic niso enako uporabne,

HIPOTEZA 3: pri zelo velikih razdaljah med dvema krožnima lokoma se na vmesnem delu gibka žica poravna v premo,

HIPOTEZA 4: za »fiksiranje« krožnih lokov je najbolj primerno izbrati dve »podporni točki«.

Pojasnilo:

»Podporna točka« je tisto mesto na tlorisu (situaciji) cestne osi, skozi katero želimo voditi to os. Pri praktičnem delu so to žeblički, okoli katerih zvijemo žico. Geometrijsko se potek krožnega loka definira z dvema točkama in polmerom loka.

### 3 METODE DELA

#### 3.1 Eksperimentalno delo

Lastnosti gibkih žic (pletenic) različnih debelin bomo ugotavljali eksperimentalno.

Za namen ugotavljanja maksimalnega krivljenja in formiranje linije poteka žice med dvema krožnima lokoma je treba preizkus izvršiti z »obešanjem« žice na vertikalni ploskvi, postavljeni na ravno podlago. Na ravno podlago položeno žico dvigujemo in na ta način z njo ustvarimo 3 zaporedne krožne loke med dvema premama – enega na vrhu in po enega na vsaki strani – med katerimi se žica »previje« kot prehodnica. Zaradi lastne teže žice je treba pričakovati, da se linija prehodnega dela (prehodnice) ne bo formirala povsem kot enotna klotoida, ampak bo njen zgornji del nekoliko bolj iztegnjen. V preizkus so vključene pletenice s premeri 2, 3, 4 in 5 mm.

»Horizontalni« preizkus se izvrši z ukrivljanjem po v »vertikalnem« postopku predhodno izbrane debeline žice med različnimi »podpornimi« točkami. Trenje žice s podlago (fin papir) je pri tem za praktični preizkus zanemarljivo. S tem preizkusom se žica položi v linijo predhodno z računalnikom načrtanih krožnih lokov oziroma prem in se preverja njen potek na prehodnem območju.

Pri vseh poskusih je podlaga ravnine, na katero razvijemo žico, izdelana iz milimetrskega papirja, da je možno odčitavanje koordinat zaporednih točk »obešene« žice za kasnejšo analitično obdelavo. Izvedba poskusov z različno debelino »obešenih« žic je že v prvem koraku omogočila, da smo lahko neposredno ugotovili polmer najmanjšega krožnega loka, v katerega je mogoče zaviti žico posamezne debeline, preden se pojavi trajna (plastična deformacija). V ta namen smo na podlago okoli podporne točke (žeblice) vrisali krožne loke različnih polmerov. Izbrali smo polmere »okroglih« vrednosti (10, 20, 30...), kar za natančnost ugotavljanja velikosti polmera za posamezno žico zadostuje.

### 3.2 Analitično delo

Da bi ugotovili vrsto in velikost geometrijskih elementov, ki jih formira gibka žica, je treba iz eksperimenta pridobljene koordinate točk najprej obdelati z računalniškim programom MATHEMATICA, da bi dobili digitalni zapis poskusa. Ker gre pri »vertikalnem« eksperimentu za veliko število (148) poskusov, v katerih smo kombinirali debeline žic in višine ter število podpor pri njihovem »obešanju«, so se zaradi zunanjih vplivov (teža žice, pogostost upogibanja ipd) žice pri nekaterih poskusih oblikovale v nasprotju s pričakovanji. Kot neprimerni so se pokazali predvsem poskusi z »obešanjem« na 3 podpore. Te poskuse (64) smo že pred postopkom obdelave s programom Mathematica izločili. S programom Mathematica se slika sledi linije žice preuredi v digitalno zapisano zaporedje točk, s katerimi je mogoče izvajati nadaljnjo analizo ugotavljanja vrste in velikosti elementov, v katerih se oblikuje žica.

Linija digitalno zapisanih točk omogoča:

- izris geometrijskih elementov linije žice v program Plateia in
- izračun linije zakrivljenosti ( $\frac{1}{R}$ ) v posamezni točki (kotna slika).

## 4 CESTNA OS

### 4.1 Povezava med linijo cestne osi in linijo upognjene gibke žice.

Lastnost gibke žice je, da se v okviru svoje prožnosti uvija v krožni lok (enakomerna togost), na prehodnih delih do naslednjega krožnega loka pa ustvari neko prehodno linijo, ki sledi zveznosti, pogojeni s prožnostjo oziroma togostjo. Način spreminjanja zakrivljenosti na območju prehoda med dvema sosednjima krožnima lokoma (recimo, da gre za t.i. S-krivino z dvema nasprotno usmerjenima lokoma) je pogojen z velikostjo obeh sil, s katerima smo upognili žico v oba krožna loka in z razdaljo med njima. Če sta ti dve sili manjši in razdalja večja se med dvema krožnima lokoma pojavi prema.

To pomeni, da so v primeru velike oddaljenosti med dvema sosednjima krožnima lokoma sile, ki povzročajo oblikovanje žice, nekje na osrednjem delu prehoda manjše od togosti žice.

Silo, zaradi katere se žica oblikuje v krožni lok ali neko poljubno krivuljo, lahko primerjamo z bočnim pospeškom, ki nastaja pri vožnji skozi krivine. Ker je odziv voznika na ta pospešek podoben ali celo enak, lahko s testiranjem cestne osi po metodi gibke žice precej zanesljivo določimo tudi maksimalno velikost parametra klotoide, ki si jo v danih pogojih določa voznik sam.

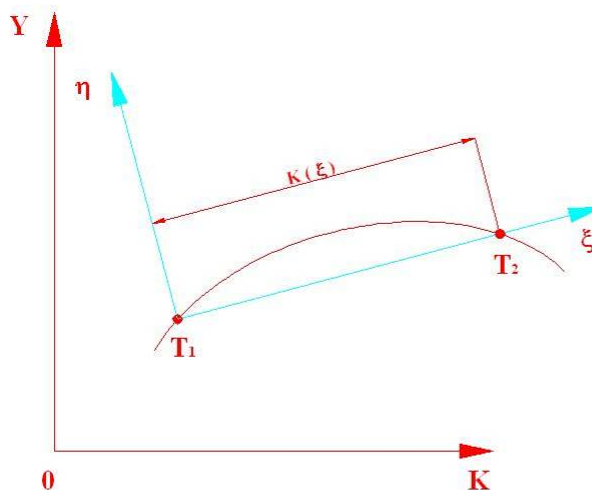
### 4.2 Elementi cestne osi

Dinamika vožnje je odvisna od zakrivljenosti  $K(s)$  in dolžine krožnega loka. Pri tem sta prisotna centrifugalna sila, ki je proporcionalna zakrivljenosti ter bočni sunek, ki je enak po celotnem krožnem loku z enako zakrivljenostjo. Za krivulje osi ceste pridejo v poštev samo tiste, ki imajo pravo zakrivljenost  $K(s)$ .



Pri standardnem projektiranju geometrije prometnice se uporablja krivulja, ki ima linearno zakrivljenost, to je  $K(s) = a \cdot s + b$ . Če je  $a=0$   $b=0$  sledi, da je  $K(s) = 0$ , in to je prema. Sledi

$K(s) = konst. = \frac{1}{R}$ , dobimo krožnico s polmerom  $R$ , če pa je  $K(s) = a \cdot s$  pa klotoido.



Slika 4.1: Krožni lok

#### 4.2.1 Prema

Prema je ravni del cestne osi. To je geometrijski element, ki je teoretično popolnoma iztegnjen krožni lok in ima v cestni osi enako funkcijo. Njena velikost je odvisna od zasnovalne hitrosti ceste, ki je značilna karakteristika za posamezno kategorijo oziroma vrsto ceste.

Za premo velja zakrivljenost  $\frac{1}{R} = \frac{1}{\infty} = 0$ .

#### 4.2.2 Krožni lok

Velikost polmera krožnega loka je odvisna od vozne hitrosti, koeficienta trenja v prečni smeri in prečnega nagiba vozišča, ki dopolnjuje učinkovitost trenja in ga dopolnjuje:

$$R_i = \frac{V_i^2}{127(x\% \cdot f_{Rdop} + q_i)}$$

Minimalno velikost tega polmera se izračuna z upoštevanjem določenega deleža dopustne vrednosti koeficienta trenja v prečni smeri in maksimalnega prečnega nagiba. Ker se deleži koeficienta trenja in prečnega nagiba z večanjem polmera  $R$  spreminjajo, ta enačba velja samo za izračun polmera  $R_{\min}$  in polmera  $R_{q=\min}$ , pri katerem prečni nagib  $q$  doseže minimalno velikost.

Voznodinamični parametri, ki učinkujejo pri vožnji skozi krožni lok, so vsi konstantni in so:

$$c = \frac{c}{g} = \frac{v^2}{gR} [N/N] \dots \dots \dots \text{centrifugalna sila } c = \frac{V^2}{127R} \Rightarrow \frac{V^2}{127R \cdot g} = \frac{1}{R} \left( \frac{V^2}{127g} \right)$$

$$p = \frac{v^2}{R} = \frac{V^2}{13R} = \frac{1}{R} \left( \frac{V^2}{13} \right) \quad [\text{m/s}^2] \dots \dots \dots \text{bočni (radialni) pospešek in}$$

$$\frac{1}{R} \left( \frac{V^2}{13} \right)$$

$$x = \frac{dp}{dt} = 0 \dots \dots \dots \text{bočni sunek } [\text{m/s}^3]$$

Podobno kot prema sta tudi velikost polmera krožnega loka in pripadajoči mu pospešek linearno odvisna od zakrivljenosti in sta konstantna.

Poleg polmera v krožnem loku sta geometrijsko najbolj značilna elementa dolžina krožnega loka in središčni kot.

$$D_{KL} = R \cdot \alpha_{rad} = \frac{\pi \cdot R \cdot \alpha}{180^\circ} \quad [\text{m}] \dots \dots \dots \text{središčni kot in dolžina krožnega loka}$$

$$\Rightarrow \frac{1}{R} = \left( \frac{\pi \cdot \alpha}{D_{KL} \cdot 180^\circ} \right) = \text{const.}$$

### 4.2.3 Prehodnica

Prehodnica je trasni element, ki zagotavlja zvezno povezovanje krožnih lokov med seboj ali s premo ter optično in estetsko izvedbo trasiranja. Za izvedbo prehodnega dela se uporablja matematična krivulja klotoida, ki zagotavlja:

- popolno istoležnost tangent na stičnih točkah s krožnim lokom ali premo,
- linearno premosorazmerno spreminjanje zakrivljenosti cestne osi med dvema lokoma,
- linearno premosorazmerno spremembo bočnega pospeška,
- dolžino za izvedbo spremembe prečnega nagiba med dvema lokoma (vijačenje) in
- estetski izgled linij robov vozišča.

Enačbi klotoida in kota med njenima začetno in končno tangento (središčni kot klotoida) sta (TSC 03.300, 2005, str.46):

$$A^2 = R \cdot L \quad \text{in} \quad \tau = \frac{L}{2R} = \frac{A^2}{2R^2} = \left(\frac{1}{R}\right) \cdot \frac{L}{2}$$

kjer je:

A [m] ...	parameter klotoida
R [m] ...	polmer krožnega loka
L [m] ...	dolžina po loku klotoida do zakrivljenosti 1/R
$\tau$ [rad] ...	središčni kot klotoida

Klotoida je pozitivno/negativno simetrična krivulja in omogoča istovrstno povezovanje vsake dvojice krožnih lokov ne glede na velikost njunega polmera ali usmerjenosti. Uporabna vrednost velikosti parametra klotoida je v mejah  $\frac{R}{3} \leq A \leq R$ , kjer je  $R$  velikost polmera krožnega loka, na katerega se klotoida priključuje.

Minimalno vrednost parametra klotoida ( $A_{\min}$ ) se uporablja samo pri krožnem loku s polmerom  $R_{\min}$ . Pri lokih z  $R_i > R_{\min}$  se uporabijo ustrezno večje vrednosti  $A_i > A_{\min}$ , da bi se zagotovilo prilagajanje dolžine klotoida dejanskim (višjim) vozni hitrostim, ki jih omogočajo krožni loki z večjim polmerom.

Popolna opustitev izvedbe prehodnega dela med dvema lokoma je dopustna le v primerih sosledja velikih krožnih lokov in je s tehniškimi predpisi posebej določena. Tudi v tem primeru se priporoča vstavitve vmesne prehodnice (zagotovitev razmika med lokoma).

Minimalni polmer krožnega loka pri opustitvi prehodnice (TSC 03.300, predlog, str.45):

$V_{zasn.}$ [km/h]	min $R$ [m]
$\leq 80$	1500 (1000)
$> 80$	3000 (2000)

Poleg voznodinamičnih lastnosti ima klotoida (prehodnica) predvsem velik estetski učinek, ki neposredno vpliva na psihofizično stanje voznika in na njegove odločitve pri vožnji.

Najmanjšo ali vsaj čim manjšo vrednost parametra klotoide ( $A_{min}$ ) se uporablja tudi takrat, ko je treba z velikostjo (majhnostjo) geometrijskih elementov cestne osi preprečiti doseganje (pre)visoke vozne hitrosti.

#### 4.2.3.1 Minimalna velikost parametra klotoide ( $A_{min}$ )

Minimalno velikost parametra klotoide  $A_{min}$  določajo voznodinamične razmere v pogojih maksimalnega prečnega nagiba vozišča po enačbi, ki še zagotavljajo udobno vožnjo na območju klotoide.

Osnovna enačba po tem pogoju je (TSC 03.300, 2005, str. 62):

$$A_{i^2} = \left( \frac{V_i}{3.6} \right)^3 \cdot \frac{1}{X_{dop.}}$$

dopolnjena s prečnim nagibom  $q_{max}$  pa (TSC 03.300, 2005, str. 64):

$$A_{min^2} = \frac{V_{zasn.}^3}{46,656} \cdot X_{dop} - q_{max} \cdot V_{zasn.} \cdot \frac{R_{min}}{0,367} \cdot X_{dop}$$

kjer je:

- $A_{\min}$  [km/h] minimalna velikost parametra klotoide  
 $V_{zasn.}$  [km/h] zasnovalna hitrost  
 $R_{\min}$  [m] polmer krožnega loka pri uporabljeni  $V_{zasn.}$   
 $q_{\max}$  [%] maksimalni prečni nagib  
 $X_{dop}$  [ $m / s^3$ ] dopustna velikost bočnega sunka pri uporabljeni  $V_{zasn.}$

Mejna velikost  $A_{\min}$  se sme uporabiti izključno samo pri minimalnem krožnem loku  $R_{\min}$  za posamezno zasnovalno hitrost  $V_{zasn.}$

Minimalna velikost parametra klotoide  $Ai_{\min}$  se za  $R_i > R_{\min}$  določa glede na:

- voznodinamične pogoje
- estetske pogoje in
- konstruktivne pogoje

s katerimi se zagotavlja udobnost vožnje, ki jo omogočajo:

- hitrost
- dopustna velikost bočnega sunka,
- estetski potek linije ceste in
- sprejemljiva hitrost spreminjanja prečnega nagiba

### **Voznodinamični pogoj**

Za zagotavljanje varnosti prometa je treba pri polmerih  $R_i > R_{\min}$  (možne večje vozne hitrosti) uporabiti parametre  $Ai^2_{\min vd}$ , ki ohranjajo dolžino prehodnice  $L_i$ , izhajajočo iz kriterija minimalne velikosti parametra klotoide  $A_{\min}$  pri posamezni zasnovalni hitrosti (TSC 03.300, 2005, str.65):

$$Ai^2_{\min vd} = A^2_{\min} \cdot \frac{R_i}{R_{\min}}$$

## Estetski pogoj

Minimalna velikost parametra klotoide  $Ai_{\min E}$  za zagotovitev ugodnega estetskega izgleda poteka ceste je odvisna samo od velikosti priključnega krožnega loka in se določi na osnovi: minimalnega odmika krožnega loka od tangente skozi prevojno točko klotoide  $\Delta R = 0.30m$  ali z minimalno velikostjo središčnega kota klotoide ( $\alpha = 3^\circ 11'$  pri pogoju  $A = \frac{R}{3}$ ).

Presečišče funkcij obeh pogojev je pri polmeru  $R_m = 583.2$  m, pri čemer veljata enačbi

$$Ai_{\min E1} = \sqrt{7.2 \cdot R_i} \text{ za območje } R < R_m = 583.2 \text{ m in}$$

$$Ai_{\min E2} = \frac{R_i^2}{9} \text{ za območje } R > R_m = 583.2 \text{ m kjer je:}$$

$A_{\min Ei}$  [m] minimalni parameter klotoide po estetskem pogoju pri  $R_i$

$R_i$  [m] polmer krožnega loka

$R_m$  [m] mejni polmer krožnega loka, kjer se menjata oba estetska pogoja

## Konstruktivni pogoj

$$A_{\min} = f(\Delta s_{\max}, b_v, q_1 - q_v)$$

Klotoida-značilne količine (TSC 03.300, 2005, str.69):

Parameter	Prehodna hitrost $V_{preh.}$ [km/h]										
	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140
$X_{dop}$ [ $m/s^3$ ]	0.95	0.8	0.68	0.59	0.52	0.45	0.40	0.36	0.33	0.31	0.30
$R_{\min}$ [m]	45	75	125	175	250	350	450	550	700	850	1000
$A_{\min, q=7\%}$ [m]	30	50	70	90	115	150	180	210	250	290	340
$A_{prip.}$	35	60	85	115	150	190	225	260	295	325	350
$L_{\min}$	20	35	40	45	50	65	70	80	90	100	115
$R_E$	55	155	215	300	390	575	650	720	805	890	1040
$A_E$	35	70	90	115	145	185	215	240	270	300	350

### 4.3 Skladnost elementov osi ceste

Geometrijski elementi cestne osi (loki in prehodnice), ki so izbrani za neko poljubno predhodno hitrost, morajo biti usklajeni:

- glede na velikost sosednjih dveh krožnih lokov (»pahljača« hitrosti) in
- glede na (približno) enak čas trajanja vožnje po posameznem elementu
- -prehodnica (klotoida) pa še glede na možno (projektno) hitrost. Ki se jo dosega v krožnih lokih s polmeri, večjimi od minimalnega.

Geometrija linije osi ceste je odvisna od izbrane in smeri zakrivljenosti krožnih lokov in njim ustreznimi velikostmi vmesnih klotoid ter prem, kadar je klotoida predolga.

Normalni obliki sestavljanja zaporednih krožnih lokov sta:

- "S-krivina", kjer si sledita krožna loka z nasprotno smerno zakrivljenostjo in
- "O-krivina", kjer si sledita krožna loka z istosmerno zakrivljenostjo. Normalni obliki sestavljanja zaporednih krožnih lokov sta uporabni v vseh primerih. Dolžina prehodnice pri O-krivini mora zagotavljati najmanj 1 (eno) sekundo trajanja vožnje po njej.

Posebni obliki sestavljanja zaporednih krožnih lokov sta "košarasti" krivini.

- "C-krivina", ki je sestavljena iz treh istosmernih krožnih lokov v-dveh zunanjih manjših in večjega srednjega povezovalnega in
- "-K-krivina", ki je sestavljena iz treh istosmernih krožnih lokov v-dveh zunanjih večjih in manjšega srednjega povezovalnega.

Uporaba obeh posebnih oblik sestavljanja zaporednih krožnih lokov je na cestah za daljinski promet le pogojno dopustna. Pogoj je, da sta dolžini prehodnic med obema paroma vključenih krožnih lokov tolikšni, da brez zaviranja z zavorami (s pasivnim pojemkom) omogočata spremembo realnih vozniških hitrosti iz večjega v manjši krožni lok (TSC 03.200). Temeljni pogoji za določanje cestnih elementov v odvisnosti od voznodinamičnih pogojev, ekonomike

cest, prometne obremenitve in prometne varnosti ter preglednosti, pasivni pojemek  $a_m = 0,66 \frac{m}{s^2}$ .

Obvezni vmesni element med krožnimi loki je prehodnica v obliki klotoide. V primerih, kjer uporaba prehodnice ni obvezna (lokalne ceste in ceste z nizko prometno obremenitvijo), je treba krožna loka povezati z drugačno obliko krivulje. V vsakem primeru pa je treba med njima zagotoviti toliko odmika, da se lahko izvede manever sukanja volana iz loka v lok in pri tem upoštevati vozno hitrost. Znotraj poteka košaraste in C-krivine ni dovoljeno spreminjati smeri prečnega nagiba vozišča. Izjema so primeri, ko se iz prometno-varnostnih razlogov v košarasti krivini v srednjem krožnem loku namenoma izvede sprememba smeri prečnega nagiba vozišča za zmanjšanje hitrosti. Taka ureditev mora biti v projektu za cesto posebej obrazložena.

Opuščanje umeščanja prehodnice med krožne loke pri O-,C- in K-krivini je pri cestah s funkcijo daljinskega povezovanja in povezovanja (izven naselja in  $V_{zasn} > 70$  km/h) dopustno le pri zelo velikih polmerih krožnih lokov (tehniški predpis).

Opuščanje umeščanja prehodnice med krožne loke na cestah s funkcijo povezovanja (v naselju in  $V_{zasn} < 70$  km/h), s funkcijo zlivanja prometa in s funkcijo zagotavljanja dostopnosti (lokalne ceste in ceste z nizko prometno obremenitvijo) je dopustno tudi sicer, če se le upošteva splošne pogoje za zagotavljanje sukanja volana.

#### 4.4 Diagram zakrivljenosti

V predhodnih izvajanjih o elementih cestne osi je bilo pokazano, da je zakrivljenost v poljubni točki loka razmerje med središčnim kotom krožnega loka in njegovo dolžino konstanta, je zakrivljenost klotoide razmerje med središčnim kotom klotoide in dolžino uporabljenega dela krivulje. V prevojni točki klotoide ( $L=0$ ) je torej zakrivljenost nič.



Enačbo:

$$D_{KL} = R \cdot \alpha \text{ rad} = \frac{\pi \cdot R \cdot \alpha}{180^\circ} \text{ [m]} \text{ lahko zapišemo) tudi kot: } \frac{\alpha}{D_{KL}} = \frac{1}{R}$$

Če je zakrivljenost krožnega loka po celi dolžini loka konstantna pa zakrivljenost krivulje klotoide med njeno prevojno točko ( $L=0$ ) in neko njeno končno točko ( $L_i$ ) narašča in to linearno. To lastnost lahko izkoristimo za linearni grafični prikaz vseh elementov cestne osi, za kar se uporablja diagram zakrivljenosti (stac.  $\frac{1}{R}$ ). V njem je klotoida prikazana v obliki daljice, ki je od abscise odklonjena za nek kot, krožni lok pa v obliki daljice, ki je vzporedna abscisi. Za ta diagram sta poleg linearnosti, ki poenostavlja uporabo, značilna torej še nagib daljice za klotoido in oddaljenost vzporedne daljice za krožni lok od abscise. Strmejša daljica za klotoido predstavlja višjo vrednost parametra klotoide in manjša oddaljenost daljice za krožni lok večji polmer tega krožnega loka. Njegov ekstrem je premica, ki je v tem primeru istoležna z absciso.

Diagram zakrivljenosti je pokazan v naslednji sliki.

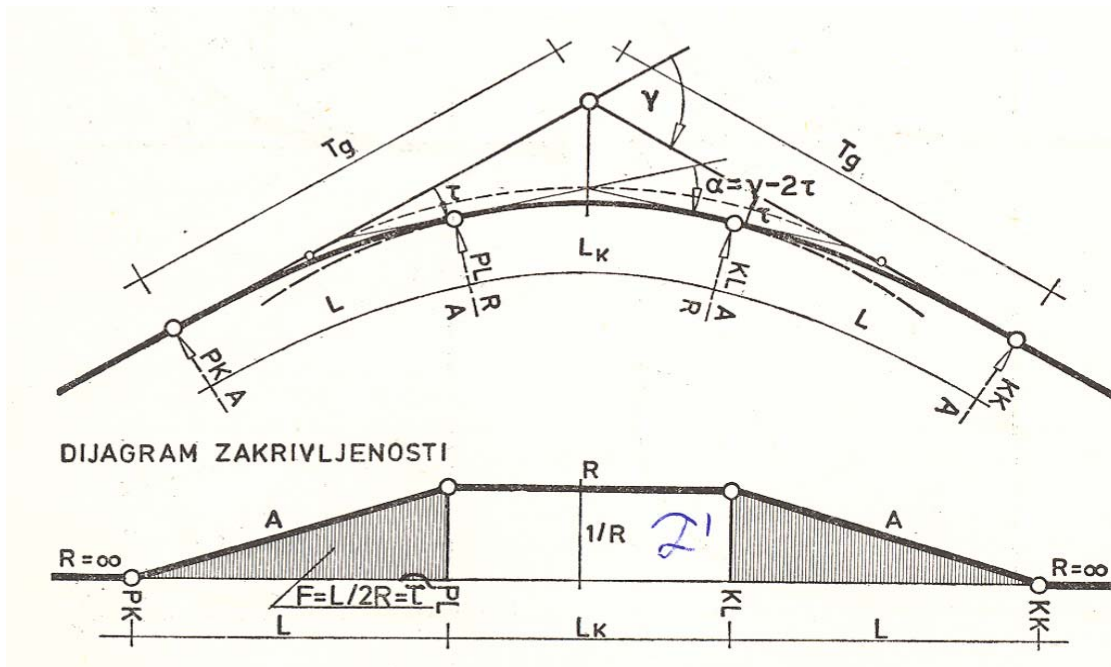
Ta diagram smo izkoristili tudi v naši nalogi, da smo z njim v neki fazi postopka analize eksperimentalno dobljenih rezultatov oblikovanja linije gibke osi lahko opredelili predvsem položaj in dolžino vmesne preme na prehodnem delu krivulje med dvema krožnima lokoma.

Za izračun zakrivljenosti v posamezni točki linije gibke osi je treba v tem primeru uporabiti metodo, ki se je nekoč v praksi uporabljala za določanje velikosti polmera  $R$  pri obstoječih cestah. Ta metoda omogoča izračun velikosti  $R$  v srednji izmed 3 med seboj enako oddaljenih sosednjih točk. Polmer lahko po tej metodi izračunamo ali pa izmerimo velikost puščice.

V nalogi smo kasneje to metodo opustili in jo zamenjali z določanjem polmerov krožnih lokov skozi 3 sosednje točke s programom Plateia.

## Zakrivljenost

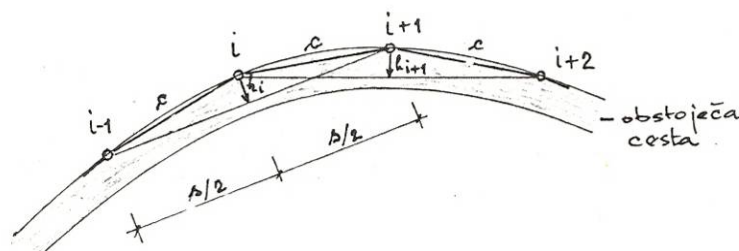
(Andjus:Projektovanje putova, 1983, str.19)

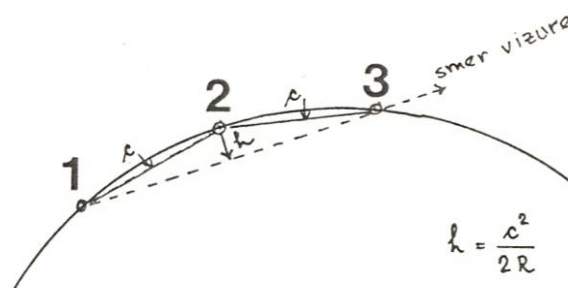


Med 3 sosednje enako oddaljene točke moramo izračunati ali  $R$ , če imamo znane koordinate teh 3 točk, ali pa izmeriti puščno krožnega odseka ( $h$ ) in razdaljo med točkami ( $a$ ), če točke niso označene s koordinatami, in ga nanesti v diagram na stacionaži, ki pripada srednji izmed merjenih 3 točk. Postopek je v stroki poznan kot »puščična metoda«. Sicer je poznana tudi metoda »kotne slike«, kjer pa se v diagram namesto zakrivljenosti  $\frac{1}{R}$  nanaša sumarna linija lokom pripadajočih središčnih kotov.

## Sliki puščične metode

(A.Juvanc:Magistrsko delo, 1985, str.62)





#### 4.5 Program PLATEIA za projektiranje cest

Osnovni računalniški program za projektiranje cest je v gradbeni stroki poznan pod imenom Plateia. PLATEIA je slovenski program za načrtovanje cest, ki že dvanajst let nastaja na osnovi izkušenj uporabnikov in izsledkov na področju razvoja softverskega inženirstva. Sodoben program za načrtovanje cest mora omogočati celovito obravnavanje cestnega projekta, z njim mora biti omogočeno projektiranje vseh sklopov in pod sklopov ali detajlov projekta. Program, ki ne zmore rešiti zapletenih primerov projektov, je v praksi neuporaben, čeprav je za enostavne projekte še tako hiter. Projekti v praksi so vedno unikatni in zapleteni. Ker je večina računalniških programov zapletena so se pri Platei odločili, da uporabnikom olajšajo delo z računalniškim vmesnikom.

Merilo velikosti podloge (situacije v digitalnem zapisu) se v računalniku lahko poljubno in po potrebi spreminja, zato smo ta postopek uporabili za povečanje grafa točk, dobljenih s programom Mathematica, da smo lahko skozi točke grafično čimbolj natančno vstavili krožne loke na liniji gibke žice. Ker je natančnost izrisa za ta primer manj pomembna smo si ozbrali za cilj vstavitev lokov skozi točke s polmerom 1 mm.

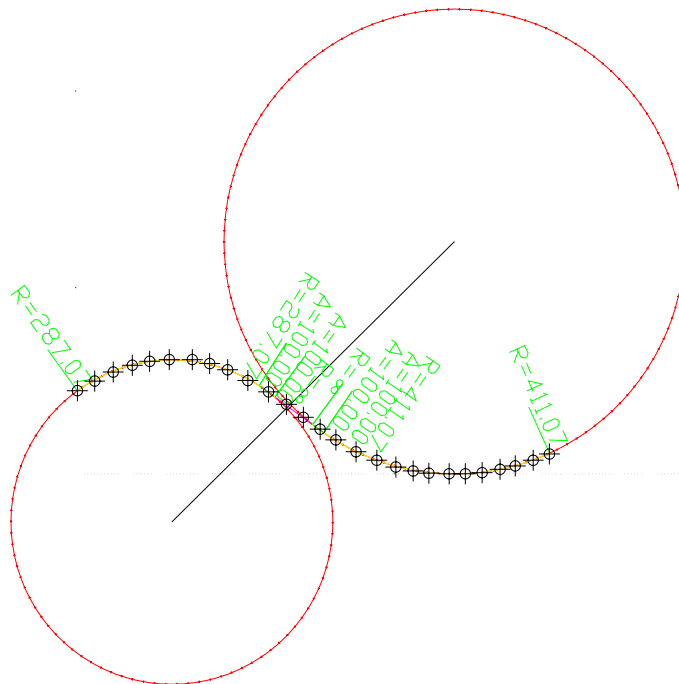
Osnovni koraki pri načrtovanju cestne osi se izvajajo z izbiro krožnih lokov in povezave med njimi - ali kot enotna klotoida (samodejno) ali kot kombinacijo dveh klotoid z različnima parametroma (določi se razmerje med parametroma) ali pa kot kombinacija dveh klotoid z vmesno premo (računalnik določi velikost parametrov obeh vključenih klotoid).

V primeru vključitve enotne klotoida med dva krožna loka je mogoče velikost njenega parametra ( $A_i$ ) tudi izračunati. Formula za ta namen je sicer pri tazličnih polmerih

sosednjih krožnih lokov malo nenatančna, je pa za primer enakih polmerov povsem točna.

Izračun velikosti parametra klotoide  $A_i$  med dvema krožnima lokoma:

$d=2\text{mm}$   
 $R_m=287.065$   
 $R_v=411.068$   
 $\text{razdalja}=9.254$



Slika 4.2: S-krivina

$$A^4 = 24 \cdot d \cdot R_m^3$$

(A.Juvanc:Magistrsko delo, 1985, str.74)

pri čemer je:

$$R_m = \frac{R_v \cdot R_M}{R_v \pm R_M}$$

$$A = 180.97$$

kjer je:

$A$ .....parameter klotoide

$d$ .....razmik med krožnima lokoma

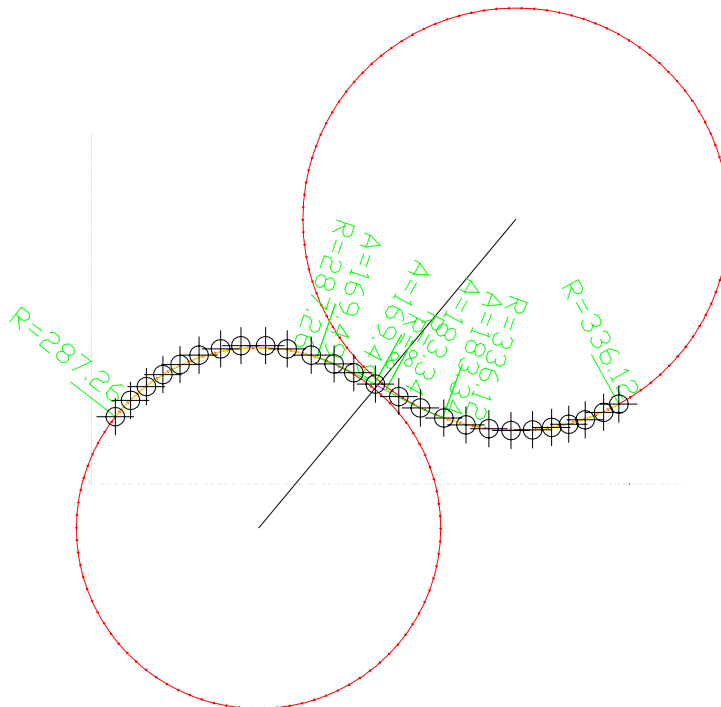
$R_v$                     velikost večjega krožnega loka

$R_m$                     velikost manjšega krožnega loka

$R_m$  .....velikost virtualnega (median) krožnega loka

Spodnja slika prikazuje nasprotno usmerjeni krivini(S-krivina),na neki zelo majhni razdalji te linije pa se pojavi kratka prema.

$d=2\text{mm}$   
 $R_m=287.265$   
 $R_v=336.120$   
razdalja=14.266



Slika 4.3: S-krivina

$$A^4 = 24 \cdot d \cdot R_m^3$$

$$R_m = \frac{R_v \cdot R_M}{R_v \pm R_M} = 154.889$$

$$A = 188.86$$

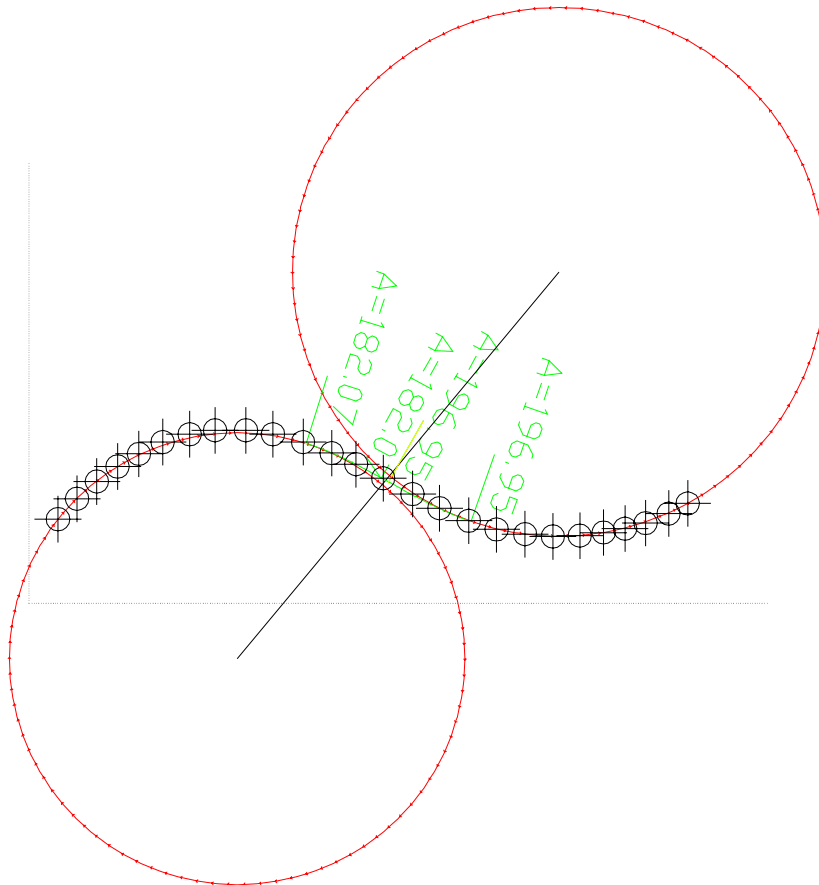
V spodnjem primeru smo vstavili enotno klotoido.

$$d=2\text{mm}$$

$$R_m=287,265$$

$$R_v=336,120$$

$$\text{razdalja}=14,266$$

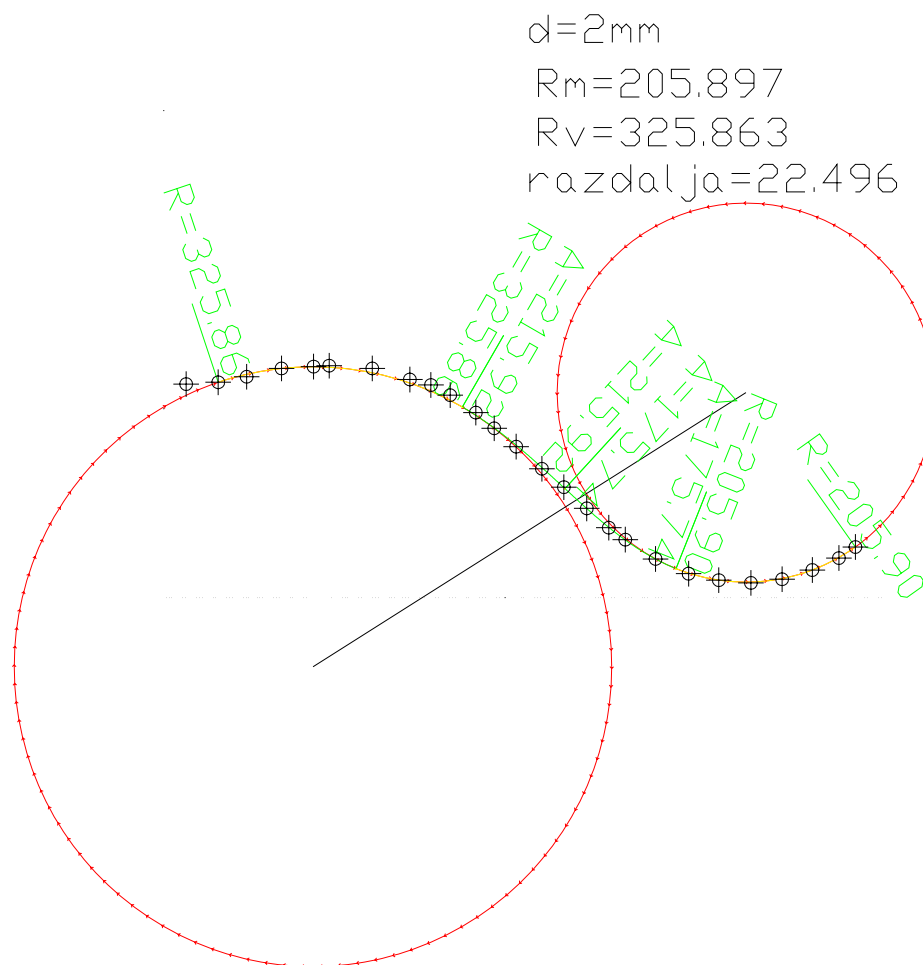


Slika 4.4: S-krivina

Iz primerjav se vidi majhna razlika v velikosti prehodnice.

**M1mm2** (gibka žica premera 2 mm v merilu 1:1000)

Na spodnji sliki se oblikuje samo prehodnica, preme ni.

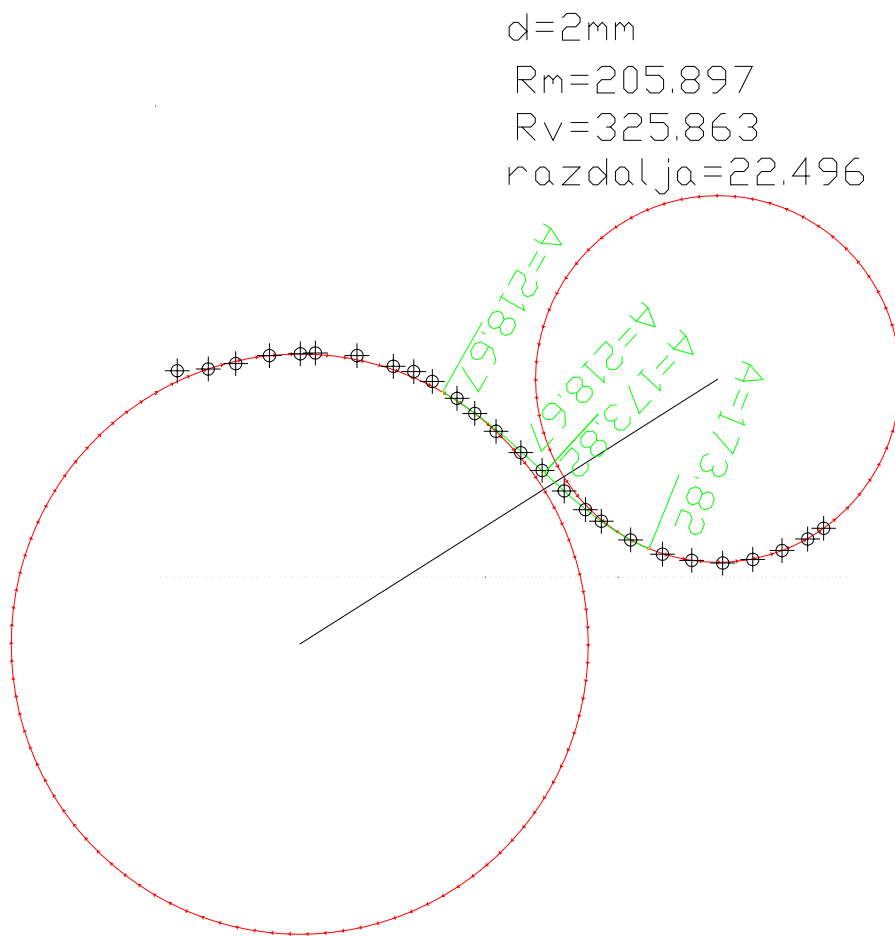


Slika 4.5:Povezava krožnih lokov s prehodnico

$$A^4 = 24 \cdot d \cdot R_m^3$$

$$R_m = \frac{R_v \cdot R_M}{R_v \pm R_M} = 126.17$$

$$A = 181.46$$

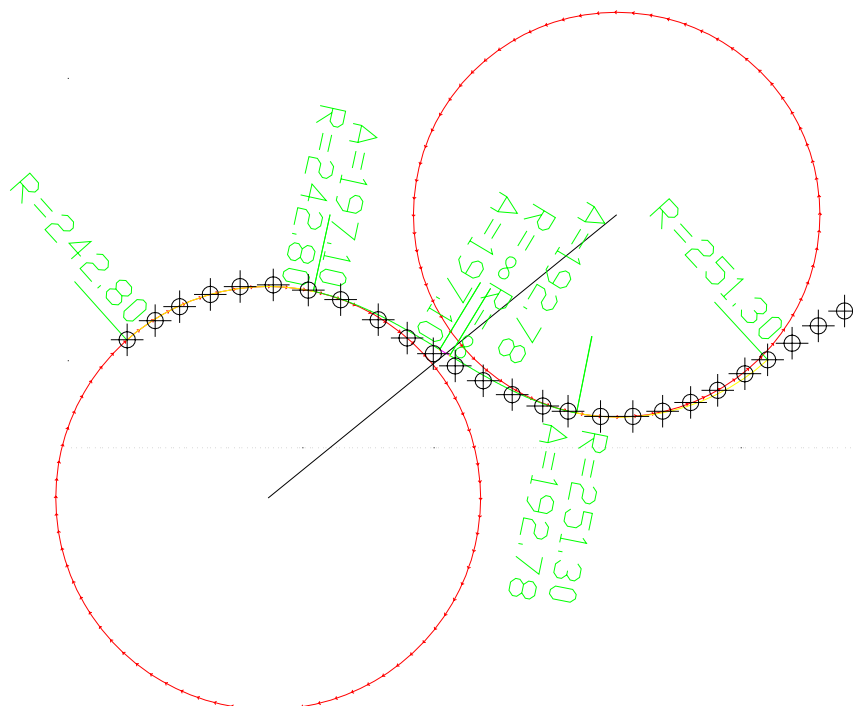


Slika 4.6: Povezava krožnih lokov s prehodnico



**R250R250** (dva krožna loka s polmerom 250)

$d=2\text{mm}$   
 $R_m=232,272$   
 $R_v=242,796$   
 $\text{razdalja}=30,342$



Slika 4.7:Dva enaka krožna loka

Komentar:Polmeri narisani s krivuljnikom in ti prikazani z računalniškim programom PLATEIA se malce razlikujejo. Vzrok za to je v potegu gibke žice, ki je bila fiksirana v dveh točkah in pa odstopanja pri odčitavanju koordinat. Prema se tu ne pojavi kajti zakrivljenost se tako hitro in na majhni dolžini menja, da so prisotne samo prehodnice in krožni loki.

$$A^4 = 24 \cdot d \cdot R_m^3$$

$$R_m = \frac{R_v \cdot R_M}{R_v \pm R_M} = 123,78$$

$$A = 192,4$$

Krožni loki z vmesnimi klotoidami so za postopek obdelave s programom PLATEIA pokazani na sliki 8. Za enostavnejši pogled smo izbrali podobne velikosti polmerov krožnih lokov ( $R_i$ ), vendar smo jih različno razmaknili med seboj ( $d_i$ ). Loka na levi strani slike 2 sta med seboj razmaknjena za  $d_{1-2}=201.74$  m, na desni pa za  $d_{2-3}=273.80$  m. Različne velike razmike med loki smo naredili zato, da bi lahko opazovali kaj se zgodi pri enem in drugem pogoju glede velikosti parametra klotoide in kako rešiti nastalo situacijo (popravki elementov). Popravki so pokazani na sliki 9 (vključitev različnih parametrov klotoide na vsako stran) in na sliki 10 (z vključitvijo vmesne preme).

Projektantska izvedba predhodnih delov (od leve proti desni):

- a) na levi strani je razmik med lokoma v nekih »normalnih« mejah, zato se med seboj tema dvema lokoma prehodni del oblikuje z enotno klotoido  $A_i$ :
- b) na desni strani je razmik med lokoma bistveno večji kot na levi, zaradi česar je velikost parametra vključene enotne klotoide zelo velika in njena glavna točka po stacionaži »presega« glavno točko klotoide z leve strani (negativna stacionaža srednjega krožnega loka!): in popravki elementov na desni strani slike:
- c) namesto enotne klotoide ( $A_1 : A_2 = 1:1$ ) smo vstavili različna parametra ( $A_1 : A_2 \neq 1:1$ ), da smo dosegli, da je stacionaža srednjega krožnega loka pozitivna (slika 3)
- d) Namesto enotne klotoide ( $A_1 : A_2 = 1:1$ ), pri kateri velikost parametra povzroči »preseganje« glavnih točk, smo med krožna loka vstavili vmesno premo in dovolili računalniku, da nam sam vriše klotoidi med premo in oba loka (slika 4)

Ker je zelo pomembno, da se za cestno os uporabijo geometrijski elementi, ki vsi na vsaj približno enak način sledijo linije vožnje s konstantno hitrostjo, se iz »poprakov« vidi, da v točkah c) in d) ta cilj ni dosežen, ker se »popravljeni« elementi razlikujejo glede velikosti bočnega sunka, ki nastane pri vožnji.

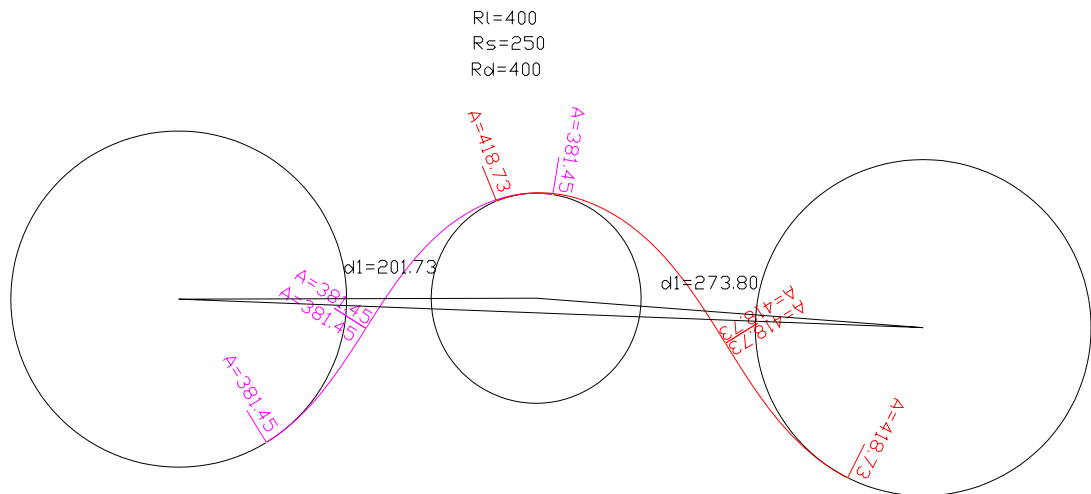
Zlasti pri tem odstopa točka d), pri kateri smo vmesno premo vključili na povsem poljubno mesto in s poljubnim nagibom smernega kota. Pri c) dobimo na istem vmesnem delu prehodnici z različnima bočnima sunkoma

e) različna parametra ( $A_1 : A_2 \neq 1:1$ ), da smo dosegli, da je stacionaža srednjega krožnega loka pozitivna (slika 3)

f) desni strani v nekih »normalnih« mejah, zato se med tema dvema lokoma prehodni del oblikuje z enotno klotoido  $A_i$

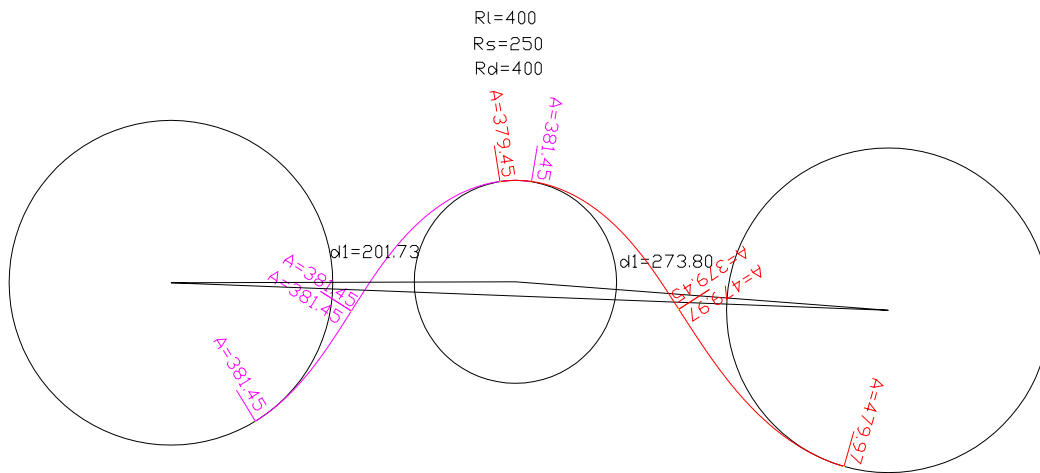
g) na levi strani je razmik med lokoma v nekih »normalnih« mejah, zato se med tema dvema lokoma, prehodni del oblikuje z enotno klotoido  $A_i$  :

Parameter  $A_1:A_2=1:1$



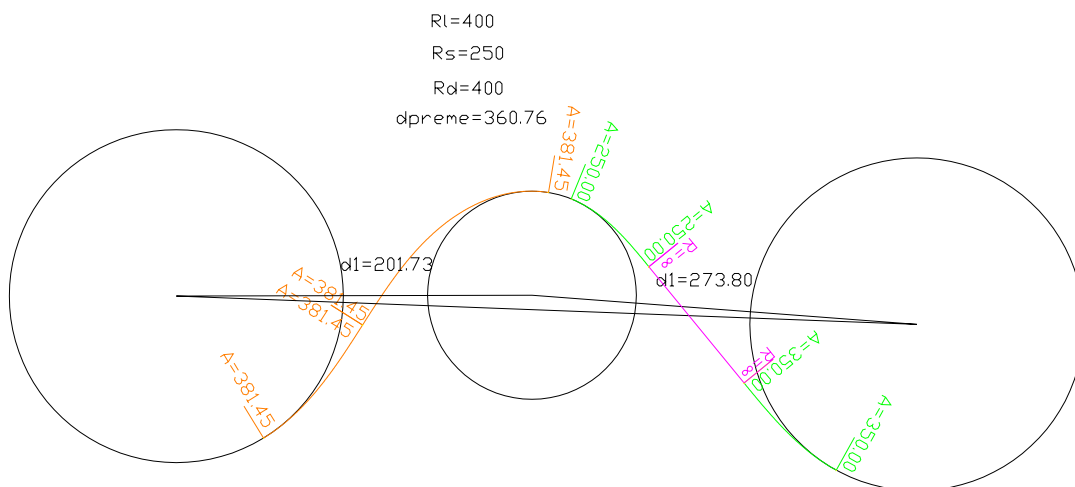
Slika 4.8:Potek lokov

Dolžina  $L_2:L_3=1:1$



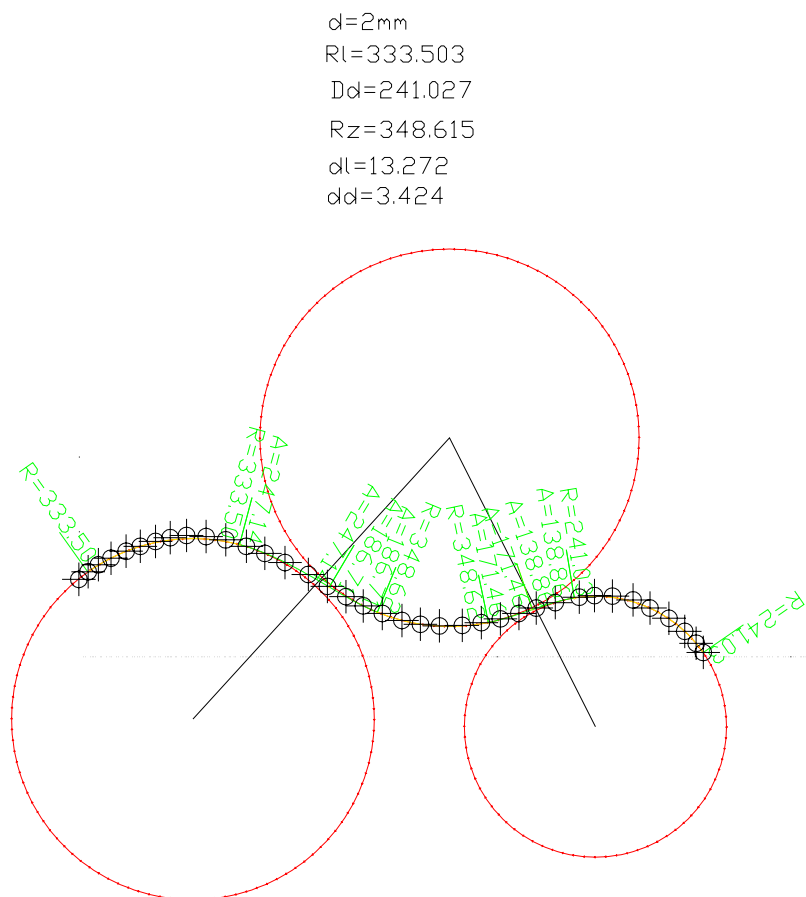
Slika 4.9:Potek lokov

Vključitev preme



Slika 4.10:Potek lokov

**R500R300R250**



Slika 4.11: Trije različni krožni loki

Komentar: Rezultat je podoben kot v zgornjem primeru.

LEVI DEL

$$A^4 = 24 \cdot d \cdot R_m^3$$

$$R_m = \frac{R_v \cdot R_M}{R_v \pm R_M}$$

$$A = 199.28$$

DESNI DEL

$$A^4 = 24 \cdot d \cdot R_m^3$$

$$R_m = \frac{R_v \cdot R_M}{R_v \pm R_M}$$

$$A = 124.18$$

#### 4.6 Geometrija linije osi ceste med zaporednimi krožnimi loki

Normalni obliki sestavljanja zaporednih krožnih lokov sta:

- "S-krivina", kjer si sledita krožna loka z nasprotnosmerno zakrivljenostjo in
- "O-krivina", kjer si sledita krožna loka z istosmerno zakrivljenostjo.

Normalni obliki sestavljanja zaporednih krožnih lokov sta uporabni v vseh primerih. Dolžina prehodnice pri O-krivini mora zagotavljati najmanj 1 (eno) sekundo trajanja vožnje po njej.

Posebni obliki sestavljanja zaporednih krožnih lokov sta "košarasti" krivini:

- "C-krivina", ki je sestavljena iz treh istosmernih krožnih lokov - dveh zunanjih manjših in večjega srednjega povezovalnega in
- "K-krivina", ki je sestavljena iz treh istosmernih krožnih lokov - dveh zunanjih

večjih in manjšega srednjega povezovalnega.

Uporaba obeh posebnih oblik sestavljanja zaporednih krožnih lokov je na cestah tehnične skupine A le pogojno dopustna. Pogoj je, da sta dolžini prehodnic med obema paroma vključenih krožnih lokov tolikšni, da brez zaviranja z zavorami (s pasivnim pojemkom) omogočata spremembo realnih vozniških hitrosti iz večjega v manjši lok (TSC 03.200 Temeljni pogoji za določanje cestnih elementov v odvisnosti od voznodinamičnih pogojev, ekonomike cest, prometne obremenitve in prometne varnosti ter preglednosti, pasivni pojemek  $a_m = 0,66 \text{ m/s}^2$ ).

Obvezni vmesni element med krožnimi loki je prehodnica v obliki klotoide. V primerih, kjer uporaba prehodnice ni obvezna (v tehnični skupini D in pogojno v tehnični skupini C), je treba krožna loka povezati z drugačno obliko krivulje, v vsakem primeru pa je treba med njima zagotoviti toliko odmika, da se lahko izvede manever sukanja volana iz loka v lok.

Znotraj poteka košaraste in C-krivine ni dovoljeno spreminjati smeri prečnega nagiba vozišča. Izjema so primeri, ko se iz prometnovarnostnih razlogov v košarasti krivini v srednjem krožnem loku namenoma izvede sprememba smeri prečnega nagiba vozišča z namenom fizičnega učinka na voznika za zmanjšanje hitrosti. Taka ureditev mora biti v projektu za cesto posebej obrazložena.

Opuščanje umeščanja prehodnice med krožne loke pri O-, C- in K-krivini je pri cestah tehničnih skupin A in B (izven naselja in  $V_{zasn} > 70$  km/h).

Opuščanje umeščanja prehodnice med krožne loke na cestah tehničnih skupin B (v naselju in  $V_{zasn} < 70$  km/h), C in D je dopustno tudi v pogojih, ki ne zadovoljujejo navedenih v tabeli 1, če se upošteva splošne pogoje za zagotavljanje sukanja volana.

## 5 PLETENICA

Bolj kot je žica debela, večja je njena togost. To pomeni, da žico posamezne debeline lahko uporabimo le pri toliko majhnih polmerih lokov, da se žica pri tem ne prepogne (deformira) ali pa celo pretrga. Značilno je, da so žice manjših prereзов bolj fleksibilne in s tem tudi bolj odporne na zvijanje. Napetosti v drobnih žicah so namreč pri zvijanju pravilneje razporejene po prerezu (na enem in drugem robu) kot pri debelih žicah, kjer je njihova razporeditev močno ali povsem odvisna od strukture in homogenosti uporabljenega materiala pa tudi od debeline žice same (razdalja med zunanjsima robovoma v profilu žice). Pri močnejšem zvijanju se zgodi, da raztezki na zunanjem delu žice presežejo svojo mejo elastičnosti in postanejo plastični. Žica s tem izgubi lastnost vračanja v prvotno (ravno) lego. Pravimo, da se je v taki žici pojavila plastična deformacija.

Pozitivne lastnosti drobnih žic so izkoriščene pri pletenicah, ki so izdelane iz večjega števila drobnejših žic. Njihova prednost pred monolitnimi žicami je, da se napetosti, ki se zaradi zvijanja pojavijo v prerezu žice, pojavijo v posamezni žici in ne v celotnem prerezu žice, kot je to primer pri monolitni žici. Zato so napetosti enakomerno razporejene po prerezu pletenice. Ker so posamezne žičke v pletenici prepletene (prehajajo z ene strani žice na drugo), delujejo napetosti v njih v diagonalni smeri glede na pletenico. S tem je sproščanje napetosti v žičkah še dodatno poudarjeno v smer iztezanja. Zato te vrste žic lahko imenujemo tudi gibke žice.

Sposobnost vračanja v prvotno lego in linearni odnosi razporejanja napetosti (deformacij) vzdolž žice, ki veljajo pri gibkih žicah (Hookov zakon), omogočajo, da tako žico lahko uporabimo tudi kot orodje pri formiranju ali preizkušanju skladnosti geometrijskih elementov cestne osi.



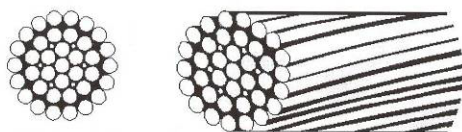


Figure 3 Composition of a strand

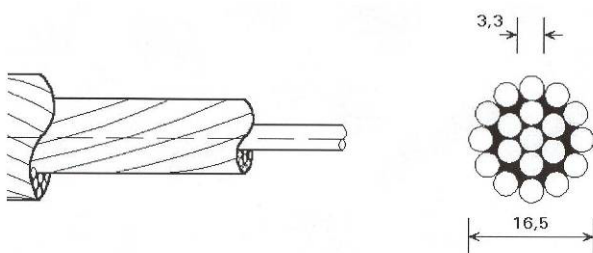
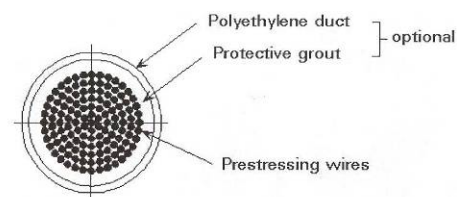
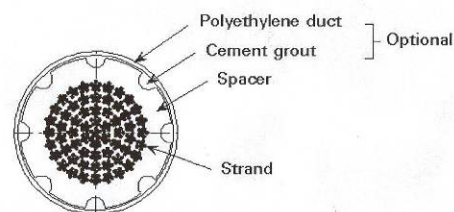


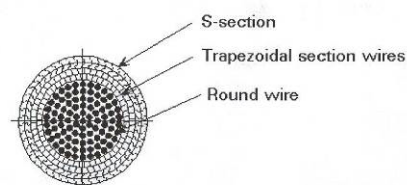
Figure 4 Composition of a rope



(a) Parallel-wire cable



(b) Strand cable



(c) Locked-coil cable

Prikaz zgradbe jeklenih vrvi (D.Beg: Jeklene konstr., 2005, str.98)

## 5.1 Karakteristike pletenice

### 5.1.1 Prožnost

Ni vseeno, ali upognemo jekleno žico ali svinčeno. Ko žici spustimo, zavzame jeklena žica prvotno obliko, svinčena pa ne. Pravimo, da je jeklo prožno, svinec pa je plastičen, ker mu obliko lahko za stalno spremenimo. Ločitev trdnih snovi v prožne in plastične seveda ni ostra. Tudi jeklena žica za trajno spremeni svojo obliko, če jo dovolj upognemo. Pravimo, da smo presegli mejo prožnosti. Dokler ne presežemo meje prožnosti in če ne spreminjamo temperature, je deformacija trdnega telesa odvisna samo od sil, ki na to telo delujejo.

Za majhne deformacije splošno velja: sila, ki povzroči tako deformacijo, je sorazmerna z velikostjo te deformacije. S tem smo povedali tako imenovani » Hookov zakon «

Pri vsakem prožnem telesu opazimo, da se deformira v nasprotnem smislu, če vse sile obrnejo svoje smeri. Ravna žica se raztegne, če jo napnemo z neko silo. Tudi za ta primer velja Hookov zakon, če podaljšek s ni prevelik (J.Peternelj:Fizika za srednje šole I,1974, str.12):

$$F = k \cdot s$$

kjer je:

$F$  ... sila [N],

$k$  ... prožnostna konstanta [ $\frac{N}{cm}$ ],

$s$  ... raztezek [cm].

Koeficient  $k$  je značilen za dani kos žice. Kratka žica zahteva za enako velik podaljšek večjo silo kot dolga žica, debela pa večjo kot tenka. To pomeni, da ima žica večji koeficient  $k$ , če je debelejša ali krajša. Ker je sila sorazmerna z relativnim podaljškom, je z njim sorazmeren tudi kvocient  $\frac{F}{S}$  (torej sila na enoto preseka). Zaznamujmo novi koeficient z  $E$  in zapišimo

omenjeno sorazmernost (J.Peternelj: Fizika za srednje šole I,1974, str.12)  $\frac{F}{S} = E \cdot s$  pri čemer je  $E=k/S$ .

Koeficient  $E$  se imenuje prožnostni modul. Ker smo dolžino in presek žice že upoštevali v enačbi, koeficient  $E$  od teh količin ni več odvisen, ampak samo še od snovi, iz katere je žica. Prožnostni modul je torej snovna lastnost. Če ostanemo pri enotah  $cm^2$  za presek in  $m$  za dolžino, lahko rečemo: prožnostni modul pove, kolikšen je koeficient  $k$  pri žici, ki je 1 meter dolga in ima presek  $1 cm^2$ .

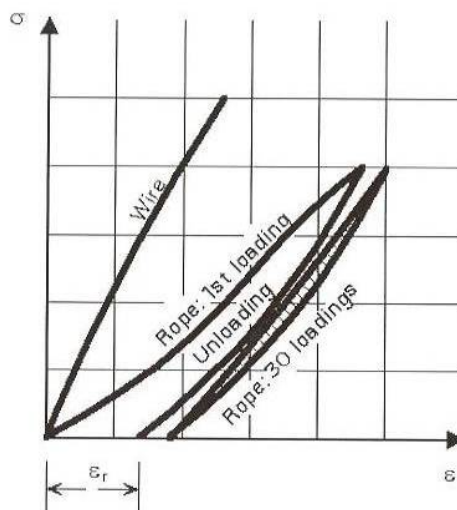
### 5.1.2 Trdnost

Trdnost je lastnost snovi pri kateri ne pride do deformacije. Vrednost, ki jo pri tem doseže kvocient  $F/S$ , se imenuje meja trdnosti(natančneje povedano meja natezne trdnosti).Vsaka

trdna snov ima svojo mejo trdnosti. Patentirana žica je izdelana iz ogljikovih jekel z 0,5 % do 0,8 % ogljika. Po hladnem vlečenju ima trdnost 1400 do 2200 N/mm<sup>2</sup> in jo uporabljamo za izdelavo žičnih vrvi.

Spodnji diagram prikazuje utrujanje materiala po določenih obremenitvah; v našem primeru je to pletenica. Ta se po veliko obremenitvah tako deformira, da se ne povrne več v prvotno stanje in ne opravlja več svoje funkcije (D.Beg: Jeklene konstr., 2005, str.39):

Utrujanje materiala



## 5.2 Navodila za uporabo, skladiščenje in rezanje

Jeklene vrvi dobavljamo primerno zaščiteno bodisi na kolutih ali v zvitkih. Pri prekladanju moramo paziti, da ne pride do direktnega stika med prameni vrvi in ostrimi robovi, podlagi in drugimi trdimi površinami. Po vsaki manipulaciji je potrebno opraviti vizuelno kontrolo, kjer moramo biti pozorni na morebitne poškodbe embalaže. V primeru poškodbe embalaže moramo jekleno vrv bodisi previti na drug kolut ali zamenjati zunanji ovoj.

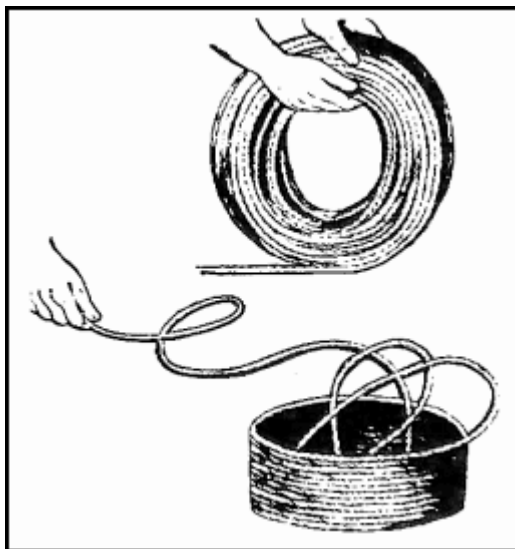
Hraniti jo moramo na suhem in čistem mestu. Skladiščenja na prostem ne priporočamo, saj lahko zaradi dežja ali kondenza pride do rjavenja. V prostorih kjer skladiščimo jeklene vrvi moramo paziti, da ne pride do stika z jedkimi ali drugimi agresivnimi snovmi, z dimom ali

prahom. Temperatura ne sme biti višja od 100°C oziroma takšna, da ne pride do morebitne poškodbe embalaže.

### Previjanje in navijanje

Pravilno

Navijanje in previjanje jeklene vrvi ([http://www.toneli.si/Lana\\_Vamberk/](http://www.toneli.si/Lana_Vamberk/))



Nepravilno

Če nepravilno odvijate ali navijate jekleno vrv, se lahko zgodi, da na mestu, kjer se naredi zanka, zategnete. S tem jo lahko poškodujete tako, da postane neuporabna. Temu se lahko izognete tako, da jo odvijate oziroma navijate zelo počasi, stalno pa mora biti rahlo napeta. Če jekleno vrv, ki je navita na kolutu vpneemo na enem koncu in jo nato počasi odvijamo, pride po vsakem odvitem krogu do odvijanja vrvi za 360 stopinj (v levo ali desno stran). To se zgodi zato, ker so se v predhodnem navijanju v jekleni vrvi ustvarile določene sile. Zato moramo jekleno vrv odviti na ravno čisto podlago, odvrteti morebitne pentlje in jo popolnoma zravnati. Šele nato lahko oblikujemo nov zvitek ali jo navijemo na drug kolut.

Če jo navijamo na kolut v večih plasteh moramo paziti, da je v vsaki plasti vrv skladno navita v en krog poleg drugega. Jeklene vrvi lahko režemo samo z ustreznim orodjem. Pri tem moramo uporabljati ustrezno močne škarje ali električno razalko z ustrežno ploščo za rezanje jekla. Na vsaki strani od mesta, kjer bomo rezali, je potrebno jekleno vrv poviti z žico. Za to

uporabljamo mehko 1,5 mm debelo žico. Alternativno lahko namesto tega uporabimo tudi posebne močne lepilne trakove, ki so armirani.

### Mazanje

Jeklene vrvi dobavljamo mazane (priporočamo z elaskonom) ali suhe. Odvisno od naročnikovih želja in tehničnih karakteristik uporabe. Ne glede na to, da se uporabniki izogibajo uporabi mazanih vrvi pa z mazanjem podaljšujemo življenjsko dobo vrvi (tudi do 50 %). Zlasti tiste jeklene vrvi, ki so navite na bobne in se pogosto odvijajo in navijajo. Boljše prenašajo obremenitve in trajajo dlje, če so namazane. Pred mazanjem moramo s površine jeklene vrvi očistiti vso umazanijo in trde delce.

### Pregledovanje in izločanje iz uporabe

Pazljivi moramo biti na morebitne pretrgane žice, na namaščenost, obrabo žic (zmanjšanje premera), korozijo in druge posebnosti (npr. izpletanje jedra). Če se je premer jeklene vrvi zmanjšal za več kot 10 % jo moramo izločiti iz uporabe. Po odredbi o varnosti strojev mora biti varnostni koeficient 5. Če je največja nosilnost npr. 5 t (preden se vrv po proizvajalčevih podatkih pretrga) je torej dovoljena največja obremenitev do 1t. V primeru, da pride do pretrganja posameznih žičk, je potrebno postopati tako. Izločimo jo, če je na dolžini 6-tih premerov pretrganih 10 % ali več žic in če je na dolžini 30-tih premerov pretrganih več kot 20% žičk.

Primer: jeklene vrv 6x37 debeline 10 mm z vlaknastim jedrom ima 222 žic. V primeru, da je na dolžini 6 cm pretrganih več kot 22 žic, jo moramo takoj izločiti iz uporabe.

Jeklene vrv je neuporabna tudi če:

- pride do popolnega pretrganja,
- izpletanja jedra,
- je bila izpostavljena ostrim predmetom ali pritiskom, ki so jo sploščili tako, da se njen premer na določenih mestih zmanjšal za 20 %,
- opazimo močno korozijo.

### 5.3 Vrste jeklenih vrvi

#### Spiralne jeklene vrvi

Najenostavnejša vrsta vrvi, sestavljena iz središčne žice 6 ali več zunanjih žic enakega premera, ovitih okrog središčne žice.

Konstrukcije: 1x3, 1x7, 1x19, 1x37

Uporaba: avtomobilska industrija

#### Jeklene vrvi za široko potrošnjo

Pomembna odlika teh vrvi je, da so sestavljene iz žic enakega premera, sama vrv pa vsebuje 6 do 8 pramenov.

Konstrukcije: 6x7, 6x19, 6x37, 6x27, 6x31, 6x61

Uporaba: širok spekter v strojni industriji, gradbena industrija, ribištvo, gozdarstvo.

#### Posebne jeklene vrvi

Sestava teh vrvi je različna tako po načinu pletenja, konstrukcije, premera žic ipd. Z uporabo različnih dimenzij žic v vrvi se poveča kovinski presek vrvi, boljši faktor polnjenja, kar povzroči povečanje porušne sile, večjo obrabno odpornost in daljšo življenjsko dobo.













Vrste konstrukcij:

- a. SEALE konstrukcija: v prvem sloju se uporabljajo žice tanjšega premera, zunanji sloj pa je iz debelejših žic. S tem je dosežena večja odpornost na trenje in se zato tudi uporabljajo v primerih, kjer je zunanje trenje bolj izraženo.
- b. WARRINGTON konstrukcija: notranji sloj pramena je iz žic enakega premera, zunanji sloj pa iz dvakrat večjega števila žic izmenično debelejših in tanjših žic.
- c. FILLER konstrukcija: zaradi boljšega polnjenja se za te konstrukcije uporabljajo v notranjem sloju t.i. »filler« žice, ki dajo vrvi večji kovinski presek in trdoto.

d. Nerotirajoče vrvi:

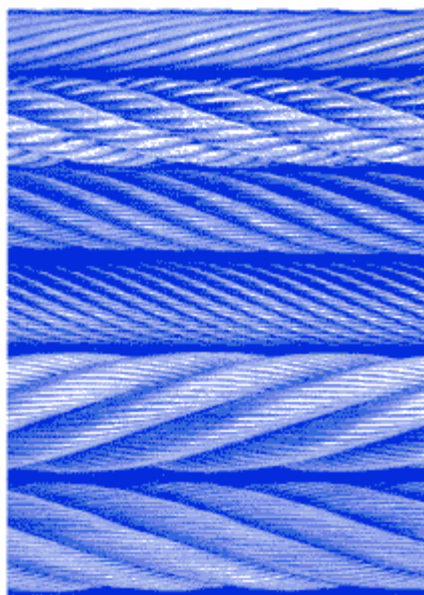
- Te vrvi imajo lastnost nerotiranja, in se uporabljajo v primerih, kjer je en konec vpet, drug pa prosto viseč.
- Konstrukcije: 17x7, 18x7, 34x7.
- Uporaba: dvigalne naprave v strojni in gradbeni industriji.

Tipi jeklenih vrvi ([http://www.toneli.si/Lana\\_Vamberk/](http://www.toneli.si/Lana_Vamberk/))

 <p>Tip IELT 19 žic od Ø 1,2 - Ø 16 mm</p>	 <p>Tip WARRINGTON-SEALE 216 žic 6 X 36 + T.J. od Ø 10 - Ø 30 mm</p>
 <p>Tip IELT 37 žic od Ø 3 - Ø 26 mm</p>	 <p>Tip WARRINGTON-SEALE 216 + 49 žic 6 X 36 + J.J. od Ø 10 - Ø 30 mm</p>
 <p>Tip MTP 42 žic 6 X 7 + T.J. od Ø 2 - Ø 18 mm</p>	 <p>Tip SR 222 žic 6 X 37 + T.J. od Ø 4 - Ø 32 mm</p>
 <p>Tip MTP 49 žic 6 X 7 + J.J. od Ø 2 - Ø 18 mm</p>	 <p>Tip SR 222 + 49 žic 6 X 37 + J.J. od Ø 4 - Ø 32 mm</p>
 <p>Tip EA 114 žic 6 X 19 + T.J. od Ø 3 - Ø 30 mm</p>	 <p>Tip ANT 133 žic 19 X 7 od Ø 3 - Ø 30 mm</p>
 <p>Tip EA 114 + 19 žic 6 X 19 + J.J. od Ø 3 - Ø 30 mm</p>	 <p>PLASTIFICIRANA od Ø 1,2/2,5 - Ø 6/8</p>

Tipi jeklenih vrvi glede in smer pletenja ([http://www.toneli.si/Lana\\_Vamberk/](http://www.toneli.si/Lana_Vamberk/))

PREMER VRVI V mm	RAZLIČNI TIPI JEKLENIH VRVI					
	133 ŽIC - NEVRTEČA		216 ŽIC		222 ŽIC	
	R 180 - 1770 N/mm <sup>2</sup>	R 200 - 1970 N/mm <sup>2</sup>	R 180 - 1770 N/mm <sup>2</sup>	R 200 - 1970 N/mm <sup>2</sup>	R 180 - 1570 N/mm <sup>2</sup>	R 180 - 1770 N/mm <sup>2</sup>
6	2400	2700	-	-	1840	2000
7	3200	3500	-	-	-	-
8	3800	4200	-	-	3400	3750
9	5500	6100	-	-	-	-
10	6450	7100	5950	6600	5000	5500
12	9800	10800	8850	9800	7150	7850
14	12400	13700	11900	13300	9900	11000
16	16900	18600	15700	17400	13200	14600
18	22100	24300	20300	22500	17000	18700
20	25900	28500	24900	27600	21300	23300
22	32300	35400	30100	33500	26000	28400
24	39300	43200	35400	39400	28600	31400
26	44300	48700	41500	46100	34000	37300
28	52400	57800	48200	53600	40000	44000
30	61200	67500	55600	61800	46000	51000



Za izvajanje preizkusov poteka cestne osi v projektih za ceste pletenice debelin, kakršne so pokazane v prejšnji tabeli, zaradi prevelike togosti niso uporabljive. Zato smo izbrali tip 222 z debelinami premerov pletenice 2, 3, 4 in 5 mm.



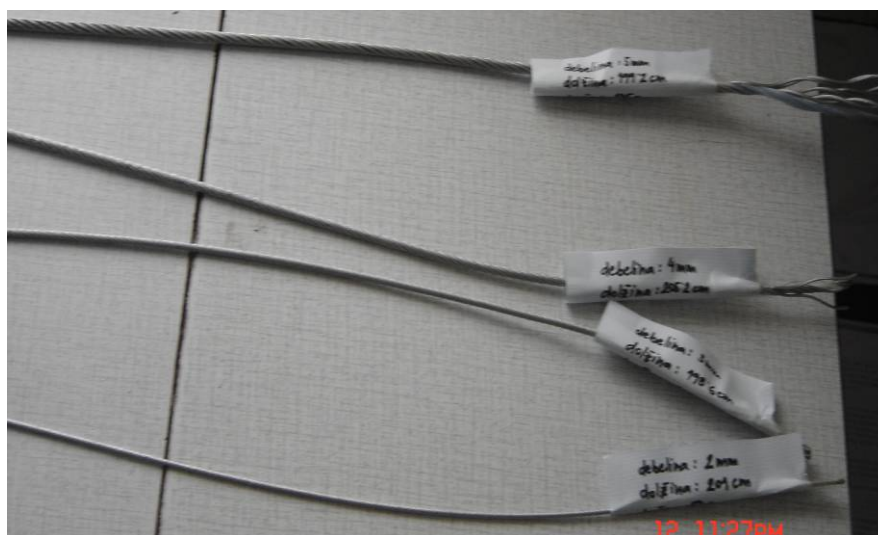
## 6 IZVEDBA EKSPERIMENTA

### 6.1 Opis eksperimenta

Eksperiment smo opravljali z gibkimi jeklenimi žicami(pletenicami) premera 2, 3, 4 in 5 mm.V spodnji tabeli so zgolj informativno prikazani nekateri podatki za posamezno žico, kot so:premer žice, dolžina žice, teža in presek.

Preglednica 1: Karakteristike gibkih žic

Premer žice [mm]	Dolžina [cm]	Masa [g]	Presek [mm <sup>2</sup> ]
2	201	50	3,14
3	198,6	80	7,07
4	205,2	137,5	12,56
5	199,2	175	19,63



Slika 6.1: Gibke žice(pletence), pripravljene za izvedbo eksperimenta



Slika 6.2: Žice slikane še z drugega zornega kota

Spodnja slika Slika 6.3 prikazuje prostorski potek gibke žice, ki je na vseh stojinah podprta samo v eni točki. Ta točka je na različnih višinah od podpore do podpore. Podpore so postavljene cik-cak in na različnih medsebojnih razdaljah. Linija žice je prostorska krivulja in se po podporah razmesti v skladu z lastno težo in uporom žice na podpornih mestih. Iz fotoposnetka v prečni smeri se med drugo in tretjo stojino lepo vidi diskontinuiteta linije, ki je posledica obeh prej navedenih vzrokov in »neprimerne« razporeditve stojin, saj je razdalja med 2. in 3. stojino kar precej manjša od obeh sosednjih.



Slika 6.3: Prostorski prikaz trase (pogled s strani – vzdolžni prerez)



Slika 6.4: Prostorski prikaz trase (pogled z vrha - tloris)

Iz fotoposnetka tlorisa (slika Slika 6.4) pa lahko razberemo, da 4. stojina »sili« žico, da se ne deformira, kot bi se lahko in kot bi pričakovali. Vidimo, da so stojine 3, 4 in 5 v močno iztegnjenem položaju in linija žice med njimi med stojinami 4 in 5 dodatno horizontalno krivino (lok).

Iz zgornjih posnetkov lahko zaključimo, da je pri uporabi gibke žice za preizkus cestne osi potrebno žico »podpreti«:

- približno na sredini vsakega krožnega loka,
- vedno z notranje strani loka in
- na približno enakih razdaljah.

Z upoštevanjem teh navodil je gibka žica uporabna za izvedbo preizkusa linije cestne osi. Poleg zgoraj navedenih zaključkov je pri tem delu potrebno poznati še maksimalno ukrivitev žice pred nastankom plastične deformacije in način oblikovanja žice med dvema sosednjima krožnima lokoma. Ti dve značilnosti smo ugotavljali z obešanjem žice na podporo na vertikalni steni.

## 6.2 Poskus za določitev minimalnega polmera uvijanja žice

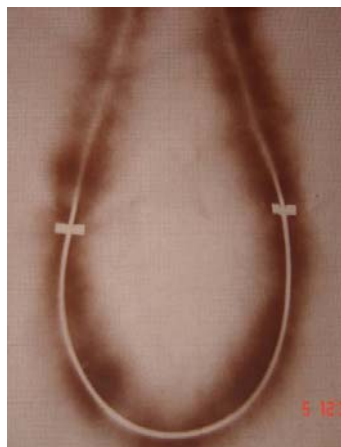
### 6.2.1 Opis poskusa

Na steno smo položili horizontalno palico, in nanjo na dveh točkah fiksno pritrdili gibko žico tako, da je nad palico na vsaki strani ostalo 50 cm žice. Prosto viseči del žice je oblikoval krivuljo, ki spominja na hruško (slika Slika 6.5). Tako se je žice oblikovala, zaradi lastne teže in minimalne razdalje med fiksirnima točkama. Formirali so se trije krožni loki in dve prehodni območji med njima (prehodnici).



Slika 6.5: Samooblikovanje obešene žice

Ko smo imeli žico prosto visečo smo jo poškopili z razpršilno barvo ter jo nato odmaknili. Na steni se je ustvarila sled žice, ki je prikazana na sliki Slika 6.6 .



Slika 6.6: Sled gibke žice

Deformabilnost posamezne žice smo preizkusili z mehanskim obremenjevanjem (potegom), da bi ugotovili najmanjši polmer krožnega loka, pri katerem se žica še ne deformira trajno. Na sliki Slika 6.7 je pokazan vzorec deformirane gibke žice premera 2 mm, ko smo jo Zavili s polmerom, manjšim od 20 mm. Žica je plastično deformirana.



Slika 6.7: Deformacija gibke žice premera 2 mm

Pri gibki žici premera 3 mm smo ugotovili, da se žica te debeline začne trajno deformirati pri mejnem polmeru  $R = 30$  mm (slika Slika 6.8).



Slika 6.8: Gibka žica 3 mm pri polmeru  $R=30$  mm

Poleg trajne deformacije oblike žice (ostane zakrivljena) je poizkus pokazal še, da se pri tej deformaciji sestava pletenice enostavno poruši. Pride do izpletanja posameznih žic, kar je pokazano na sliki Slika 6.9.



Slika 6.9: Gibka žica premera 3 mm

Pri gibki žici premera 4 mm, ki je obremenjena, je mejna vrednost, pri kateri se žica trajno deformira, pri polmeru ukrivljenja  $R = 40$  mm (slika Slika 6.10).



Slika 6.10: Debelina žice 4 mm, položena na polmeru  $R = 40$  mm

Pri gibki žici premera 5 mm je bilo mejno stanje pred trajno deformacijo ugotovljeno pri polmeru ukrivljanja  $R = 50$  mm (slika Slika 6.11).



Slika 6.11: Žica debeline 5 mm, položena na polmeru  $R = 50$  mm

## 6.2.2 Ugotovitve

Najmanjše velikosti polmera krožnega loka se doseže pri največji odpornosti žice, preden pride do njene deformacije (izpletanje žic in neuporabnost). Velikosti teh polmerov so približno enake 10-kratniku premera žice. V našem primeru so to krožni loki s polmeri 20, 30, 40 in 50 mm.

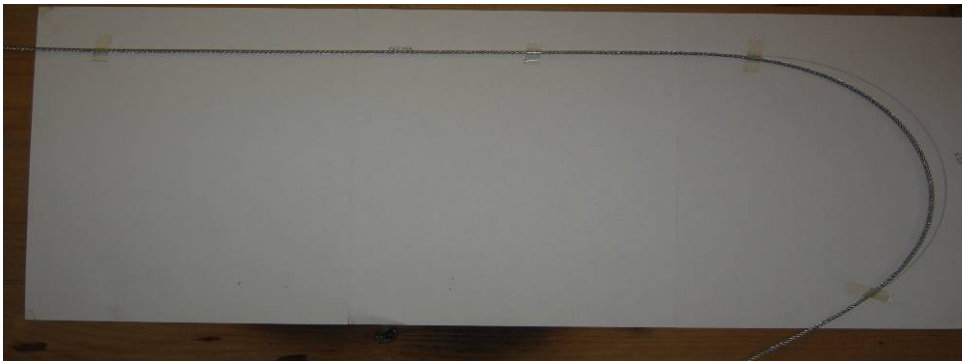
## 6.3 Poskus s horizontalnim potekom

### 6.3.1 Opis poskusa

Poskus s horizontalno položeno žico smo pripravili zato, da bi preizkusili odziv gibke žice pri uvijanju med dvema krožnima lokoma ali med krožnim lokom in premo. Zanimalo nas je, kako se žica, v kateri smo z uvijanjem ustvarili neko notranjo napetost, oblikuje na tem območju. Poskus smo pripravili tako-le:

- na list papirja smo narisali dolgo premo in majhen priključni krožni lok  $R = 125$  mm,

- na premo smo položili gibko žico premera 5 mm in jo pritrdili v nekaj točkah (slika Slika 6.12), da bi zagotovili obstanek žice v obliki preme,
- za definiranje krožnega loka smo izbrali eno samo točko na tem krožnem loku in to približno na koncu loka,
- žico smo nato želeli uviti po liniji krožnega loka, kar se je kot smo tudi pričakovali, pokazalo kot neizvedljivo, saj je notranja napetost v žici povzročila, da se je krogu najbližja točka na premi prisilno premaknila,
- za definiranje krožnega loka smo izbrali eno samo točko na tem krožnem loku in to približno na koncu loka.



Slika 6.12: Poskus z žico debeline 5 mm na podlogi z dolgo premo in krožnim lokom

### 6.3.2 Ugotovitve

Poskus je pokazal:

- da je žica zaradi notranjih napetosti v njej deformirala fiksno točko (dvignila selotejp) na prehodu med lokom in premo,
- da je bila zadnja fiksna točka preme postavljena preblizu krožnemu loku in jo je žica z lastno notranjo napetostjo premaknila,
- da žica s svojo togostjo in prožnostjo sama formira neko obliko, pri kateri med krožni lok in premo »vstavi« neko prehodno krivino in
- da je prehodna linija, ki jo ustvari notranja napetost v žici, zelo podobna ali celo identična z obliko klotoide, ki se tudi sicer uporablja pri načrtovanju osi ceste.



Ugotovljeni odmiki so dokaj veliki, kar pomeni, da ima žica debeline 5 mm veliko notranjo napetost in zato za razporeditev notranjih napetosti proti premi, kjer se napetost postopoma zmanjšuje na nič, potrebuje dolgo prehodnico.

## **6.4 Poskus z vertikalnim potekom**

### **6.4.1 Opis poskusa**

Pri poskusu z vertikalnim potekom smo želeli ugotoviti, kako se oblikuje žice, položena na eno, dve ali na tri podpore. Pri poskusu z dvema in s tremi podporami smo razmak med podporami povečevali, da bi ugotovili, kaj se bo zgodilo, če bomo pri preizkušanju linije cestne osi na posameznem krožnem loku uporabili eno ali dve ali tri fiksne (prisilne) točke. Pri tem se v vseh primerih formirajo 3 krožni loki; eden na podpori in še po eden na vsaki strani.

Povečevanje razdalje med krožnima lokoma, ki pomembno vpliva na oblikovanje prehodnega dela žice med dvema lokoma smo izvedli z »obešanjem« žic tako, da smo si izbrali začetno višino 30 cm, potem pa višino povečevali po 5 cm. Ugotovili smo, da tako majhni premiki pri višini nimajo nobenega pravega pomena, in smo izbrali naslednje višine podpor:

- pri eni podpori na višinah 30, 35, 40, 45 in 60 cm.
- Pri dveh in treh podporah pa na višinah 30, 35, 40 in 45 cm.

Pri višinah 60 cm je namreč gibka žice pri dveh in treh podporah formirala skupino krožnih lokov, kar za poskus ni aktualno in smo to višino tam opustili.

Skupaj smo izvedli poskuse s 84 različnimi kombinacijami.

Poskus smo izvedli takole:

- na steno smo prilepili milimetrski papir dolžine 120 cm in širine približno 60 cm,
- na papirju smo označili koordinatni osi za kasnejše meritve,

- na vertikalno steno smo v ordinati zabili poleg milimetrskega papirja žebliček na višino 30 cm, ki je bila tudi začetna višina,
- žico smo obesili na podporo na sredini dolžine in jo položili tako, da je prosto »zvisela« na obe strani,
- ob straneh smo stiropor obložili z alu-folijo, zaradi česar se je ustvarilo manjše trenje (slika Slika 6.14),
- višine smo spreminjali za po 5 cm ter poskus ponavljali,
- pri poskusu z več podporami smo postavili razdaljo med dvema in prav tako med tremi podporami na 20 cm in jo v naslednjem koraku povečali na 30 cm,
- za vsako »obešeno« žico smo na »millimetrski« steni označili njen potek in
- na enakih razdaljah vzdolž linije odčitali koordinate posamezne točke in jih vnesli v tabelo podatkov.

Na sliki Slika 6.13, kjer smo fotografirali vse 4 žice skupaj, se vidi, kako se žice pri tem dejansko oblikujejo. Najmanjši radij oziroma »notranjo« linijo opiše žice premera 2 mm, »zunanjo« pa žice premera 5 mm, ker je najbolj toga in lahko drži tako lego.



Slika 6.13: Na eni podpori podprte hkrati žice premera 2, 3, 4 in 5 mm

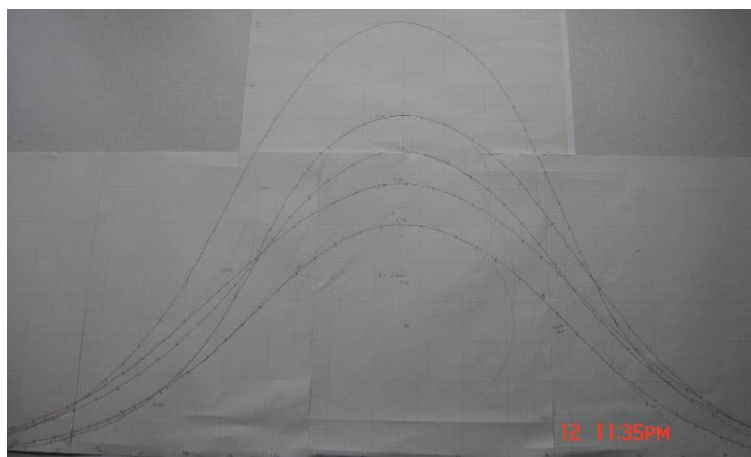


Slika 6.14: Prikaz »obešanja« in linije žice

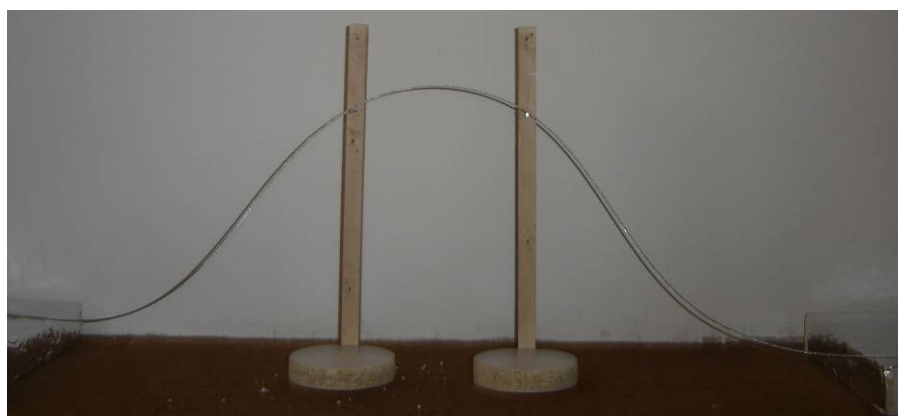
Pri teh preiskusih preide do majhne netočnosti rezultatov, kajti na levi in desni strani gibkih žic(pletenic) se pojavi različna intenzivnost trenja, ki pa bistveno ne vpliva na značilnosti poteka linij teh gibkih žic. Idealni poteki linij gibkih žic bi bili v primeru, če ne bi imeli čisto nič trenja. Na največji višini pri podpiranju z eno podporo smo pričakovali oblikovanje loka z najmanjšim možnim polmerom in oblikovanje vmesnega dela med dvema lokoma s prehodnicama in premo. Notranje sile v gibki žici se namreč nekje na sredini dolžine toliko ta zmanjšajo, da je togost žice tam večja od njih. Zato se žica »poravna« in nastane premi del oziroma prema. Na nastanek preme in minimalnega polmera pomembno vpliva tudi lastna teža posameznih gibkih žic (viseči del).

#### 6.4.2 Predhodna izločitev vizuelno neuporabnih rezultatov eksperimenta

Na naslednjih slikah so pokazane linije, ki se formirajo pri različnih žicah ter pri različnih sistemih in višinah »obešanja«.



Slika 6.15: Linije žic na eni podpori na milimetrskem papirju glede na višino



Slika 6.16: Gibka žica preko dveh podpor (enkrat 20, drugič 30 cm)



Slika 6.17: Linije žice na 2 podporah na papirju



Slika 6.18: Tri podpore na enakomerni medsebojni razdalji

Vseh poskusov slikovno v diplomski delu ni mogoče predstaviti in so slike shranjene v delovnem gradivu.

#### Izločitev

Na podlagi opravljenih poskusov in rezultatov poteka linij gibkih žic smo se odločili, da poskuse s tremi podporami izločimo iz nadaljnje obdelave. To pa predvsem zato, ker že vizuelno posredujejo obliko oziroma se v krožnem loku izoblikuje t. i. košarasta krivina, ki predmet obdelave v tej nalogi. Ostale linije smo shranili v nadaljnji obdelavi.

#### **6.4.3 Obdelava odčitanih koordinat s programom Mathematica**

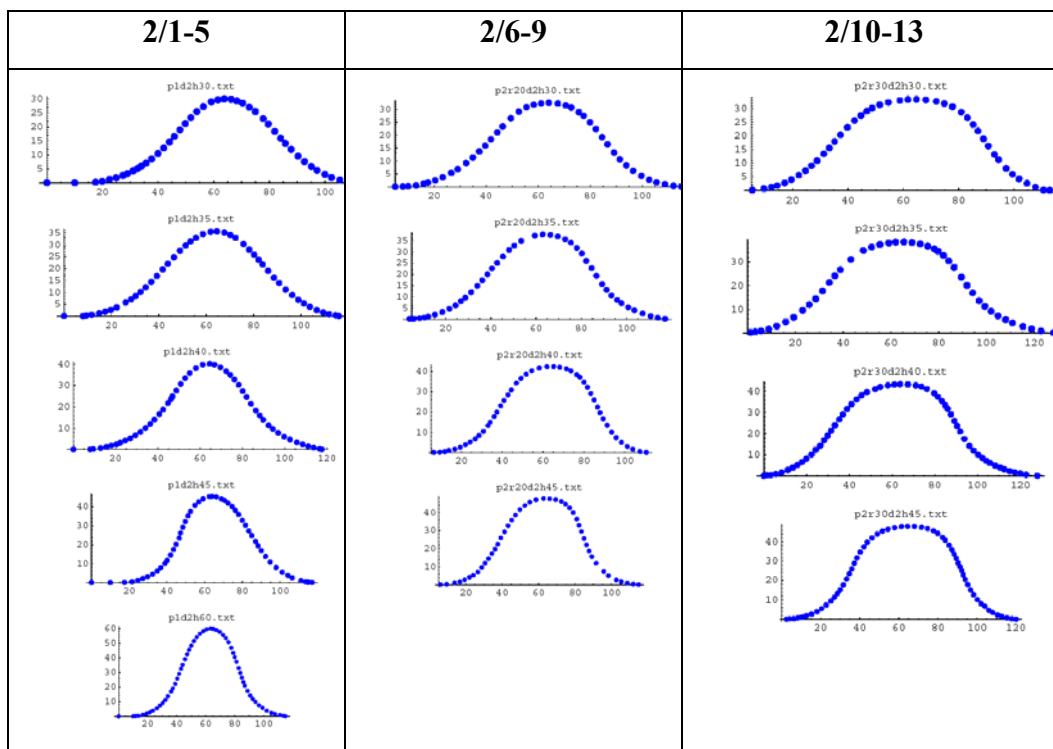
Naslednji korak pri analizi in vrednotenju posameznih linij gibke žice, dobljenih v poskusih, je bila obdelava s programom Mathematica. Na podlagi iz eksperimenta predhodno odčitanih koordinat točk smo s tem programom pripravili digitalni grafični zapis za kasnejše korake pri delu in za določitev velikosti geometrijskih elementov, ki tvorijo posamezno linijo žice. Grafe točk smo združili za vsako debelino žice posebej in jih predstavljamo v 3 kolonah (1. kolona-ena podpora, 2.kolona-dve podpori z razmakom 20 cm, 3.kolona-dve podpori z razmakom 30 cm). Vsak graf je označen s šifro, v kateri pomenijo: p-število podpor, r-razmak med podporami, d-debelina žice, h-višina podpore.

Grafe smo še dodatno opremili z zaporednimi številkami (i/j-k), pri katerih pomenijo:

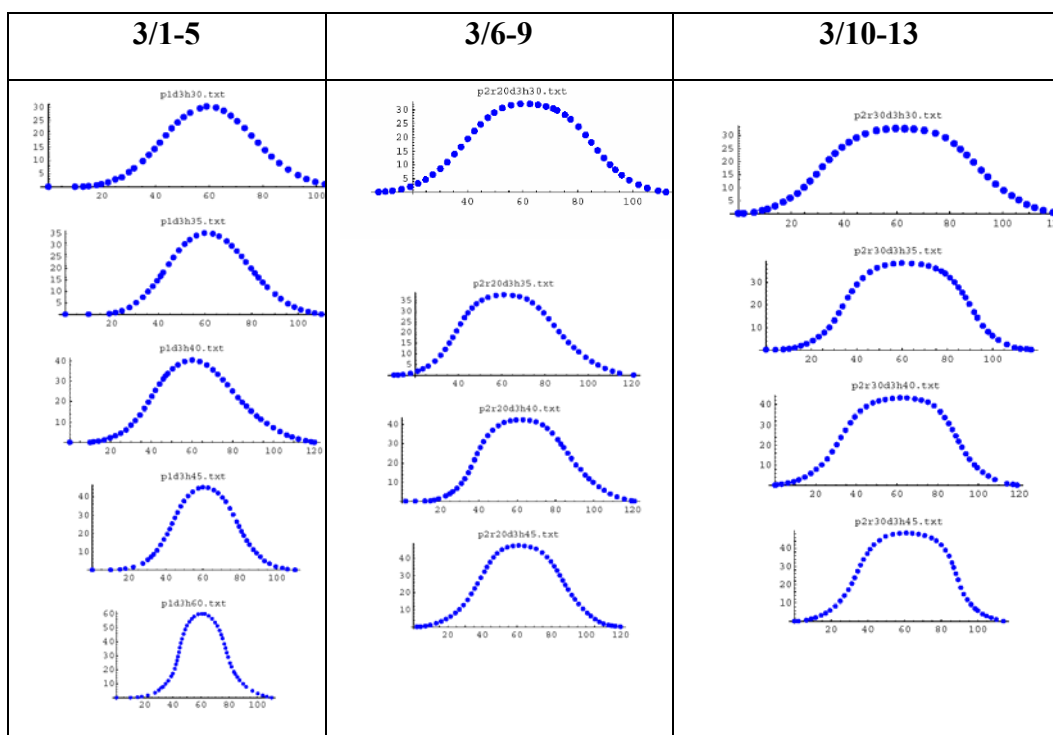
i debelina žice

j-k zaporedna številka poskusa: j=1, k=n

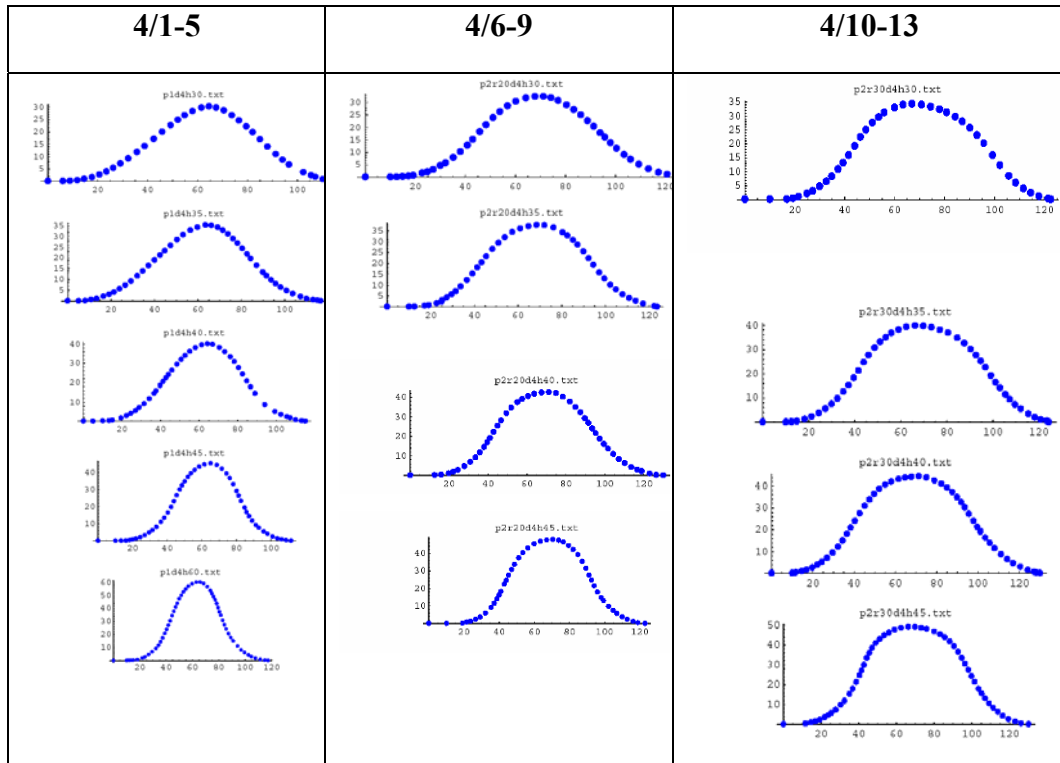
a) žica debeline 2 mm



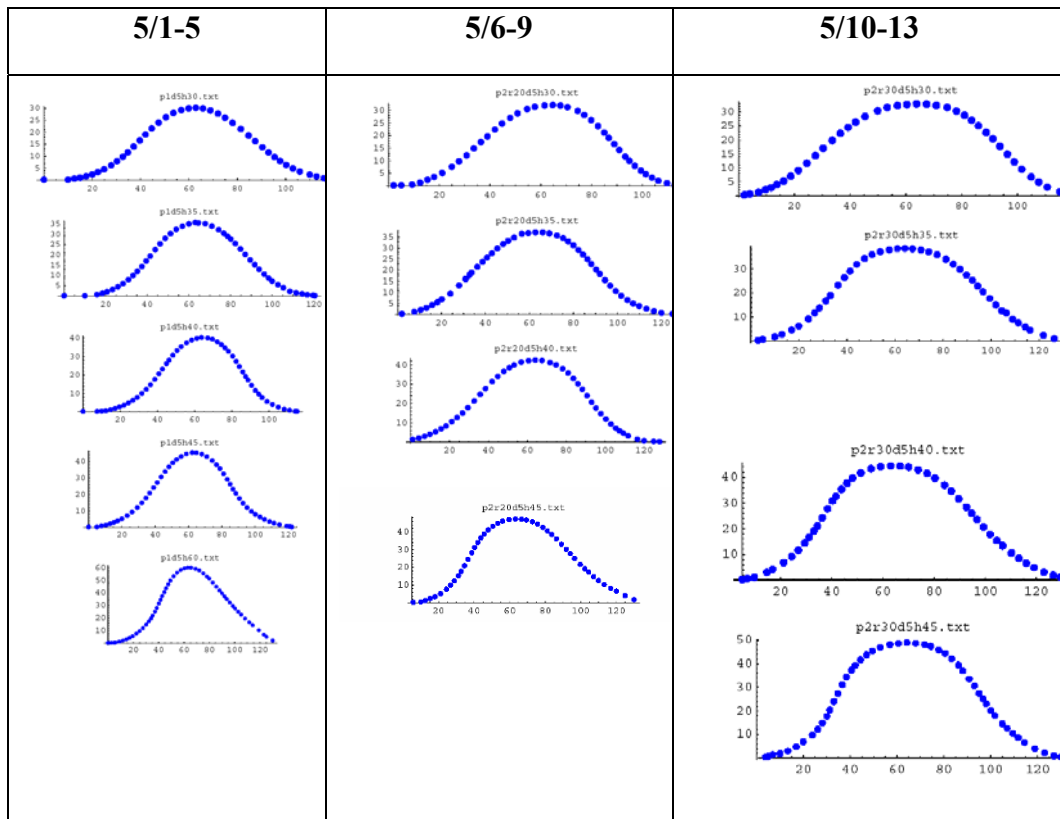
b) žice debeline 3 mm



c) žica debeline 4 mm



d) žice debeline 5 mm



#### 6.4.4 Izločitev posameznih rezultatov po obdelavi s programom Mathematica

Pri podpiranju gibkih žic z dvema podporama na različnih razmikih (20 in 30 cm) pride do oblikovanja nesimetričnih linij. Te linije se na mestu zgornjega krožnega loka oblikujejo v t.i. košaraste krožne loke. Linija je razpotegnjena in imamo več krožnih lokov z različnimi polmeri, zato jih že vizuelno izločimo kot slabe ali celo neuporabne. Tako iz zgornjih tabel izločimo 2/6-9, 2/10-13, 3/6-9, 3/10-13, 4/6-9, 4/10-13, 5/6-9, 5/10-13 oziroma vse rezultate dobljene pri poskusih na dveh podporah.

Obdelava podatkov s programom Mathematica je pokazala, da je za namen preskušanja linije cestne osi primerno uporabljati SAMO ENO PODPORO oziroma prisilno (fiksno) točko pri vsakem krožnem loku. Celotno število poskusov (84) se je s to in s predhodno izločitvijo zmanjšalo na 20. vseh teh 20 rezultatov pa smo uporabili pri različnih raziskavah geometrijskih elementov, ki sestavljajo linijo gibke žice. Pri enih smo ugotavljali najprimernejšo debelino gibke žice za uporabo pri projektiranju, pri drugih pa vpliv razmakov med loki na formiranje vmesne preme na predhodnem območju linije.

#### 6.4.5 Primerjava gibkih žic glede na debelino žice pri enaki višini podpore

Tu smo želeli ugotoviti, kako se oblikujejo žice različnih debelin pri podpiranju z eno podporo na višini 40 cm. Ta višina je izbrana kot približno simetrična sredina izmed višin 30, 35, 40, 45 in 60 cm. Elementi, ki se bodo ustvarili bodo podali odgovor, katera debelina žice je najbolj uporabna za preverjanje in določevanje osi ceste.

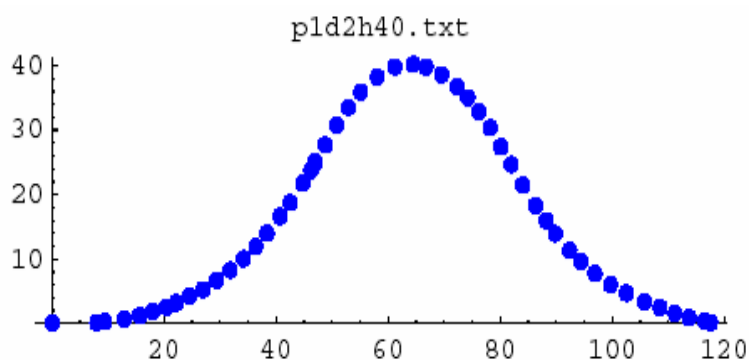
Za ta postopek smo izbrali računalniški program PLATEIA, s katerim smo skozi točke, dobljene s programom Mathematica, vrisali krožne loke (srednjega in oba stranska) in jih povezali z enotno klotoido.

Kjer je s programom PLATEIA izrisana enotna klotoida izkazovala očitno odstopanje od linije točk žice, smo v tisto risbo vključili vmesno premo. Njen položaj (od katere do katere

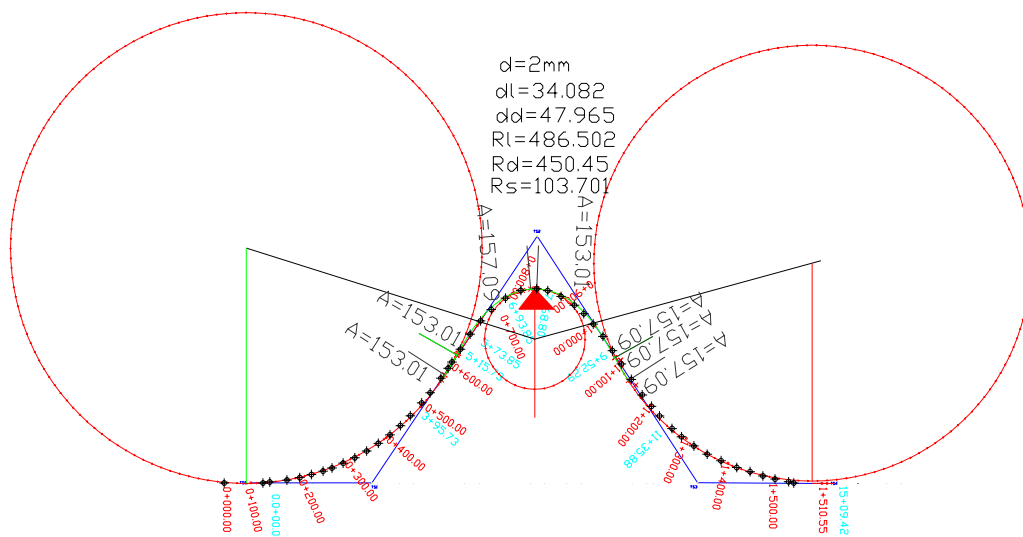


točke v grafu Mathematica) smo definirali z odčitanjem v diagramu zakrivljenosti, izdelanem za vsak primer posebej. Pri tem se je pokazalo, da celo minimalne netočnosti pri odčitkih koordinat posamezne točke v začetni fazi eksperimenta lahko vplivajo na rezultate izračuna podatkov za izdelavo diagrama zakrivljenosti. Zato je bilo treba na rezultate te »netočnosti« upoštevati in v diagramu zakrivljenosti za položaj preme upoštevati tudi rezultate, ki niso bili točno nič (0). Ti so potem določali položaj in smer vmesne preme v programu PLATEIA. Izračuni podatkov za diagrame zakrivljenosti so tabelarično podani v prilogi 2.

#### 6.4.5.1 Ena podpora, premer žice 2 mm, na višini 40 cm



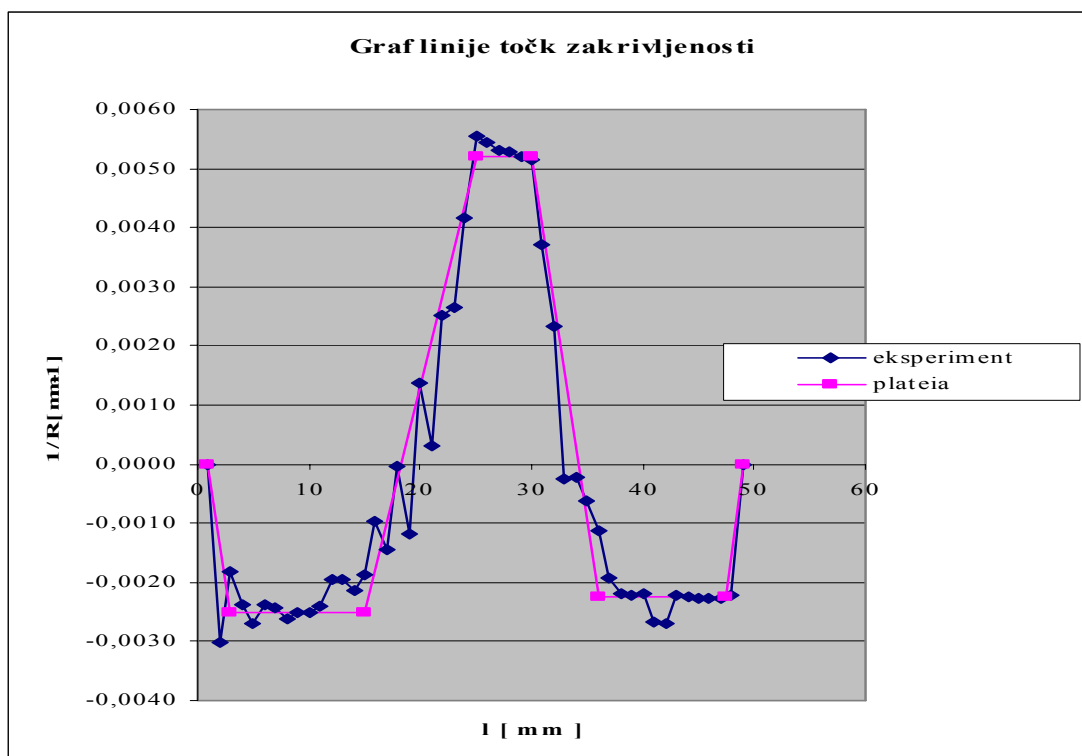
Slika 6.19: Graf točk gibke žice (Mathematica)



Slika 6.20: Graf linije osi ceste (Plateia)

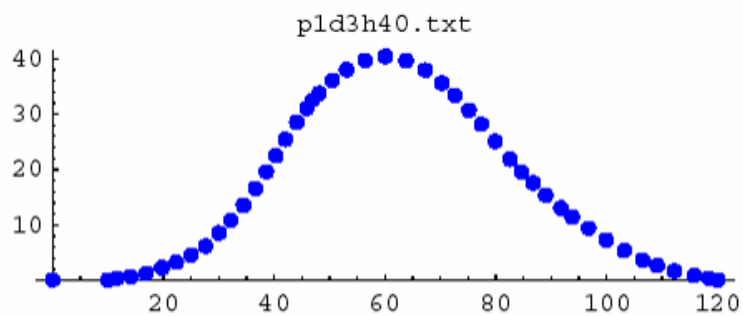
$R_{levo}$	$A_{levo1}$	$prema_{levo}$	$A_{levo2}$	$R_{srednji}$	$A_{desno1}$	$prema_{desno}$	$A_{desno2}$	$R_{desno}$
486.50	153.01	0	157.09	103.70	153.01	0	157.09	450.45

Pri tej žici se formirajo v tabeli vpisani geometrijski elementi, pri čemer je klotoida na obeh straneh praktično enotna in ne potrebuje nobenih dodatnih posegov.

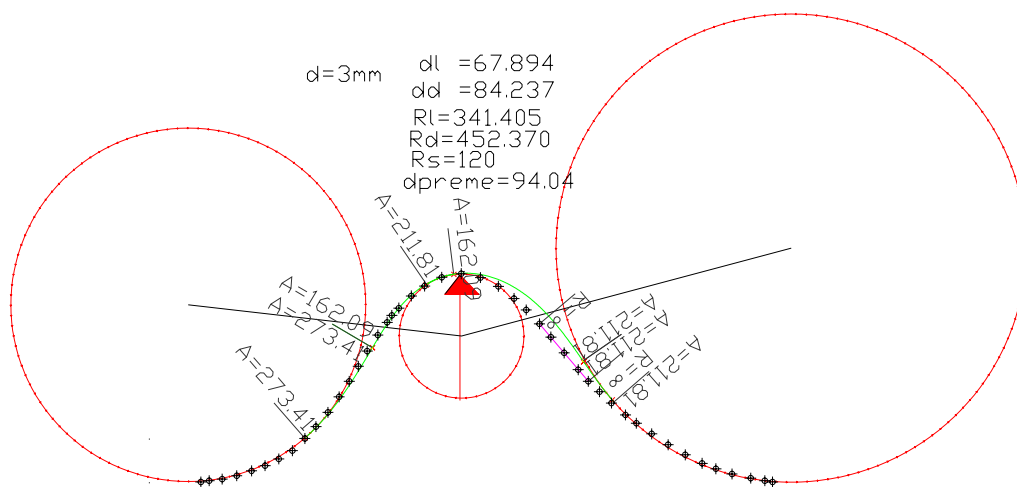


Slika 6.21: Graf zakrivljenosti

#### 6.4.5.2 Ena podpora, premer žice 3 mm, na višini 40 cm



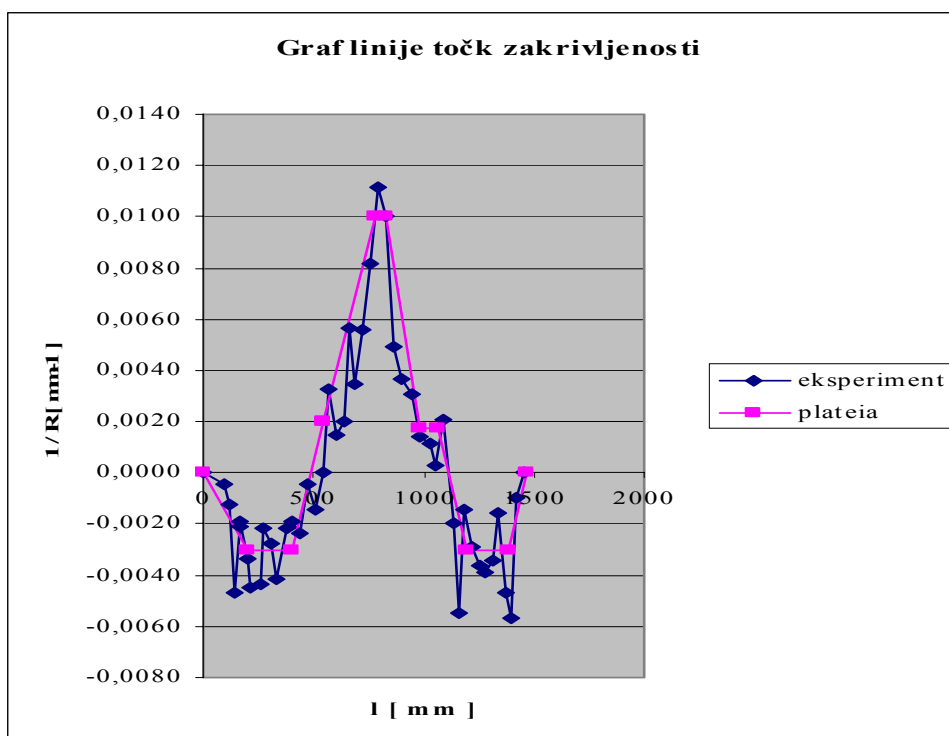
Slika 6.22: Graf točk gibke žice (Mathematica)



Slika 6.23: Graf linije osi ceste (Plateia)

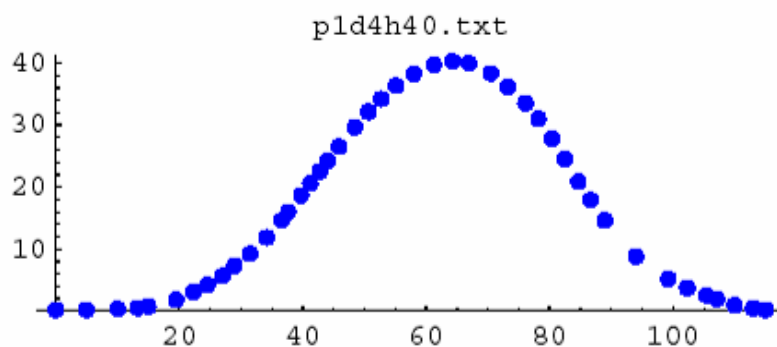
$R_{levo}$	$A_{levo1}$	$prema_{levo}$	$A_{levo2}$	$R_{srednji}$	$A_{desno1}$	$prema_{desno}$	$A_{desno2}$	$R_{desno}$
341.41	273.47	0	162.09	120	162.09	94.04	211.81	452..37

Pri tem poskusu se je žica na levi strani oblikovala kot sestavljena klotoida, na desni pa je klotoida močno odstopala od grafa točk. Zato smo na desni strani vključili vmesno premo.

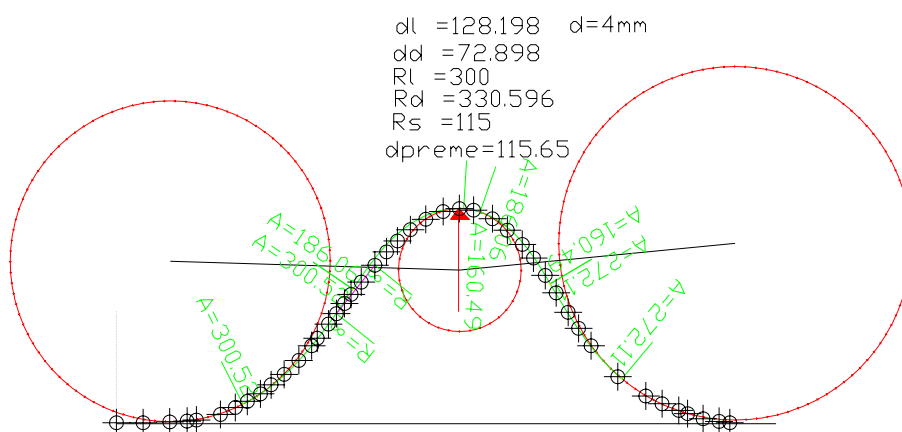


Slika 6.24: Graf zakrivljenosti

## 6.4.5.3 Ena podpora, premer žice 4 mm, na višini 40 cm



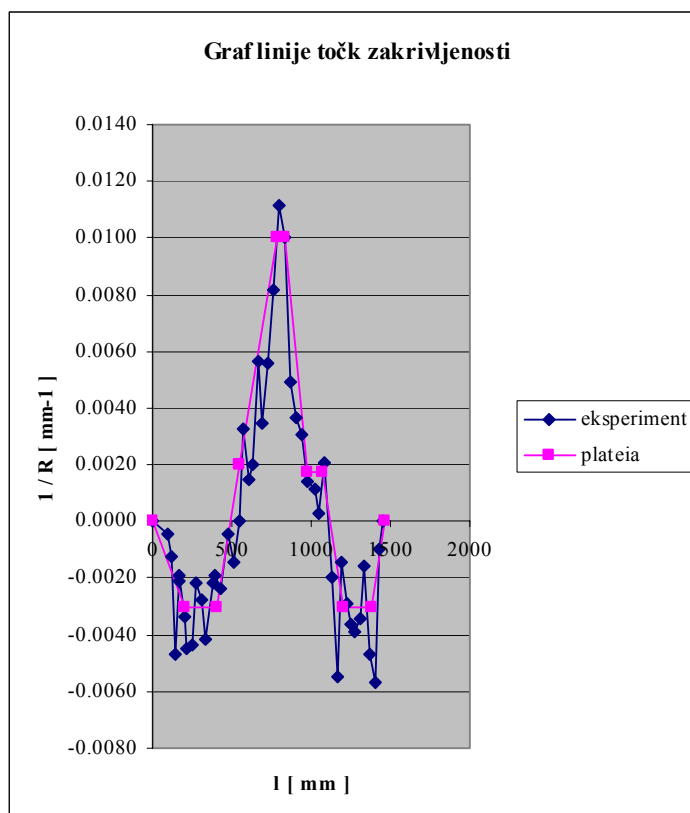
Slika 6.25: Graf točk gibke žice (Mathematica)



Slika 6.26: Graf linije osi ceste (Plateia)

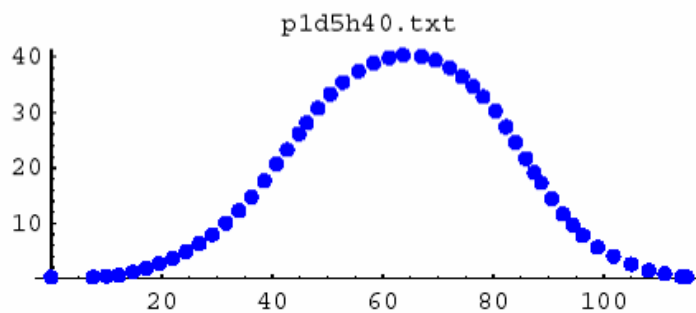
$R_{levo}$	$A_{levo1}$	$prema_{levo}$	$A_{levo2}$	$R_{srednji}$	$A_{desno1}$	$prema_{desno}$	$A_{desno2}$	$R_{desno}$
300	300.52	115.65	186.06	115	160.49	0	272.11	330.59

Tudi v tem primeru je bilo treba na eni (levi) strani vstaviti vmesno premo.

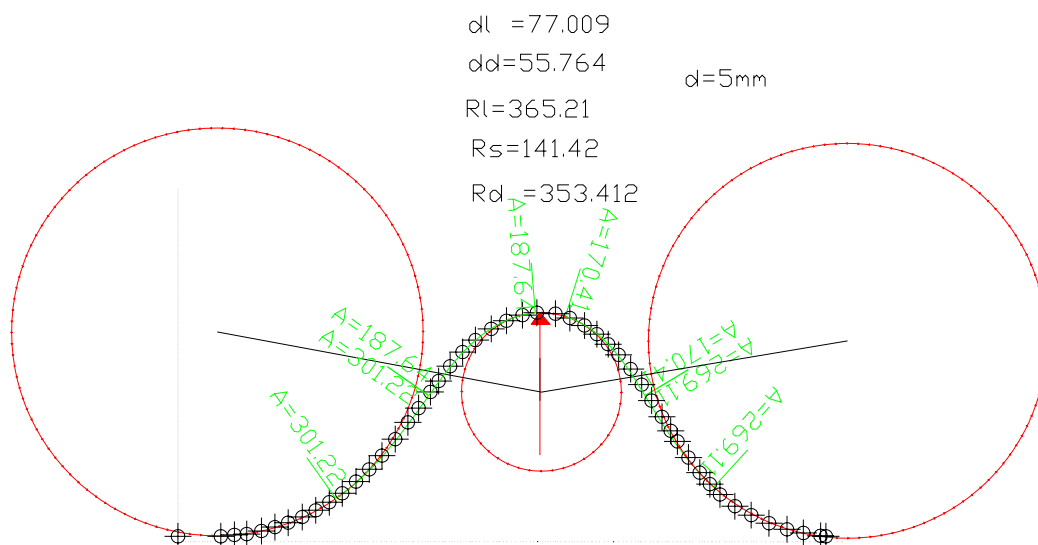


Slika 6.27: Graf zakrivljenosti

#### 6.4.5.4 Ena podpora, premer žice 5 mm, na višini 40 cm



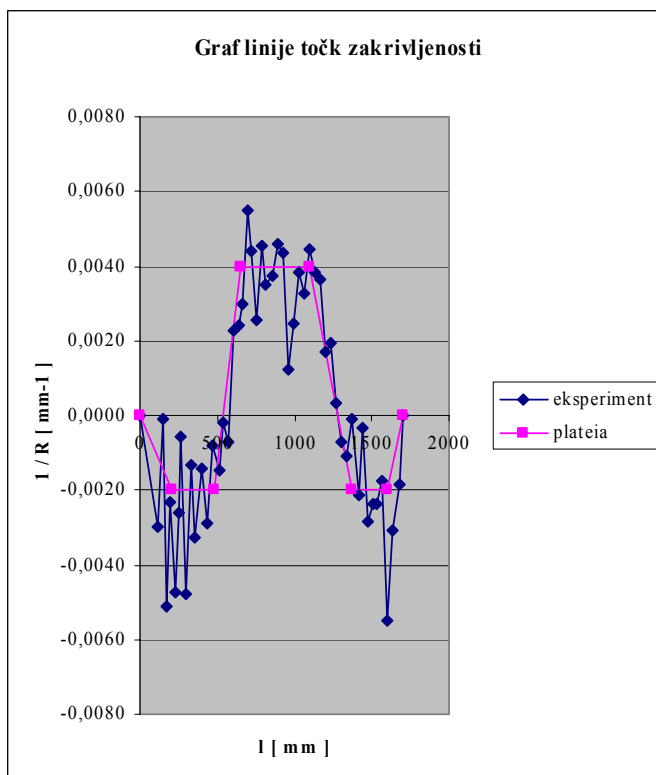
Slika 6.28: Graf točk gibke žice (Mathematica)



Slika 6.29: Graf linije osi ceste (Plateia)

$R_{levo}$	$A_{levo1}$	$prema_{levo}$	$A_{levo2}$	$R_{srednji}$	$A_{desno1}$	$prema_{desno}$	$A_{desno2}$	$R_{desno}$
365.21	301.22	0	187.64	11.42	170.41	0	269.11	353.41

Pri tem poskusu se je pokazalo, da je togost žice debeline 5 mm precejšnja in sta se zato na vsaki strani formirali kombinirani klotoidi.



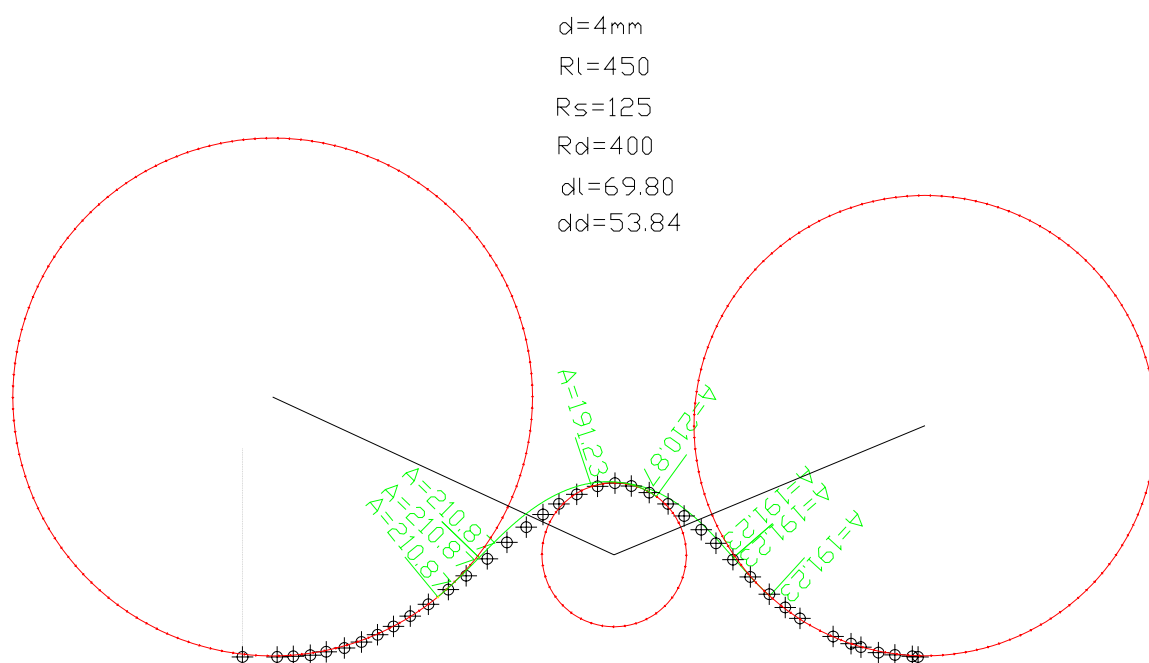
Slika 6.30: Graf zakrivljenosti

### Sklepna ugotovitev:

Po teh preiskusih smo ugotovili, da se liniji cestne osi najbolj približa žica premera 4 mm in je zato tudi najbolj uporabna. Tako smo gibke žice premera 2, 3 in 5 mm izločili iz obdelave. V nadaljevanju za ugotavljanje vpliva razmaka med lokoma, smo uporabili in podrobneje analizirali samo gibko žico premera 4 mm, in sicer na različnih višinah.

### 6.4.6 Analiza gibke žice debeline 4 mm na razmak med krožnima lokoma

#### 6.4.6.1 Ena podpora, premer žice 4 mm, na višini 30 cm

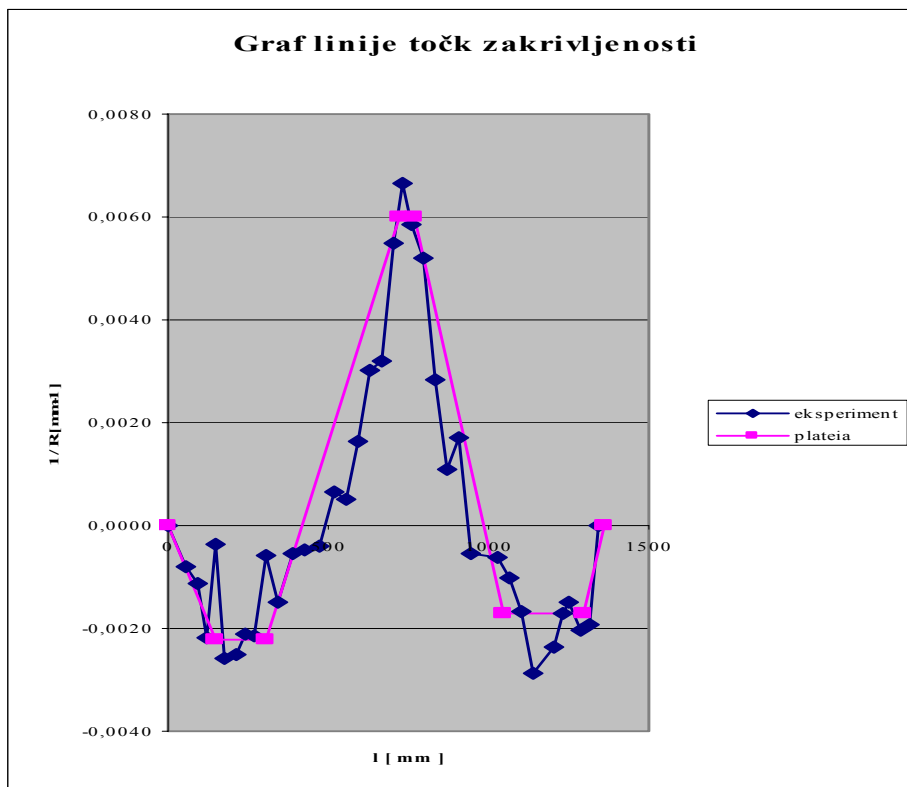


Slika 6.31: Graf linije osi ceste (Plateia)

$R_{levo}$	$A_{levo1}$	$prema_{levo}$	$A_{levo2}$	$R_{srednji}$	$A_{desno1}$	$prema_{desno}$	$A_{desno2}$	$R_{desno}$
450	210.87	0	191.23	125	210.87	0	191.23	400

Na tej nizki višini linija osi ceste (Plateia) sicer izkazuje enotno klotoido, vendar ta zaradi nesorazmerja med velikostmi polmerov lokov ( $R_l = 450$  m,  $R_s = 125$  m,  $R_d = 400$  m) ustvari na srednjem loku preseganje elementov (krožni lok je »negativen«). Pokaže pa se, da sta klotoidi na obeh straneh sorazmerni velikostim polmerov lokov, kar pomeni, da se je na obeh

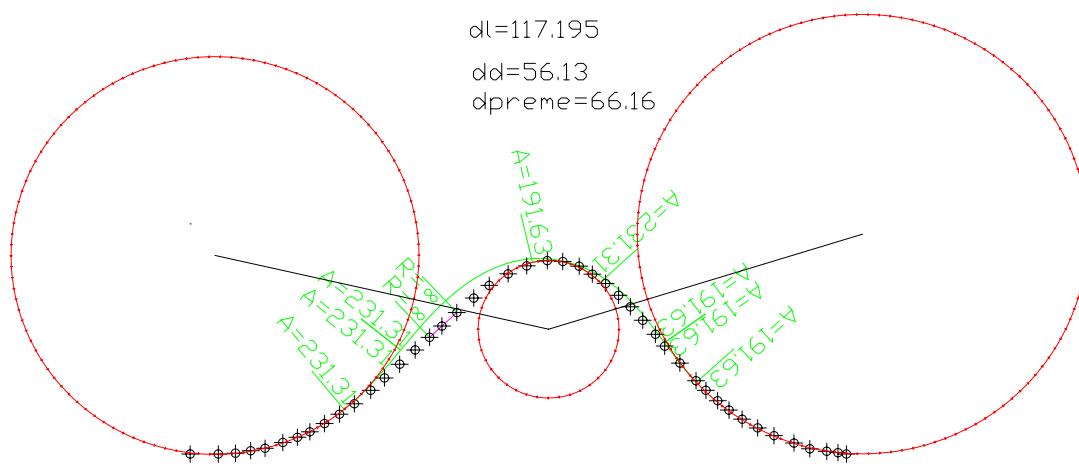
straneh »klobuka« ustvarila prehodna linija z istimi voznodinamičnimi značilnostmi. To potrjuje, da je žica uporabna kot pomožno orodje za delo v projektivi.



Slika 6.32: Graf zakrivljenosti

#### 6.4.6.2 Ena podpora, premer žice 4 mm, na višini 35 cm

$d=4\text{mm}$   
 $Rl=362.019$   
 $Rs=125$   
 $Rd=400$   
 $dl=117.195$   
 $dd=56.13$   
 $dpreme=66.16$

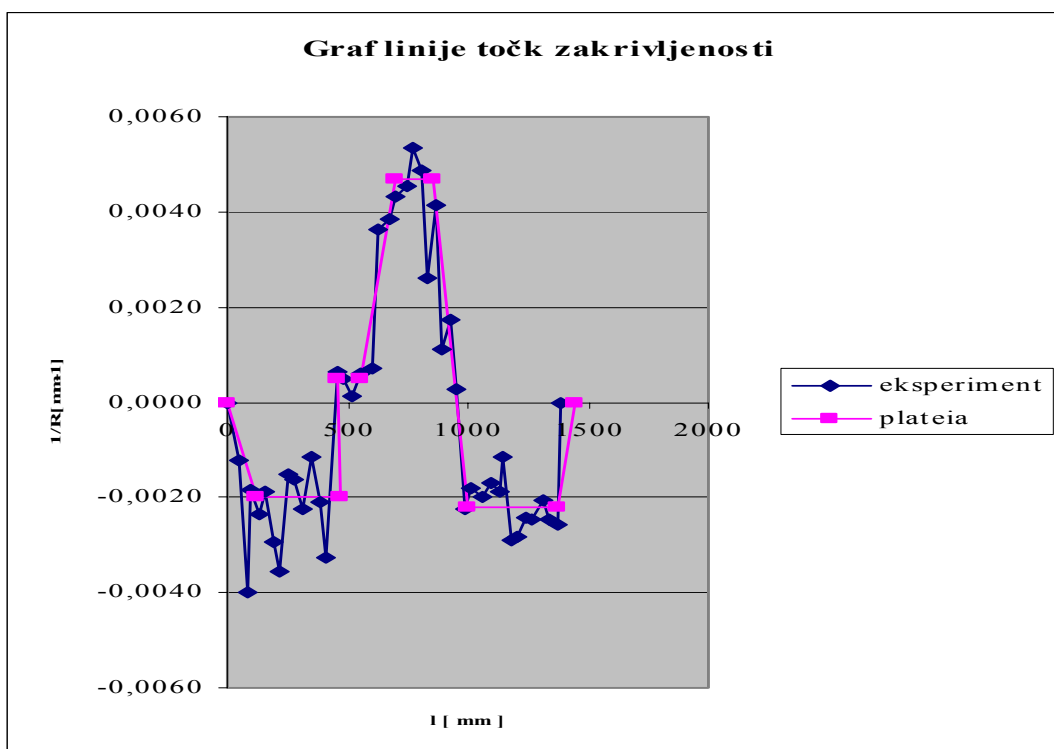


Slika 6.33: Graf linije osi ceste (Plateia)



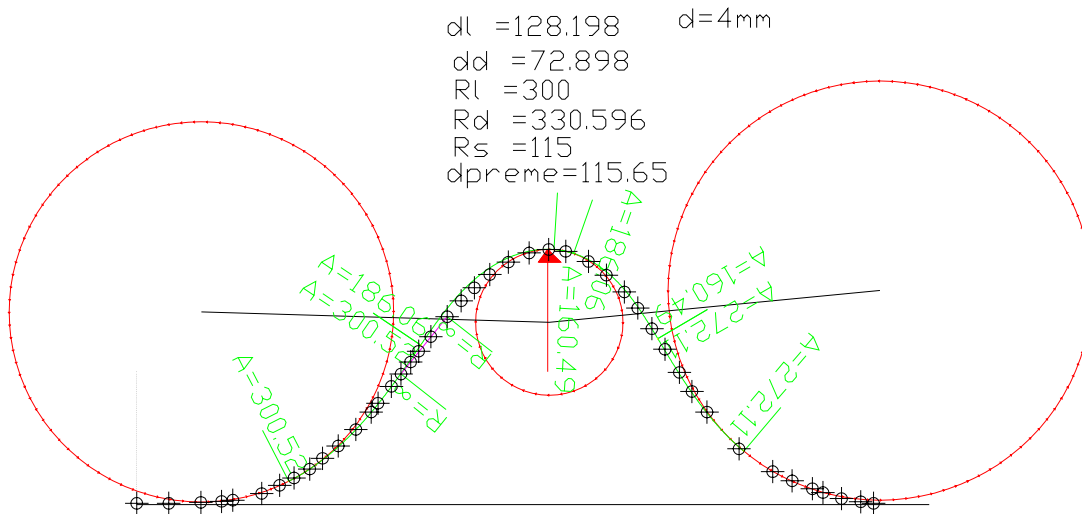
$R_{levo}$	$A_{levo1}$	$prema_{levo}$	$A_{levo2}$	$R_{srednji}$	$A_{desno1}$	$prema_{desno}$	$A_{desno2}$	$R_{desno}$
362.02	231.31	66.16	191.63	125	231.31	0	191.63	400

Geometrijski elementi linije gibke žice kažejo v tem primeru skoraj enake zakonitosti kot v prejšnjem primeru. Razlikujejo se le glede na stran »klobuka« (tam je prama desno, tu levo).



Slika 6.34: Graf zakrivljenosti

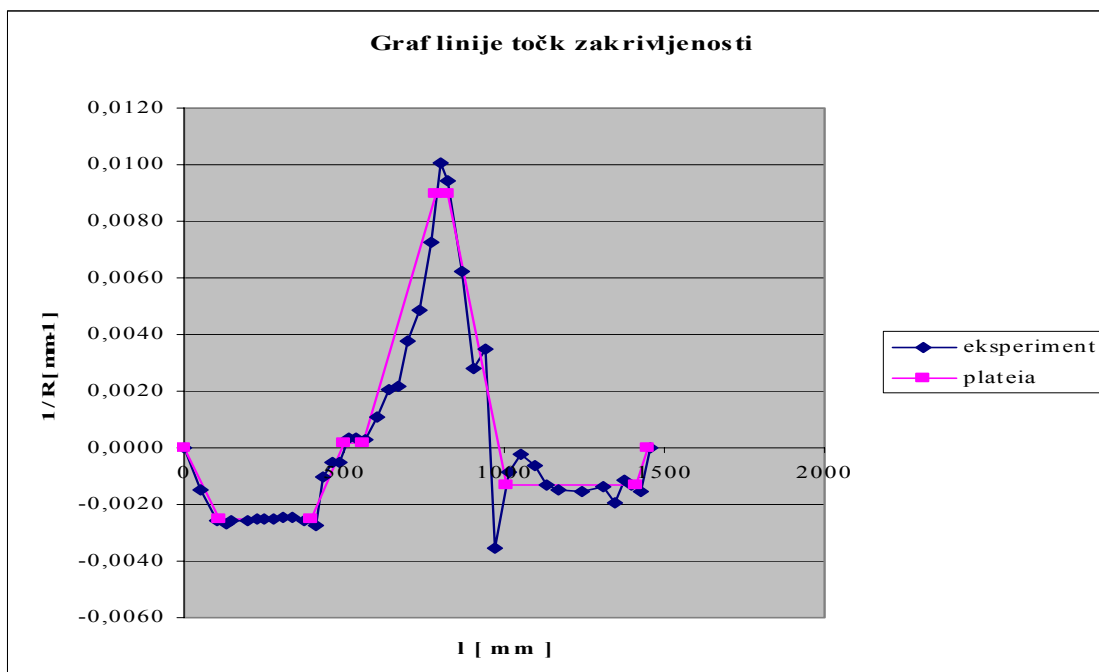
## 6.4.6.3 Ena podpora, premer žice 4 mm, na višini 40 cm



Slika 6.35: Graf linije osi ceste (Plateia)

$R_{levo}$	$A_{levo1}$	$prema_{levo}$	$A_{levo2}$	$R_{srednji}$	$A_{desno1}$	$prema_{desno}$	$A_{desno2}$	$R_{desno}$
300	300.52	115.65	186.06	115	186.06	0	272.11	330.59

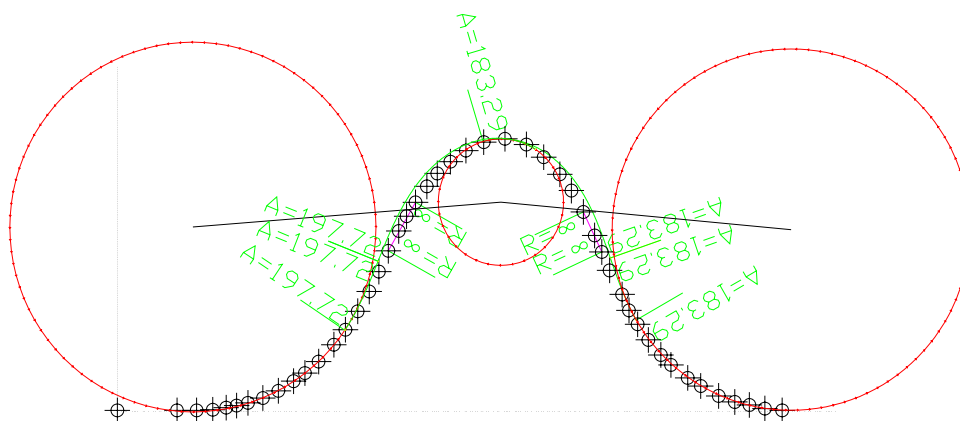
V tem primeru, ko se je razmak med krožnimi loki povečal za eno stopnjo, se kaže določena nehomogenost v liniji točk eksperimenta. To nehomogenost so povzročili že znani vzroki (teža žice, trenje) in vsled tega se na levi strani povavi daljša prema, na desni pa se formira kombinirana klotoida.



Slika 6.36: Graf zakrivljenosti

#### 6.4.6.4 Ena podpora, premer žice 4 mm, na višini 45 cm

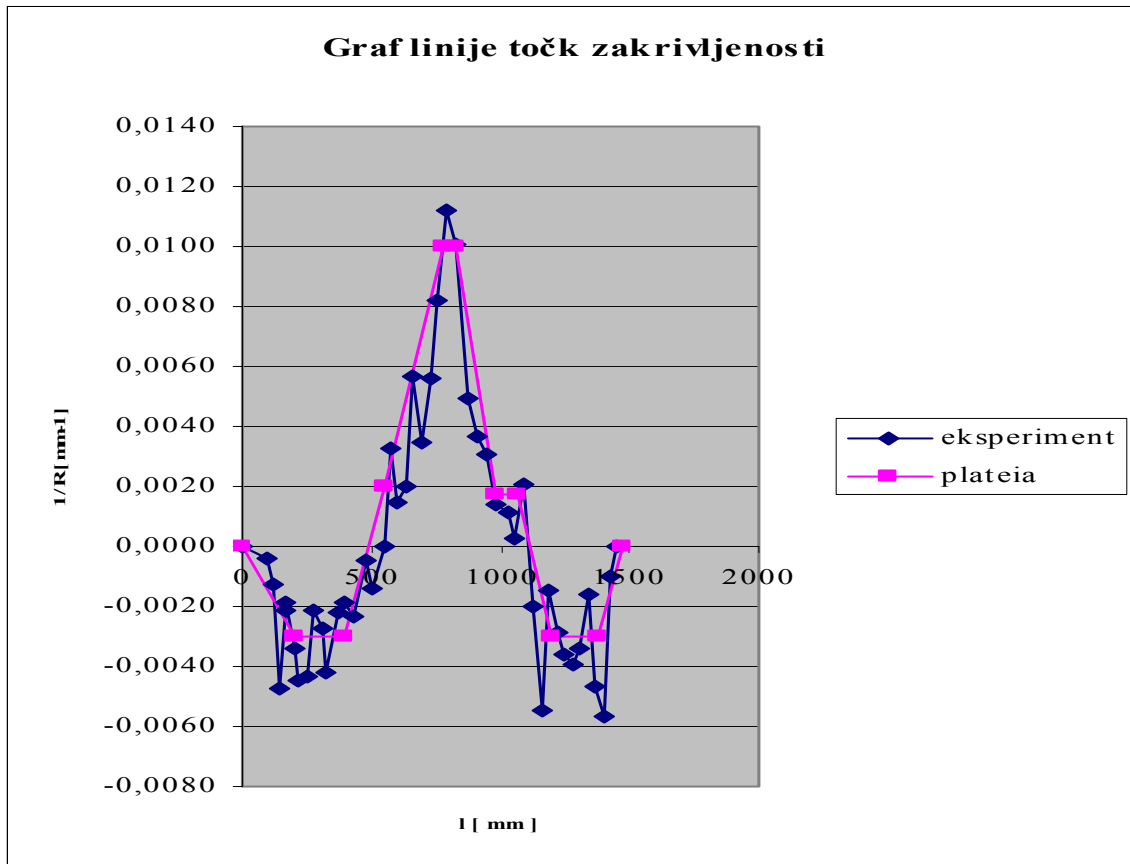
$R_l=307$   
 $R_s=105$   
 $d=4\text{mm}$        $R_d=300$   
 $d_l=105.85$   
 $dd=83.52$   
 $d_{\text{leve preme}}=92.46$   
 $d_{\text{desne preme}}=73.37$



Slika 6.37: Graf linije osi ceste (Plateia)

$R_{\text{levo}}$	$A_{\text{levo1}}$	$prema_{\text{levo}}$	$A_{\text{levo2}}$	$R_{\text{srednji}}$	$A_{\text{desno1}}$	$prema_{\text{desno}}$	$A_{\text{desno2}}$	$R_{\text{desno}}$
307	197.72	92.46	183.29	105	183.29	73.37	183.29	300

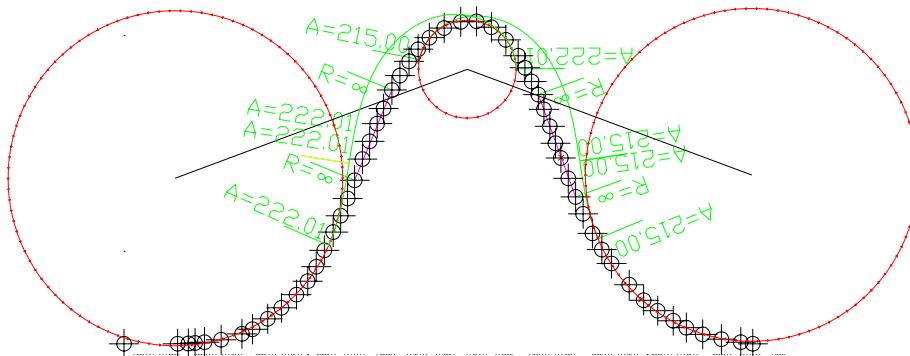
Pri tem razmaku se že pojavita premi na obeh straneh.



Slika 6.38: Graf zakrivljenosti

6.4.6.5 Ena podpora, premer žice 4 mm, na višini 60 cm

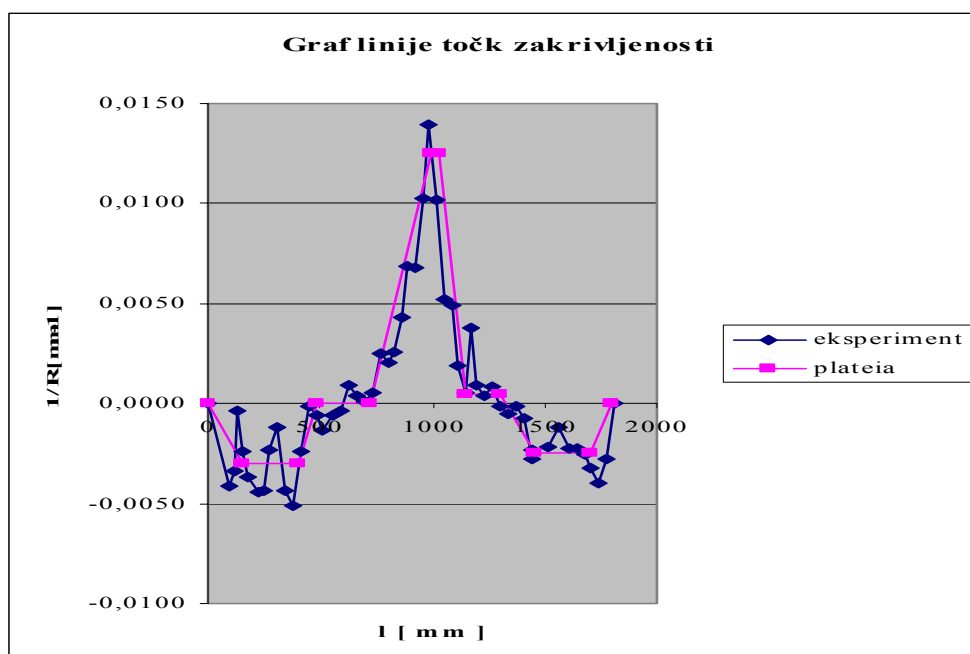
d=4mm  
 Rl=312  
 Rs=91  
 Rd=310  
 dl=166.76  
 dd=154.26  
 dleve preme=181.81  
 ddesne preme=202.78



Slika 6.39: Graf linije osi ceste (Plateia)

$R_{levo}$	$A_{levo1}$	$prema_{levo}$	$A_{levo2}$	$R_{srednji}$	$A_{desno1}$	$prema_{desno}$	$A_{desno2}$	$R_{desno}$
312	222.01	181.81	215	91	222.01	202.78	215	300

Pri tej ekstremni višini, ko se razmak med lokoma močno poveča, sta tudi vmesni premi zelo dolgi.



Slika 6.40: Graf zakrivljenosti

Pregled geometrijskih elementov, ki so se formirali pri žici debeline 4 mm, obešeni na različno visokih podporah, je podan v preglednici 2.

Pregled elementov

Preglednica 2: Geometrijski elementi pri oblikovanju gibke žice 4mm na različnih višinah

	$R_{levo}$	$A_{levo}$	$R_{desno}$	$A_{desno}$
30 cm	450	210.85	400	210.87
35 cm	362.02	231.31	400	231.31
40 cm	300	186.06	330.59	186.06
45 cm	307	183.29	300	183.29
60 cm	312	215	300	215

Iz analiz linij točk, dobljenih z eksperimentom za gibko žico debeline 4 mm, lahko povzamemo naslednje zaključke:

- Gibka žica se pri prostem poteku oblikuje z geometrijskimi elementi prema, krožni lok in klotoida- torej z istimi elementi, s katerimi projektirano cestno os.
- Na območju med dvema nasprotno usmerjenima lokoma (S-krivina) se žica oblikuje v odvisnosti od sil, s katerima smo aktivirali sili prožnosti in povzročili zakrivljenost obeh krožnih lokov, in od razdalje med obema lokoma. Zaradi fizikalnih značilnosti gibke žice se v obeh krožnih lokih aktivirani sili prožnosti na vmesnem območju med lokoma vzdolž žice razporedita linearno. Točka žice z ničelnim stanjem prožnosti se nahaja na tistem mestu, ki je od obeh lokov oddaljen obratnosorazmerno glede na aktivirano silo prožnosti. Razdalja od te točke do začetka manjšega krožnega loka je večja od one do začetka večjega.
- Če je razdalja med lokoma velika, se na nekem vmesnem delu žice velikost aktivirane sile prožnosti zniža pod mejo njene togosti. Na tem delu se žica zaradi lastne togosti poravnava. Ker je pri debelejših žicah togost večja, je pri enakih velikostih sosednjih dveh krožnih lokov in enaki oddaljenosti med njima tudi dolžina ravnega dela pri njih daljša, oba prehodna dela pa krajša. Pri tem je daljši tisti od obeh teh delov, ki izhaja iz krožnega loka z večjo zakrivljenostjo, saj je v njem aktivirana večja sila prožnosti kot v sosednjem loku. Dolžine ravnih delov pa z večanjem togosti žice ne naraščajo linearno, ker so zaradi večjih sil, potrebnih za zakrivljenje žice v krožna loka, tudi sile na vmesnem območju v žici večje.
- Iz predhodnih ugotovitev sledi, da med fiksnimi točkami prosto položena gibka žica zaradi svoje prožnosti oblikuje linijo, ki je skoraj popolnoma enaka liniji, ki jo ustvarimo pri projektiranju osi ceste. Bolj gibke žice ponazarjajo linijo vožnje pri višji, manj gibke žice pa vožnjo pri nižji hitrosti. Zato je gibka žica primerno orodje za načrtovanje in še posebej za preizkus že izdelanih cestnih osi.
- Zanimivi so rezultati velikosti parametrov klotoid, vključenih med krožne loka. Če se v praksi kot minimalna uporablja vrednost  $A_{\min} = \frac{R}{3}$  (oziroma  $0,33 \cdot R$ ), se pri gibki žici dobi različna razmerja za različne velikosti polmerov priključenih krožnih lokov:

- pri  $R = 450 \text{ m} \Rightarrow A = 0,46 * R$
- pri  $R = 400 \text{ m} \Rightarrow A = 0,55 * R$
- pri  $R = 350 \text{ m} \Rightarrow A = 0,61 * R$

kar potrjuje v preteklosti že napisano mnenje (glej: A.Juvanc, TSC 03.300), da je treba v praksi uporabljati ne minimalne ampak neke višje vrednosti parametrov klotoide, katerih razmerje s polmerom krožnega loka se povečuje pri zmanjšanju teh polmerov.

## 7 ZAKLJUČKI

Na postavljene hipoteze po izdelani nalogi odgovorimo:

1. Da, klotoida se med dvema lokoma oblikuje kot klotoida. Tako klotoida zagotovi linearno premosorazmerno spreminjanje zakrivljenosti cestne osi med dvema lokoma, linearno premosorazmerno spremembo bočnega pospeška. V praksi se uporabljajo ustrezno večje vrednosti parametra klotoide, da se zagotovi prilagajanje dolžine klotoide dejanskim voznim hitrostim, ki jih omogočajo krožni loki z večjim polmerom. Najmanjšo ali čim manjšo vrednost parametra klotoide uporabimo takrat, ko je treba z velikostjo geometrijskih elementov cestne osi preprečiti doseganje previsoke vozne hitrosti.
2. Ne, pri preverjanju skladnosti elementov cestne osi, ki so običajno risani v merilu 1:1000 je najbolj primerna debelina žice 4 mm. To pa predvsem zato, ker ima ravno pravšnjo togost in prožnost. Žici premera 2 in 3 mm imata premajhno togost oziroma imata veliko prožnost ter jih lahko uporabimo za manjša merila. Gibka žica debeline 5 mm zaradi prevelike togosti ne more preverjati pravilnosti poteka manjših krožnih lokov in tako tudi ni uporabna.
3. Da, gibka žica se poravna v premo, vzrok za to je velika razdalja med dvema krožnima lokoma in zaradi notranjih napetosti v žici, ki se zmanjšajo pod mejo togosti.
4. Da, geometrijsko se potek loka definira z dvema podpornima točkama. Tako se zagotovi konstantna zakrivljenost po krožnem loku in kladnost geometrijski elementov.

Poleg predhodno ugotovljenih zaključkov smo pri eksperimentu kot stranski produkt dobili še informacijo o velikosti parametra klotoide ( $A$ ), ki ga v povezavi s posamezno velikostjo polmera krožnega loka ( $R$ ) oblikuje gibka žica. Pokazalo se je, da se pri večanju polmerov priključenih krožnih lokov razmerje med  $R$  in  $A$  zmanjšuje. Gibka žica dokazuje, da je uporaba velikosti  $A_{\min} = \frac{R}{3}$  (oziroma  $0,33 \cdot R$ ) generalno za vse velikosti  $R$  vprašljiva.



Glede na nekatere izkušnje lahko predpostavimo, da bi analiza oblikovanja žice drugačne debeline pokazala za iste loke R drugačno razmerje med A in R. Zato bi bilo koristno to odvisnost dodatno raziskati, saj bi potrditev lahko pomembno vplivala na prometno varnost na cestah.

**PRILOGE**

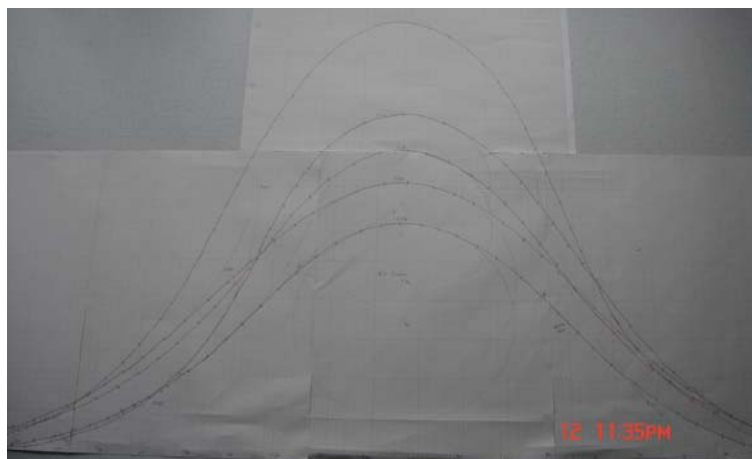
Priloga 1: Fotografije poskusov

Priloga 2: Podatki za izračun zakrivljenosti

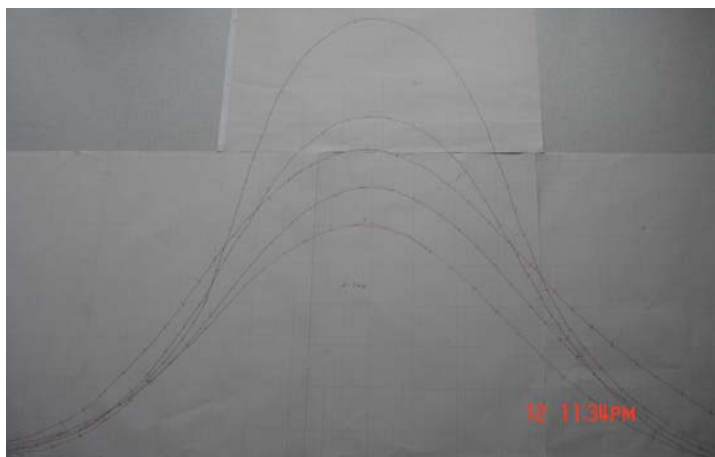
Priloga 3: Obdelava s programom PLATEA

**Priloga 1:** Fotografije poskusov (8 slik)

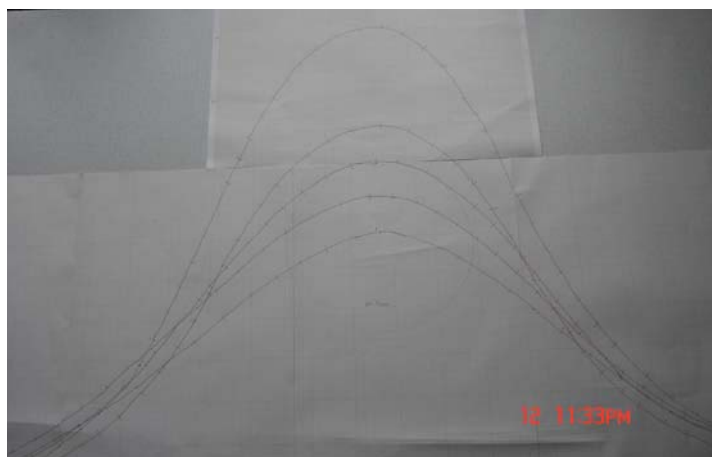
1 podpora



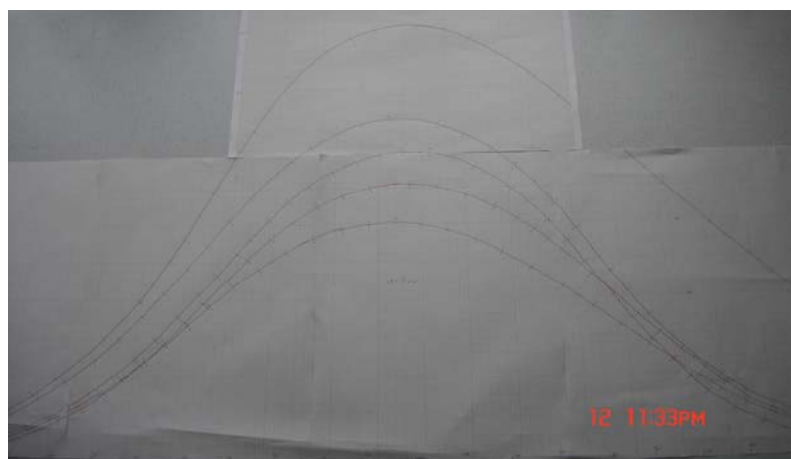
Slika 34: Oblikovanje žice premera 2 mm



Slika 33: Oblikovanje žice premera 3 mm

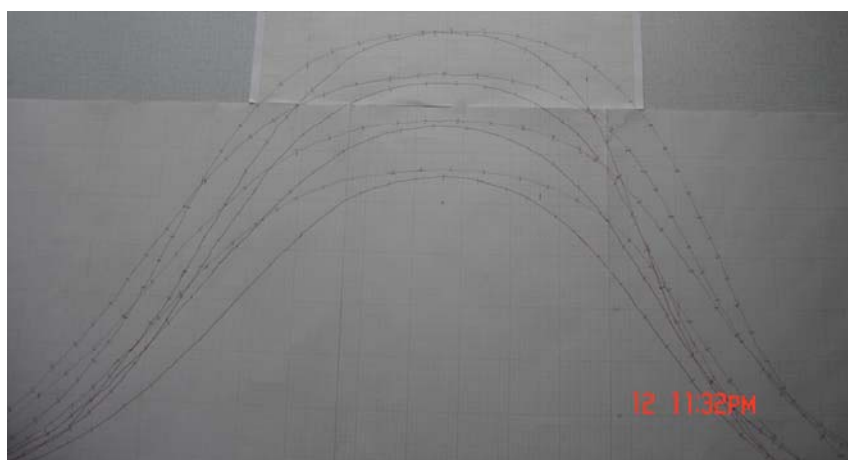


Slika 32: Oblikovanje žice premera 4 mm

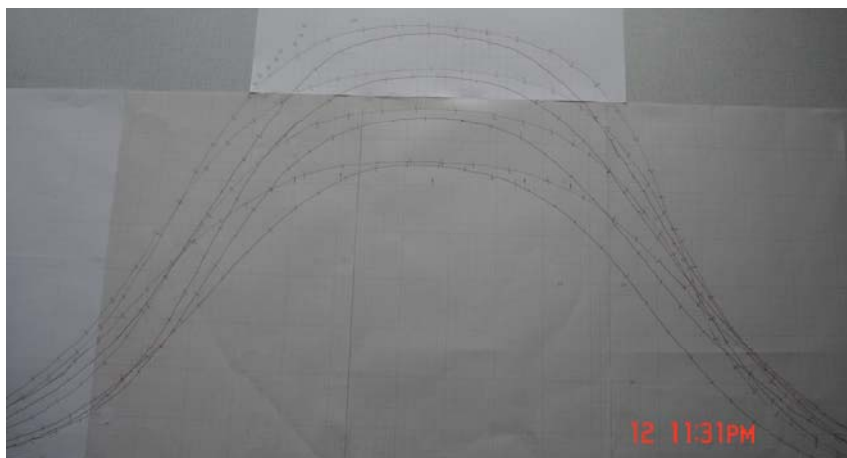


Slika 31: Oblikovanje žice premera 5 mm

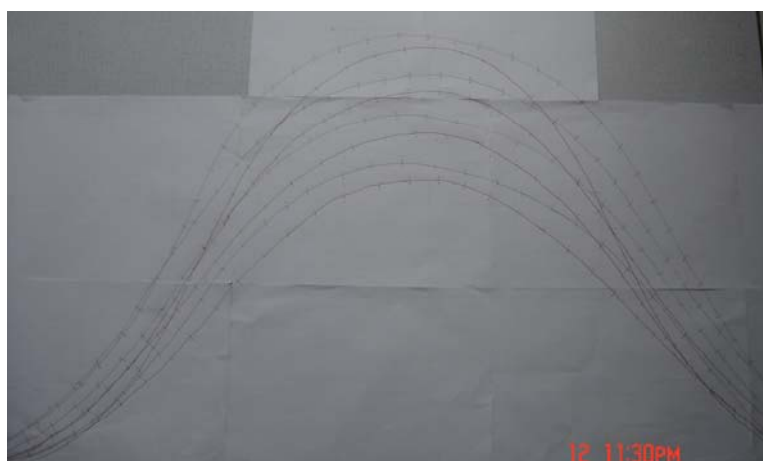
2 podpori (na razdalji 20 in 30 cm)



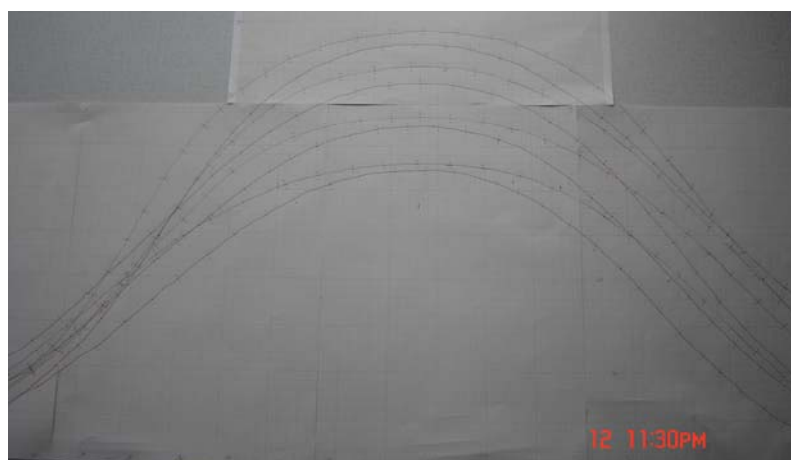
Slika 30: Oblikovanje žice premera 2 mm



Slika 29: Oblikovanje žice premera 3 mm



Slika 28: Oblikovanje žice premera 4 mm



Slika 27: Oblikovanje žice premera 5 mm

**Priloga 2:** Podatki za izračun zakrivljenosti  
2/3 (ena podpora, premer žice 2 mm, na višini 40 cm)

Točka	Stac. [ mm ]	R [ mm ]	1 / R [ mm <sup>-1</sup> ]
1	0	0,00	0,000000000
2	80,17	332,42	-0,003008243
3	94,34	550,12	-0,001817785
4	130,03	422,08	-0,002369219
5	157,05	370,12	-0,002701826
6	181,88	420,15	-0,002380102
7	206,91	412,45	-0,002424536
8	226,50	381,63	-0,002620339
9	251,60	400,32	-0,002498002
10	277,98	396,32	-0,002523214
11	306,24	414,44	-0,002412895
12	335,05	514,73	-0,001942766
13	364,79	511,23	-0,001956067
14	393,47	467,91	-0,002137163
15	422,48	537,48	-0,001860534
16	457,89	1021,05	-0,000979384
17	485,24	687,12	-0,001455350
18	522,44	29580,36	-0,000033806
19	547,85	845,36	-0,001182928
20	563,12	735,19	0,001360193
21	594,88	3217,01	0,000310848
22	631,77	396,42	0,002522577
23	666,70	377,56	0,002648586
24	698,89	240,14	0,004164238
25	736,67	180,49	0,005540473
26	772,06	184,07	0,005432716
27	805,56	188,74	0,005298294
28	828,30	189,46	0,005278159
29	858,54	191,78	0,005214308
30	891,25	194,71	0,005135843
31	917,67	268,88	0,003719131
32	946,50	429,37	0,002328994
33	979,12	3956,78	-0,000252731
34	1014,28	4225,84	-0,000236639
35	1047,63	1585,99	-0,000630521
35	1085,43	895,51	-0,001116682
37	1124,76	516,87	-0,001934722
38	1154,78	455,93	-0,002193319
39	1180,91	452,65	-0,002209212
40	1217,50	458,08	-0,002183025
41	1243,56	376,26	-0,002657737
42	1275,18	370,06	-0,002702264
43	1307,71	449,78	-0,002223309
44	1339,07	445,65	-0,002243913
45	1374,64	437,84	-0,002283939
46	1403,27	442,12	-0,002261829
47	1431,41	439,78	-0,002273864
48	1457,10	450,05	-0,002221975
49	1485,78	494,33	0,000000000

4/3 (ena podpora, premer žice 4 mm, na višini 40 cm)

Točka	Stac. [ mm ]	R [ mm ]	1 / R [ mm <sup>-1</sup> ]
1	0	0,00	0,00
2	49,97	666,60	-0,001500150
3	100,03	390,12	-0,002563314
4	132,53	370,62	-0,002698181
5	150,19	386,45	-0,002587657
6	196,41	389,32	-0,002568581
7	227,42	400,32	-0,002498002
8	252,55	401,03	-0,002493579
9	280,91	393,98	-0,002538200
10	307,10	402,63	-0,002483670
11	338,47	406,31	-0,002461175
12	376,28	387,82	-0,002578516
13	412,84	364,78	-0,002741378
14	430,40	963,78	-0,001037581
15	464,15	2024,56	-0,000493934
16	488,81	1937,84	-0,000516038
17	512,96	2996,32	0,000333743
18	534,12	2789,36	0,000358505
19	563,90	3544,55	0,000282123
20	604,48	897,50	0,001114206
21	637,74	488,71	0,002046203
22	666,79	457,37	0,002186414
23	698,63	263,61	0,003793483
24	733,67	204,92	0,004879953
25	769,25	138,33	0,007229090
26	800,41	99,38	0,010062387
27	827,11	106,05	0,009429514
28	866,32	160,78	0,006219679
29	901,52	358,50	0,002789400
30	940,20	288,86	0,003461885
31	973,15	281,45	-0,003553029
32	1012,51	1201,19	-0,000832508
33	1050,82	3939,76	-0,000253823
34	1093,81	1641,74	-0,000609110
35	1129,48	763,97	-0,001308952
36	1169,70	683,32	-0,001463443
37	1246,21	648,75	-0,001541426
38	1310,33	714,32	-0,001399933
39	1343,77	512,55	-0,001951029
40	1378,00	887,18	-0,001127167
41	1395,21	746,48	-0,001339621
42	1426,07	654,39	-0,001528141
43	1456,19	619,87	0,000000000

5/8 (dve podpori, na medsebojni razdalji 20 cm, premer žice 5 mm, na višini 40 cm)

Točka	Stac. [ mm ]	R [ mm ]	1 / R [ mm <sup>-1</sup> ]
1	0	0,00	0,00
2	125,01	1104,29	-0,000905559
3	158,16	367,00	-0,002724796
4	198,25	256,14	-0,003904115
5	223,47	256,58	-0,003897420
6	247,83	270,49	-0,003696994
7	286,44	271,92	-0,003677552
8	324,39	276,79	-0,003612847
9	359,91	278,01	-0,003596993
10	393,15	618,83	-0,001615953
11	428,80	337,88	-0,002959631
12	458,47	788,80	-0,001267748
13	484,03	954,60	0,001047559
14	520,53	807,36	0,001238605
15	558,15	13388,32	0,000074692
16	590,98	662,60	0,001509206
17	637,13	519,33	0,001925558
18	675,02	317,39	0,003150698
19	716,53	251,14	0,003981843
20	746,48	279,20	0,003581662
21	779,61	267,71	0,003735385
22	813,62	223,32	0,004477879
23	852,33	267,33	0,003740695
24	889,35	250,71	0,003988672
25	926,64	220,05	0,004544422
26	966,58	322,04	0,003105204
27	1010,40	315,27	0,003171884
28	1051,09	478,32	0,002090651
29	1088,62	472,99	0,002114210
30	1125,68	942,27	-0,001061267
31	1156,13	2068,02	-0,000483554
32	1190,61	2693,18	-0,000371308
33	1220,36	1400,11	-0,000714230
34	1255,72	1742,95	-0,000573740
35	1290,27	501,41	-0,001994376
36	1322,86	967,96	-0,001033101
37	1360,69	528,41	-0,001892470
38	1400,02	651,36	-0,001535249
39	1436,03	668,57	-0,001495730
40	1476,07	660,47	-0,001514073
41	1507,83	530,75	-0,001884126
42	1533,11	663,55	-0,001507045
43	1575,69	355,55	-0,002812544
44	1611,12	246,23	0,000000000



4/12 (dve podpori, na medsebojni razdalji 30 cm, premer žice 4 mm, na višini 40 cm)

Točka	Stac. [ mm ]	R [ mm ]	1 / R [ mm <sup>-1</sup> ]
1	0	0,00	0,00
2	125,11	673,46	-0,001484869
3	157,99	640,14	-0,001562158
4	198,45	636,16	-0,001571932
5	223,52	664,32	-0,001505299
6	247,85	665,73	-0,001502110
7	286,38	676,89	-0,001477345
8	324,41	662,33	-0,001509821
9	359,96	683,31	-0,001463465
10	393,18	763,49	-0,001309775
11	427,90	1037,78	-0,000963595
12	459,20	735,47	-0,001359675
13	485,21	60922,45	-0,000016414
14	521,32	4415,56	0,000226472
15	558,63	12674,64	0,000078898
16	591,42	8519,36	0,000117380
17	638,11	1459,99	0,000684936
18	676,84	1403,88	0,000712312
19	717,36	546,14	0,001831032
20	746,94	513,82	0,001946207
21	780,01	471,08	0,002122782
22	814,39	489,30	0,002043736
23	853,45	620,21	0,001612357
24	889,96	624,15	0,001602179
25	927,69	710,73	0,001407004
26	968,45	544,12	0,001837830
27	1013,47	568,79	0,001758118
28	1052,96	571,63	0,001749383
29	1089,30	548,13	0,001824385
30	1127,48	566,88	0,001764042
31	1158,64	502,04	0,001991873
32	1191,31	1136,34	0,000880018
33	1219,78	751,23	0,001331150
34	1256,64	2121,19	0,000471433
35	1291,74	5337,76	-0,000187345
36	1326,52	4095,79	-0,000244153
37	1362,14	1648,47	-0,000606623
38	1405,71	1056,13	-0,000946853
39	1437,62	1023,62	-0,000976925
40	1477,10	971,71	-0,001029114
41	1508,36	856,15	-0,001168020
42	1534,21	971,01	-0,001029856
43	1578,98	1024,03	-0,000976534
44	1612,36	1012,64	-0,000987518
45	1645,98	1512,55	-0,000661135
46	1690,23	1245,30	-0,000803019
47	1742,93	1344,75	-0,000743633
48	1774,36	183,37	0,000000000

R250R500R300 (trije krožni loki s polmeri 250, 500, 300 mm)

Točka	Stac. [ mm ]	R [ mm ]	1 / R [ mm <sup>-1</sup> ]
1	0	0,00	0,00
2	21,47	253,5	0,003944773
3	45,06	205,57	0,004864523
4	70,46	301,45	0,0033173
5	101,88	287,94	0,003472946
6	128,87	290,36	0,003444001
7	158,81	302,69	0,003303710
8	186,18	240,22	0,004162851
9	217	232,31	0,004304593
10	252,6	331	0,003021148
11	289,58	271,47	0,003683648
12	329,01	642,77	0,001555766
13	365,84	588,88	-0,001698139
14	406,14	1054,46	-0,000948353
15	454,87	508,01	-0,001968465
16	495,81	778,51	-0,001284505
17	535,16	1768,37	-0,000565493
18	570,99	462,83	-0,002160621
19	609,12	1118,35	-0,000894174
20	646,96	651,31	-0,001535367
21	682,17	478,96	-0,002087857
22	716,84	457,71	-0,002184789
23	759,35	327,76	0,003051013
24	794,25	640,17	0,001562085
25	830,41	432,1	0,002314279
26	865,41	410,78	0,002434393
27	899,37	603,21	0,001657797
28	935,34	471,08	0,002122782
29	980,9	314,07	0,003184004
30	1008,67	223,39	0,004476476
31	1042,12	236,13	0,004234955
32	1080,4	324,78	0,003079007
33	1115,42	795,49	0,001257087
34	1154,67	324,01	0,003086324
35	1193	290,34	0,003444238
36	1222,76	237,15	0,000000000

M1mm2 (premer žice 2 mm v merilu 1:1000)

Točka	Stac.[ mm ]	R [ mm ]	1 / R [ mm <sup>-1</sup> ]
1	0	0,00	0,00
2	37,63	466,71	0,002142658
3	68,72	310,24	0,003223311
4	100,10	455,78	0,002194041
5	134,27	482,65	0,002071895
6	167,29	306,26	0,003265200
7	204,42	432,63	0,002311444
8	247,38	380,95	0,002625016
9	293,91	6670,86	-0,000149906
10	338,13	436,05	-0,002293315
11	382,08	1412,57	-0,000707930
12	420,90	814,56	-0,001227657
13	459,07	1867,48	-0,000535481
14	492,99	820,78	-0,001218353
15	530,79	2057,22	-0,000486093
16	570,29	711,00	-0,001406470
17	610,21	418,18	-0,002391315
18	648,02	300,35	-0,003329449
19	678,25	306,89	-0,003258497
20	709,19	300,14	-0,003331779
21	736,59	286,32	-0,003492596
22	760,28	284,71	-0,003512346
23	787,32	213,95	0,000000000

4/1 (ena podpora, premer žice 4 mm, na višini 30 cm)

Točka	Stac. [ mm ]	R [ mm ]	1 / R [ mm <sup>-1</sup> ]
1	0	0,00	0,00
2	60,08	1232,86	-0,000811122
3	88,02	899,98	-0,001111136
4	117,67	455,78	-0,002194041
5	145,78	2663,36	-0,000375466
6	177,98	387,96	-0,002577585
7	209,31	397,74	-0,002514205
8	239,97	472,57	-0,002116089
9	271,07	464,19	-0,00215429
10	305,20	1672,56	-0,000597886
11	342,70	675,56	-0,001480253
12	385,69	1841,15	-0,000543139
13	424,90	2058,08	-0,00048589
14	471,83	2551,38	-0,000391945
15	516,19	1534,88	0,000651517
16	558,91	1952,42	0,000512185
17	595,31	612,17	0,001633533
18	628,46	331,29	0,003018503
19	663,60	312,05	0,003204615
20	702,24	182,61	0,005476151
21	732,83	150,14	0,00666045
22	761,99	170,97	0,005848979
23	794,91	191,88	0,005211591
24	833,06	353,76	0,002826775
25	867,84	925,58	0,001080404
26	906,09	589,76	0,001695605
27	940,56	1827,49	-0,000547199
28	1024,22	1637,10	-0,000610836
29	1068,61	974,24	-0,001026441
30	1104,67	602,30	-0,001660302
31	1136,27	350,15	-0,002855919
32	1202,14	420,16	-0,002380046
33	1235,33	584,86	-0,001709811
34	1253,60	669,18	-0,001494366
35	1285,30	487,65	-0,002050651
36	1314,39	523,02	-0,001911973
37	1344,19	1214,79	0,000000000

4/2 (ena podpora, premer žice 4 mm, na višini 35 cm)

Točka	Stac. [ mm ]	R [ mm ]	1 / R [ mm <sup>-1</sup> ]
1	0	0,00	0,00
2	43,79	819,55	-0,001220182
3	80,54	249,73	-0,004004325
4	101,73	544,03	-0,001838134
5	133,81	423,85	-0,002359325
6	160,88	530,47	-0,001885121
7	194,88	339,78	-0,002943081
8	212,74	280,41	-0,003566207
9	248,90	652,86	-0,001531722
10	274,25	620,53	-0,001611526
11	312,99	444,23	-0,002251086
12	344,84	860,57	-0,001162021
13	384,22	473,30	-0,002112825
14	414,90	304,78	-0,003281055
15	458,86	1537,81	0,000650275
16	487,08	1985,39	0,000503679
17	523,27	8447,24	0,000118382
18	553,24	1678,70	0,000595699
19	599,38	1404,87	0,000711810
20	629,12	276,19	0,003620696
21	674,83	259,18	0,003858322
22	704,77	231,65	0,004316857
23	748,67	220,45	0,004536176
24	770,31	187,63	0,005329638
25	806,56	204,73	0,004884482
26	828,31	385,65	0,002593025
27	863,19	241,26	0,004144906
28	888,84	907,93	0,001101406
29	924,37	583,06	0,001715089
30	951,47	3843,74	0,000260163
31	991,31	446,74	-0,002238438
32	1012,59	550,44	-0,001816728
33	1059,53	501,73	-0,001993104
34	1096,55	585,01	-0,001709372
35	1127,14	531,18	-0,001882601
36	1149,62	881,72	-0,001134147
37	1181,71	345,78	-0,002892012
38	1204,60	355,29	-0,002814602
39	1242,26	414,82	-0,002410684
40	1268,63	406,44	-0,002460388
41	1312,47	487,93	-0,002049474
42	1336,51	405,65	-0,002465179
43	1372,82	387,06	-0,002583579
44	1387,00	433,46	0,000000000

4/4 (ena podpora, premer žice 4 mm, na višini 45 cm)

Točka	Stac. [ mm ]	R [ mm ]	1 / R [ mm <sup>-1</sup> ]
1	0	0,00	0,00
2	100,05	2400,77	-0,000416533
3	120,55	810,66	-0,001233563
4	140,31	212,35	-0,004709206
5	162,73	471,48	-0,002120981
6	171,37	531,46	-0,001881609
7	200,10	296,75	-0,003369840
8	217,15	223,78	-0,004468675
9	255,02	229,69	-0,004353694
10	275,93	465,36	-0,002148874
11	308,44	365,61	-0,002735155
12	329,08	239,19	-0,004180777
13	376,20	456,19	-0,002192069
14	398,67	532,53	-0,001877828
15	433,81	426,06	-0,002347087
16	473,70	2170,54	-0,000460715
17	508,51	706,56	-0,001415308
18	549,09	134863,17	0,000007415
19	573,60	306,52	0,003262430
20	604,30	680,62	0,001469249
21	633,67	493,29	0,002027205
22	664,64	176,08	0,005679237
23	690,85	287,15	0,003482500
24	725,98	179,06	0,005584720
25	755,96	122,40	0,008169935
26	795,24	89,47	0,011176931
27	829,63	99,60	0,010040161
28	868,69	202,43	0,004939979
29	904,80	273,22	0,003660054
30	941,31	329,51	0,003034809
31	978,89	704,45	0,001419547
32	1025,45	876,17	0,001141331
33	1052,28	3695,84	0,000270574
34	1088,61	486,46	0,002055667
35	1130,64	500,51	-0,001997962
36	1162,69	183,36	-0,005453752
37	1186,77	683,17	-0,001463765
38	1221,51	345,25	-0,002896452
39	1251,06	277,22	-0,003607243
40	1277,88	255,23	-0,003918035
41	1310,09	292,71	-0,003416351
42	1339,02	631,59	-0,001583306
43	1370,19	212,94	-0,004696159
44	1402,11	175,54	-0,005696707
45	1424,04	1014,25	-0,000985950
46	1453,80	225,81	0,000000000

4/5 (ena podpora, premer žice 4 mm, na višini 60 cm)

Točka	Stac. [ mm ]	R [ mm ]	1 / R [ mm <sup>-1</sup> ]
1	0	0,00	0,00
2	100,06	240,77	-0,004153341
3	120,01	296,81	-0,003369159
4	132,61	2562,20	-0,000390290
5	150,11	416,87	-0,002398829
6	181,50	274,94	-0,003637157
7	222,01	227,15	-0,004402377
8	243,35	230,45	-0,004339336
9	277,91	436,36	-0,002291686
10	310,62	838,43	-0,001192705
11	347,84	228,05	-0,004385003
12	380,54	195,75	-0,005108557
13	411,95	419,76	-0,002382314
14	445,93	6829,92	-0,000146415
15	483,73	1660,36	-0,000602279
16	514,28	766,19	-0,001305159
17	551,84	1715,12	-0,000583050
18	588,22	2931,63	-0,000341107
19	630,31	1064,82	0,000939126
20	665,96	2769,23	0,000361111
21	701,81	9051,36	0,000110481
22	732,27	1966,83	0,000508432
23	770,09	405,02	0,002469014
24	801,00	492,86	0,002028974
25	832,47	389,36	0,002568317
26	860,69	230,25	0,004343105
27	890,76	144,87	0,006902740
28	923,74	147,26	0,006790710
29	956,83	97,79	0,010225994
30	986,59	71,86	0,013915948
31	1016,39	97,90	0,010214505
32	1052,32	190,55	0,005247966
33	1089,70	203,76	0,004907735
34	1115,54	527,46	0,001895878
35	1143,84	1746,59	0,000572544
36	1171,34	266,10	0,003757986
37	1200,81	1091,58	0,000916103
38	1234,24	2341,19	0,000427133
39	1267,37	1155,93	0,000865104
40	1296,70	8266,45	-0,000120971
41	1337,13	1938,89	-0,000515759
42	1374,25	7930,56	-0,000126095
43	1408,65	1298,98	-0,000769835
44	1449,20	364,38	-0,002744388
45	1438,88	428,36	-0,002334485
46	1515,57	459,58	-0,002175900
47	1567,01	848,01	-0,001179231
48	1606,68	441,20	-0,002266546
49	1639,23	442,22	-0,002261318
50	1675,59	388,41	-0,002574599
51	1701,38	307,05	-0,003256799
52	1734,24	251,90	-0,003969829
53	1770,53	362,63	-0,002757632
54	1806,82	2551,33	0,000000000

4/6 (dve podpori, na medsebojni razdalji 20 cm, premer žice 4 mm, na višini 30 cm)

Točka	Stac. [ mm ]	R [ mm ]	1 / R [ mm <sup>-1</sup> ]
1	0	0,00	0,00
2	100,00	3125,65	-0,000319933
3	125,00	554,98	-0,001801867
4	148,55	1113,82	-0,000897811
5	172,13	465,45	-0,002148458
6	191,30	395,17	-0,002530556
7	228,09	891,78	-0,001121353
8	250,13	544,21	-0,001837526
9	275,36	455,12	-0,002197223
10	307,60	502,13	-0,001991516
11	331,09	482,78	-0,002071337
12	368,86	449,07	-0,002226824
13	405,77	551,37	-0,001813664
14	443,65	481,13	-0,002078440
15	475,48	5762,28	0,000173542
16	517,27	12255,23	0,000081598
17	554,42	1289,56	0,000775458
18	594,75	501,03	0,001995888
19	630,87	423,16	0,002363172
20	669,50	300,24	0,003330669
21	707,35	213,11	0,004692412
22	750,14	232,76	0,004296271
23	786,56	257,40	0,003885004
24	820,61	179,33	0,005576312
25	851,07	150,26	0,006655131
26	881,68	275,15	0,003634381
27	919,70	543,19	0,001840976
28	954,54	2879,09	0,000347332
29	989,46	2986,32	0,000334860
30	1025,25	2896,39	0,000345257
31	1058,89	1760,32	0,000568079
32	1095,31	852,11	0,001173557
33	1121,48	1825,83	-0,000547696
34	1152,95	1531,72	-0,000652861
35	1185,85	543,73	-0,001839148
36	1225,29	769,95	-0,001298786
37	1257,09	368,69	-0,002712306
38	1295,71	377,24	-0,002650832
39	1338,22	474,91	-0,002105662
40	1380,78	325,28	-0,003074274
41	1416,23	10510,59	0,000000000



4/7 (dve podpori, na medsebojni razdalji 20 cm, premer žice 4 mm, na višini 35 cm)

Točka	Stac. [ mm ]	R [ mm ]	1 / R [ mm <sup>-1</sup> ]
1	0	0,00	0,00
2	100,03	3125,65	-0,000319933
3	125,00	663,92	-0,001506206
4	172,18	586,82	-0,001704100
5	191,30	237,64	-0,004208046
6	228,01	362,48	-0,002758773
7	250,25	360,26	-0,002775773
8	260,79	234,96	-0,004256044
9	284,83	563,37	-0,001775032
10	312,43	331,64	-0,003015318
11	334,81	216,49	-0,004619151
12	367,14	987,93	-0,001012217
13	407,66	855,76	-0,001168552
14	447,52	975,03	-0,001025609
15	481,88	1661,70	-0,000601793
16	513,98	646,48	0,001546838
17	548,13	643,02	0,001555162
18	592,97	667,57	0,001497970
19	631,73	477,16	0,002095733
20	671,21	390,15	0,002563117
21	712,69	201,37	0,004965983
22	753,52	309,03	0,003235932
23	791,67	277,83	0,003599323
24	830,07	194,35	0,005145356
25	865,22	191,55	0,005220569
26	909,05	187,77	0,005325664
27	955,21	300,88	0,003323584
28	982,29	507,11	0,001971959
29	1014,54	269,90	0,003705076
30	1045,84	455,86	0,002193656
31	1085,75	633,25	0,001579155
32	1126,63	2792,57	0,000358093
33	1162,25	1985,54	-0,000503641
34	1207,74	1079,50	-0,000926355
35	1243,09	474,88	-0,002105795
36	1283,60	326,69	-0,003061006
37	1316,47	647,14	-0,001545261
38	1355,25	257,97	-0,003876420
39	1387,99	552,48	-0,001810020
40	1421,92	486,67	-0,002054780
41	1457,51	327,85	-0,003050175
42	1511,28	310,97	0,000000000

4/9 (dve podpori, na medsebojni razdalji 20 cm, premer žice 4 mm, na višini 45 cm)

Točka	Stac. [ mm ]	R [ mm ]	1 / R [ mm <sup>-1</sup> ]
1	0	0,00	0,00
2	100,00	5936,38	-0,000168453
3	192,51	286,42	-0,003491376
4	215,97	552,52	-0,001809889
5	238,85	436,13	-0,002292894
6	269,31	235,78	-0,004241242
7	297,81	238,46	-0,004193575
8	336,53	241,57	-0,004139587
9	381,48	339,40	-0,002946376
10	410,34	273,21	-0,003660188
11	429,43	588,38	-0,001699582
12	464,38	667,19	-0,001498823
13	487,09	589,73	-0,001695691
14	533,32	434,75	-0,002300173
15	559,19	468,10	-0,002136296
16	591,50	841,82	0,001187902
17	627,19	1311,80	0,000762311
18	661,74	479,30	0,002086376
19	705,83	425,08	0,002352498
20	743,47	267,32	0,003740835
21	781,43	254,29	0,003932518
22	825,03	208,16	0,004803997
23	862,71	199,52	0,005012029
24	899,80	300,04	0,003332889
25	934,65	150,42	0,006648052
26	969,45	152,12	0,006573758
27	996,81	139,74	0,007156147
28	1033,75	230,89	0,004331067
29	1067,69	374,70	0,002668802
30	1106,70	265,66	0,003764210
31	1152,96	505,15	0,001979610
32	1198,06	1074,38	0,000930769
33	1240,42	3046,81	0,000328212
34	1272,76	1553,49	-0,000643712
35	1307,52	1289,48	-0,000775506
36	1347,46	380,70	-0,002626740
37	1385,00	543,87	-0,001838675
38	1407,83	430,19	-0,002324554
39	1450,75	366,70	-0,002727025
40	1485,77	343,21	-0,002913668
41	1512,55	369,35	-0,002707459
42	1549,09	308,51	-0,003241386
43	1581,66	345,98	-0,002890340
44	1616,47	404,92	-0,002469624
45	1645,14	198,45	0,000000000

4/10 (dve podpori, na medsebojni razdalji 30 cm, premer žice 4 mm, na višini 30 cm)

Točka	Stac. [ mm ]	R [ mm ]	1 / R [ mm <sup>-1</sup> ]
1	0	0,00	0,00
2	99,96	11189,36	-8,93706E-05
3	167,00	401,15	-0,002492833
4	191,72	378,65	-0,002640961
5	214,39	384,65	-0,002599766
6	250,78	437,92	-0,002283522
7	275,65	321,04	-0,003114877
8	307,95	414,76	-0,002411033
9	339,95	339,52	-0,002945335
10	368,43	292,83	-0,003414951
11	404,12	575,03	-0,00173904
12	435,34	982,02	-0,001018309
13	470,14	842,33	-0,001187183
14	511,28	2607,91	-0,000383449
15	550,65	412,37	0,002425007
16	584,39	479,01	0,002087639
17	621,11	301,01	0,003322149
18	652,51	596,92	0,001675266
19	680,74	340,21	0,002939361
20	725,75	322,77	0,003098181
21	760,53	372,68	0,002683267
22	797,49	362,08	0,002761821
23	835,41	304,46	0,003284504
24	872,92	673,05	0,001485774
25	909,91	333,28	0,00300048
26	940,08	450,16	0,002221432
27	977,86	343,88	0,002907991
28	1011,33	363,76	0,002749065
29	1048,98	338,69	0,002952552
30	1088,19	545,18	0,001834257
31	1127,54	882,93	0,001132593
32	1183,20	2858,08	-0,000349885
33	1229,15	738,57	-0,001353968
34	1281,82	410,23	-0,002437657
35	1318,07	302,91	-0,003301311
36	1355,81	317,14	-0,003153182
37	1388,88	261,45	-0,003824823
38	1423,83	279,61	-0,00357641
39	1462,02	2270,84	0,000000000

4/11 (dve podpori, na medsebojni razdalji 30 cm, premer žice 4 mm, na višini 35 cm)

Točka	Stac. [ mm ]	R [ mm ]	1 / R [ mm <sup>-1</sup> ]
1	0	0,00	0,00
2	99,97	3125,65	-0,000319933
3	125,00	272,76	-0,003666227
4	148,13	212,98	-0,004695277
5	183,23	364,54	-0,002743183
6	214,98	377,01	-0,002652450
7	250,17	256,11	-0,003904572
8	283,18	422,02	-0,002369556
9	316,81	395,81	-0,002526465
10	350,81	397,33	-0,002516800
11	388,68	560,56	-0,001783930
12	423,10	590,56	-0,001693308
13	462,14	820,67	-0,001218517
14	499,27	1584,72	-0,000631026
15	539,53	3839,05	0,000260481
16	575,70	437,20	0,002287283
17	615,84	537,74	0,001859635
18	650,09	218,38	0,004579174
19	680,90	753,67	0,001326841
20	710,61	206,24	0,004848720
21	745,22	261,44	0,003824969
22	780,36	197,64	0,005059705
23	818,91	213,66	0,004680333
24	854,31	285,86	0,003498216
25	890,49	442,36	0,002260602
26	928,54	434,84	0,002299696
27	966,35	274,67	0,003640733
28	1010,99	322,08	0,003104819
29	1049,16	311,81	0,003207081
30	1086,21	519,84	0,001923669
31	1120,29	466,87	0,002141924
32	1151,41	891,53	0,001121667
33	1185,04	1254,02	-0,000797435
34	1225,72	3185,28	-0,000313944
35	1260,15	867,11	-0,001153256
36	1289,54	1104,43	-0,000905444
37	1325,84	605,74	-0,001650873
38	1353,30	620,84	-0,001610721
39	1385,26	249,66	-0,004005447
40	1416,27	405,56	-0,002465726
41	1454,54	367,92	-0,002717982
42	1486,21	279,72	-0,003575004
43	1514,00	265,47	-0,003766904
44	1539,53	98,87	0,000000000

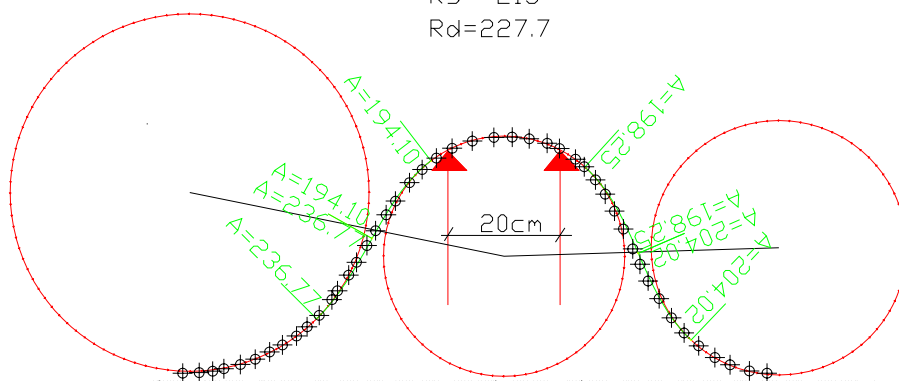
4/13 (dve podpori, na medsebojni razdalji 30 cm, premer žice 4 mm, na višini 45 cm)

Točka	Stac. [ mm ]	R [ mm ]	1 / R [ mm <sup>-1</sup> ]
1	0	0,00	0,00
2	117,44	335,98	-0,002976368
3	147,94	8854,89	-0,000112932
4	171,89	196,17	-0,005097619
5	196,63	428,37	-0,002334431
6	223,73	211,18	-0,004735297
7	246,61	385,02	-0,002597268
8	266,20	1713,57	-0,000583577
9	295,57	210,08	-0,004760091
10	330,41	746,54	-0,001339513
11	359,23	305,74	-0,003270753
12	402,60	702,30	-0,001423893
13	435,47	347,01	-0,002881761
14	472,95	1263,32	-0,000791565
15	510,63	676,85	-0,001477432
16	537,38	4894,54	-0,000204309
17	568,81	1374,98	-0,000727283
18	605,67	437,18	0,002287387
19	635,09	411,82	0,002428245
20	663,71	332,75	0,003005259
21	695,64	182,36	0,005483659
22	725,29	225,95	0,004425758
23	755,09	394,01	0,002538007
24	784,42	220,49	0,004535353
25	816,79	285,63	0,003501033
26	852,76	268,63	0,003722592
27	891,38	218,68	0,004572892
28	927,32	229,82	0,004351231
29	960,91	811,35	0,001232514
30	990,39	408,29	0,002449240
31	1032,31	260,37	0,003840688
32	1066,44	308,07	0,003246016
33	1095,72	225,29	0,004438723
34	1129,07	262,10	0,003815338
35	1162,43	274,99	0,003636496
36	1198,46	583,68	0,001713268
37	1234,32	520,81	0,001920086
38	1269,17	2821,24	0,000354454
39	1304,40	1363,45	-0,000733434
40	1340,13	907,82	-0,001101540
41	1372,70	9971,53	-0,000100286
42	1412,76	473,75	-0,002110818
43	1443,36	3182,90	-0,000314179
44	1473,38	350,49	-0,002853148
45	1506,46	421,91	-0,002370174
46	1536,77	421,91	-0,002370174
47	1569,85	566,69	-0,001764633
48	1601,85	181,77	-0,005501458
49	1636,26	326,26	-0,003065040
50	1674,55	541,79	-0,001845734
51	1707,62	166,93	0,000000000

**Priloga 3: Obdelava s programom PLATEA**

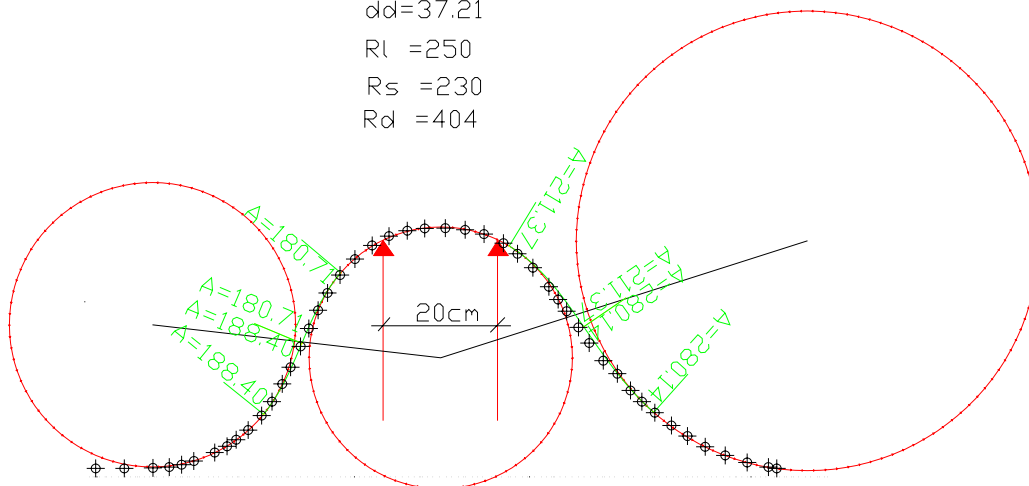
2/8 (dve podpori, na medsebojni razdalji 20cm, premer žice 2 mm, na višini 40 cm)

$d_l = 36.43$      $d = 2\text{mm}$   
 $d_d = 47.46$   
 $R_l = 319.916$   
 $R_s = 215$   
 $R_d = 227.7$



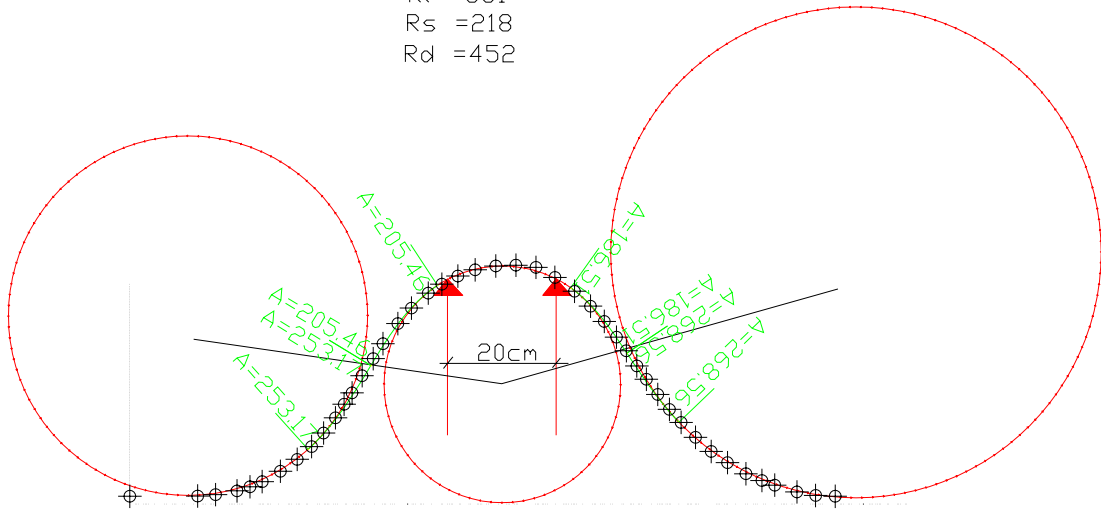
3/8 (dve podpori, na medsebojni razdalji 20 cm, premer žice 3 mm, na višini 40 cm)

$d = 3\text{mm}$   
 $d_l = 26.97$   
 $d_d = 37.21$   
 $R_l = 250$   
 $R_s = 230$   
 $R_d = 404$



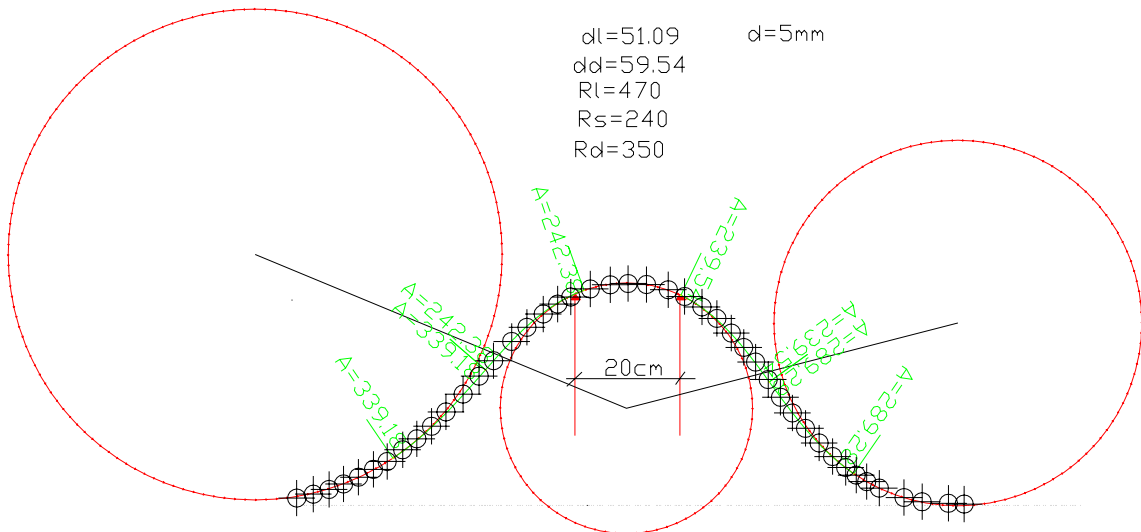
4/8 (dve podpori, na medsebojni razdalji 20 cm, premer žice 4 mm, na višini 40 cm)

$d_l = 71.948$        $d = 4\text{mm}$   
 $d_d = 89.803$   
 $R_l = 331$   
 $R_s = 218$   
 $R_d = 452$

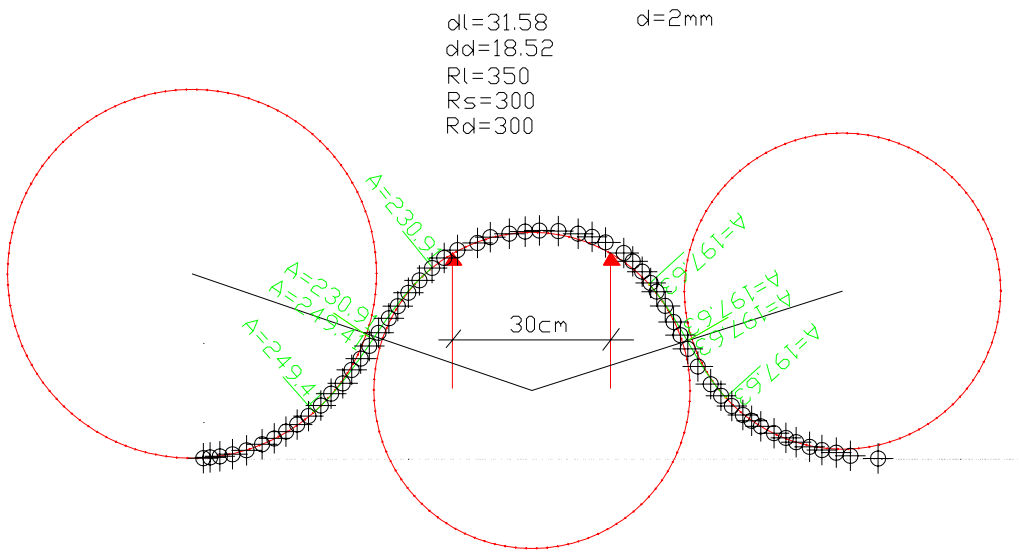


5/8 (dve podpori, na medsebojni razdalji 20 cm, premer žice 5 mm, na višini 40 cm)

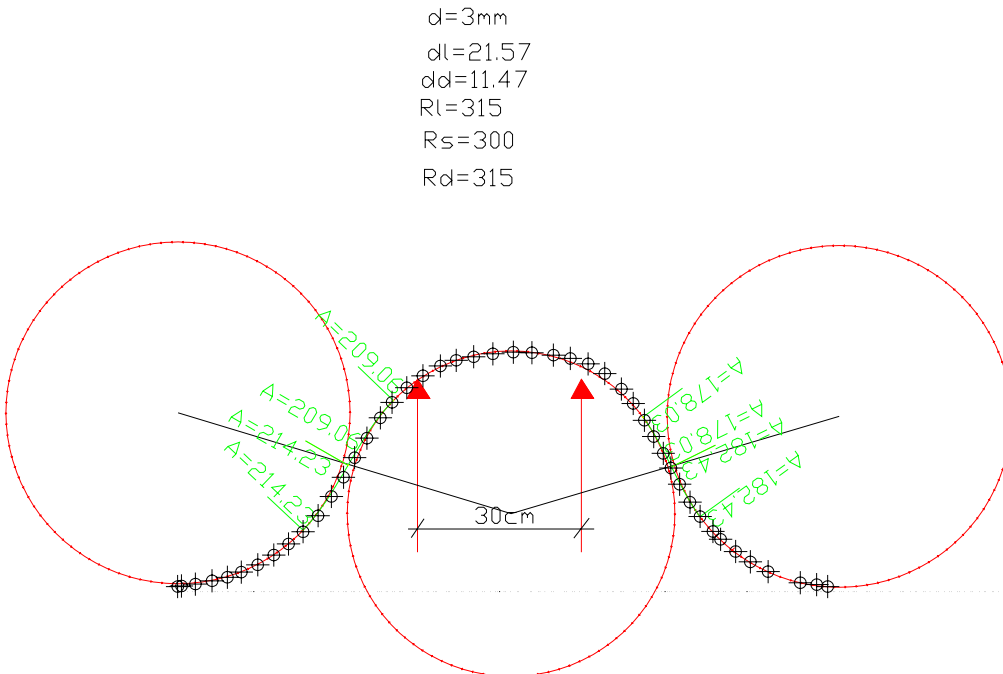
$d_l = 51.09$        $d = 5\text{mm}$   
 $d_d = 59.54$   
 $R_l = 470$   
 $R_s = 240$   
 $R_d = 350$



2/12 (dve podpori, na medsebojni razdalji 30 cm, premer žice 2 mm, na višini 40 cm)

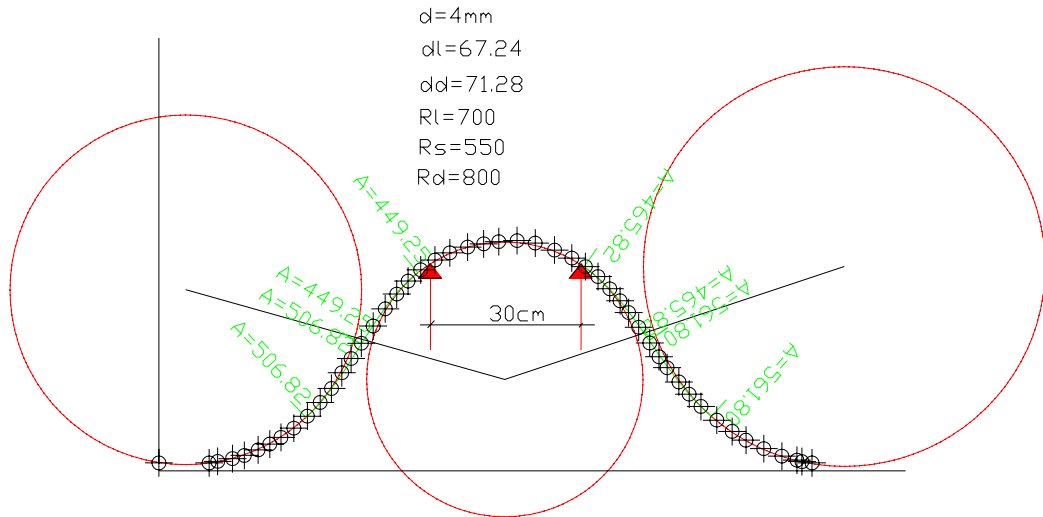


3/12 (dve podpori, na medsebojni razdalji 30 cm, premer žice 3 mm, na višini 40 cm)

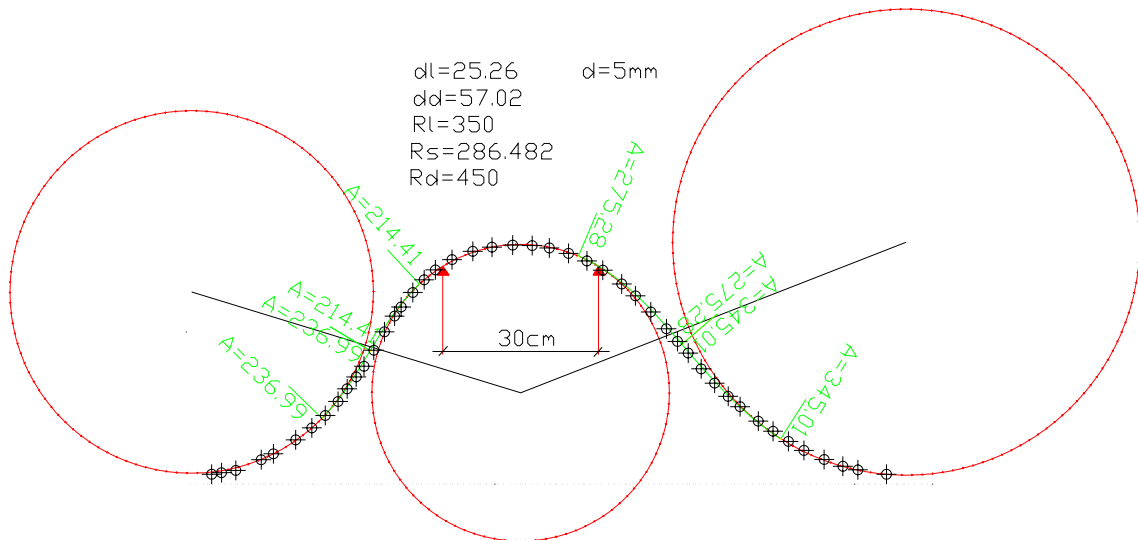




4/12 (dve podpori, na medsebojni razdalji 30 cm, premer žice 4mm, na višini 40 cm)



5/12 (dve podpori, na medsebojni razdalji 30 cm, premer žice 5 mm, na višini 40 cm)



**VIRI**

- Kuščer I., Molj A., Kranjc T., Peternelj J.,:1976, Fizika za srednje šole,I.del, Ljubljana  
Mladinska knjiga:154 str.
- Grum J., Ferlan D. 1981 Gradiva Univerza v Ljubljani.Ljubljana,Fakulteta za gradbeništvo in  
geodezijo:214 str.
- Domandžić D. 1986, Uporaba spline funkcij v optimizaciji geometrij prometnic  
Doktorska disertacija, Ljubljana,Univerza v Ljubljani,FAGG
- Katanić J.,Andjus V., Maletin M.,1983, Projektovanje puteva Beograd,Građevinska  
fakulteta:182 str.
- Žnideršič B.1986, Priručnik za obeležavanje prelaznice oblike klotoide pravouglim  
koordinatama Univerza v Ljubljani
- TSC 03.300-tehnične specufikacije za ceste(predlog) 2005, Geometrijski elementi, DARS,  
Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo Ljubljana
- Juvanc A. 1985, Racionalizacijski postopki pri projektiranju cest, Magistrsko delo,Fakultet  
prometnih znanosti,Zagreb
- [http://www.toneli.si/Lana-Vamberk/O\\_vrveh/o-vrveh.html](http://www.toneli.si/Lana-Vamberk/O_vrveh/o-vrveh.html)(25.3.2006)