

Univerza  
v Ljubljani

Fakulteta  
*za gradbeništvo  
in geodezijo*



Jamova cesta 2  
1000 Ljubljana, Slovenija  
<http://www3.fgg.uni-lj.si/>

**DRUGG** – Digitalni repozitorij UL FGG  
<http://drugg.fgg.uni-lj.si/>

To je izvirna različica zaključnega dela.

Prosimo, da se pri navajanju sklicujete na bibliografske podatke, kot je navedeno:

Truden, J. 2012. Projektiranje krivinskih kretnic na območju postaje. Diplomski naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. (mentor Zgonc, B., somentorica Šemrov, D.): 85 str.

University  
of Ljubljana

Faculty of  
*Civil and Geodetic  
Engineering*



Jamova cesta 2  
SI – 1000 Ljubljana, Slovenia  
<http://www3.fgg.uni-lj.si/en/>

**DRUGG** – The Digital Repository  
<http://drugg.fgg.uni-lj.si/>

This is original version of final thesis.

When citing, please refer to the publisher's bibliographic information as follows:

Truden, J. 2012. Projektiranje krivinskih kretnic na območju postaje. B.Sc. Thesis. Ljubljana, University of Ljubljana, Faculty of civil and geodetic engineering. (supervisor Zgonc, B., co-supervisor Šemrov, D.): 85 pp.

Univerza  
v Ljubljani

Fakulteta za  
*gradbeništvo in  
geodezijo*



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

UNIVERZITETNI ŠTUDIJ  
GRADBENIŠTVA  
PROMETNA SMER

Kandidat:

**JAKA TRUDEN**

## **PROJEKTIRANJE KRIVINSKIH KRETNIC NA OBMOČJU POSTAJE**

Diplomska naloga št.: 3250/PS

## **DESIGN OF CURVED TURNOUTS ON STATION AREA**

Graduation thesis No.: 3250/PS

**Mentor:**

prof. dr. Bogdan Zgonc

**Predsednik komisije:**

izr. prof. dr. Janko Logar

**Somentorica:**

asist. Darja Šemrov

**Član komisije:**

prof. dr. Matjaž Četina

Ljubljana, 27. 09. 2012

## **POPRAVKI**

**Stran z napako**

**Vrstica z napako**

**Namesto**

**Naj bo**

## IZJAVA O AVTORSTVU

Podpisani **JAKA TRUDEN** izjavljam, da sem avtor diplomske naloge z naslovom:

»**Projektiranje krivinskih kretnic na območju postaje**«

Izjavljam, da je elektronska različica v vsem enaka tiskani različici.

Izjavljam, da dovoljujem objavo elektronske različice v repozitoriju UL FGG.

Ljubljana, 7.9.2012

Jaka Truden

## **BIBLIOGRAFSKO – DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK**

**UDK:** 625.151(043.2)

**Avtor:** Jaka Truden

**Mentor:** prof. dr. Bogdan Zgonc

**Somentorica:** asist. Darja Šemrov

**Naslov:** Projektiranje krivinskih kretnic na območju postaje

**Obseg in oprema:** 85 str., 10 pregl., 67 sl., 2 pril.

**Ključne besede:** krivinske kretnice, parabolične kretnice, projektiranje kretnic

### **Izveček**

V diplomskem delu sem se osredotočil na krivinske kretnice kot naprave, ki omogočajo prehod med tiri v krivinah (krožni lok in prehodnica), kar je eden od kompleksnejših procesov pri železniškem prevozu.

Prvi del, ki zajema teoretične osnove, predstavlja razvrstitev kretnic, njihovo označevanje ter sestavne dele. Za projektiranje kretnic je bistvenega pomena izračun horizontalnih elementov (polmer odklonskega tira in spremembe dolžin vmesnih tirnic) in višinskega načrta kretnice, ki nam določata hitrost vožnje preko kretnice.

To znanje sem uporabil pri projektiranju dvotirne proge, ki poteka v krožnem loku ( $R = 800$  m) in se nato s prehodnico ( $L=80$  m) zaključi v postajno območje, ki je v premi. Vzdolžni nagib proge je  $S\text{‰} = 2 \text{‰}$ . V krožnem loku je tirna zveza sestavljena iz desne notranje krivinske kretnice (KR1) ter leve zunanje krivinske kretnice (KR2). Na koncu prehodnice se od notranjega tira odcepi stranski postajni tir, kar omogoča desna notranja parabolična kretnica (KR3). Za osnovno obliko kretnic sem izbral kretnico 60E1 – 500 – 1:12. Za celotno kretniško področje sem izdelal izračune horizontalnih elementov ter višinskega načrta. Nazadnje sem izrisal še situacijo in višinski načrt kretniškega območja. Projektiral sem po Pravilniku o zgornjem ustroju železniških prog.

**BIBLIOGRAPHIC – DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT**

**UDC:** 625.151(043.2)  
**Author:** Jaka Truden  
**Supervisor:** Professor Bogdan Zgonc, Ph. D., C. E.  
**Co-supervisor:** Assist. Darja Šemrov, C. E.  
**Title:** Desing of curved turnouts on station area  
**Scope and tools:** 85 p., 10 tab., 67 fig., 2 ann.  
**Keywords:** curved turnout, parabolic turnout, design of turnout

**Abstract**

In my graduation thesis I focused on curved turnouts as devices which enable the transition between tracks in curves (arc and transtiton curve). This is perceived as one of the more complexed processes in railway transport.

The first part of the thesis covers the theoretical background. It therefore represents the clasification of turnouts, their labeling and components. The calculation of horizontal elements (radius of the turnout track, and lengths changes of closure rails) and altitude profile of the turnout is essential for the design of the turnouts. This is how the speed through the turnout is defined.

I have used this knowledge to design the doublel track, which runs in an arc ( $R = 800$  m) and then with the transition curve ends into the station area. Longitudinal slope of the rail is  $S\text{‰} = 2\text{‰}$ . The track connection in the arc is composed by right internal curved turnout (KR1) and left external curved turnout (KR2). In the end of the transition curve the station track split from the internal rail track. All this enables the right internal parabolic turnout (KR3). These calculations are all based on the turnout 60E1 - 500 - 1:12. What is more I also made the calculations for horizontal elements and the altitude profile for the entire turnout area. In the final part of the thesis I drew a ground plan and the altitude profile of the turnout area. All designing work was done accordingly to the Guideline about the railway superstructure (Pravilnik o zgornjem ustroju železniških prog, UL RS, št. 92/2010).

## **ZAHVALA**

Diplomska naloga je zaključek mojih študijskih dni na Fakulteti za gradbeništvo in geodezijo.

Ob tej priložnosti se zahvaljujem mentorju, prof. dr. Bogdanu Zgoncu in somentorici, asist. Darji Šemrov za stalno strokovno in praktično pomoč.

Študij mi je omogočila mama Darinka, kateri se ob tej priložnosti iskreno zahvaljujem. Hvala tudi moji Tjaši za spodbude v težkih trenutkih, motivacijo ter pomoč pri nastajanju te naloge. Za pomoč pri prevajanju pa se zahvaljujem Ester.

**KAZALO VSEBINE**

|                                                                      |             |
|----------------------------------------------------------------------|-------------|
| <b>POPRAVKI.....</b>                                                 | <b>I</b>    |
| <b>IZJAVA O AVTORSTVU .....</b>                                      | <b>II</b>   |
| <b>BIBLIOGRAFSKO – DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK.....</b>        | <b>III</b>  |
| <b>BIBLIOGRAPHIC – DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT.....</b> | <b>IV</b>   |
| <b>ZAHVALA .....</b>                                                 | <b>V</b>    |
| <b>KAZALO VSEBINE.....</b>                                           | <b>VI</b>   |
| <b>KAZALO PREGLEDNIC .....</b>                                       | <b>VIII</b> |
| <b>KAZALO SLIK .....</b>                                             | <b>IX</b>   |
| <b>SEZNAM PRILOG .....</b>                                           | <b>XI</b>   |
| <b>SEZNAM KRATIC.....</b>                                            | <b>XII</b>  |
| <b>1 UVOD .....</b>                                                  | <b>1</b>    |
| <b>2 KRETNICA – TEORETIČNE OSNOVE .....</b>                          | <b>3</b>    |
| 2.1 Definicija kretnice.....                                         | 3           |
| 2.1.1 Označevanje kretnic .....                                      | 4           |
| 2.1.2 Razvrstitev kretnic .....                                      | 5           |
| <b>3 ENOJNA NAVADNA KRETNICA.....</b>                                | <b>7</b>    |
| 3.1 Menjalo.....                                                     | 7           |
| 3.1.1 Ostrice.....                                                   | 7           |
| 3.1.1.1 Ravna ostrica .....                                          | 8           |
| 3.1.1.2 Ukrivljena ostrica s presegom .....                          | 8           |
| 3.1.1.3 Tangencialna ostrica .....                                   | 9           |
| 3.1.1.4 Tangencialna ostrica s prirezanim vrhom.....                 | 9           |
| 3.1.1.5 Odprtina med glavno tirnico in odmaknjeno ostrico .....      | 10          |
| 3.1.1.6 Konstrukcija ostric .....                                    | 10          |
| 3.1.2 Glavne tirnice.....                                            | 12          |
| 3.1.3 Kretniško postavljaljo .....                                   | 12          |
| 3.1.3.1 Kretniški zapah.....                                         | 12          |
| 3.2 Srednji del.....                                                 | 13          |
| 3.3 Srčišče .....                                                    | 14          |
| 3.3.1 Vodilni tirnici.....                                           | 15          |
| 3.3.2 Srce .....                                                     | 17          |
| 3.4 Preme pred, med in za kretnicami .....                           | 19          |

|                   |                                                                                       |           |
|-------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 3.5               | Vgrajevanje.....                                                                      | 22        |
| 3.5.1             | Varjenje .....                                                                        | 24        |
| 3.6               | Vzdrževanje .....                                                                     | 26        |
| 3.7               | Interoperabilnost .....                                                               | 28        |
| 3.7.1             | Tehnične specifikacije za interoperabilnost – TSI .....                               | 29        |
| 3.7.1.1           | TSI – pogoji za kretnice.....                                                         | 30        |
| <b>4</b>          | <b>KRIVINSKE KRETNICE .....</b>                                                       | <b>33</b> |
| 4.1               | Računanje krivinskih kretnic.....                                                     | 34        |
| 4.1.1             | Horizontalni elementi kretnic.....                                                    | 34        |
| 4.1.1.1           | Polmer odklonskega tira.....                                                          | 35        |
| 4.1.1.2           | Izračun spremembe dolžin vmesnih tirnic pri krivinskih kretnicah v krožnem loku ..... | 38        |
| 4.1.1.3           | Izračun puščic za vezavo krivinskih kretnic .....                                     | 42        |
| 4.1.2             | Višinski izračun krivinskih kretnic.....                                              | 42        |
| 4.2               | Računanje paraboličnih kretnic.....                                                   | 44        |
| 4.2.1             | Spremembe dolžin vmesnih tirnic.....                                                  | 46        |
| 4.2.2             | Puščice za vezavo paraboličnih kretnic .....                                          | 48        |
| <b>5</b>          | <b>HITROST PREKO KRETNICE .....</b>                                                   | <b>49</b> |
| 5.1               | Hitrost preko krivinske kretnice .....                                                | 50        |
| 5.1.1             | Hitrost glede na dovoljeno spremembo primanjkljaja nadvišanja .....                   | 50        |
| 5.1.2             | Hitrost glede na dovoljeni primanjkljaj nadvišanja .....                              | 51        |
| <b>6</b>          | <b>PRAKTIČNI DEL .....</b>                                                            | <b>53</b> |
| 6.1               | Tirna zveza v krožnem loku .....                                                      | 53        |
| 6.1.1             | Kretnica št. 1.....                                                                   | 54        |
| 6.1.2             | Kretnica št. 2.....                                                                   | 58        |
| 6.1.3             | Izračun parametrov za zakoličevanje tirne zveze.....                                  | 62        |
| 6.1.4             | Višinski načrt tirne zveze .....                                                      | 66        |
| 6.2               | Parabolična kretnica.....                                                             | 69        |
| 6.2.1             | Parabolična tirna zveza.....                                                          | 73        |
| 6.2.2             | Višinski načrt .....                                                                  | 75        |
| 6.3               | Višinski načrt za celotno kretniško območje .....                                     | 77        |
| <b>7</b>          | <b>ZAKLJUČEK.....</b>                                                                 | <b>81</b> |
| <b>VIRI .....</b> |                                                                                       | <b>83</b> |

**KAZALO PREGLEDNIC**

|                                                                                                              |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Preglednica 1: Najmanjše dolžine med premičnim delom premostitvene konstrukcije in menjalom<br>kretnice..... | 22 |
| Preglednica 2: Minimalni polmeri odklonskega tira.....                                                       | 38 |
| Preglednica 3: Dovoljene hitrosti preko kretnice.....                                                        | 49 |
| Preglednica 4: Izračun puščic za vezavo zunanje tirnice glavne smeri KR1.....                                | 57 |
| Preglednica 5: Izračun puščic za vezavo zunanje tirnice odklonske smeri KR1.....                             | 58 |
| Preglednica 6: Izračun puščic za vezavo zunanje tirnice glavne smeri KR2.....                                | 61 |
| Preglednica 7: Izračun puščic za vezavo zunanje tirnice odklonske smeri KR2.....                             | 62 |
| Preglednica 8: Izračun puščic za vezavo zunanje tirnice glavne smeri KR3.....                                | 72 |
| Preglednica 9: Izračun puščic za vezavo zunanje tirnice odklonske smeri KR3.....                             | 73 |
| Preglednica 10: Višinske kote GRT za točke kretniškega območja.....                                          | 80 |

## KAZALO SLIK

|                                                                                           |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Slika 1 : Enojna navadna ločna kretnica .....                                             | 3  |
| Slika 2: Sestavni deli enojne kretnice .....                                              | 4  |
| Slika 3: Shema kretnice .....                                                             | 5  |
| Slika 4: Dvojne, križiščne in kombinirane kretnice .....                                  | 6  |
| Slika 5: Shema navadne (levo) in navadne ločne kretnice (desno) .....                     | 6  |
| Slika 6: Skica kretnice .....                                                             | 7  |
| Slika 7: Ravna ostrica .....                                                              | 8  |
| Slika 8: Ostrica s preseganjem .....                                                      | 8  |
| Slika 9: Tangencialna ostrica .....                                                       | 9  |
| Slika 10: Tangencialna ostrica s prirezanim vrhom .....                                   | 9  |
| Slika 11: Račun odprtine na korenu ostrice .....                                          | 10 |
| Slika 12: Ostrica zvončaste in ostrica »L« oblike .....                                   | 11 |
| Slika 13: Puščičasti kretniški zapah .....                                                | 13 |
| Slika 14: Srčišče .....                                                                   | 14 |
| Slika 15: a.) Prehod kolesnega venca preko srčišča .....                                  | 14 |
| Slika 16: b.) Izvedba vrha srca .....                                                     | 14 |
| Slika 17: a.) širina žleba $w_1$ .....                                                    | 15 |
| Slika 18: b.) kolesna dvojica na območju srčišča .....                                    | 15 |
| Slika 19: Monoblok srce .....                                                             | 17 |
| Slika 20: Sestavljeno srce .....                                                          | 17 |
| Slika 21: Srce sestavljeno iz tirnic .....                                                | 18 |
| Slika 22: Pomična srca .....                                                              | 18 |
| Slika 23: Vmesna prema med začetkoma kretnic z odklonskim tirom na nasprotni strani ..... | 19 |
| Slika 24: Vmesna prema med začetkoma kretnic z odklonskim tirom na isti strani .....      | 20 |
| Slika 25: Vmesna prema med koncem in začetkom naslednje kretnice .....                    | 20 |
| Slika 26: Vmesna prema pred kretnico .....                                                | 21 |
| Slika 27: Vmesna prema za kretnico .....                                                  | 21 |
| Slika 28: Vrstni red varjenja .....                                                       | 24 |
| Slika 29: Priprava kalupa na mestu stika .....                                            | 25 |
| Slika 30: Orodje in pripomočki za varjenje .....                                          | 25 |
| Slika 31: Železniško omrežje v republiki Sloveniji .....                                  | 28 |
| Slika 32: Skrajšanje navadnega srca .....                                                 | 32 |
| Slika 33: Linearna skica ločne kretnice .....                                             | 33 |
| Slika 34: Ločna tirnica – ukrivljanje .....                                               | 34 |
| Slika 35: Slika ukrivljenosti za notranjo krivinsko kretnico .....                        | 35 |
| Slika 36: Slika ukrivljenosti za zunanjo krivinsko kretnico .....                         | 37 |
| Slika 37: Shema za izračun spremembe dolžin vmesnih tirnic .....                          | 38 |
| Slika 38: Sprememba dolžin tirničnih trakov v glavni smeri .....                          | 39 |
| Slika 39: Sprememba dolžin tirničnih trakov v odklonski smeri .....                       | 40 |
| Slika 40: Spremembe dolžin vmesnih tirnic pri notranji krivinski kretnici .....           | 41 |
| Slika 41: Spremembe dolžin vmesnih tirnic pri zunanji krivinski kretnici .....            | 41 |

|                                                                          |    |
|--------------------------------------------------------------------------|----|
| Slika 42: Puščice za vezavo kretnic .....                                | 42 |
| Slika 43: Višinski potek krivinske kretnice .....                        | 43 |
| Slika 44: Zakrivljenost parabolične kretnice .....                       | 45 |
| Slika 45: Spremembe dolžin vmesnih tirnic.....                           | 46 |
| Slika 46: Zakrivljenost odklonske in glavne smeri .....                  | 47 |
| Slika 47: Izračun puščice vezavo parabolične kretnice .....              | 48 |
| Slika 48: Skica območja kretnic .....                                    | 53 |
| Slika 49: Skica predelave notranje krivinske kretnice .....              | 54 |
| Slika 50: Dolžine tirnic normalne desne kretnice 60E1 – 500 – 1:12 ..... | 56 |
| Slika 51: Skica novih dolžin vmesnih tirnic kretnice št. 1.....          | 56 |
| Slika 52: Skica puščic glavne smeri kretnice št.1 .....                  | 57 |
| Slika 53: Skica puščic odklonske smeri kretnice št. 1 .....              | 58 |
| Slika 54: Skica predelave zunanje krivinske kretnice.....                | 59 |
| Slika 55: Skica novih dolžin vmesnih tirnic kretnice št. 2.....          | 60 |
| Slika 56: Skica puščic glavne smeri pri kretnici št. 2 .....             | 61 |
| Slika 57: Skica puščic odklonske smeri kretnice št. 2 .....              | 62 |
| Slika 58: Skica tirne zveze .....                                        | 63 |
| Slika 59: Skica za izračun tirne zveze .....                             | 64 |
| Slika 60: Zakoličevanje tirne zveze .....                                | 65 |
| Slika 61: Skica predelave notranje krivinske kretnice .....              | 69 |
| Slika 62: Skica novih dolžin vmesnih tirnic kretnice št. 1.....          | 71 |
| Slika 63: Skica puščic glavne smeri kretnice št.3 .....                  | 71 |
| Slika 64: Skica puščic odklonske smeri kretnice št. 3 .....              | 72 |
| Slika 65: Skica parabolične tirne zveze .....                            | 73 |
| Slika 66: Skica višinskega načrta parabolične kretnice .....             | 75 |
| Slika 67: Shematični podolžni profil zaokrožitvenih lokov .....          | 76 |

## **SEZNAM PRILOG**

Priloga A: Montažni načrt za krenico 60E1 – 500 – 1:12

Priloga B: Višinski načrt kreniškega območja

**SEZNAM KRATIC**

|           |                                                                    |
|-----------|--------------------------------------------------------------------|
| D         | dolžina kretnice (m)                                               |
| e         | medtirna razdalja (mm)                                             |
| h         | nadvišanje (mm)                                                    |
| KKr       | konec kretnice v glavnem tiru ali glavni smeri                     |
| KKr'      | konec kretnice v odklonskem tiru ali odklonski smeri               |
| KL        | konec loka                                                         |
| KP        | konec prehodnice                                                   |
| L         | dolžina prehodnice, prehodne klančine (m)                          |
| NZT       | neprekinjeno zavarjeni tir                                         |
| p         | puščica (m), prema (m)                                             |
| R         | polmer horizontalnega krožnega loka (m)                            |
| $R_o$     | radij odklonske smeri kretnice (m)                                 |
| s         | razdalja od konca kretnice do zadnjega skupnega praga (m)          |
| s‰        | nagib na zadnjem skupnem pragu, ki je nastal zaradi nadvišanja (‰) |
| S‰        | nagib nivelete proge oziroma tira (‰)                              |
| t         | dolžina kretniške tangente (m)                                     |
| $V_{max}$ | največja dovoljena progovna hitrost (km/h)                         |
| x         | abscisa ali koordinata x (m)                                       |
| y         | ordinata; ordinata zaokrožitve loma nivelete (m)                   |
| ZKr       | začetek kretnice                                                   |
| ZL        | začetek krožnega loka                                              |
| ZP        | začetek prehodnice                                                 |
| 1:m       | nagib prehodne klančine                                            |

## 1 UVOD

Značilnost železniškega prometa je tirno vodenje, kar posledično pomeni visoko povezanost med prevoznim sredstvom in vozno potjo. Ta medsebojna odvisnost zahteva uporabo vnaprej določenih pravil, s katerimi se vodi, upravlja ter zagotavlja varen prevoz. Pri prevozih po železnici se odvija več posameznih procesov (vožnja po tirih, križanje, prehitevanje, prehod na druge tire, čakanje), ki jih je možno izvesti le na mestih, kjer je vozna pot ustrezno opremljena, da omogoča navedene procese. Ta mesta imenujemo prometna mesta.

Od navedenih procesov je prehod na druge tire najbolj kompleksen. Poznamo več naprav, ki omogočajo prehod iz enega na drug tir:

- okretnica
- prenosnica
- kretnica

Okretnica je železniški infrastrukturni element, ki omogoča obračanje posameznih železniških vozil ter prerazporeditve na drugi tir. Uporabljajo se predvsem tam, kjer ni prostora za postavitve tirnih zvez s kretnicami. Okretnica je jeklena mostna konstrukcija, na kateri so pritrjene tirnice in se obrača okoli svoje vertikalne osi. Tiri, ki so priključeni na okretnico so radialno razporejeni.

Prenosnica prav tako omogoča prehod oziroma prenos le posameznim lokomotivam oz. vagonom z enega tira na drug tir. Značilnost prenosnice je njena mostna konstrukcija, ki jo je mogoče pravokotno voziti na smer vzporednih priključnih tirov.

Medtem ko okretnica in prenosnica omogočata le prehod posameznih vozil z enega na drug tir pa je mogoče preko kretnice peljati cel vagonski niz. S tem kretnica omogoča neprekinjen prehod na druge tire, kar je njena prednost v primerjavi z ostalima napravama.

Prvi del diplomskega dela zajema teoretične osnove kretnic, kjer bom predstavil način označevanja in osnovno razvrstitev kretnic. Nato bom na primeru enojne navadne kretnice predstavil sestavne dele kretnice (menjalo, srednji del in srčišče), njihove konstrukcijske posebnosti in geometrijske karakteristike, ki omogočajo čimbolj udobno in varno vožnjo preko kretnic.

V nadaljevanju diplomskega dela se bom osredotočil na krivinske kretnice kot naprave, ki omogočajo prehod med tiri v krivinah (krožni lok in prehodnica). Osnovna oblika kretnic, ki jih

je možno kriviti in vgrajevati v krožni lok oziroma prehodnico, so ločne kretnice. Za njih je značilno da imajo tangencialne ostrice, ločno srce ter enake dolžine vseh treh krakov. Za projektiranje krivinskih kretnic je potrebno poznati teoretično podlago oziroma način izračuna osnovnih parametrov in elementov kretnice, kar bom predstavil v poglavjih »Računaje krivinskih kretnic« ter »Računanje paraboličnih kretnic«. Ko so glavni parametri krivinskih kretnic določeni, lahko izračunamo hitrosti s katerimi je mogoče varno in udobno prepeljati preko njih v glavni in odklonski smeri.

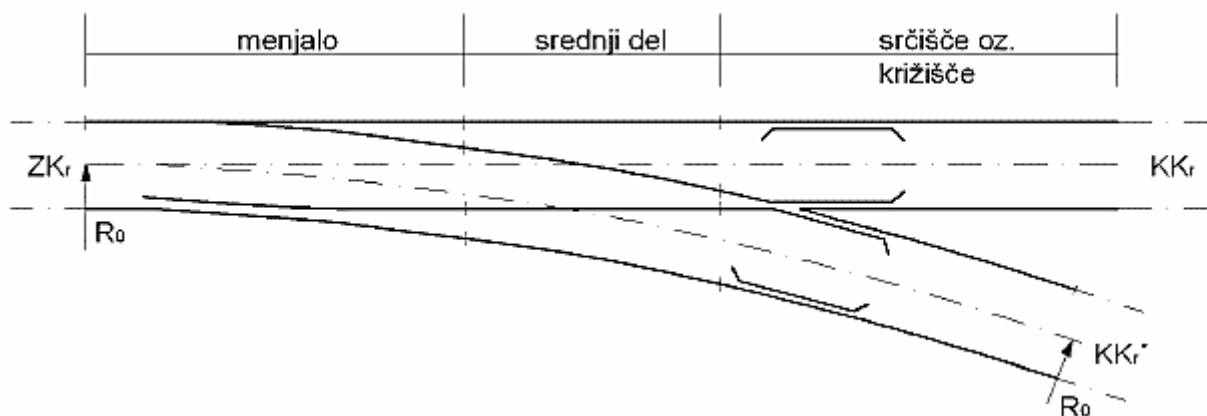
V zadnjem delu diplomske naloge pa bom prikazal praktično uporabo teoretičnega znanja na primeru projektiranja dveh krivinskih kretnic in ene parabolične kretnice na postajnem območju. Kretniško območje zajema tirno zvezo v krožnem loku, ki jo sestavljata krivinski kretnici KR1 in KR2, ter parabolično kretnico na koncu prehodnice, ki omogoča odcepitev stranskega postajnega tira od glavnega tira. Celotno kretniško območje je v vzdolžnem nagibu. Za vse tri kretnice bom izdelal izračune horizontalnih elementov in višinskega načrta, kar bo v nadaljevanju osnova za izdelavo načrtov, kjer bo kretniško območje obravnavano v tlorisu in narisu.

Namen diplomske naloge je predstaviti teoretično ozadje projektiranja krivinskih kretnic in prikazati to znanje na praktičnem primeru.

## 2 KRETNICA – TEORETIČNE OSNOVE

### 2.1 Definicija kretnice

Pravilnik o zgornjem ustroju železniških prog navaja naslednjo definicijo za kretnico: Kretnica je naprava, ki omogoča neprekinjen prevoz vlakov ali posameznih železniških vozil z enega na drugi tir brez ustavljanja.



Slika 1 : Enojna navadna ločna kretnica (vir: Pravilnik o zgornjem ustroju železniških prog)

Deli kretnice so:

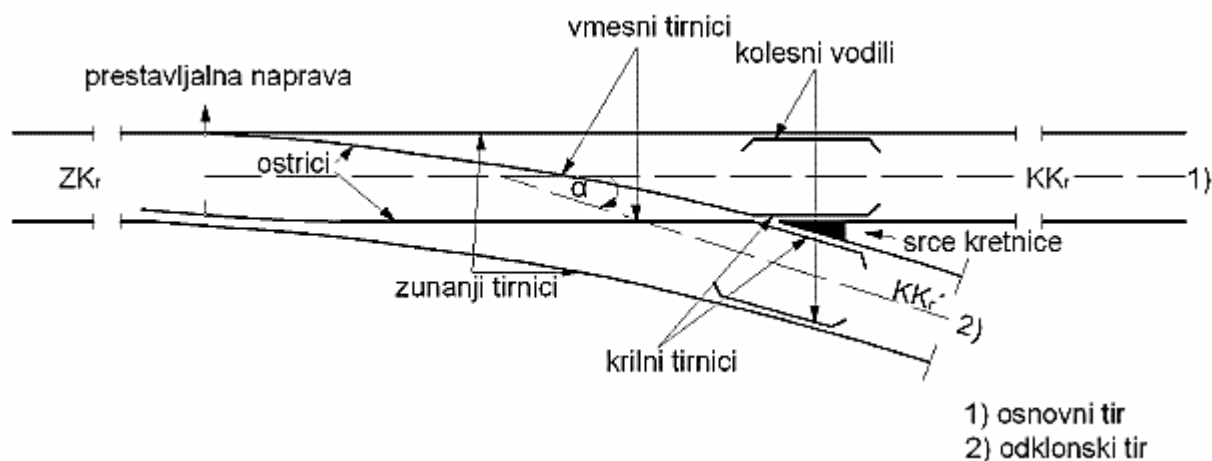
- Menjalo,
- srednji del,
- srčišče oziroma križišče.

Začetek kretnice je prvi stik pred vrhom kretnice, označujemo ga z oznako ZKr. Konec kretnice pa je prvi stik za srcem kretnice. Konec kretnice v glavni smeri označujemo s KKr, v odklonski smeri pa s KKr'. Sredina kretnice je točka, kjer se sekajo vse tri tangente (tangente na os glavnega in odklonskega tira na koncu kretnice oziroma na koncu odklonskega loka). Kot kretnice je kot, ki ga oklepata tangenti na os glavnega tira z osjo odklonskega tira na koncu kretnice. Označujemo ga z  $\alpha$ . Polmer kretnice je polmer krožnega loka odklonskega tira kretnice, ki ga označujemo z  $R_0$ . Čim večji je odklonski kot, tem krajša je kretnica in posledično tudi manjši polmer odklonskega tira. Tir v premo se imenuje osnovni tir, v smeri odklona pa odklonski tir.

Kretnica naj bo čim krajša iz treh vidikov:

1. da bo koristna dolžina postajnih tirov čim daljša;
2. kretnice s kratkimi menjali so lahko pomaknjene bolj skupaj, s čemer je pregled in nadzor nad kretnicami boljši;
3. kratke kretnice zahtevajo kratek prevozni čas – to je še posebej pomembno na ranžirnih postajah.

Medtem ko je za vožnjo samo ugodnejši velik odklonski polmer, zahteva večji polmer sam po sebi dolgo kretnico in zelo oster odklonski kot. Da bo kretnica čim krajša, težimo za malim polmerom odklonskega tira.



Slika 2: Sestavni deli enojne kretnice (vir: Pravilnik o zgornjem ustroju železniških prog)

Zunanji tirnici sta neprekinjeni, notranji tirnici pa se pričenjata s premakljivim delom - ostricami. Za smer vožnje v premo se glede na zgornjo sliko 2 prilega ob matično tirnico spodnja ostrica, za smer v odklon pa se ob matično tirnico prilega zgornja ostrica. Obe ostrici se premikata skupno. Na sliki 2 je kretnica postavljena za vožnjo v odklon.

### 2.1.1 Označevanje kretnic

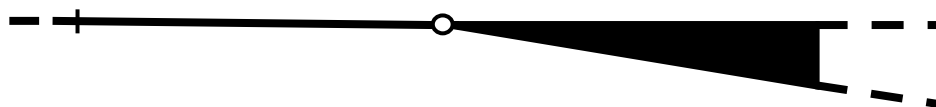
Kretnice grafično prikažemo s skico, zraven katere zapišemo podatke, s katerimi je kretnica enolično določena. Omenjeni podatki so naslednji:

- vrsta kretnice,
- oblika tirnic iz katerih je sestavljena,
- polmer kretnice,
- odklonski kot kretnice,

- smer kretnice.

Poleg navedenih pa je potrebno pri naročanju kretnic navesti še:<sup>1</sup>

- tip pritrdilnega materiala,
- tip pragov (les, beton, jeklo),
- vrsto srca (izvedba, kvaliteta jekla),
- vrste ostalega materiala.



60 E1 – 300 – 1:14 D

|               |                                                            |
|---------------|------------------------------------------------------------|
| 60 E1         | določa sistem tirnic                                       |
| 300 ( $R_0$ ) | polmer odklonskega tira kretnice v osnovni obliki v metrih |
| 1:14          | tangens odklonskega kota                                   |
| D             | desna kretnica                                             |

Slika 3: Shema kretnice

Odklonski kot kretnic lahko zapišemo s tangensom kota (npr.: 1:9, 1:14 ...) ali s stopinjami kota (npr.: 6°, 7° ...).

### 2.1.2 Razvrstitev kretnic

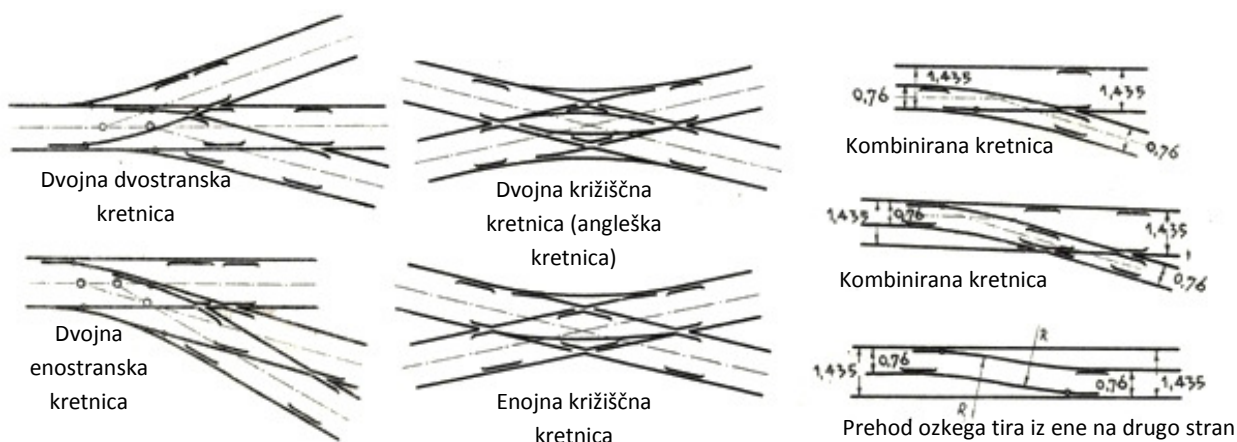
Kretnice razvrstimo glede na različne kriterije (uporaba, oblika, konstrukcijski elementi ...) v osnovni delitvi v skupine in vrste kretnic. V prvi razvrstitvi imamo naslednje skupine kretnic:<sup>2</sup>

- enojne,
- dvojne - tiste kretnice, pri katerih se od matičnega tira odcepita dva odklonska tira. Če se odvajata odklonska tira v razne strani, je to dvostranska dvojna kretnica. Pri dvojni enostranski kretnici pa se odvajata odklonska tira na isto stran;
- križiščne, ki so vgrajene v tirna križišča ter povezujejo med seboj glavno in križno smer;

<sup>1</sup> B.Černe, Železniške postaje (Osnovni konstrukcijski elementi)

<sup>2</sup> B.Černe, Železniške postaje (Osnovni konstrukcijski elementi)

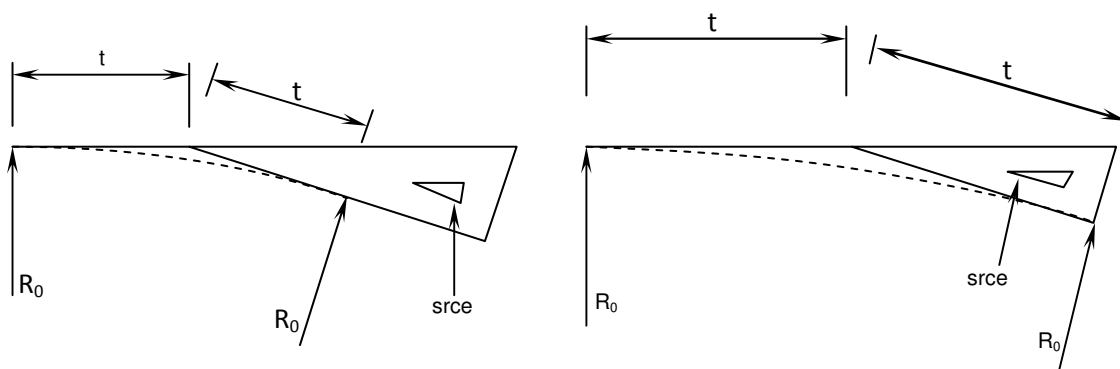
- ter kombinirane, ki omogočajo prehod vozil z dveh tirov različnih tirnih širin na en vpleten ali združen tir.



Slika 4: Dvojne, križiščne in kombinirane kretnice (Vir: Gspan, J. Železnice II. Zgornji ustroj železnic)

Skupino enojnih kretnic naprej delimo na:

- navadne, pri katerih se lok odklonskega tira konča pred srcem kretnice. Matični tir je raven.
- navadne ločne, pri katerih poteka lok odklonskega tira preko srca kretnice. Tudi tu je matični tir raven.
- krivinske, ki jih je mogoče vgrajevati v krožne loke ali prehodnice. Lok odklonskega tira poteka preko srca. Pri krivinskih kretnicah je matični tir izveden v krivini. Zato so krivinske kretnice praviloma nadvišane.



Slika 5: Shema navadne (levo) in navadne ločne kretnice (desno)

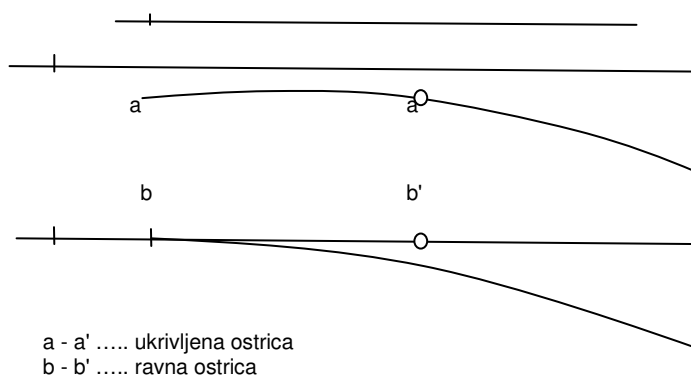
### 3 ENOJNA NAVADNA KRETNICA

#### 3.1 Menjalo

Menjalo navadne kretnice je sestavljeno iz dveh ostric, dveh glavnih tirnic, drsnikov, postavljalnega droga, postavljalca, kretniškega zapaha in pritrdilnega materiala. Uporablja se za usmerjanje vozil z enega tira na drugi tir. Kretniško menjalo mora zagotavljati varen prehod tirnih vozil. Položaj ostric in zunanjih tirnic mora biti zavarovan vsak zase in ne sme biti omogočen polovični položaj ostric. Ostrice se morajo premikati varno in brez prevelike sile.

##### 3.1.1 Ostrice

Za vožnjo v premo se ob ukrivljeno glavno tirnico prilega ravna ostrica b-b', za vožnjo v odklonsko smer pa se ukrivljena ostrica a-a' prilega ob ravno glavno tirnico.



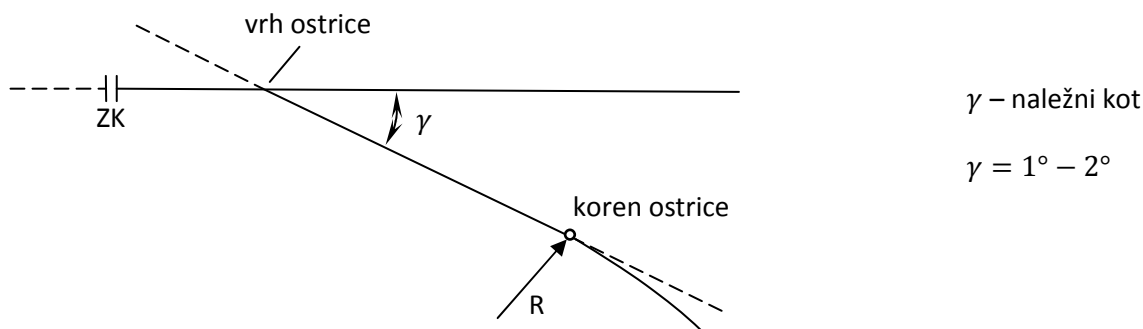
Slika 6: Skica kretnice

Poznamo štiri različne vrste ostric, glede na prileganje h glavni tirnici:

- ravna ostrica,
- ukrivljena ostrica s presegom,
- tangencialna ostrica,
- tangencialna ostrica s prirezanim vrhom.

### 3.1.1.1 Ravna ostrica

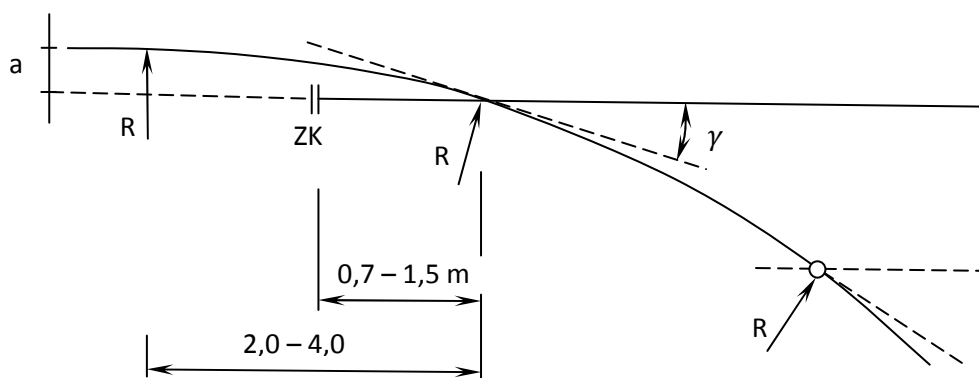
Ravna ostrica je zastarela oblika ostric, zato jo najdemo le še pri starejših tipih kretnic. Ostrica je ravna, pri čemer je prednost te izvedbe enostavna izdelava ter dejstvo, da so enake ostrice za leve in desne kretnice. Slabost tega tipa ostric je sunek sile (neudobna vožnja), ki nastane pri vožnji v odklon, zaradi hitre spremembe smeri. Zmanjšanje sunka sile dosežemo z zmanjšanjem kota naleganja  $\gamma$ .



Slika 7: Ravna ostrica

### 3.1.1.2 Ukrivljena ostrica s presegom

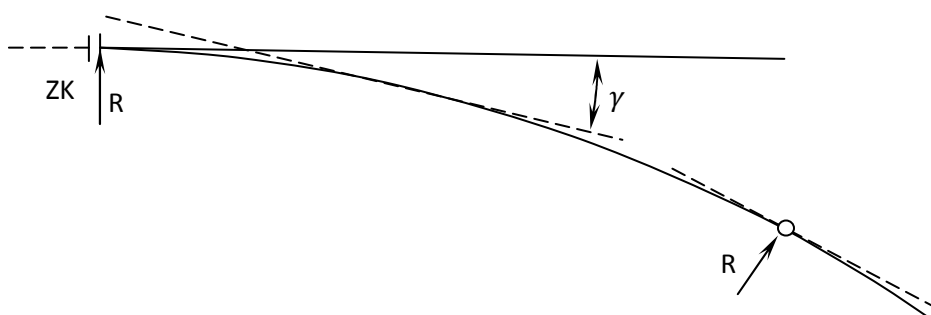
S to rešitvijo ima ostrica na začetku primerno debelino. Začetek kretnice je od 0,7 do 1,5 m oddaljen od vrha ostrice, namišljeni pričetek loka pa je oddaljen od 2 do 4 m. Odmikanje voznega roba ostrice od voznega roba zunanje tirnice je hitrejše kot pri ravni ostrici. Med kretnicami s to vrsto ostrice mora biti zaradi zaporednih sunkov vsaj 6 m vmesne preme. Tudi ta tip ostric se ne vgrajuje več.



Slika 8: Ostrica s preseganjem

### 3.1.1.3 Tangencialna ostrica

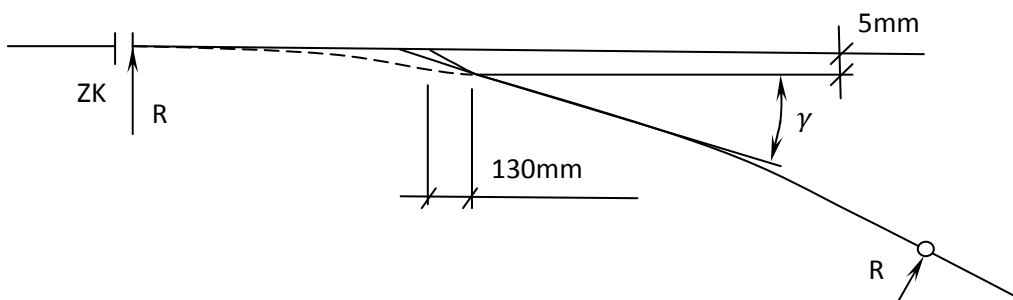
Vozni rob ostrice v bližini vrha je tangencialen na krivino te ostrice in se dotika glavne tirnice pod kotom  $\gamma$ . Odmikanje voznega roba ostrice je počasnejše kot pri ravni ostrici oziroma pri ostrici s presegom, zato je vožnja udobnejša. Kot prileganja  $\gamma$  ima vrednosti od  $0^{\circ}30'$  do  $0^{\circ}50'$ . Pri kretnicah s tangencialnimi ostricami vmesna prečna med dvema kretnicama, ki se stikata z začetki, ni potrebna. Ta oblika ostrice se uporablja pri sodobnih kretnicah.



Slika 9: Tangencialna ostrica

### 3.1.1.4 Tangencialna ostrica s prirezanim vrhom

Uporablja se pri kretnicah z velikim polmerom. Ostrica gre tangencialno proti glavni tirnici do mesta, kjer je njena debelina 1,5 – 5 mm, nato se lomi in preide pod glavno tirnico na dolžini 130,4 mm. S tem dosežemo najmanjši kot prileganja (npr.: pri  $R = 1200$  m le  $9^{\circ}55''$ ) in zelo udobno vožnjo. Na takšen način so narejene najsodobnejše kretnice.



Slika 10: Tangencialna ostrica s prirezanim vrhom

### 3.1.1.5 Odprtina med glavno tirnico in odmaknjeno ostrico

Na odmaknjeno ostrico ne sme zapeljati nobeno kolo. Zaradi tega je potrebno vzdrževati najmanjšo odprtino med glavno tirnico in odmaknjeno ostrico. Ta se določi iz pogoja, da tudi kolo z najbolj izrabljenim sledilnim vencem prepelje brez ovir skozi odprtino med odmaknjeno ostrico in glavno tirnico, medtem ko je drugo kolo kolesne dvojice pritisnjeno ob svojo tirnico. To odprtino izračunamo iz minimalne oddaljenosti med kolesnima dvojicama ( $t_{min} = 1357 \text{ mm}$ ), minimalne debeline sledilnega venca ( $d_{min} = 20 \text{ mm}$ ) in tirne širine ( $\check{s} = 1435 \text{ mm}$ ).

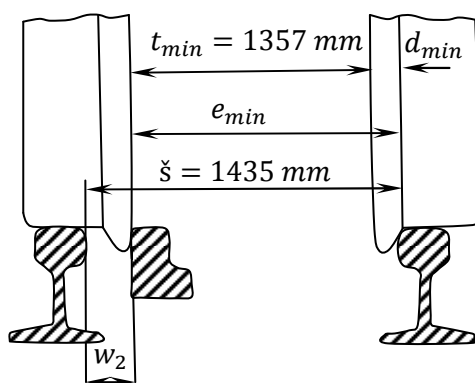
$$e_{min} = t_{min} + d_{min} \quad (1)$$

$$e_{min} = 1357 + 20 = 1377 \text{ mm}$$

$$w_2 = \check{s} - e_{min} \quad (2)$$

$$w_2 = 1435 - 1377 = 58 \text{ mm}$$

Iz tega sledi, da mora biti odprtina  $w_2$  široka najmanj 58 mm. Ta odprtina mora biti enaka na obeh straneh.



Slika 11: Račun odprtine na korenu ostrice

### 3.1.1.6 Konstrukcija ostric

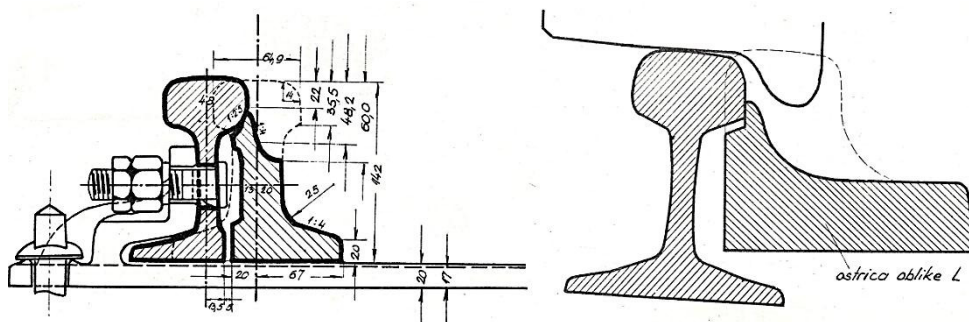
V konstrukcijskem smislu delimo ostrice na:

- Korenska ostrica – je starejša oblika izvedbe ostrice, ki se ne vgrajuje več. Korenske ostrice so na korenu nasajene na čep - s tem je omogočeno premikanje ostrice okoli ene točke. Dolžina korenskih ostric je okoli 5 m. Praviloma sta obe ostrici enako dolgi. Čepi imajo

premer 38 mm ali 80 mm. Kljub vsej pozornosti pri izdelavi korena se zrahljanja ne da preprečiti. Razvoj je prinesel rešitev z vzmetnimi ostricami, kjer korena ni.<sup>3</sup>

b) Vzmetna ostrica – ta oblika ostrice ima le teoretično obračalno točko, saj se obrača okrog oslabljenega dela oziroma se elastično upogiba. Poznamo jih več vrst, in sicer glede na izdelavo iz:

- i. *Navadnih tirnic in tirnic z odebeljenim vratom.* Zaradi majhnega vztrajnostnega momenta tirnice v horizontalni ravnini se tirnica zaradi svoje elastičnosti upogiba na celotni dolžini. Prve povojne kretnice so imele take ostrice.<sup>4</sup>
- ii. *Specialnih profilov tirnic.* Ti profili so navadno nižji od glavne tirnice, s široko peto in odebeljenim vratom.<sup>5</sup>



Slika 12: Ostrica zvončaste in ostrica »L« oblike (vir: Gspan, J. Železnice II. Zgornji ustroj železnic)

Običajna je zvončasta oblika ostrice ali oblika »L«. Elastičnost pri vzmetnih ostricah se doseže s tem, da se na dolžino 1300 mm do 1600 mm oslabi nogo ostrice in upogljivost koncentrira v to cono.<sup>6</sup>

- iii. *Specialnih profilov tirnic z navarjenim delom.* Vrh ostrice je vse do mesta, kjer nastopa v polnem profilu, izdelan iz tirnic specialnega profila, nato pa se skuje v obliko navadne tirnice (zoža se vrat), zavari za normalno tirnico in šele na njej se izdelava oslabljen del, ki je upogljiv (zoža se širino pete na širino glave).<sup>7</sup>

Čeprav so vzmetne ostrice dražje od korenskih, se vgrajujejo le še vzmetne ostrice, saj njihove prednosti glede nižjih stroškov vzdrževanja, zanesljivosti in udobnosti vožnje

<sup>3</sup> Gspan, J. Železnice II. Zgornji ustroj železnic

<sup>4</sup> Tomičič – Torlaković, M. Gornji stroj železnica

<sup>5</sup> Tomičič – Torlaković, M. Gornji stroj železnica

<sup>6</sup> Gspan, J. Železnice II. Zgornji ustroj železnic

<sup>7</sup> Tomičič – Torlaković, M. Gornji stroj železnica

upravičijo višji začetni strošek. Vzmetne ostrice so daljše od korenskih. Potrebna je tudi večja sila za prestavljanje vzmetnih ostric.

Splošni zahtevani pogoji Slovenskih železnic pri izdelavi kretnic predpisujejo oblike profila ostric, ki se uporabljajo na slovenskem železniškem omrežju. V Sloveniji tako uporabljamo ostrice oblike: 49E1A2, 54E1A2 in 60E1A1.

### 3.1.2 Glavne tirnice

Začetek kretnice je oddaljen najmanj 0,60 m od vrha ostrice. To je odvisno od spojk in konstrukcije stika. Tudi koreni morajo presegati glavne tirnice vsaj za 0,70 m do 1,0 m.<sup>8</sup> Standardne kretnice so sestavljene iz tirnic sistema 60E1, 54E1 in 49E1.

### 3.1.3 Kretniško postavljalno

Kretniško postavljalno je pritrjeno navadno na dva dolga praga pri vrhu ostric. Ostrici sta med seboj povezani z zveznim drogom in ta je v zvezi s postavljalom prek postavljalnega droga. Za gibanje ostric je navadno potrebno uporabiti več zveznih drogov vzdolž ostric. Za zavarovanje pravilne lege in tesno prileganje ostric je potrebno vgrajevati *kretniške zapave*.

Kretnice se postavljajo ročno (zastarelo) ali na daljavo iz postavljalnice. Postavljalni motorji so z močjo navzgor omejeni, da ne poškodujejo ostric v primeru, da je vmes kakšen predmet v trenutku, ko ostrica pritiska ob tirnico. Prestavna sila, potrebna za postavitev kretnice v drugo lego, tako ne sme presegati 2000 N. Kretnice morajo biti prerezljive pri vožnji po ostrici do hitrosti 60 km/h.

#### 3.1.3.1 Kretniški zapah<sup>9</sup>

Kretniški zapah je konstruktivni del kretnice, ki mora zagotavljati tesno in zanesljivo prileganje ostrice h glavni tirnici (dovoljeno odstopanje 0,5 mm). S tem mora biti zagotovljeno, da sledilni venec ne more zaiti med ostrico in glavno tirnico. Pri puščičastem zapahu je potrebno, da so nasproti ležeče odmaknjene ostrice s pomočjo zveznega droga tesno uklešče v vklopniku (ohišju). Na ta način je zagotovljen potreben prostor med odmaknjeno ostrico in glavno tirnico. Pri prestavljanju puščičastega zapaha se zvezni drog premakne za 220 mm, ostrici pa po 160 mm (hod kretnice). Preostalih 60 mm hoda

<sup>8</sup> Gspan, J. Železnice II. Zgornji ustroj železnic

<sup>9</sup> Pravilnik o zgornjem ustroju železniških prog (str.34)

zveznega droga je potrebnih za zapahovanje in odpahovanje puščičastega zapaha. Kretniški zapah je prikazan na spodnji sliki.



Slika 13: Puščičasti kretniški zapah (vir: Pravilnik o zgornjem ustroju železniških prog)

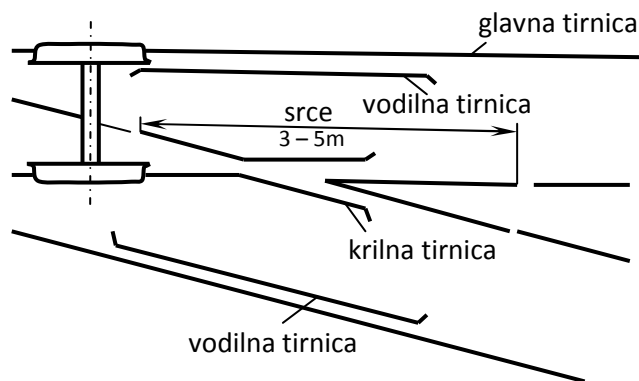
Pri puščičastih zapahih, čigar glavi pravimo tudi lastovičji rep, mora biti enak razmik med levim in desnim zapahom in zveznim drogom. Prav tako morata biti preklopa levega in desnega puščičastega zapaha enaka, enaki morata biti tudi odprtini med glavno tirnico in odmaknjeno ostrico na obeh straneh.

### 3.2 Srednji del

Srednji del kretnice je med menjalom in srčiščem. Sestavljen je iz štirih tirnic (dve zunanji in dve vmesni tirnici), ki tvorijo tir v glavni in tir v odklonski smeri. Izdelan je iz standardnih tirničnih profilov 60E1, 54E1 ali 49E1, ki se pritrjujejo na pragove. Odklonski tir je v krivini s polmerom  $R$ . Tir v odklon pri navadni kretnici ni nadvišan. Vse tirnice ležijo v isti višini. Zaradi tega je hitrost v odklon omejena. Pri navadnih kretnicah je srce v premi in zato se lok konča 1 do 3 m pred srcem, medtem ko gre pri navadnih ločnih kretnicah lok preko srca.

### 3.3 Srčišče

Srčišče je sestavljeno iz srca s krilnimi tirnicami in dveh glavnih tirnic z vodilnima tirnicama.

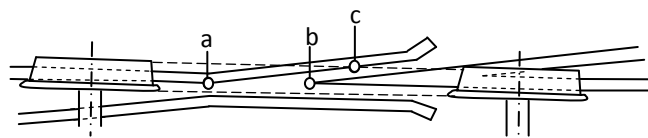


Slika 14: Srčišče

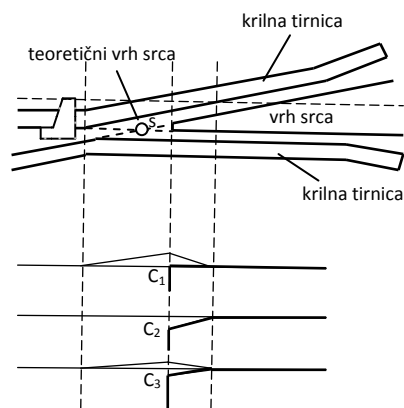
Vmesne tirnice iz srednjega dela so zavite v krilne tirnice in med njimi je vrh srca. Vrh srca bi bil izpostavljen udarcem pri vožnji proti vrhu srca, zato srce ni ošiljeno do točke S (teoretični vrh srca), temveč je iz konstruktivnih ozirov skrajšano za toliko, da je na koncu debelo še 5 mm.

Na mestu brez vodila vozi kolo po krilni tirnici. Zaradi koničnosti obroča se kolo pri vožnji po krilni tirnici spušča, zato mora biti vrh srca nižji od krilne tirnice. Isti učinek se lahko doseže na tri načine kot jih kaže slika 16, t.j. da se zviša krilno tirnico, da se zniža vrh srca ali da se nekoliko zviša krilno tirnico ter hkrati nekoliko zniža vrh srca. Zadnji način je tudi najboljši.

a.)



b.)



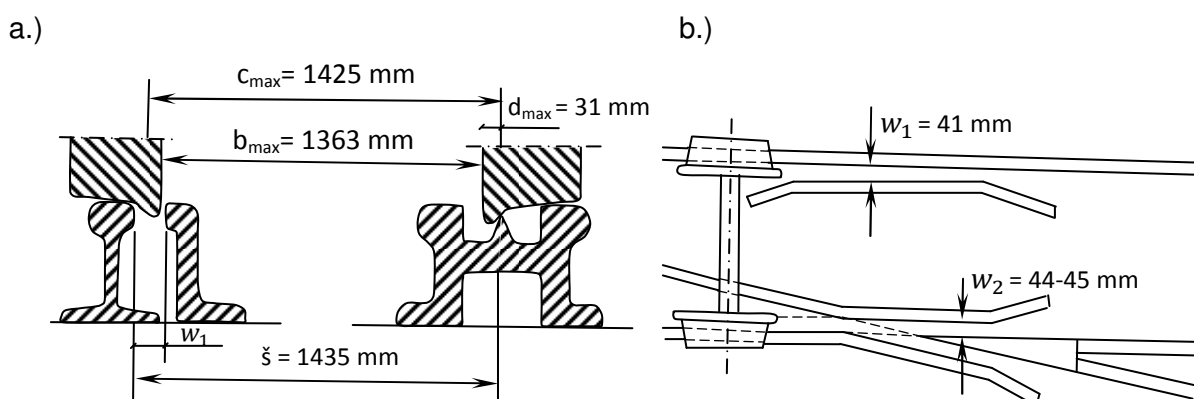
Slika 15: a.) Prehod kolesnega venca preko srčišča

Slika 16: b.) Izvedba vrha srca

Od točke a do b je vozna tirnica prekinjena zaradi žleba (slika 15). Dolžina odseka  $\overline{ab}$  je odvisna od kota križanja  $\alpha$  in od širine žleba  $w_2$ . Na tem mestu je zagotovljena vožnja kolesa po pravem žlebu na sledeči način: kolo, ki vozi skozi srce, je z osjo v zvezi z drugim kolesom, to drugo kolo pa se ne more odmakniti od glavne tirnice, ker mu to brani vodilna tirnica.

### 3.3.1 Vodilni tirnici

Nameščeni sta ob zunanjih tirnicah. Njuna vloga je, da s svojim notranjim robom vodita kolo v območju, kjer drugo kolo kolesne dvojice pelje prek srca. Narejene so iz tirnic specialnega preseka ali iz vodilnih tirnic z odbijačem. Vodilne tirnice so za 20 mm višje od glavnih. Pri vodilnih tirnicah je zelo pomembna natančno določena razdalja od vozni robov glavne tirnice, kajti ta razmak prisili kolo v pravo smer. Zato se pri pregledu meri tudi širino žleba pri vodilni ( $w_1$ ) in krilni tirnici ( $w_2$ ).



Slika 17: a.) širina žleba  $w_1$

Slika 18: b.) kolesna dvojica na območju srčišča

Iz slike 17

Slika 17 izpeljemo enačbo za širino žleba med vodilno in glavno tirnico:

$$w_1 = \check{s} - (b_{max} + d_{max}) \quad (3)$$

Kjer je:

$\check{s} = 1435 \text{ mm}$ .....tirna širina

$b_{max} = 1363 \text{ mm}$ .....maksimalna razdalja med kolesnima vencema

$d_{max} = 31 \text{ mm}$ .....maksimalna debelina sledilnega venca

Sledi:

$$w_1 = 1435 - (1363 + 31) = 41 \text{ mm}$$

Razdalja med vrhom srca ter vodilno tirnico mora biti potem:

$$1435 - 41 = 1394 \text{ mm}$$

V primeru kretnice z odklonskim polmerom manjšim od 200 m se v območju vodilne tirnice širina žleba  $w_1$  poveča za + 6 mm (skupno 47 mm), zato se poveča tudi širina tira za enako vrednost.

Žleb  $w_2$  med vrhom srca in krilno tirnico (slika 18) mora biti tolikšen kot smo ga že določili na korenu ostrice, da zadostuje za prehod kolesnega obroča pri  $b_{min}$  in  $d_{min}$ , kar znaša 58 mm ( $1435 - 1457 - 20 = 58$  mm). Ker pa je od širine žleba  $w_2$  odvisna dolžina  $\overline{ab}$ , kjer je vozna tirnica prekinjena, želimo da bi bil ta žleb čim manjši. Širino žleba zato določimo iz naslednjega obrazca:<sup>10</sup>

$$w_{2 \min} = \check{s} - b_{\min} - \frac{1}{2}(c_{\max} - b_{\min}) \quad (4)$$

$$w_{2 \min} = 1435 - 1357 - \frac{1}{2}(1425 - 1357) = 44 \text{ mm}$$

$$w_{2 \max} = 49 \text{ mm}$$

Dolžina  $\overline{ab}$ , na kateri kolo nima vodstva, se izračuna po obrazcu:<sup>11</sup>

$$\overline{ab} = y = \frac{w_2}{\sin \alpha} \quad (5)$$

Pri kretnicah, kjer je srce v premi, je kot  $\alpha$  vrha srca enak kotu kretnice. Pri kretnicah, kjer gre lok odklonskega tira preko srca, pa je kot kretnice večji kakor kot srca.

Globina žleba mora biti najmanj 38 mm, da tudi venec iztrošenega obroča ne zadene ob dno. Zaradi snega in drugih predmetov, ki bi mogli zaliti žleb, pa je ta navadno globok 48 do 51 mm.

Da vozilo ne pripelje sunkovito v žleb med krilno tirnico in srcem ali med vodilno tirnico in glavno tirnico, so uvozna in izvozna grla teh žlebov pod blagim vzdolžnim nagibom (1:150), tako da postopoma usmerjajo kolo proti vrhu srca samo v področju srca. To pomeni da imajo širine žlebov pri vodilni in krilni tirnici predpisane minimalne vrednosti.<sup>12</sup>

<sup>10</sup> Gspan, J. Železnice II. Zgornji ustroj železnic

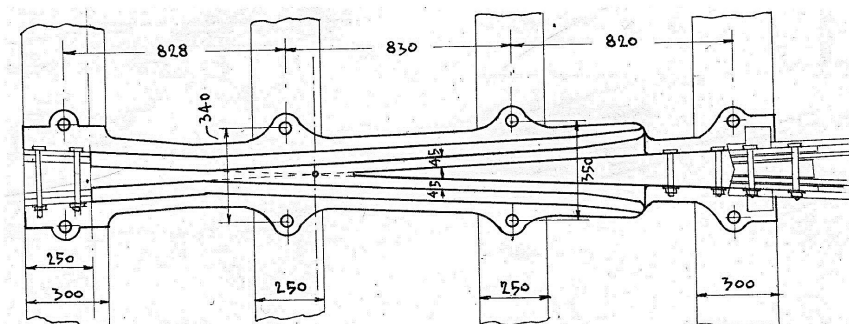
<sup>11</sup> Gspan, J. Železnice II. Zgornji ustroj železnic

<sup>12</sup> Tomičič – Torlaković, M. Gornji stroj železnica

### 3.3.2 Srce

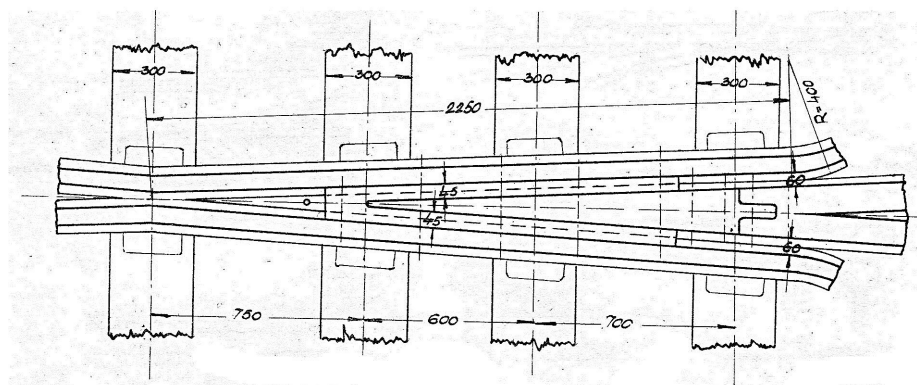
Po vrsti in načinu izdelave razlikujemo sledeče vrste kretniških src:

- a) *Lita srca*. Pri teh je vrh srca lit v enem kosu s krilnimi tirnicami. Imenujemo jih tudi "monoblok" srce. Material za lita srca je legirano jeklo Mn ali Cr – Mn, trdnosti najmanj  $800 \text{ N/mm}^2$ . Za sistem 60E1. Slovenske železnice predpisujejo uporabo teh src.



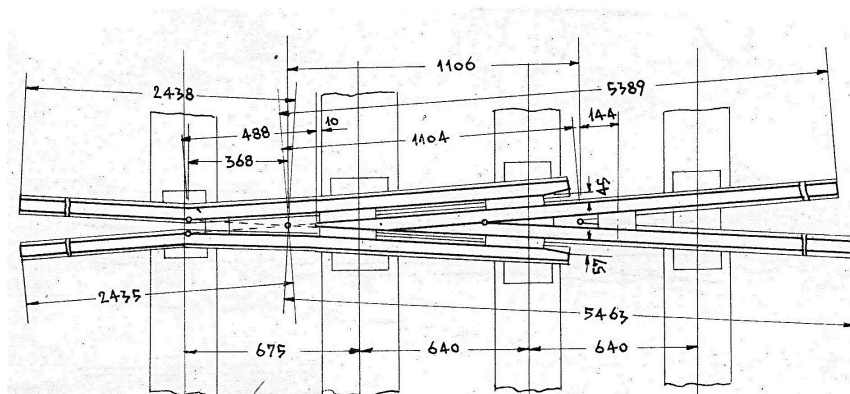
Slika 19: Monoblok srce (vir: Gspan, J. Železnice II. Zgornji ustroj železnic)

- b) *Sestavljeno srce*. Pri takem srcu je vrh srca lit, krilne tirnice pa so z njim povezane s posebnimi vložki in visokonateznimi vijaki. Pri lesenih pragih je tako srce na podložni pločevini. Tirnice za »sestavljeno srce iz tirnic« morajo biti iz posebnega jekla, trdnosti najmanj  $900 \text{ N/mm}^2$ , krilne tirnice pa morajo imeti v glavi trdnost najmanj  $110 \text{ N/mm}^2$ . To je starejši tip srca, ki se uporablja le še redko.



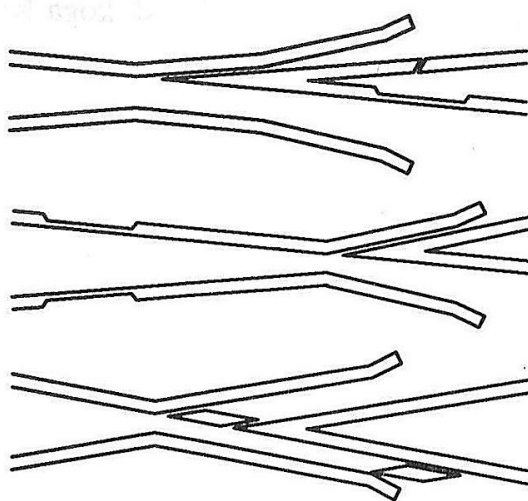
Slika 20: Sestavljeno srce (vir: Gspan, J. Železnice II. Zgornji ustroj železnic)

- c) *Srce sestavljeno iz tirnic*. Tirnice, ki so skovane v vrh srca, so posebne oblike. Pri srcih iz tirnic razlikujemo levo in desno srce. Bistvo je v tem, da se tirnica bolj obremenjenega tira podaljša do vrha srca. Se ne uporablja več – stara izvedba.



Slika 21: Srce sestavljeno iz tirnic (vir: Gspan, J. Železnice II. Zgornji ustroj železnic)

- d) *Pomično srce*. Teh oblik na omrežju Slovenskih železnic še ni, jih pa uporabljajo na zahodu na hitrih progah. Žleba med tirnico in vrhom ni, zato vodilni tirnici postaneta odvečni. Obstaja več možnosti za zapiranje žlebov in ustvarjanje neprekinjene poti kotaljenja koles: pomičen vrh srca, pomični krilni tirnici ali pomični klini za zapiranje žlebov.



Slika 22: Pomična srca (vir: Tomičić – Torlaković, M. Gornji stroj železnica)

### 3.4 Preme pred, med in za kretnicami

Preme je potrebno vstaviti ob kretnice zato, da se lahko vozilo umiri. Pri določevanju dolžine vmesne preme je potrebno razlikovati kretnice z ločnim srcem in kretnice z ravnim srcem. V obeh primerih se vmesna prema meri od konca enega do začetka drugega loka. Pravilnik ureja naslednje primere vgrajevanja vmesnih prem:

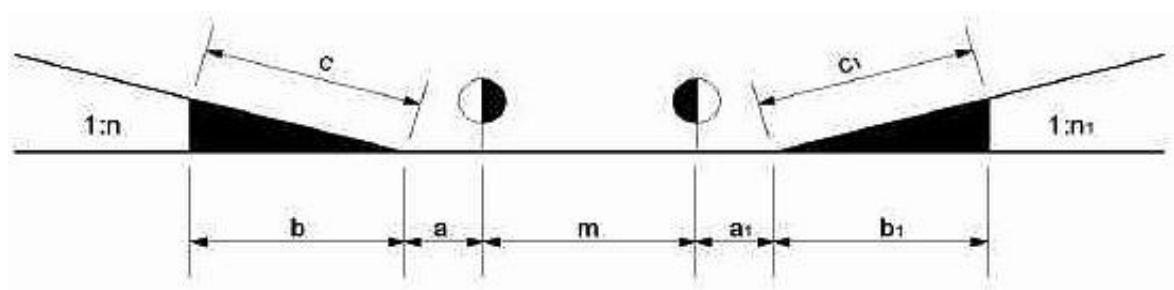
a) Vmesna prema (vmesna krivina pri krivinskih kretnicah) med začetkoma dveh kretnic z odklonskima tiroma v nasprotnih smereh znaša:

$$m = 0,15V \quad \text{pri } V > 65 \text{ km/h} \quad (6)$$

$$m = 0,10V \quad \text{pri } V < 65 \text{ km/h} \quad (7)$$

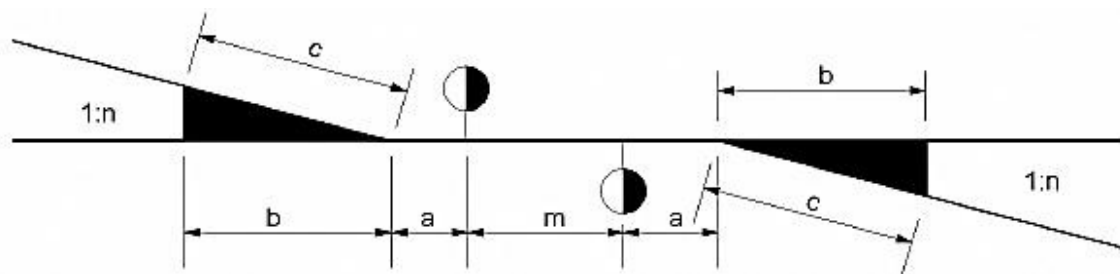
$V$  je omejena hitrost preko kretnice, ki je izračunana glede na manjši odklonski polmer, z  $m$  pa je označena dolžina vmesne preme.

Pri kretnicah s polmerom  $R < 200 \text{ m}$  mora biti dolžina vmesne preme vsaj  $6 \text{ m}$ , če pa je potrebno med kretnici vgraditi izolirni stik, pa mora vmesna prema meriti najmanj  $7 \text{ m}$ .



Slika 23: Vmesna prema med začetkoma kretnic z odklonskim tirom na nasprotni strani (vir: Pravilnik o zgornjem ustroju železniških prog)

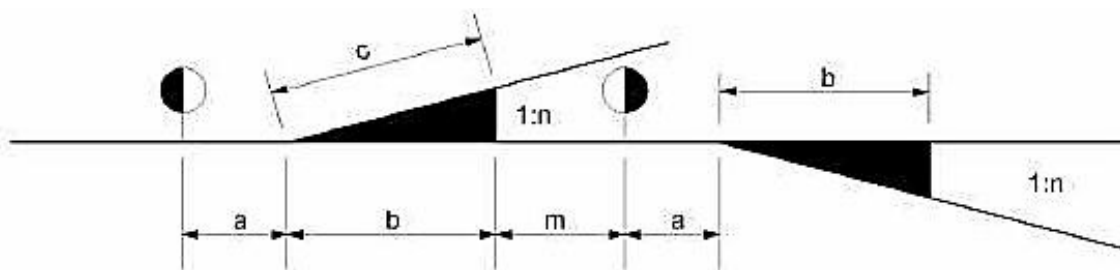
- b) Vmesna prema med začetkoma dveh kretnic z odklonskima tiroma v isti smeri se lahko opusti pri kretnici, ki imajo tangencialne ostrice. Pri ostalih kretnicah pa je potrebna vmesna prema z dolžino najmanj 6 m.



Slika 24: Vmesna prema med začetkoma kretnic z odklonskim tirom na isti strani (vir: Pravilnik o zgornjem ustroju železniških prog)

- c) V primeru ko se začetek kretnice priključuje na konec kretnice (v kretniških nizih), mora biti takšna vmesna prema, ki zagotavlja vgradnjo normalnih progovnih pragov v območju menjala naslednje kretnice. Če je med kretnicama izoliran stik, je potrebna vmesna prema:

$$m = 7 \text{ m}$$



Slika 25: Vmesna prema med koncem in začetkom naslednje kretnice (vir: Pravilnik o zgornjem ustroju železniških prog)

Med kretnicama, ki se vgrajujeta v enotni krožni lok  $R_0$ , ni potrebno izvesti vmesne preme. Tir z radijem krožnega loka, enakim radiju odklonskega tira kretnice, se lahko nadaljuje zvezno tudi v območju dolgih skupnih pragov kretnice.

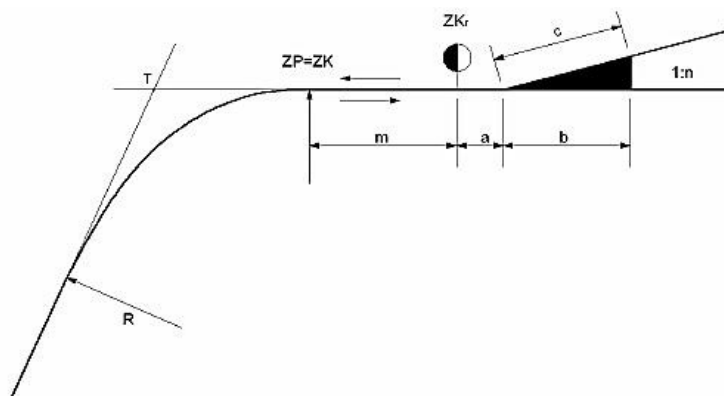
d) Med začetkom prehodne klančine oziroma prehodnice in začetkom kretnice je treba vgraditi vmesno premo:

- pri novogradnjah  $m = 0,20V_{max}$  (8)

- pri nadgradnji in obnovi obstoječih prog:  $m = 0,10V$ , za hitrost  $V < 65 \text{ km/h}$  (9)

$$m = 0,15V, \text{ za hitrost } V > 65 \text{ km/h} \quad (10)$$

Vmesna prema ne sme biti krajša od 6m,  $V$  pa označuje hitrost v odklonski smeri.



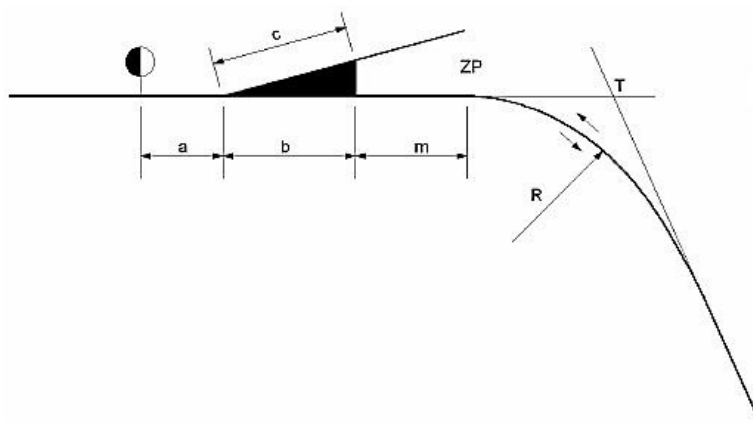
Slika 26: Vmesna prema pred kretnico (vir: Pravilnik o zgornjem ustroju železniških prog)

e) Vmesna prema med koncem kretnice in začetkom krožnega loka s prehodnico ali brez nje mora biti pri:

- novogradnjah  $m = 0,20V_{max}$  (11)

- obnovi obstoječih prog:  $m_{min} = 6 \text{ m}$  (12)

Priključni lok se lahko prične šele za zadnjim skupnim pragom.



Slika 27: Vmesna prema za kretnico (vir: Pravilnik o zgornjem ustroju železniških prog)

### 3.5 Vgrajevanje

Pri montaži in vgradnji kretnic je potrebno upoštevati načrte in navodila proizvajalca ter navodila standardov SIST EN 13232-1 do SIST EN 13232-7 in SIST EN 13232-9, TSI-Infrastruktura ter TS-Z.

Pri gradnjah, nadgradnjah in obnovah glavnih železniških prog se na odprti progi in na glavni postajnih tirih vgrajujejo nove kretnice oblik 60E1 in 54E1. Na stranskih postajnih in industrijskih tirih pa se vgrajujejo kretnice oblike 49E1.

Pri nadgradnji in obnovi odprte proge in postajnih tirov regionalnih prog ter postajnih tirov glavnih prog, z izjemo glavnih prevoznih tirov, se lahko vgrajujejo tudi rabljene kretnice standardnih oblik, če njihova obraba ne presega dovoljenih toleranc.

Kretnice se ne sme vgrajevati na:

- nagibih,  $i > 10 ‰$ , razen kadar gre za industrijske tire oziroma drče ranžirnih postaj;
- nivojske prehode. Minimalna oddaljenost kretnice od nivojskega prehoda mora biti po izvedeni nadgradnji ali obnovi 20 m;
- premičnih delih premostitvenih konstrukcij. Med premičnimi deli premostitvenih konstrukcij, skupne dolžine več kot 40 m, in med kretniškim menjalom morajo biti zagotovljene naslednje dolžine:

Preglednica 1: Najmanjše dolžine med premičnim delom premostitvene konstrukcije in menjalom kretnice (vir: Pravilnik o zgornjem ustroju železniških prog)

| Skupna dolžina premostitvene konstrukcije | Najmanjša dolžina med premičnim delom konstrukcije in menjalom |
|-------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|
| 41 m in 60 m                              | 10 m                                                           |
| 61 m in 90 m                              | 20 m                                                           |
| 91 m in več                               | 30 m                                                           |

Tirna vozila in geometrija kretnic povzročata nastanke dodatnih dinamičnih sil. Taka obremenitev vpliva na povečano obrabo kritičnih delov kretnic. Najintenzivnejšo obrabo ima srčišče, ostrici se obrabljata počasneje. Srčišče najpogosteje odpove zaradi doseganja mejne vrednosti obrabe zaradi kontaktnih pritiskov in utrujenosti materiala litih delov srca in

krilne tirnice. Zato je potrebno da so tirnice v kretnicah vsaj enake oziroma močnejše oblike kot tirnice tira, v katerega se kretnica vgrajuje. Višje trdote so tudi ostali sestavni deli kretnice, tako je trdnost kretnice kot celote za 30 do 40 % večja od trdnosti tira enakih tirnic na enaki tirni gredi.

Pred vgraditvijo kretnice mora biti spodnji ustroj pravilno izveden in utrjen, nagib planuma mora zagotavljati potrebno odvodnjavanje, zagotovljeno mora biti vzdolžno dreniranje planuma. Po potrebi se vgradi tamponski sloj minimalne debeline 20 cm oziroma v skladu z rezultati geomehanskega poročila. Vsa zemeljska dela je treba izvesti v suhem vremenu in pri temperaturi nad 0 °C.

Tirna greda v kretnici mora biti iz tolčenca zrnivosti 22,4 mm – 63 mm. Biti mora čista, obstojna na mraz in obrus ter imeti predpisano obliko in enakomerno višino. Izpolnjevati mora iste pogoje kot zahteva pravilnik za tirno gredo v progi.

Kretniški pragi morajo biti ravni, ležišča za drsne blazine in podložne plošče pa morajo biti v isti ravnini. V menjalu se morajo vgrajevati ostro robni pragi, uporaba topo robnih pragov na srednjem delu kretnice pa je dopustna, če na tem delu niso predvidene naprave za preprečevanje vzdolžnega pomikanja tirnic. Razpored, dolžina in razmik pragov morajo biti skladni s projektno dokumentacijo kretnice. Leseni pragi morajo imeti osnovno, začetno dolžino 2,6 m, nato pa se morajo podaljševati s korakom 0,1 m na meter proge. Kretniški pragi morajo biti označeni z zaporednimi številkami vgradnje pragov v skladu z načrti kretnic.

Kretniški deli se morajo pazljivo nakladati in razkladati s primernimi orodji in opremo za dvigovanje ali spuščanje. Prepovedano jih je prosto spuščati po legah ali jih metati z vagona. V skladišču ali na deponiji se morajo kretniški deli zložiti na lesene lege, ki so postavljene v razmiku do 5 m, debeline najmanj 10 cm. Biti morajo ena nad drugo, če se deli zlagajo v več vrst. Kretnice se montirajo po projektni dokumentaciji ali izvedbenem načrtu na vodoravnem montažnem odru. Izvede se interni prevzem z zapisnikom. Vsi stiki v kretnici so brez dilatacij, če s projektno dokumentacijo ni drugače določeno.

Kretnice, ki se bodo varile v NZT, morajo imeti na vseh koncih tirnic izvrtano po eno luknjo. Prav tako morajo biti vsi vgrajeni deli prirejeni za vključitev v signalnovarnostne naprave (električna neprevodnost). Stika na začetku kretnic morata biti pravokotna v tolerančnem območju 2 mm. Zaradi kontrole pravokotnosti začetka kretnice je treba pred varjenjem pravokotnost stika zavarovati z oznako na primernem mestu. Začetka ostric morata biti

vedno na ničelni točki (predpisani oddaljenosti od začetka kretnice), ki se zavaruje na enak način kot začetek kretnice.

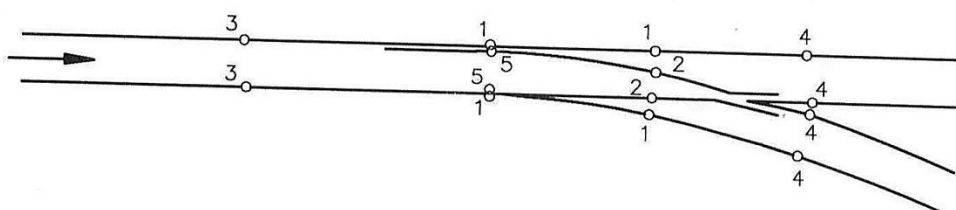
Vse sestavne dele kretnice je potrebno označiti na tak način, da bo položaj pri ponovni sestavi kretnice v celoti nedvoumno jasen in v skladu z montažnim načrtom.

Za pritrdilni material se uporablja naslednje sisteme: togi, »K«, elastični, SLK 2, 12 in Pandrol. Ves spojni in pritrdilni material, kakor tudi podložne plošče, morajo biti antikorozivno zaščiteni. Kretnico proti vzdolžnemu pomiku zavarujemo z MATHEE sponkami.

### 3.5.1 Varjenje

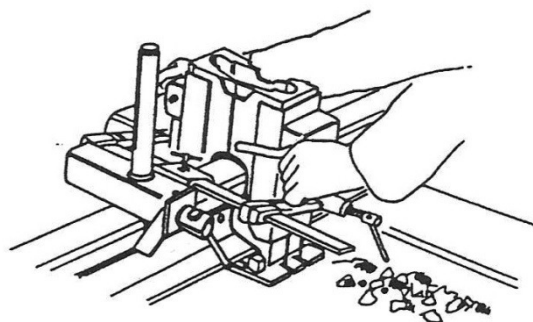
Z željo po uvajanju večje hitrosti, povečanju udobnosti in varnosti vožnje, se vedno bolj uporablja kretnice z velikimi polmeri. Za uresničitev teh želja pa je bilo potrebno spremeniti tudi tehnologijo vgrajevanja kretnic. Če so v preteklosti kretnice z vijačenimi stiki vgrajevali v tir, jih danes izključno varimo v dolgi tirni trak. Vse to vpliva na povečane dolžine kretnic ter porast temperaturnih napetosti v njih. Te napetosti pa ponovno predstavljajo nevarnost za stabilnost, pravilnost delovanja kretnice in kakovostno vožnjo po njej.

Kretnice varimo pri temperaturi od 0°C do +25° C. Pritrdilni material je potrebno pred varjenjem odviti in ga po ohladitvi zvara spet priviti. Kretnice se varijo v naslednjem vrstnem redu: najprej zvarimo notranje stike na zunanjih tirnicah, nato privarimo vmesni tirnici na krilni tirnici, stika na začetku kretnice, vse štiri stike na koncu kretnice in nazadnje še stika na obeh ostricah, pri čemer je potrebno posebno pozornost nameniti položaju ostric v odnosu na pripadajoči zunanji tirnici. Vrstni red varjenja sestave kretnice je podan na spodnji sliki.



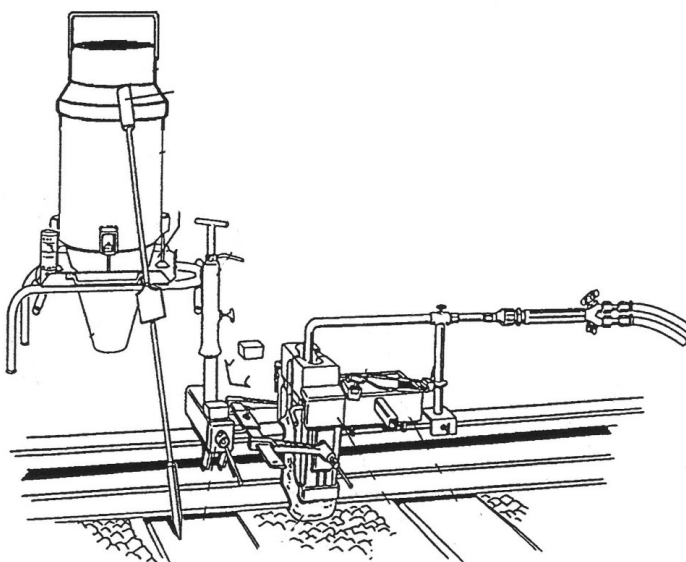
Slika 28: Vrstni red varjenja (vir: Tomičič – Torlaković, M. Gornji stroj železnica)

Postopek varjenja posameznega stika poteka tako, da se najprej očisti in skrtiči konce tirnic, ki jih varimo. S tem se odstrani vso maščobo in rjo. Nato se izvede uravnavanje stika, pri katerem se preveri vodoravna uravnanost tirnic, ter nagib tirnici na obeh straneh stika. Ko so tirnice uravnane, se na stik namesti kalup, ki se ga nadalje segreva z gorilnikom 4 do 5 minut.



Slika 29: Priprava kalupa na mestu stika (vir: Priročnik št. 121, Postopek aluminotermičnega varjenja tirnic, Railtech international)

Predgretje je za kvaliteto stika bistvenega pomena. Med predgretjem se pripravi varilni lonec, ki se ga nato namesti – centrira nad kalup. V lonec stresemo varilno porcijo, reakcijo katere sprožimo z vžigalico, in nato lonec pokrijemo s pokrovom. Reakcija se razvije v nekaj sekundah in ulivanje se začne avtomatsko po reakciji. Sledi odstranjevanje kalupov, obrezovanje zvara ter grobo brušenje, s čemer oblikujemo stik. Dokončno brušenje se izvede šele po dokončni ohladitvi. O vsakem zvaru se vodi zapisnik zvara, ki vsebuje podatke o mesecu izdelave, številki zvara ter varilcu.



Slika 30: Orodje in pripomočki za varjenje (vir: Priročnik št. 121, Postopek aluminotermičnega varjenja tirnic, Railtech international)

### 3.6 Vzdrževanje

Kretnica je specialna naprava v zgornjem ustroju železniških prog, ki predstavlja prekinitev kontinuirane poti vožnje tirnih vozil in je s tem tudi motilni faktor v sistemu vozilo – tir. Na relativno kratki razdalji tira se dogaja vrsta sprememb. Posebnosti konstrukcij kretnic neizogibno ustvarjajo neravnine na poti kotaljenja koles, tako v vertikalni kot tudi v horizontalni ravnini, kar proizvaja dodatne dinamične sile pri prehodu vozil. Te sile povzročajo hitrejšo obrabo delov kretnic in zbiranje zaostalih deformacij kot pri navadnem tiru. Zaradi tega odpade od skupnih stroškov vzdrževanja zgornjega ustroja na kretnice več kot 20 %. To pomeni, da kvaliteta konstrukcije kretnice bistveno vpliva na skupno ceno zgornjega ustroja.

Zaradi specifičnosti konstrukcije kretnic so stroški vzdrževanja približno trikrat večji od vzdrževanja tira. Na življenjsko dobo kretnic vpliva:

- njena prometna obremenitev,
- hitrost vožnje preko nje,
- njen geometrijski položaj in konstrukcija,
- stabilnost in odvodnjavanje planuma.

Povprečna življenjska doba kretnic je od 18 do 25 let, a se jo lahko z dobrim vzdrževanjem še podaljša.

Z merjenjem kretnice se preverja:

- širina tira,
- višinski odnos tirnic,
- smer in niveleta kretnice,
- pravokotnost in posedenost stikov,
- prileganje in odprtina ostric,
- potrebna sila za prestavljanje ostric,
- mere žlebov,
- stabilnost kretniških pragov,
- naleganje ostric na drsnike,
- zvarjena in navarjena mesta,
- morebitno pomikanje posameznih delov kretnice,
- velikost dilatacij na stikih,
- obraba tirnic, srca in ostric.

Kretnica je pravilna in varna za promet, če so vse mere v mejah dovoljenih odstopanj in če je brez poškodb, dotrajanih in vegavih delov. Za varno vožnjo preko kretnice je pomembno, da ostrice pravilno bočno nalegajo ob zunanjo tirnico in na drsnike. Poškodovani in pokvarjeni deli se morajo takoj zamenjati z novimi ali obnovljenimi deli. Če sta v menjalu dotrajana vrh ostrice in zunanja tirnica, v srcu kretnice pa vrh srca ali krilne tirnice, je potrebno zamenjati v kompletu vrh ostrice z zunanjo tirnico, kakor tudi vrh srca s krilno tirnico. Pri obnovi posameznega dela kretnice morajo biti novi deli za vgradnjo podaljšani glede na osnovno dolžino za 60 cm v vse smeri oziroma v skladu s tehničnimi podatki iz posameznega naročilnega lista kretniškega dela. Tako je določeno v Splošnih zahtevanih pogojih pri izdelavi posameznih kretniških delov. Kretnico je potrebno redno čistiti, vse drsne površine pa mazati.

Pragovi morajo biti iz trdega lesa in ostrorobi. Pri pregledu se ugotavlja, če so v tehnično brezhibnem stanju, predpisanem številu in pravilno razporejeni. Trhle in mehansko poškodovane pragove je potrebno zamenjati.

Najboljši tolčenec za tirne grede je iz eruptivnih kamenin. Odvodnjavanje mora biti dobro urejeno, če je potrebno tudi z drenažo. Pri slabem materialu nasipa je potrebno vgraditi tamponski sloj.

Za preverjanje osnovnih delov kretnice (zunanjih tirnic, vrhov ostric, vrha srca idr.) glede na izrabljenost se uporablja šablone. Napokanost in poškodbe v jeklu tirnic kretnice se preverja z ultrazvokom. Pri tem se odloči ali je bolj ekonomično obnoviti (tj. navariti in zbrusiti poškodovane dele) ali zamenjati izrabljene dele z novimi ali obnovljenimi deli. Ta obnova ali zamenjava tirnic ali delov kretnic mora biti pravočasna, najkasneje v času vzdrževalnih del, še bolje pa pred začetkom podbijanja pragov in regulacije tirov.

Za podbijanje pragov v kretnicah obstajajo specialni podbijači ali pa so ti stroji univerzalni za tir v kretnicah in izven njega. Delo s stroji zahteva tirno gredo določene debeline, kvalitete zrn in čistost. Če je zelo težko narediti čisto gredo (posebno pri podmazanju nekaterih delov), je primerneje uporabiti ekipe za ročno podbijanje, opremljene z lahkim mehničnim podbijačem.

Redni pregledi kretnic z merili se na odprti progi, glavnih postajnih tirih in posebej obremenjenih kretnicah na ranžirnih postajah izvajajo vsake tri mesece, glavni pregled pa se izvaja enkrat na leto. Datum pregleda kretnic se vpisuje v Prometni dnevnik prometnega

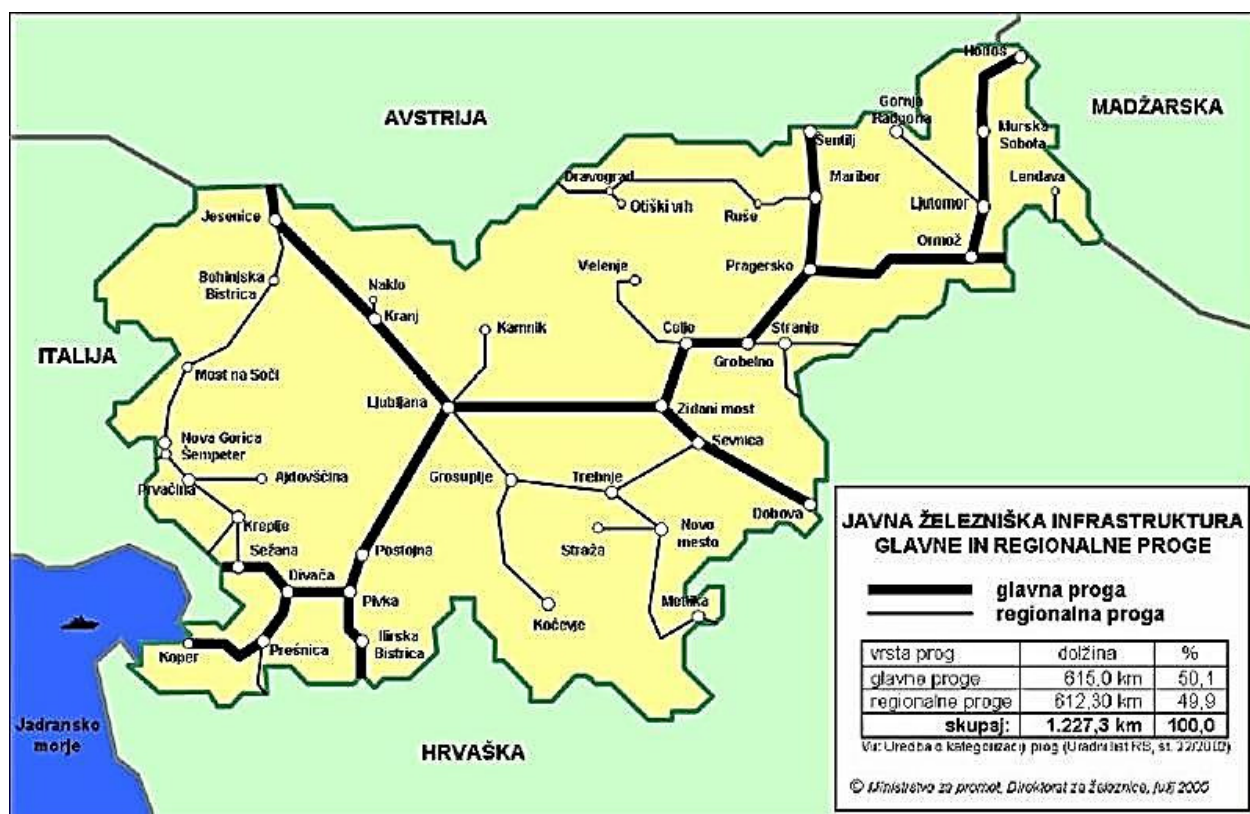
mesta, na katerem je bil opravljen. Rezultati pregledov in meritev ter s tem povezani ukrepi se vpisujejo v knjigo merjenja kretnic, ki jo vodi odgovorni za izvedbo pregleda.

Posebno pozornost se posveča kretnicam:

- na odsekih proge za visoke hitrosti,
- v krivinskih tirnih zvezah z nadvišanji,
- na glavnih prevoznih tirih, kadar se največ vozi po odklonskem tiru kretnice,
- na ranžirnem področju (glavne razdelilne kretnice),
- na nezadostno nosilnem spodnjem ustroju.

### 3.7 Interoperabilnost

Interoperabilnost pomeni sposobnost železniškega sistema, da pri zahtevani stopnji zmogljivosti zagotavlja varen in neprekinjen promet vlakov na vseevropskem železniškem omrežju. Namen interoperabilnosti je poenotenje, usklajenost železniških prog, ki sestavljajo vseevropsko železniško omrežje. Torej morajo pogoje interoperabilnosti na slovenskem železniškem omrežju izpolnjevati glavne proge, ki so vključene v 5. in 10. panevropski koridor. Za regionalne proge teh pogojev ni potrebno upoštevati.



Slika 31: Železniško omrežje v republiki Sloveniji (vir:

[http://www.mzpi.gov.si/si/delovna\\_podrocja/zeleznice\\_in\\_zicnice/javna\\_zelezniska\\_infrastruktura/](http://www.mzpi.gov.si/si/delovna_podrocja/zeleznice_in_zicnice/javna_zelezniska_infrastruktura/))

Pogoji za doseg interoperabilnosti se nanašajo na izpolnjevanje t.i. *bistvenih zahtev* in sicer pri:

- projektiranju,
- gradnji,
- vključitvi v obratovanje,
- nadgradnji in
- obratovanju.

Te zahteve so določene v Direktivi EU 2008/57/ES o interoperabilnosti vseevropskega železniškega sistema. Ta direktiva je prenesena v slovenski pravni red z Zakonom o varnosti v železniškem prometu (Ur.l. RS, št. 60/2011).

*Bistvene zahteve* se nanašajo na:

- varnost,
- zanesljivost in razpoložljivost,
- varovanje zdravja,
- varovanje okolja,
- tehnično združljivost.

### 3.7.1 Tehnične specifikacije za interoperabilnost – TSI

TSI (technical specification for interoperability) so smernice, ki urejajo podsystem ali del podsystema z namenom izpolnjevanja bistvenih zahtev oz. z namenom zagotovitve interoperabilnosti. TSI so izdelani za posamezne podsysteme.

Železniški podsystemi:

- infrastruktura,
  - energija,
  - nadzor in vodenje prometa,
  - upravljanje prometa,
  - vozna sredstva,
  - vzdrževanje in nega vlakov,
  - informacijski sistem – IS.
- } operativni podsystemi

## TSI za podsistem infrastruktura

Vsebina TSI določa:

- področje uporabe;
- bistvene zahteve za infrastrukturni podsistem;
- funkcionalne in tehnične specifikacije, ki jih morajo izpolnjevati podsistem in vmesniki z drugimi podsistemi;
- komponente interoperabilnosti in vmesnike (deli podsistema od katerih je posredno ali neposredno odvisna interoperabilnost podsistema);
- postopke na eni strani za ocenjevanje skladnosti in primernosti za uporabo komponent interoperabilnosti, ter na drugi strani za ES-verifikacijo podsistemov;
- strategijo uvajanja TSI;
- pogoje glede strokovne usposobljenosti, zdravja in varnosti pri delu, ki se zahtevajo za osebje pri obratovanju in vzdrževanju podsistema, pa tudi pri izvajanju te TSI.

TSI podsistem infrastruktura se deli na:

- TSI – podsistem: infrastruktura za proge za visoke hitrosti in
- TSI – podsistem: infrastruktura za proge za konvencionalne hitrosti.

### 3.7.1.1 TSI – pogoji za kretnice

Na slovenskem železniškem omrežju uporabljamo TSI - podsistem: infrastruktura za proge za konvencionalne hitrosti. V področje uporabe te TSI spadajo tudi kretnice, za katere predpisuje posebne pogoje z namenom zagotavljanja interoperabilnosti.

Ti pogoji se nanašajo na:

- Primanjkljaj nadvišanja na tiru na odprti progi in na tiru s kretnicami.

Za vlake, ki niso opremljeni s sistemi za kompenzacijo je predpisano, da primanjkljaj nadvišanja na progah s hitrostmi do vključno 200 km/h ne sme presegati:

(a) 130 mm (ali  $0,85 \text{ m/s}^2$  nekompenziranega bočnega pospeška) za tovorni promet.

(b) 150 mm (ali  $1,0 \text{ m/s}^2$  nekompenziranega bočnega pospeška) za potniški promet.

- Nenadno spremembo primanjkljaja nadvišanja na odklonskem tiru kretnic

Določene so najvišje projektirane vrednosti nenadne spremembe primanjkljaja nadvišanja na odklonskih tirih kretnic:

(a) 120 mm za kretnice, na katerih je dovoljena hitrost  $30 \text{ km/h} \leq V \leq 70 \text{ km/h}$ ,

(b) 105 mm za kretnice, na katerih je dovoljena hitrost  $70 \text{ km/h} < V \leq 170 \text{ km/h}$ ,

(c) 85 mm za kretnice, na katerih je dovoljena hitrost  $170 \text{ km/h} < V \leq 200 \text{ km/h}$ .

Za obstoječe serije projektiranih kretnic velja toleranca 20 mm.

- Zahteve pri projektiranju kretnic

Kjer je predpisano projektiranje tirnice (vertikalno ali v nagibu) v kretnicah. Če so tirnice v nagibu, mora biti projektiran nagib v kretnicah enak kot za odprto progo. Nagib se lahko določi z obliko aktivnega dela prečnega prereza glave tirnice. Za kratke tirne odseke med kretnicami in križišči brez nagiba se dovoli vgradnja tirnic brez nagiba. Dovoljen je kratek prehod od tirnic v nagibu do vertikalnih tirnic.

- Kretniški zapah<sup>13</sup>

Pravi, da morajo biti vsi premični deli kretnic opremljeni s kretniškimi zapahi, razen na ranžirnih postajah in drugih tirih, ki se uporabljajo za premik. Kjer najvišja hitrost presega 40 km/h, se vsi premični deli kretnic opremijo s kretniškimi zapahi, razen če se uporabljajo za vožnjo izključno v smeri "po ostrici".

- Geometrijo kretnic v obratovanju<sup>14</sup>

TSI navaja dopustne vrednosti med obratovanjem, ki so združljive z geometrijskimi značilnostmi kolesnih dvojic, kot so opredeljene v TSI za železniški vozni park. Naloga upravljavca infrastrukture je, da določi projektirane vrednosti in z načrtom vzdrževanja zagotovi, da vrednosti med obratovanjem niso zunaj omejitev TSI. Te omejitve so določene kot odstopanja za takojšnje ukrepanje.

Tehnične značilnosti kretnic v obratovanju morajo ustrezati naslednjim vrednostim:

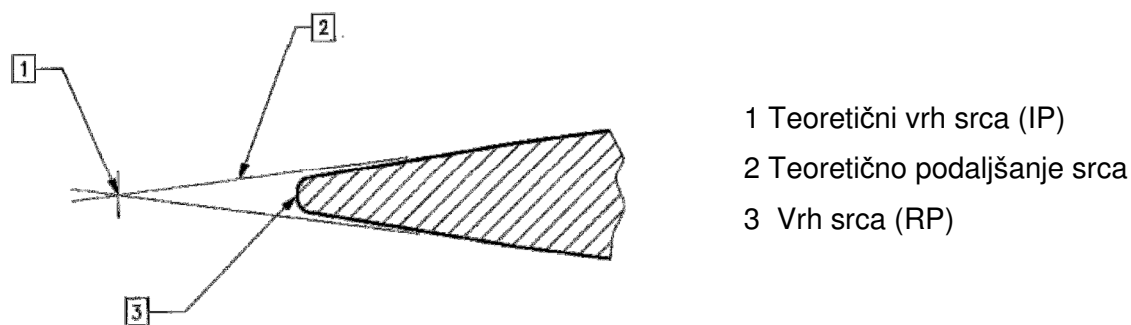
(a) največja širina za neoviran prehod koles preko kretniškega menjala: 1 380 mm;

(b) najmanjša oddaljenost zaščite vrha navadnega srca: 1 392 mm.

Ta razdalja je izmerjena 14 mm pod vozno površino tirnice (zgornjim robom tirnice) in na teoretičnem podaljšanju srca na primerni razdalji od vrha srca (RP), kot prikazuje spodnja slika.

<sup>13</sup> TSI infrastruktura, za konvencionalne hitrosti (4.2.6.1)

<sup>14</sup> TSI infrastruktura, za konvencionalne hitrosti (4.2.6.2)



Slika 32: Skrajšanje navadnega srca (vir: TSI infrastruktura, za konvencionalne hitrosti)

- (c) največja širina za neoviran prehod koles na vrhu srca: 1 356 mm;
- (d) največja širina za neoviran prehod koles na začetku vodilne/krilne tirnice: 1 380 mm;
- (e) najmanjša širina žleba za sledilni venec: 38 mm;
- (f) najmanjša globina žleba za sledilni venec: 40 mm;
- (g) največja višina vodilne tirnice nad zgornjim robom vozne tirnice: 70 mm.

Vse zahteve za kretnice, ki jih podaja TSI za podsistem infrastruktura, veljajo tudi za druge tehnične rešitve, ki uporabljajo ostrice.

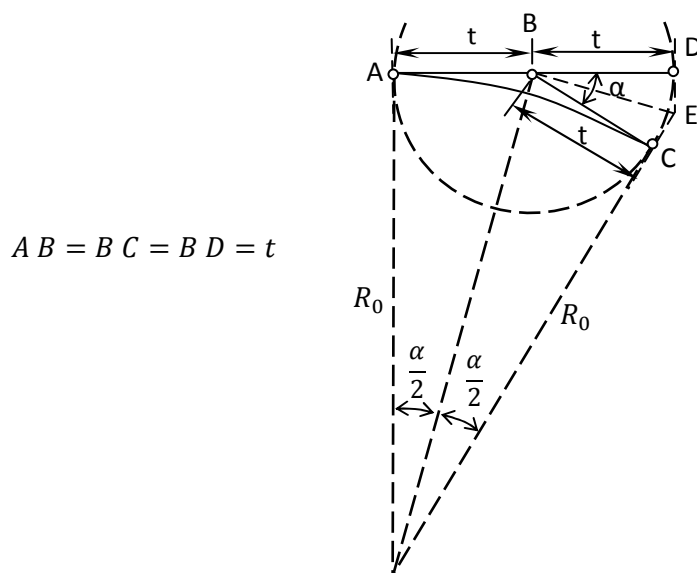
## 4 KRIVINSKE KRETNICE

Enojna navadna ločna kretnica je kretnica, pri kateri poteka lok odklonskega tira preko srca kretnice. Krivinske kretnice pa so tiste kretnice, pri katerih je glavni tir delno ali v celoti v krivini.

Tipi krivinskih kretnic:

- Notranja krivinska kretnica – krivinska kretnica v krožnem loku, pri kateri sta središči krožnih lokov glavnega in odklonskega tira na isti strani.
- Zunanja krivinska kretnica – krivinska kretnica v krožnem loku, pri kateri sta središči krožnih lokov glavnega in odklonskega tira na različnih straneh.
- Parabolična kretnica – krivinska kretnica v prehodnici.
- Notranja parabolična kretnica – krivinska kretnica v prehodnici, pri kateri se odcepi odklonska smer na notranjo stran prehodnice.
- Zunanja parabolična kretnica – krivinska kretnica v prehodnici, pri kateri se odcepi odklonska smer na zunanjo stran prehodnice.

Krivinsko kretnico dobimo iz ločne kretnice, ki ima tangencialni ostrici in ločno srce. Za osnovne oblike teh kretnic je značilno, da so dolžine vseh treh krakov linearne skice enake.



Slika 33: Linearna skica ločne kretnice

Dolžino teh krakov, od začetka do sredine in od sredine do obeh koncev kretnice, imenujemo tangenta kretnice in jo označimo s  $t$ . Točko B, v kateri se vsi kraki sekajo, imenujemo kotna

točka kretnice (KT). Za vsako osnovno obliko kretnice je  $t$  nespremenljiva količina. Polmer odklonskega tira je  $R_0$  in odkloni kot je  $\alpha$  ali  $\operatorname{tg} \alpha = 1:n$ .

Za geometrijsko računanje dobimo naslednjo zvezo med  $R_0$ ,  $t$  in  $\alpha$ :

$$t = R_0 \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} \quad (13)$$

$$\operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} = \frac{m}{t} \quad (14)$$

Če vnesemo  $\frac{m}{t}$  v enačbo (13), dobimo:

$$t = R_0 \frac{m}{t} \quad (15)$$

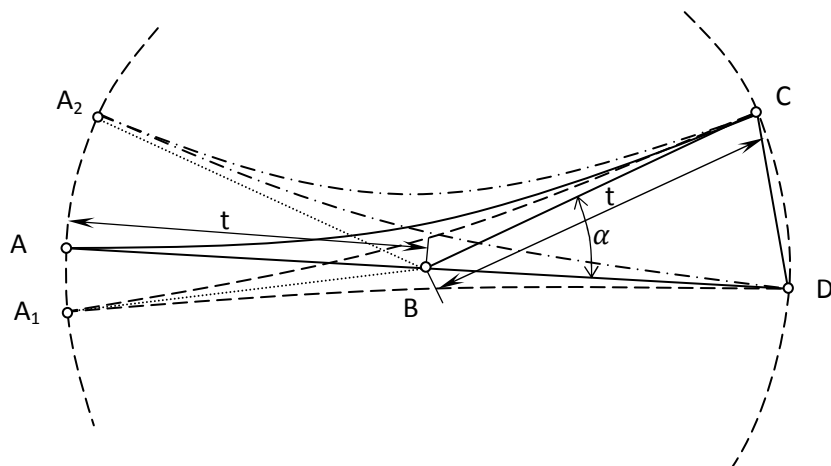
iz tega dobimo:

$$m = \frac{t^2}{R} \quad (16)$$

## 4.1 Računanje krivinskih kretnic

### 4.1.1 Horizontalni elementi kretnic

Osnovna oblika ločne kretnice ja tista z ravnim matičnim tirom. Če ukrivimo matični tir AD (slika spodaj), potem se pomakne točka A po krogu s polmerom  $t$ . Središče je točka B, če predpostavimo, da ležitrikotnik BCD nepremično.



Slika 34: Ločna tirnica – ukrivljanje

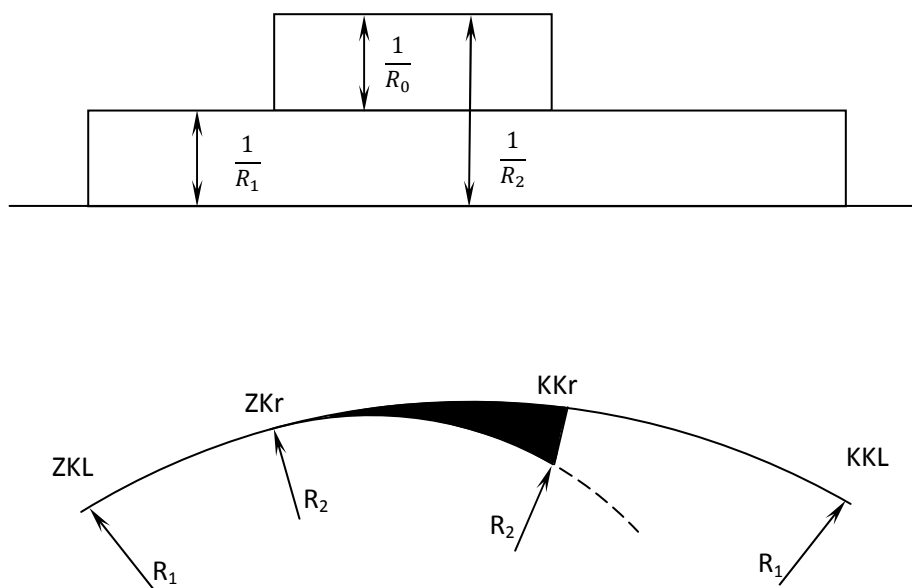
Če podaljšek nove tangente  $A_1B$  deli kot  $\alpha$  v dva dela, potem nastane zunanja ločna kretnica, če pa leži izven kota (podaljšek  $A_2B$ ) pa nastane notranja ločna kretnica.<sup>15</sup>

#### 4.1.1.1 Polmer odklonskega tira

Potrebno je določiti polmer odklonskega tira  $R_2$ , če se matični tir zakrivi v polmer obstoječega tira  $R_1$ . Izraziti je potrebno novo nastali polmer odklonskega tira  $R_2$  s polmerom tira, v katerega bo vložen matični tir  $R_1$ , in s polmerom odklonskega tira v osnovni obliki kretnice  $R_0$ .

Približno si določimo polmer odklonskega tira krivinske kretnice  $R_2$ , če je ta vložena z matičnim tirom v lok s polmerom  $R_1$ , na podlagi slike ukrivljenosti.

Za notranjo krivinsko kretnico dobimo sliko ukrivljenosti odklonskega tira na ta način, da prištejemo k ukrivljenosti  $\frac{1}{R_1}$  še ukrivljenost  $\frac{1}{R_0}$ :



Slika 35: Slika ukrivljenosti za notranjo krivinsko kretnico

$$\frac{1}{R_2} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_0} \quad \text{ali} \quad R_2 = \frac{R_0 \cdot R_1}{R_0 + R_1} \quad (17)$$

<sup>15</sup> Gspan, J. Železnice II. Zgornji ustroj železnic

Ta obrazec je samo približen. S točnim matematičnim izvajanjem dobimo v števcu še  $t^2$ :

$$t = R_2 \operatorname{tg} \frac{\alpha + \gamma}{2} \quad (18)$$

In iz tega:

$$R_2 = \frac{t}{\operatorname{tg} \frac{\alpha + \gamma}{2}} \quad (19)$$

Vstavimo za:

$$\operatorname{tg} \frac{\alpha + \gamma}{2} = \frac{\operatorname{tg} \frac{\gamma}{2} + \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}}{1 - \operatorname{tg} \frac{\gamma}{2} \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}} \quad (20)$$

Ker je,

$$\operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} = \frac{t}{R_0} \quad \text{in} \quad \operatorname{tg} \frac{\gamma}{2} = \frac{t}{R_1} \quad (21)$$

Dobimo, če vstavimo te vrednosti v gornjo enačbo:

$$R_2 = \frac{t}{\frac{\frac{t}{R_1} + \frac{t}{R_0}}{1 - \frac{t}{R_1} \frac{t}{R_0}}} = \frac{t}{\frac{t(R_0 + R_1)}{R_0 R_1}} = \frac{R_0 R_1 - t^2}{R_0 + R_1} \quad (22)$$

Če osnovno obliko ločne kretnice krivimo v zunanjo kretnico, potem je potrebno ukrivljenost odklonskega tira osnovne oblike  $\frac{1}{R_0}$  odšteti od ukrivljenosti krivine, v katero je vložen matični tir  $\frac{1}{R_1}$ .

Potem je:

$$\frac{1}{R_2} = \frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_0} \quad \text{in} \quad R_2 = \frac{R_0 \cdot R_1}{R_0 - R_1} \quad (23)$$

Tudi ta obrazec je samo približna rešitev, ker dobimo pri točni matematični izpeljavi ponovno člen  $t^2$ .

$$t = R_2 \operatorname{tg} \frac{\beta}{2} = R_2 \operatorname{tg} \frac{\gamma - \alpha}{2} \quad (24)$$

$$R_2 = \frac{t}{\operatorname{tg} \frac{\gamma - \alpha}{2}} \quad (25)$$

$$\operatorname{tg} \frac{\gamma - \alpha}{2} = \frac{\operatorname{tg} \frac{\gamma}{2} - \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}}{1 + \operatorname{tg} \frac{\gamma}{2} \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}} \quad (26)$$

In ker je:

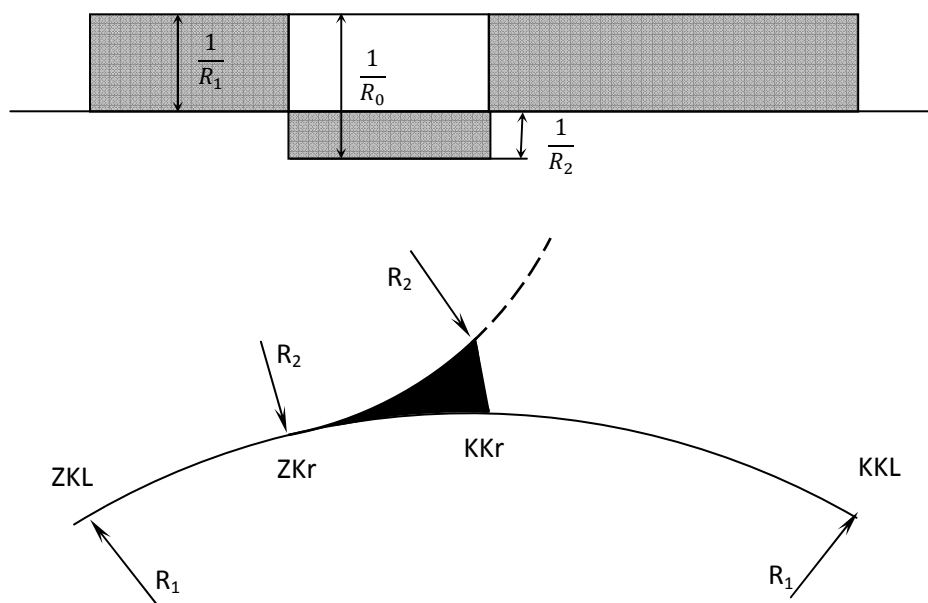
$$\operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} = \frac{t}{R_0} \quad \text{in} \quad \operatorname{tg} \frac{\gamma}{2} = \frac{t}{R_1} \quad (27)$$

Dobimo po vstavljanju v gornjo enačbo:

$$R_2 = \frac{t}{\frac{\frac{t}{R_1} - \frac{t}{R_0}}{1 + \frac{1}{R_1 R_0}}} \quad \text{ali} \quad R_2 = \frac{R_0 R_1 + t^2}{R_0 - R_1} \quad (28)$$

Enačbi (22) in (28) lahko združimo, če uporabimo dvojne predznake:

$$R_2 = \frac{R_0 R_1 \pm t^2}{R_0 \mp R_1} \quad (29)$$



Slika 36: Slika ukrivljenosti za zunanjo krivinsko kretnico

Polmer odklonskega tira z gornjim oz. spodnjim predznakom velja za zunanji oz. notranji odklon od matičnega tira.

V splošnem je  $t^2$  v primerjavi s produktom  $R_0 R$  tako majhen, da se ga vsaj pri približnem računu lahko zanemari.

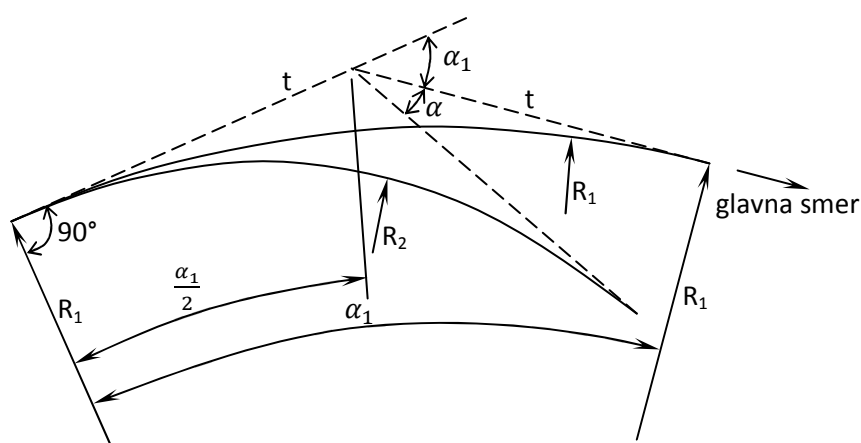
Pravilnik o zgornjem ustroju železniških prog omenja mejni polmer krivine, do katerega lahko ukrivimo odklonski tir notranje krivinske kretnice brez dodatnih razširitev. Mejni polmer je, odvisno od polmera osnovne oblike kretnice, določen v naslednji tabeli:

Preglednica 2: Minimalni polmeri odklonskega tira (vir: Pravilnik o zgornjem ustroju železniških prog)

| Polmer osnovne oblike kretnice (m) | Mejni polmer odklonskega tira ukrivljene kretnice (m) | Polmer osnovnega tira, v katerega se kretnica vgrajuje (m) |
|------------------------------------|-------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|
| 190, 200                           | 175                                                   | 2217                                                       |
| 300                                | 200                                                   | 603                                                        |
| 500                                | 200                                                   | 334                                                        |
| 760                                | 300                                                   | 497                                                        |
| 1200                               | 442                                                   | 700                                                        |

#### 4.1.1.2 Izračun spremembe dolžin vmesnih tirnic pri krivinskih kretnicah v krožnem loku<sup>16</sup>

Pri krivljenju ločne kretnice v krivinsko kretnico predpostavljamo, da se dolžine tangent  $t$  ne spremenijo. Dolžina tangent  $t$  je enaka polovici ravne kretnice, torej je  $D = 2t$ . Pri krivljenju pride do spremembe dolžin pri osi kretnice  $D_1$ . Najprej izračunamo to razliko, nato pa še za koliko se je zaradi krivljenja spremenila dolžina vseh štirih tirnih trakov. Spremembe dolžin tirničnih trakov upoštevamo tako, da spremenimo za to vrednost dolžine vmesnih tirnic. Tirnice ob menjalu in ob srcu pa ostanejo nespremenjene.



Slika 37: Shema za izračun spremembe dolžin vmesnih tirnic

<sup>16</sup> Murko, J. Geometrijski elementi za zasnovo ločnih in paraboličnih kretnic

a) Sprememba dolžine osi v glavni smeri

Spremembo dolžine osi v glavni smeri kretnice označujemo z  $a$ . To spremembo izrazimo kot:

$$a = D - D_1 \quad (30)$$

Glede na zgornjo sliko lahko nadaljujemo:

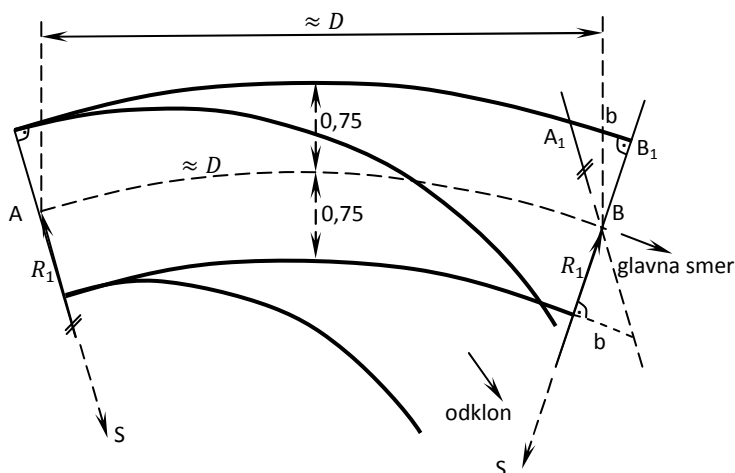
$$\operatorname{tg} \frac{\alpha_1}{2} = \frac{t}{R_1} \quad \text{oz.} \quad \frac{\alpha_1}{2} = \arctg \frac{t}{R_1} \quad (31)$$

Ker je  $t = \frac{D}{2}$ , je  $\frac{\alpha_1}{2} = \arctg \frac{D}{2R_1}$ , pri čemer je  $D$  dolžina ravne kretnice. Enačbe poračunamo in izpostavimo  $a$  in dobimo:

$$a = \frac{D^3}{12R_1^2} \quad (32)$$

b) Sprememba dolžin tirničnih trakov v glavni smeri

Nadaljujemo z izračunom spremembe dolžine zunanjega in notranjega tirničnega traku v glavni smeri kretnice. To spremembo označimo z  $b$ . Za tirno širino pri izračunu uporabljamo 1,5 m in ne 1,435 m, ker želimo izračunati vrednost  $b$  glede na sredino tirnega profila.



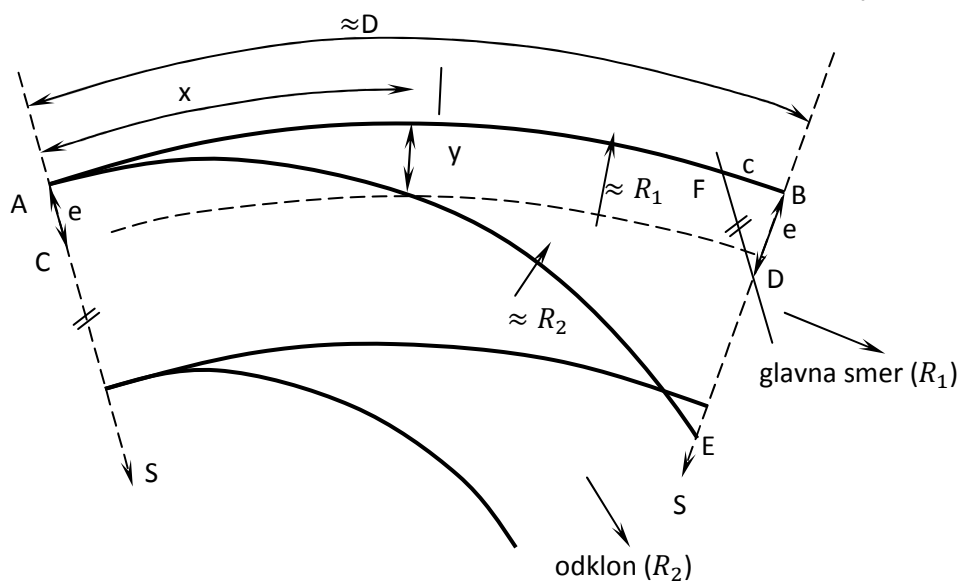
Slika 38: Sprememba dolžin tirničnih trakov v glavni smeri

Na prejšnji sliki pomeni  $S$  središče krožnega loka s polmerom  $R_1$ . Kot je razvidno iz slike, sta lika  $A_1B_1B$  in  $ABS$  podobna. Iz te podobnosti sledi sorazmerje:

$$b:0,75 = D:R_1 \quad \text{oz.} \quad b = \pm 0,75 \frac{D}{R_1} \quad (33)$$

c) Sprememba dolžin tirničnih trakov v odklonski smeri

S  $c$  označujemo spremembo dolžine zunanjšega traku odklona (III) v odnosu do spremembe dolžine glavne smeri (I). Za ločno kretnico velja,  $y = \frac{x^2}{2R_0}$ .



Slika 39: Sprememba dolžin tirničnih trakov v odklonski smeri

Izračunamo ploščino  $P$  lika  $ABE$ :

$$P = \int_0^D \frac{x^2}{2R_0} dx = \frac{D^3}{6R_0} \quad (34)$$

Z  $e$  označimo višino kolobarjevega izseka, ki ga izračunamo iz obrazca:

$$e = \frac{P}{D} \quad (35)$$

Če enačbi združimo dobimo:

$$e = \frac{D^2}{6R_0} \quad (36)$$

Iz slike je razvidno da sta lika  $ABS$  in  $FBD$  podobna in iz tega sledi:

$$c:e = D:R_1 \quad \text{oz.} \quad c = e \frac{D}{R_1} \quad (37)$$

Tako dobimo končno enačbo za vrednost  $c$ :

$$c = \pm \frac{D^3}{6R_0R_1} \quad (38)$$

V nadaljevanju bom uporabil oznake:

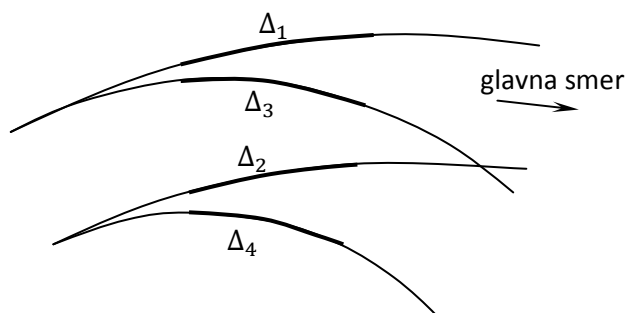
$\Delta_1$  = sprememba dolžine zunanje tirnice glavne smeri

$\Delta_2$  = sprememba dolžine notranje tirnice glavne smeri

$\Delta_3$  = sprememba dolžine zunanje tirnice odklona

$\Delta_4$  = sprememba dolžine notranje tirnice odklona

Za izračun spremembe dolžin vmesnih tirnic, glede na osnovno obliko kretnice pri predelavi v notranjo krivinsko kretnico v krožnem loku, se uporabi naslednje obrazce:



Slika 40: Spremembe dolžin vmesnih tirnic pri notranji krivinski kretnici

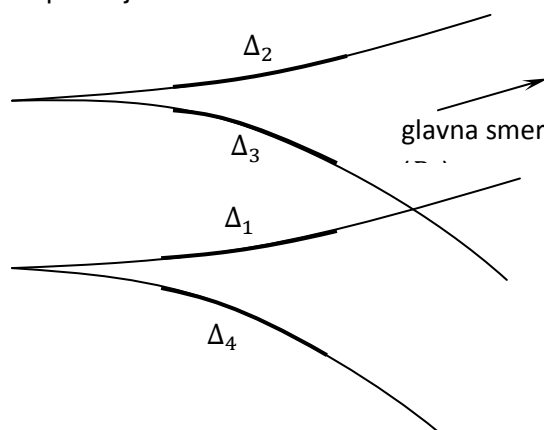
$$\Delta_1 = -a + b \quad (39)$$

$$\Delta_2 = -a - b$$

$$\Delta_3 = -a + b - c = \Delta_1 - c$$

$$\Delta_4 = -a - b - c = \Delta_2 - c$$

Za zunanjo krivinsko kretnico pa velja:



Slika 41: Spremembe dolžin vmesnih tirnic pri zunanji krivinski kretnici

$$\Delta_1 = -a + b \quad (40)$$

$$\Delta_2 = -a - b$$

$$\Delta_3 = -a - b + c = \Delta_2 + c$$

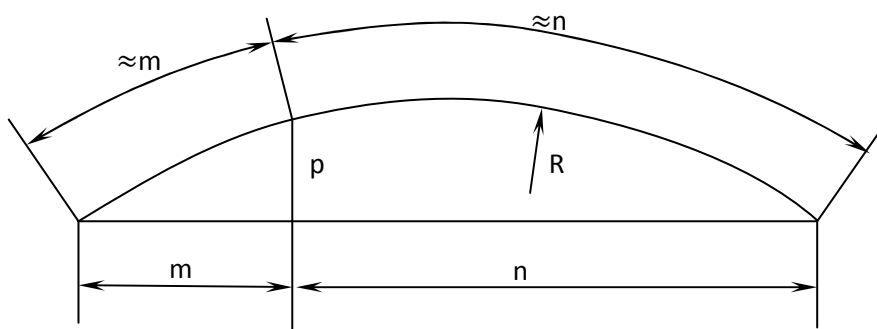
$$\Delta_4 = -a + b + c = \Delta_1 + c$$

#### 4.1.1.3 Izračun puščic za vezavo krivinskih kretnic

Po izračunu sprememb dolžin vmesnih tirnic krivinske kretnice moramo izračunati še puščice, s pomočjo katerih je pri vezavi kretnice mogoče dati pravilno obliko. Izračunamo jih za glavno in odklonsko smer. Puščice  $p$  izračunamo po enačbi:

$$p = \frac{m \cdot n}{2R} \quad (41)$$

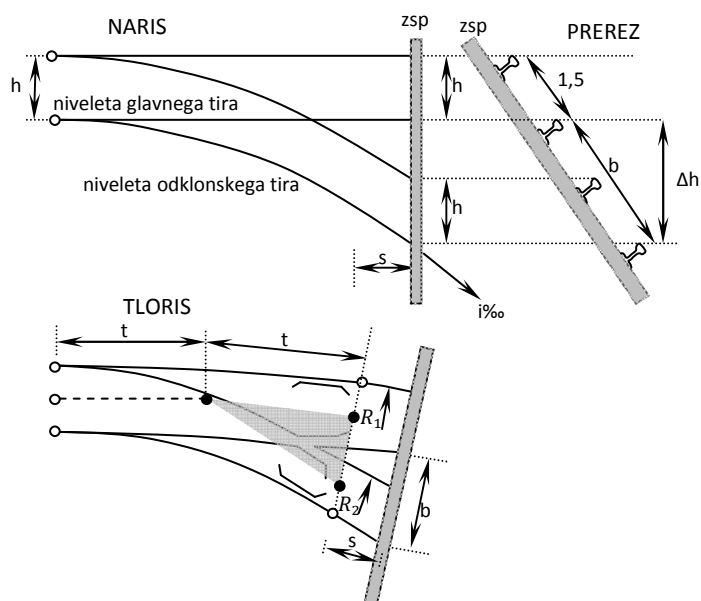
Z  $m$  in  $n$  označujemo oba odseka tetive na krožnem loku s polmerom  $R$ .



Slika 42: Puščice za vezavo kretnic

#### 4.1.2 Višinski izračun krivinskih kretnic

V krožnem loku in prehodnici deluje na vlak bočni pospešek. Z nadvišanjem blažimo vpliv bočnega pospeška, zato so krivinske kretnice praviloma nadvišane. Nadvišanje označujemo s  $h$ . Pri nadvišanih kretnicah se odklonska smer dviga ali spušča proti glavni smeri. Ker tirnice vseh štirih tirnih trakov ležijo na istih pragih, sta nadvišanja glavnega in odklonskega tira od začetka kretnice (ZK) do zadnjega skupnega praga (ZSP) enaki. Pri zunanji krivinski kretnici se lahko zgodi, da pride do negativnega nadvišanja, kar je potrebno upoštevati pri izračunu hitrosti preko kretnice.



Slika 43: Višinski potek krivinske kretnice

Odklonski tir se od glavnega tira ne odcepi zgolj tlorisno, ampak tudi v narisu. Niveleta odklonskega tira pri notranji krivinski kretnici pada, pri zunanji pa se dviguje. Zaradi tega je na ZSP njena gradienta, bodisi v dodatnem vzponu, bodisi v dodatnem padu glede na nagib glavnega tira (diferenčni vzpon ali pad). Iz tega sledi, da je kota nivelete na ZSP odklonskega tira za  $\Delta h$  višja oziroma nižja od nivelete glavnega tira.

Za določitev vertikalnega in horizontalnega poteka posameznih tirnih trakov krivinske kretnice potrebujemo parametre:  $\Delta h$ ,  $b$  in  $s\text{‰}$ .

Višinsko razliko med niveleto glavne in odklonske smeri na ZSP ( $\Delta h$ ) izračunamo iz podobnih trikotnikov, kakor je razvidno iz slike 43:

$$\frac{h}{1,5} = \frac{\Delta h}{b} \quad \text{oz.} \quad \Delta h = \frac{bh}{1,5} \quad (42)$$

Za tirno širino smo vzeli razdaljo 1,5m. S  $h$  označujemo nadvišanje v mm,  $b$  pa predstavlja razdaljo med notranjo tirnico glavne in notranjo tirnico odklonske smeri:

$$b = \frac{t+s}{n} \pm \frac{s^2}{2R_1} \pm \frac{s^2}{2R_2} \quad (43)$$

V zgornji enačbi z  $n$  označujemo tangens odklonskega kota kretnice, razdalja  $s$  pa predstavlja razdaljo med koncem kretnice in ZSP. Gradiento nivelete odklonskega tira na ZSP v promilih izračunamo z naslednjo enačbo:

$$s\text{‰} = \frac{2h}{3} \left( \frac{1}{n} \pm \frac{s}{R_1} \pm \frac{s}{R_2} \right) \quad (44)$$

Predznak  $+$  ali  $-$  v predhodnih enačbah je odvisen od smeri ukrivljenosti glavnega in odklonskega tira na odseku med koncem kretnice in ZSP. Če je ukrivljenost posameznega tira usmerjena tako, da poveča vrednost  $b$ , bo predznak pozitiven, če pa zmanjšuje vrednost  $b$ , bo predznak negativen.

Zaradi različnega poteka nivelete glavne in odklonske smeri je potrebno izdelati tudi višinske načrte glavnega in odklonskega tira. Pri višinskih načrtih krivinskih kretnic je potrebno prikazati nadvišanje in višinski potek vseh štirih tirnih trakov. Pri tem si prizadevamo, da višinske razlike nivelet posameznih tirnih trakov niso prevelike in skušamo niveleto odklonskega tira čim prej pripeljati na niveleto sosednjih tirov. Pri višinskih načrtih zaradi večje preglednosti za merilo dolžin uporabljamo merilo 1:500, za merilo višin pa 1:5 oziroma 1:10.

V notranjih krivinskih kretnicah nadvišanje ne sme biti večje od 120 mm, v zunanjih krivinskih kretnicah pa ne večje od 100 mm. Primanjkljaj nadvišanja na kretnici ne sme biti večji od 100 mm.<sup>17</sup>

## 4.2 Računanje paraboličnih kretnic

Parabolična kretnica je kretnica, ki leži v prehodnici. Za obravnavo elementov parabolične kretnice je potrebno najprej določiti osnovne oznake:

$R$  = polmer krožnega loka

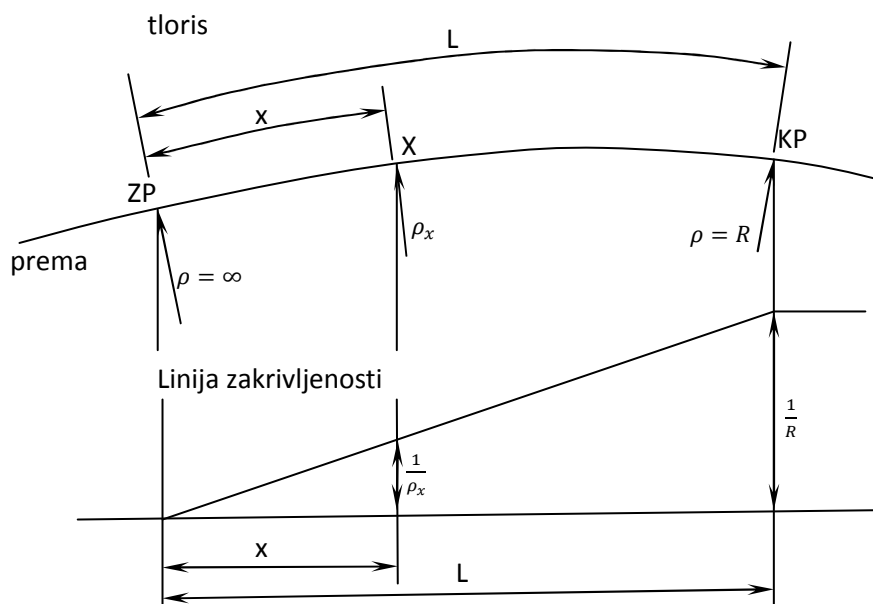
$L$  = dolžina prehodnice

$x$  = razdalja od začetka prehodnice (ZP) do dane točke X v prehodnici

$\rho$  = krivinski polmer

Za določevanje krivinskega polmera  $\rho_x$  v točki X moramo izhajati iz linije zakrivljenosti. V liniji zakrivljenosti nanašamo na abscisno os dolžino prehodnice ali loka, na ordinatno os pa recipročno vrednost polmera krožnega loka oziroma krivinskih polmerov prehodnice.

<sup>17</sup> Pravilnik o zgornjem ustroju železniških prog



Slika 44: Zakrivljenost parabolične kretnice

Iz slike je razvidno, da je:

$$\frac{1}{\rho_x} : x = \frac{1}{R} : L \quad \text{iz tega sledi,} \quad \rho_x = \frac{R \cdot L}{x} \quad (45)$$

Začetek prehodnice (ZP) je na mestu, kjer je  $\rho = \infty$ , t.j. na prehodu iz preme v prehodnico. Konec prehodnice (KP) pa je tam, kjer je  $\rho = R$ . Torej na prehodu iz prehodnice v krožni lok.

Linija zakrivljenosti glavne smeri parabolične kretnice leži v liniji zakrivljenosti prehodnice. Linijo zakrivljenosti odklonske smeri pa dobimo, če liniji zakrivljenosti glavne smeri algebrsko prištejemo zakrivljenost odklonske smeri ravne kretnice  $\frac{1}{R_0}$ . Pri tem je  $R_0$  polmer odklonske smeri osnovne oblike kretnice.

Geometrijska oblika parabolične kretnice se spreminja glede na njeno lego v prehodnici. Zato moramo pri vsaki parabolični kretnici poznati elemente prehodnice, razdaljo začetka kretnice od začetka prehodnice in smer kretniškega odklona.

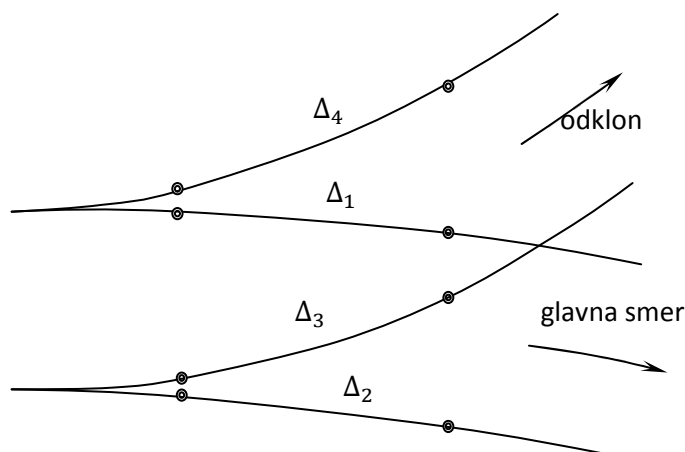
Glede lege parabolične kretnice v prehodnici poznamo štiri primere:

- Notranja parabolična kretnica – začetek kretnice je na strani začetka prehodnice
- Notranja parabolična kretnica – začetek kretnice je na strani konca prehodnice
- Zunanja parabolična kretnica – začetek kretnice je na strani začetka prehodnice
- Zunanja parabolična kretnica – začetek kretnice je na strani konca prehodnice

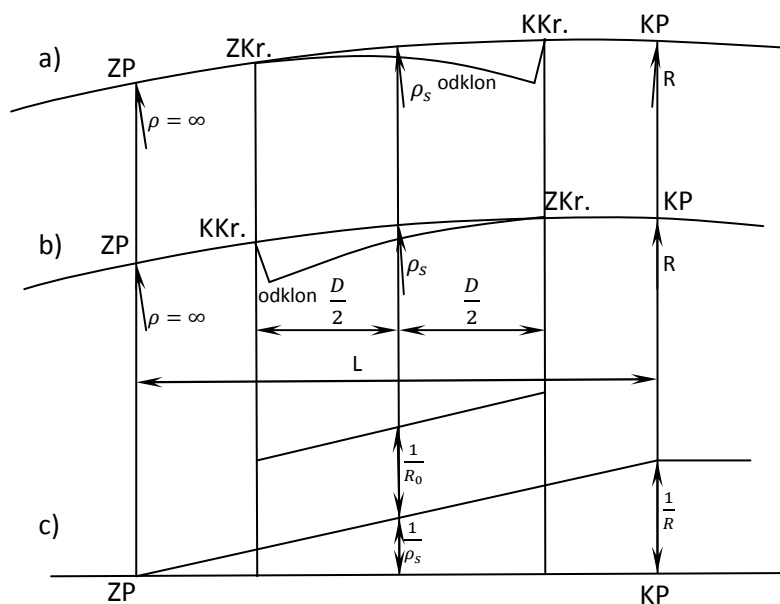
Pri paraboličnih kretnicah najprej izračunamo krivinske polmere v začetku ( $\rho_z$ ), v sredini ( $\rho_s$ ) in na koncu ( $\rho_k$ ) glavne smeri in prav tako v začetku ( $\rho'_z$ ), v sredini ( $\rho'_s$ ) in na koncu odklona ( $\rho'_k$ ).

#### 4.2.1 Spremembe dolžin vmesnih tirnic

Ko izračunamo krivinske polmere parabolične kretnice, sledi račun spremembe dolžin vmesnih kretnic, ki poteka na podoben način kot pri krivinski kretnici. Najprej jih izračunamo tako, kot da bi ležala kretnica v krožnem loku s polmerom, ki ga ima prehodnica v sredini ( $\rho_s$ ). Na ta način izračunamo vrednosti za kretniško smer, ki leži v prehodnici – glavna smer. Za odklonsko smer te vrednosti niso dovolj natančne.



Slika 45: Spremembe dolžin vmesnih tirnic



Slika 46: Zakrivljenost odklonske in glavne smeri

Iz slike sledi, da je:

$$c = \frac{D^3}{6R_0 \rho_s} \quad (46)$$

Hkrati pa je razvidno, da je linija zakrivljenosti enaka za lego kretnice z začetkom proti koncu prehodnice, kakor tudi za kretnico z začetkom bližje začetku prehodnice.

Za računanje spremembe dolžin vmesnih tirnic glavne smeri uporabljamo naslednje enačbe:

$$a = \frac{D^3}{12\rho_s^2} \quad \text{in} \quad b = 0,75 \frac{D}{\rho_s} \quad (47)$$

$$\Delta_1 = -a + b \quad (48)$$

$$\Delta_2 = -a - b$$

Za spremembe dolžin tirnic odklonske smeri pa moramo za parabolične kretnice upoštevati še poseben člen  $d$ . Vrednost  $d$  izračunamo po enačbi:

$$d = \frac{D^4}{24R_0 RL} \quad (49)$$

Ker je produkt  $RL$  za določeno prehodnico konstanten, ga označimo s  $K$  in lahko zapišemo:

$$RL = K \quad ; \quad d = \frac{D^4}{24R_0 K} \quad (50)$$

Končna oblika enačb za računanje spremembe dolžin vmesnih tirnic v odklonski smeri:

- Notranja parabolična kretnica z začetkom kretnice na isti strani kot začetek prehodnice:

$$\Delta_3 = \Delta_1 - c - d \quad (51)$$

$$\Delta_4 = \Delta_2 - c - d$$

- Zunanja parabolična kretnica z začetkom kretnice na isti strani kot začetek prehodnice:

$$\Delta_3 = \Delta_1 + c + d \quad (52)$$

$$\Delta_4 = \Delta_2 + c + d$$

- Notranja parabolična kretnica z začetkom kretnice na strani konca prehodnice:

$$\Delta_3 = \Delta_1 - c + d \quad (53)$$

$$\Delta_4 = \Delta_2 - c + d$$

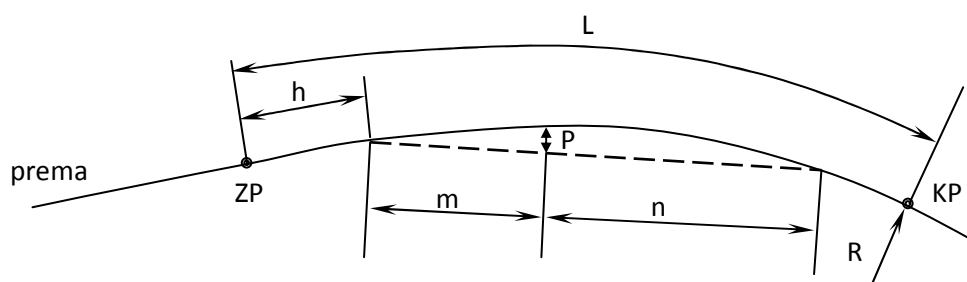
- Zunanja parabolična kretnica z začetkom kretnice na strani konca prehodnice:

$$\Delta_3 = \Delta_1 + c - d \quad (54)$$

$$\Delta_4 = \Delta_2 + c - d$$

#### 4.2.2 Puščice za vezavo paraboličnih kretnic

Za izračun puščic se uporablja splošno znano formulo za puščice v prehodnici, ki se glasi:



Slika 47: Izračun puščice vezavo parabolične kretnice

$$p = \frac{m \cdot n}{6R \cdot L} (3h + 2m + n) \quad (55)$$

Pri čemer oznake v enačbi pomenijo:

$h$  = razdalja od začetka prehodnice do začetka tetive

$m$  = dolžina dela tetive, ki leži na strani začetka prehodnice

$n$  = dolžina dela tetive, ki leži na strani konca prehodnice

## 5 HITROST PREKO KRETNICE

Pravilnik o zgornjem ustroju železniških prog določa, da je hitrost preko kretnice v glavni smeri enaka največji dovoljeni progovni hitrosti odseka proge, na katerem je kretnica vgrajena. Hitrost v odklonski smeri pa je odvisna od odklonskega polmera kretnice in bočnega pospeška  $0,65 \text{ m/s}^2$ .

V kretnice, ki omogočajo največjo progovno hitrost več kot  $100 \text{ km/h}$ , se mora vgrajevati srca v monoblok izvedbi oziroma toplotno obdelana varjena sestavljena srca. Uporabo slednjih je potrebno upravičiti s prometno-tehničnim in ekonomskim izračunom, v odvisnosti od hitrosti in prometne obremenitve. Največjo omejeno hitrost preko nenadvišane kretnice izračunamo po naslednji enačbi, kjer  $R$  označuje polmer kretnice v m:

$$V_{max} = 2,91\sqrt{R} \quad (56)$$

Če s projektom niso določene podrobnejše zahteve glede vrste kretnic in niso podane nobene druge zahteve, se lahko za tehnično brezhibne kretnice uporabijo podatki iz naslednje tabele:

Preglednica 3: Dovoljene hitrosti preko kretnice(vir: Pravilnik o zgornjem ustroju železniških prog)

| Polmer kretniške<br>krivine (m) | Največja hitrost preko kretnice |                 | Mesto vgraditve kretnic                                                                     |
|---------------------------------|---------------------------------|-----------------|---------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                 | V premo (km/h)                  | V odklon (km/h) |                                                                                             |
| 2500                            | Kot na odprti progi             | 130             | Cepne kretnice in kretnice v tirnih<br>zvezah na progah za $V = 160$<br>km/h                |
| 2200                            | Kot na odprti progi             | 120             |                                                                                             |
| 1200                            | Kot na odprti progi             | 100             | Na glavnih progah kot cepiščne in<br>kretnice v tirnih zvezah                               |
| 760                             | Kot na odprti progi             | 90              |                                                                                             |
| 500                             | Kot na odprti progi             | 65              | Na glavnih progah, po potrebi na<br>regionalnih progah na glavnih<br>prevoznih tirih postaj |
| 300                             | Kot na odprti progi             | 50              |                                                                                             |
| 215*                            | 40                              |                 | Na ranžirnih postajah in v industriji                                                       |
| 190, 200**                      | 100                             | 40              | Na omejenem prostoru pri<br>stranskih postajnih tirih vseh prog<br>in kot ščitna kretnica   |
| 215                             | 90                              | 40              | Na postajnih in stranskih tirih                                                             |
| 180                             | 60                              | 35              | Na postajnih in stranskih tirih                                                             |

\* - simetrična zunanja kretnica

\*\* - kretnice 49E1 z  $R = 190$  oz.  $200$  m se vgrajujejo v stranske postajne in ščitne tire glavnih prog ter v vse tire regionalnih prog. Kadar tehnični parametri in krajevne razmere na delu proge ne dopuščajo hitrosti vlakov nad  $100$  km/h, potrebe prometa pa ne zahtevajo vožnje v odklon nad  $40$  km/h, tedaj se te kretnice lahko izjemoma vgrajujejo tudi v glavne prevozne tire glavnih prog s hitrostmi do  $100$  km/h in kretnice 54E1 (60E1) z  $R = 190$  oz.  $200$  m s hitrostmi nad  $100$  km/h.

## 5.1 Hitrost preko krivinske kretnice

Za razliko od navadnih kretnic, kjer je potrebno izračunati le  $V_{max}$  za odklonsko smer, je potrebno pri krivinskih kretnicah izračunati največjo dovoljeno hitrost tako za odklonsko, kot tudi za glavno smer. Glavna kriterija za izračun sta sprememba primanjkljaja nadvišanja na začetku kretnice (sunek) in primanjkljaj nadvišanja v kretnici. Pri izračunu hitrosti po obeh kriterijih izberemo manjšo dobljeno hitrost.

### 5.1.1 Hitrost glede na dovoljeno spremembo primanjkljaja nadvišanja

Spremembo primanjkljaja nadvišanja označujemo z  $\Delta\Delta h_p$  in ga izračunamo iz razlike med primanjkljajem nadvišanja pred začetkom kretnice ( $\Delta h_{p1}$ ) in primanjkljajem nadvišanja na začetku odklonske smeri kretnice ( $\Delta h_{p2}$ ), kjer je  $V_{odk}$  hitrost v odklonski smeri.

$$\Delta h_{p1} = 11,8 \frac{V_{odk}^2}{R_1} - h \quad in \quad \Delta h_{p2} = 11,8 \frac{V_{odk}^2}{R_2} - h \quad (57)$$

$$\Delta\Delta h_p = \Delta h_{p2} - \Delta h_{p1} = 11,8 \left( \frac{V_{odk}^2}{R_2} - \frac{V_{odk}^2}{R_1} \right) \quad (58)$$

$$\Delta\Delta h_p = 11,8 V_{odk}^2 \left( \frac{1}{R_2} - \frac{1}{R_1} \right) \quad (59)$$

Za notranjo krivinsko kretnico velja, da je ukrivljenost v odklonsko smer enaka:

$$\frac{1}{R_2} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_0} \quad (60)$$

Iz česar sledi, da je ukrivljenost krožnega loka osnovne oblike kretnice:

$$\frac{1}{R_0} = \frac{1}{R_2} - \frac{1}{R_1} \quad (61)$$

Podobno lahko zapišemo za zunanjo krivinsko kretnico:

$$\frac{1}{R_2} = \frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_0} \quad , sledi \quad \frac{1}{R_0} = \frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \quad (62)$$

Pri zunanji krivinski kretnici sta ukrivljenosti glavnega in odklonskega tira različnih predznakov, zato lahko zapišemo:

$$\frac{1}{R_0} = -\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} = \frac{1}{R_2} - \frac{1}{R_1} \quad (63)$$

Iz tega sledi, da lahko spremembo primanjkljaja nadvišanja za odklonsko smer notranje in zunanje kretnice zapišemo v naslednji obliki:

$$\Delta\Delta h_p = 11,8 V_{odk}^2 \frac{1}{R_0} \quad (64)$$

Iz enačbe je torej razvidno, da je sunek (oziroma nenadna sprememba primanjkljaja nadvišanja na začetku odklonskega tira krivinske kretnice) odvisen le od polmera osnovne oblike kretnice ter od hitrosti.

Največjo dovoljeno odklonsko hitrost preko krivinske kretnice tako izračunamo po naslednjem obrazcu:

$$V_{odk} = \sqrt{\frac{R_0 \Delta\Delta h_p}{11,8}} \quad (65)$$

Po TSI za infrastrukturni podsistem konvencionalnih železniških prog so največje še dopustne vrednosti spremembe primanjkljaja nadvišanja v odklonski smeri kretnic naslednje:

|                                     |                                                |
|-------------------------------------|------------------------------------------------|
| $\Delta\Delta h_p = 120 \text{ mm}$ | za hitrosti $30 \leq V \leq 70 \text{ km/h}$   |
| $\Delta\Delta h_p = 105 \text{ mm}$ | za hitrosti $70 \leq V \leq 170 \text{ km/h}$  |
| $\Delta\Delta h_p = 85 \text{ mm}$  | za hitrosti $170 \leq V \leq 200 \text{ km/h}$ |

### 5.1.2 Hitrost glede na dovoljeni primanjkljaj nadvišanja

Nadvišanja v glavnem in odklonskem tiru krivinske kretnice sta enaki, saj oba tira ležita na istih pragih. Glavni in odklonski tir se razlikujeta samo v polmerih in smereh njunih krožnih lokov.

Hitrost preko krivinske kretnice glede na dovoljeni primanjkljaj nadvišanja, izračunamo iz znane enačbe za nadvišanje, in sicer:

- za odklonsko smer

$$V_{odk} = \sqrt{\frac{R_2}{11,8}} (h + \Delta h_p) \quad (66)$$

- za glavno smer

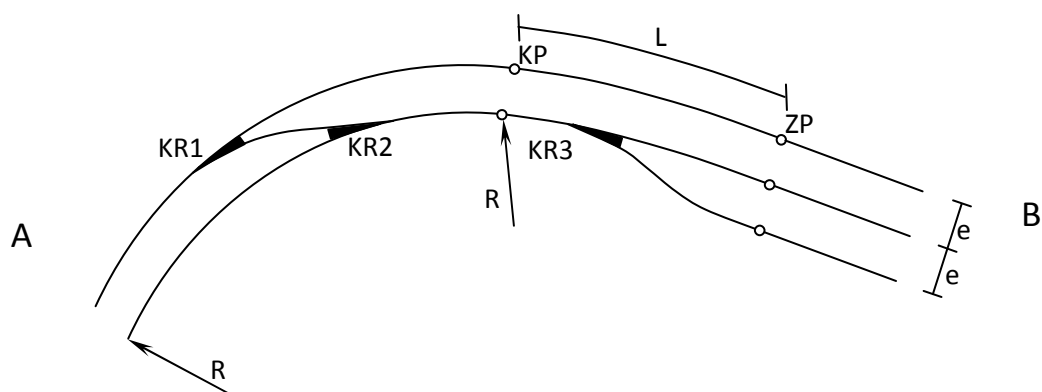
$$V = \sqrt{\frac{R_1}{11,8}} (h + \Delta h_p) \quad (67)$$

Pri vstavljanju vrednosti za nadvišanje moramo biti pozorni na predznak. Ta je pri zunanjih krivinskih kretnicah negativen.

Dovoljeni primanjkljaj nadvišanja na kretnicah znaša po naših predpisih  $\Delta h_p = 100 \text{ mm}$  (Pravilnik o zgornjem ustroju železniških prog). Dovoljeni primanjkljaj nadvišanja je pomemben zato, ker s svojo velikostjo pogojuje nadvišanje glavnega prevoznega tira in izbiro kretnice.

## 6 PRAKTIČNI DEL

Praktični del diplomske naloge sem izdelal na primeru dvotirne proge, ki poteka po krožnem loku ( $R = 800$  m) in se nato s prehodnico ( $L = 80$  m) zaključi v postajno območje, ki je v premi. V krožnem loku sem naredil tirno zvezo s krivinskima kretnicama KR1 in KR2. Krožni lok ima nadvišanje  $h = 65$  mm. Za medtirno razdaljo sem upošteval  $e = 4,75$  m, kot določa Pravilnik o zgornjem ustroju železniških prog v primeru novogradnje vzporedne dvotirne proge na postajnem območju. V območju prehodnice se od desnega tira odcepi stranski tir, kar omogoča parabolichna kretnica KR3. Začetek kretnice KR3 je na koncu prehodnice.



Slika 48: Skica območja kretnic

Med začetkoma kretnic KR2 in KR3 je zaradi vgrajenega izolirnega stika vgrajen vmesni lok dolžine 7 m. Progovni nagib celotnega kretniškega območja je  $S\text{‰} = 2 \text{‰}$ .

Pri izračunu tirnih zvez ter višinskih načrtov sem si pomagal s primeri iz knjige Projektiranje in zakoličevanje ločnih in parabolichnih tirnih zvez ter s Pravilnikom o zgornjem ustroju železniških prog.

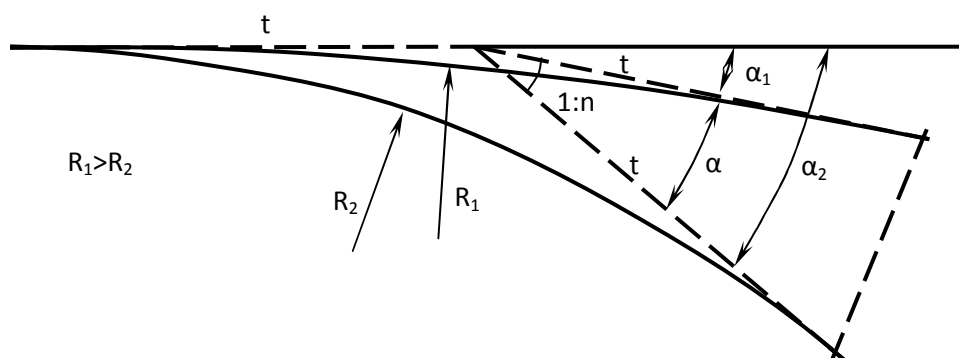
### 6.1 Tirna zveza v krožnem loku

Kretnici številka 1 in 2 omogočata vlakom iz smeri A vožnjo z levega na desni tir, vlakom iz smeri B pa prehod z desnega na levi tir.

### 6.1.1 Kretnica št. 1

Kretnica št.1 je desna notranja krivinska kretnica, s tehničnimi karakteristikami:

- Osnovna oblika kretnice je 60E1 – 500 – 1:12 – D
- Tangenta kretnice  $t = 20,797 \text{ m}$
- Dolžina kretnice  $D = 41,594 \text{ m}$
- Odklonski polmer osnovne oblike kretnice  $R_0 = 500 \text{ m}$
- Kot osnovne oblike kretnice  $\tan \alpha = \frac{1}{12}$  oz.  $\alpha = 4^\circ 45' 49''$
- Razdalja od konca kretnice do ZSP  $s = 3,940 \text{ m}$



Slika 49: Skica predelave notranje krivinske kretnice

Glede na dan polmer krožnega loka, v katerega vgrajujemo kretnico, izračunamo polmer odklonske smeri kretnice.

Polmer krožnega loka:

$$R_1 = R + e \quad (79)$$

$$R_1 = 800 + 4,75 = 804,75 \text{ m}$$

Polmer odklonske smeri izračunamo po enačbi (17):

$$R_2 = \frac{R_0 \cdot R_1}{R_0 + R_1} = \frac{500 \cdot 804,75}{500 + 804,75}$$

$$R_2 = 308,39$$

Sedaj imamo določeno predelano obliko osnovne ločne kretnice v desno notranjo krivinsko kretnico oblike 60E1 – 804,75/308,39 – 1:12.

Hitrost v glavni smeri kretnice določimo glede na nadvišanje  $h = 65 \text{ mm}$ ,  $\Delta h_p = 100$  in  $R_1 = 804,75 \text{ m}$ , po enačbi (67):

$$V_{max} = \sqrt{\frac{R_1}{11,8} (h + \Delta h_p)}$$
$$V_{max} = \sqrt{\frac{804,75}{11,8} (65 + 100)} = 106,08 \text{ km/h}$$

Kar zaokrožimo na  $V_{max} = 105 \text{ km/h}$ .

Spremembe dolžin vmesnih tirnic, po enačbah (39):

$$\Delta_1 = -a + b = -0,00926 + 0,03876 = 0,0295 \text{ m} = 29,5 \text{ mm}$$

$$\Delta_2 = -a - b = -0,00926 - 0,03876 = -0,048 \text{ m} = -48 \text{ mm}$$

$$\Delta_3 = -a + b - c = \Delta_1 - c = 0,0295 - 0,02981 = -0,0003 \text{ m} = 0,3 \text{ mm}$$

$$\Delta_4 = -a - b - c = \Delta_2 - c = -0,048 - 0,02981 = -0,0778 \text{ m} = -77,8 \text{ mm}$$

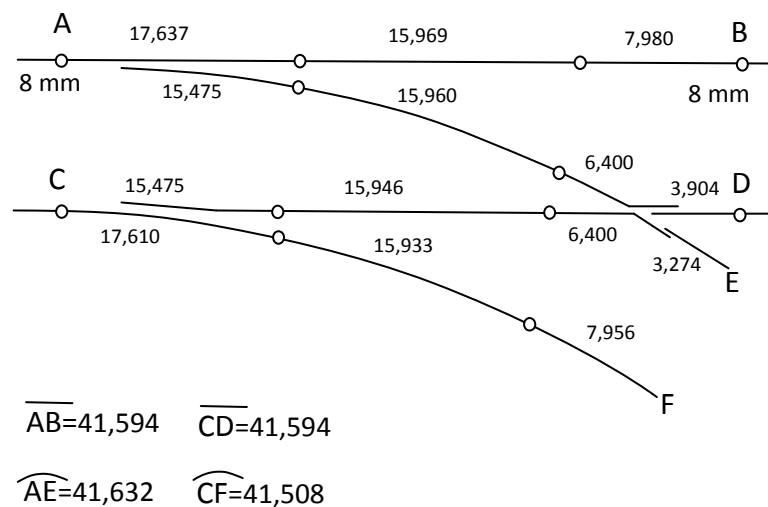
Spremembo dolžin tirničnih trakov izračunamo po formulah (32), (33) in (38):

$$a = \frac{D^3}{12R_1^2} = 0,00926 \text{ m}$$

$$b = 0,75 \frac{D}{R_1} = 0,03876 \text{ m}$$

$$c = \frac{D^3}{6R_0R_1} = 0,02981 \text{ m}$$

60E1 – 500 – 1:12



Slika 50: Dolžine tirnic normalne desne kretnice 60E1 – 500 – 1:12

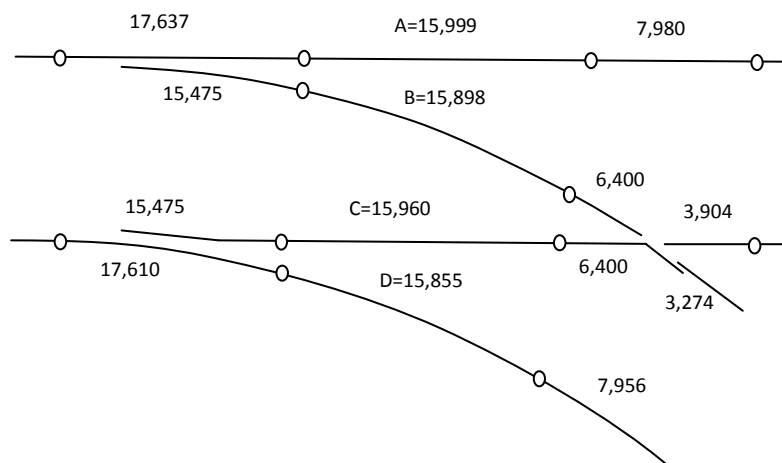
Nove dolžine vmesnih tirnic:

$$A = 15,969 + \Delta_1 = 15,969 + 0,0295 = 15,999 \text{ m}$$

$$B = 15,946 + \Delta_2 = 15,946 - 0,048 = 15,898 \text{ m}$$

$$C = 15,960 + \Delta_3 = 15,960 - 0,0003 = 15,960 \text{ m}$$

$$D = 15,933 + \Delta_4 = 15,933 - 0,0778 = 15,855 \text{ m}$$



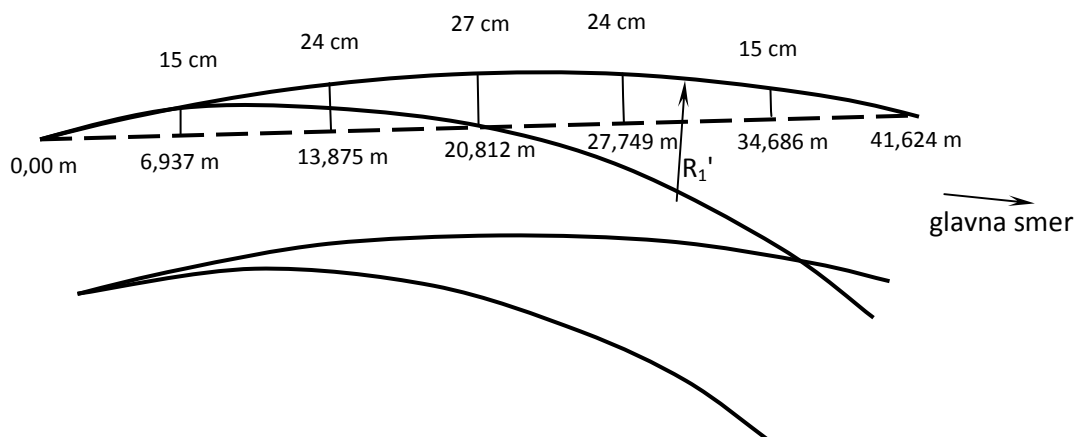
Slika 51: Skica novih dolžin vmesnih tirnic kretnice št. 1

Račun puščic za vezavo kretnice:

Končna dolžina tirnice v glavni smeri:

$$D_k = D + \Delta_1 = 41,594 + 0,0295 = 41,624 \text{ m}$$

$$R_1' = R_1 + 0,7175 = 804,75 + 0,7175 = 805,468 \text{ m}$$



Slika 52: Skica puščic glavne smeri kretnice št.1

Dolžino  $D_k$  razdelimo na 6 enakih delov in izračunamo puščice:

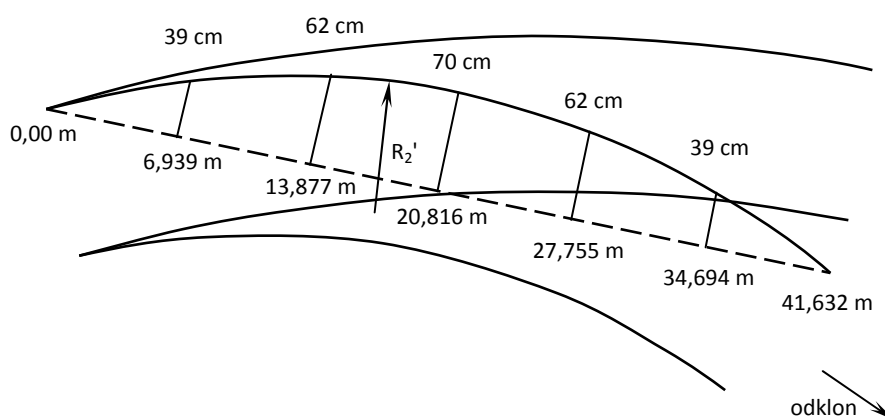
Preglednica 4: Izračun puščic za vezavo zunanje tirnice glavne smeri KR1

| št. | m      | n      | m·n     | $p=(m \cdot n)/(2 \cdot R_1')$ |
|-----|--------|--------|---------|--------------------------------|
| 1   | 0,000  | 41,624 | 0,000   | 0,000 m                        |
| 2   | 6,937  | 34,686 | 240,627 | 0,149 m                        |
| 3   | 13,875 | 27,749 | 385,004 | 0,239 m                        |
| 4   | 20,812 | 20,812 | 433,129 | 0,269 m                        |
| 5   | 27,749 | 13,875 | 385,004 | 0,239 m                        |
| 6   | 34,686 | 6,937  | 240,627 | 0,149 m                        |
| 7   | 41,624 | 0,000  | 0,000   | 0,000 m                        |

Končna dolžina zunanje tirnice v odklonski smeri je:

$$D_k = \widehat{AE} + \Delta_3 = 41,632 - 0,0003 = 41,632 \text{ m}$$

$$R_2' = R_2 + 0,7175 = 308,39 + 0,7175 = 309,11 \text{ m}$$



Slika 53: Skica puščic odklonske smeri kretnice št. 1

Račun puščic za vezavo zunanje tirnice odklonske smeri:

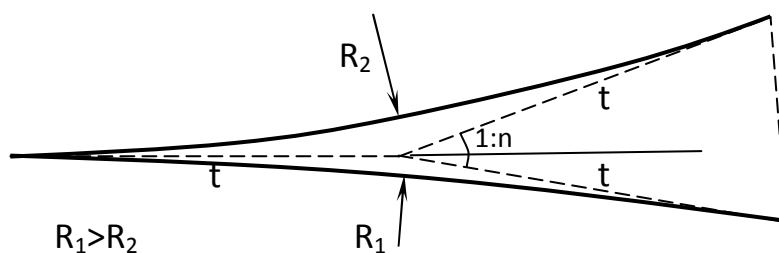
Preglednica 5: Izračun puščic za vezavo zunanje tirnice odklonske smeri KR1

| št. | m      | n      | $m \cdot n$ | $p = (m \cdot n) / (2 \cdot R_2')$ |
|-----|--------|--------|-------------|------------------------------------|
| 1   | 0,000  | 41,632 | 0,000       | 0,000 m                            |
| 2   | 6,939  | 34,694 | 240,729     | 0,389 m                            |
| 3   | 13,877 | 27,755 | 385,166     | 0,623 m                            |
| 4   | 20,816 | 20,816 | 433,312     | 0,701 m                            |
| 5   | 27,755 | 13,877 | 385,166     | 0,623 m                            |
| 6   | 34,694 | 6,939  | 240,729     | 0,389 m                            |
| 7   | 41,632 | 0,000  | 0,000       | 0,000 m                            |

### 6.1.2 Kretnica št. 2

Kretnica št.2 je leva zunanja krivinska kretnica, s tehničnimi karakteristikami:

- Osnovna oblika kretnice je 60E1 – 500 – 1:12 – L
- Tangenta kretnice  $t = 20,797 \text{ m}$
- Dolžina kretnice  $D = 41,594 \text{ m}$
- Odklonski polmer osnovne oblike kretnice  $R_0 = 500 \text{ m}$
- Kot osnovne oblike kretnice  $\tan \alpha = \frac{1}{12}$  oz.  $\alpha = 4^\circ 45' 49''$
- Razdalja od konca kretnice do ZSP  $s = 3,940 \text{ m}$



Slika 54: Skica predelave zunanje krivinske kretnice

Glede na dan polmer krožnega loka, v katerega vgrajujemo kretnico, izračunamo polmer odklonske smeri kretnice.

Polmer odklonske smeri:

$$R_2 = R = 800 \text{ m}$$

Polmer glavne smeri izračunamo po enačbi:

$$R_1 = \frac{R_2 \cdot R_0}{R_2 - R_0} = \frac{800 \cdot 500}{800 - 500}$$

$$R_1 = 1333,33 \text{ m}$$

Sedaj imamo določeno predelano obliko osnovne ločne kretnice v levo zunanjo krivinsko kretnico oblike 60E1 –1333,33/800 – 1:12.

Hitrost v smeri krožnega loka določimo glede na nadvišanje  $h = 65 \text{ mm}$ ,  $\Delta h_p = 100$  in  $R_2 = 800 \text{ m}$ :

$$V = \sqrt{\frac{R_2}{11,8} (h + \Delta h_p)}$$

$$V = \sqrt{\frac{800}{11,8} (65 + 100)} = 105,77 \text{ km/h}$$

Kar zaokrožimo na  $V_{max} = 105 \text{ km/h}$ .

Spremembe dolžin vmesnih tirnic, po enačbah (40):

$$\Delta_1 = -a + b = -0,00337 + 0,0234 = 0,02003 \text{ m} \cong 20 \text{ mm}$$

$$\Delta_2 = -a - b = -0,00337 - 0,0234 = -0,02677 \text{ m} \cong -27 \text{ mm}$$

$$\Delta_3 = -a - b + c = \Delta_2 + c = -0,02677 + 0,01799 = -0,00878 \text{ m} \cong -9 \text{ mm}$$

$$\Delta_4 = -a + b + c = \Delta_1 + c = 0,02003 + 0,01799 = 0,03802 \text{ m} \cong 38 \text{ mm}$$

Spremembo dolžin tirničnih trakov izračunamo po formulah (32), (33) in (38):

$$a = \frac{D^3}{12R_1^2} = 0,00337 \text{ m}$$

$$b = 0,75 \frac{D}{R_1} = 0,0234 \text{ m}$$

$$c = \frac{D^3}{6R_0R_1} = 0,01799 \text{ m}$$

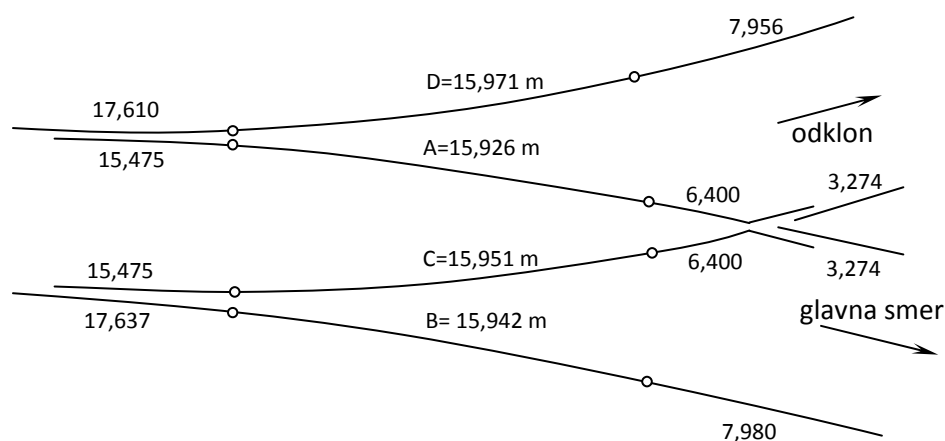
Nove dolžine vmesnih tirnic:

$$A = 15,946 + \Delta_1 = 15,946 + 0,02 = 15,926 \text{ m}$$

$$B = 15,969 + \Delta_2 = 15,969 - 0,027 = 15,942 \text{ m}$$

$$C = 15,960 + \Delta_3 = 15,960 - 0,009 = 15,951 \text{ m}$$

$$D = 15,933 + \Delta_4 = 15,933 + 0,038 = 15,971 \text{ m}$$



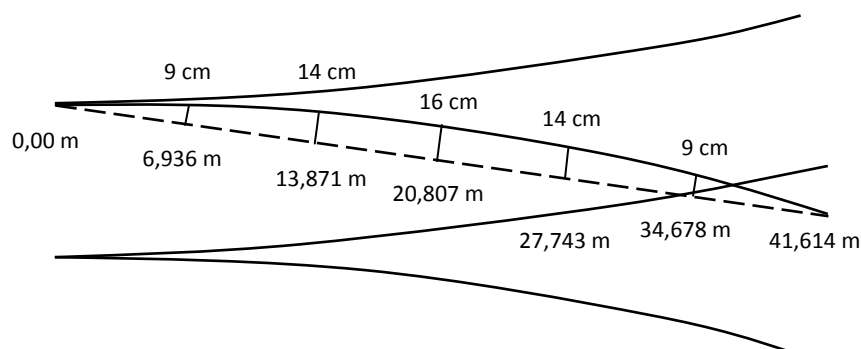
Slika 55: Skica novih dolžin vmesnih tirnic kretnice št. 2

Račun puščic za vezavo kretnice:

Končna dolžina tirnice v glavni smeri:

$$D_k = D + \Delta_1 = 41,594 + 0,02 = 41,614 \text{ m}$$

$$R_1' = R_1 + 0,7175 = 1333,33 + 0,7175 = 1334,051 \text{ m}$$



Slika 56: Skica puščic glavne smeri pri kretnici št. 2

Dolžino  $D_k$  razdelimo na 6 enakih delov in izračunamo puščice:

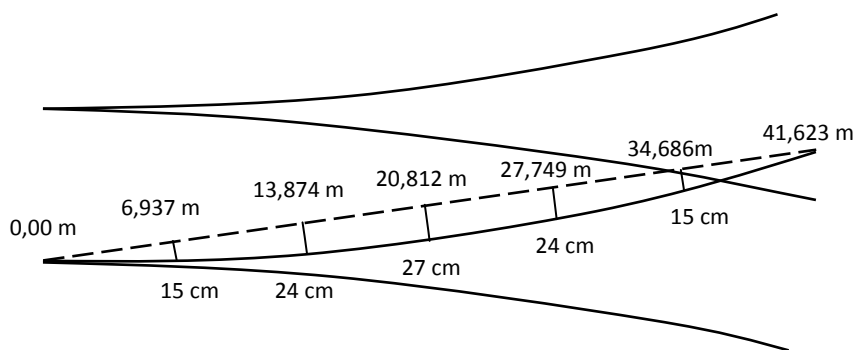
Preglednica 6: Izračun puščic za vezavo zunanje tirnice glavne smeri KR2

| št. | m      | n      | m·n     | $p=(m·n)/(2·R_1')$ |
|-----|--------|--------|---------|--------------------|
| 1   | 0,000  | 41,614 | 0,000   | 0,00               |
| 2   | 6,936  | 34,678 | 240,518 | 0,09               |
| 3   | 13,871 | 27,743 | 384,828 | 0,144              |
| 4   | 20,807 | 20,807 | 432,932 | 0,162              |
| 5   | 27,743 | 13,871 | 384,828 | 0,144              |
| 6   | 34,678 | 6,936  | 240,518 | 0,090              |
| 7   | 41,614 | 0,000  | 0,000   | 0,00               |

Končna dolžina zunanje tirnice v odklonski smeri je:

$$D_k = \widehat{AE} + \Delta_3 = 41,632 - 0,009 = 41,623 \text{ m}$$

$$R_2' = R_2 + 0,7175 = 800 + 0,7175 = 800,718 \text{ m}$$



Slika 57: Skica puščic odklonske smeri kretnice št. 2

Račun puščic za vezavo zunanje tirnice odklonske smeri:

Preglednica 7: Izračun puščic za vezavo zunanje tirnice odklonske smeri KR2

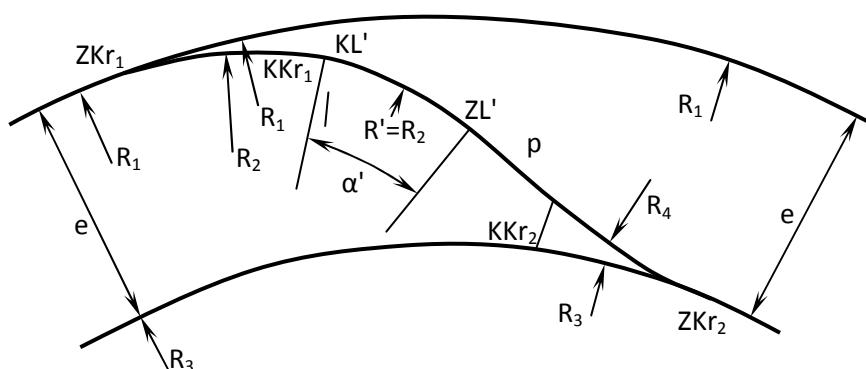
| št. | m      | n      | $m \cdot n$ | $p = (m \cdot n) / (2 \cdot R_2')$ |
|-----|--------|--------|-------------|------------------------------------|
| 1   | 0,000  | 41,623 | 0,000       | 0,00                               |
| 2   | 6,937  | 34,686 | 240,624     | 0,150                              |
| 3   | 13,874 | 27,749 | 384,998     | 0,240                              |
| 4   | 20,812 | 20,812 | 433,123     | 0,270                              |
| 5   | 27,749 | 13,874 | 384,998     | 0,240                              |
| 6   | 34,686 | 6,937  | 240,624     | 0,150                              |
| 7   | 41,623 | 0,000  | 0,000       | 0,00                               |

### 6.1.3 Izračun parametrov za zakoličevanje tirne zveze

Tirna zveza med dvema koncentričnima krožnima lokoma je sestavljena iz notranje (KR1) in zunanje krivinske kretnice (KR2). Zaradi bolj preglednega zapisa enačb zapišemo:

|                           |                            |
|---------------------------|----------------------------|
| $R_1 = 804,75 \text{ m}$  | polmer glavne smeri KR1    |
| $R_2 = 308,39 \text{ m}$  | polmer odklonske smeri KR1 |
| $R_3 = 800 \text{ m}$     | polmer odklonske smeri KR2 |
| $R_4 = 1333,33 \text{ m}$ | polmer glavne smeri KR2    |

Za kretnico št. 1 vstavimo vmesni lok s polmerom  $R'$ , ki je enak odklonskemu polmeru notranje krivinske kretnice,  $R' = R_2 = 308,39 \text{ m}$ . S tem sem se izognil košarastemu loku. Ker poteka vožnja po tirni zvezi v S-loku, je potrebno med vmesnim lokom in koncem kretnice št. 2 predvideti vmesno premo p.



Da lahko enolično določimo tirno zvezo, je potrebno izračunati dolžino vmesne preme p in središčni kot vmesnega loka  $\alpha'$ .

$$\tan \frac{\gamma_2}{2} = \frac{t}{R_2} = \frac{20,797}{308,061} = 0,0675$$

$$\gamma_2 = 2 \cdot \tan^{-1} 0,0675 = 7^{\circ}43'28''$$

$$\tan \frac{\gamma_4}{2} = \frac{t}{R_4} = \frac{20,797}{1333,33} = 0,01558$$

$$\gamma_4 = 2 \cdot \tan^{-1} 0,01558 = 1^{\circ}47'7''$$

$$x_1 = (R_1 - R_2) \sin \gamma_2 = 66,71 \text{ m}$$

$$y_1 = (R_1 - R_2) \cos \gamma_2 + R_2 = 800,25 \text{ m}$$

$$\tan \gamma_2 = \frac{x_1}{y_1 - R_2}$$

$$0,1356 = 0,1356$$

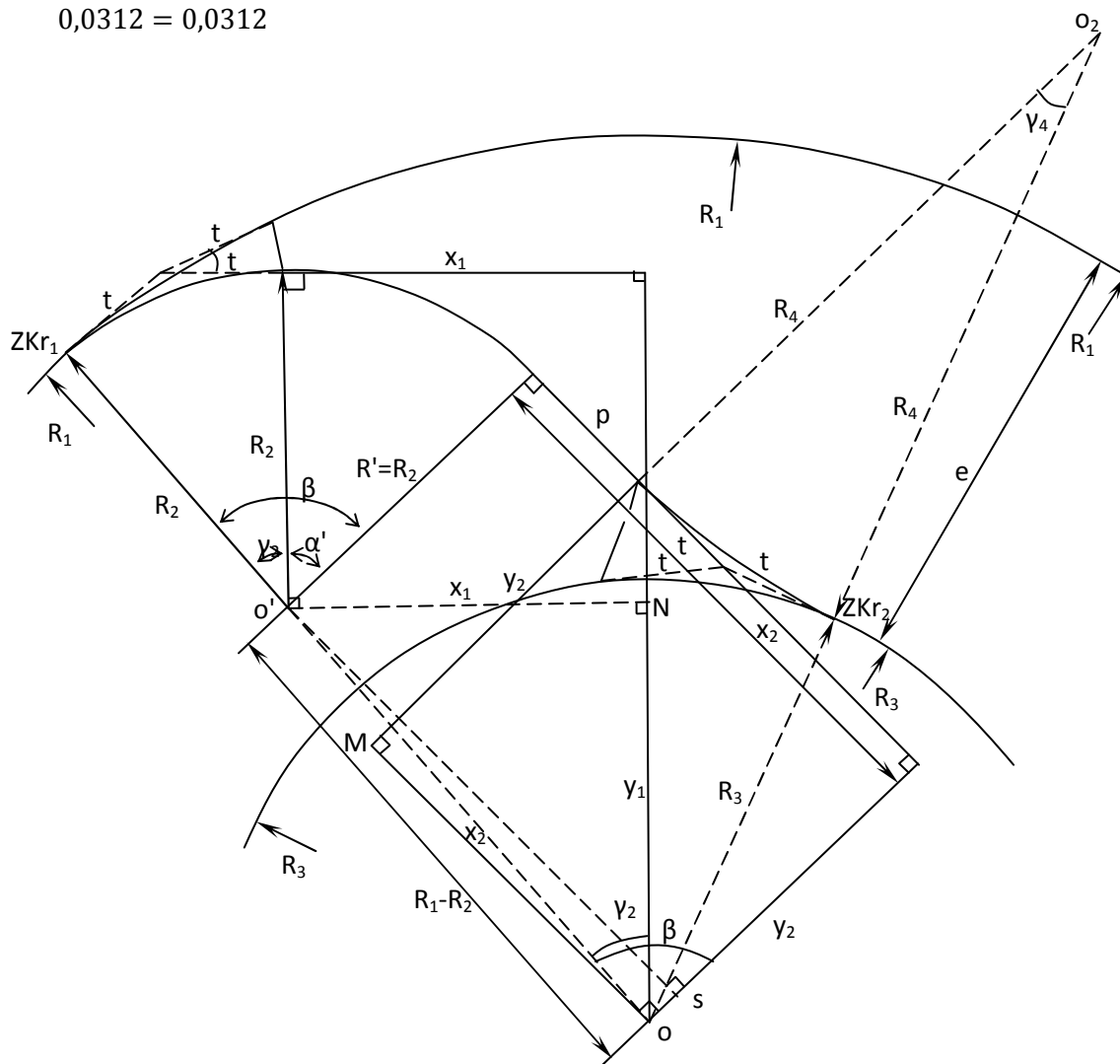
$$x_2 = (R_3 + R_4) \sin \gamma_4 = 66,46 \text{ m}$$

$$y_2 = (R_3 + R_4) \cos \gamma_4 - R_4 = 798,96 \text{ m}$$

Kontrola:

$$\tan \gamma_4 = \frac{x_2}{y_2 + R_4}$$

$$0,0312 = 0,0312$$



Slika 59: Skica za izračun tirne zveze

Dolžino vmesne preme izračunamo po enačbi:

$$p^2 + 2x_2p + A = 0 \quad \text{oz.} \quad p = -x_2 \pm \sqrt{x_2^2 - A}$$

Kjer je A,

$$A = x_2^2 - x_1^2 + (y_2 - y_1)[(y_2 + y_1) - 2R_2] = -1293,95$$

Sedaj lahko izračunamo dolžino preme p in dobimo dve rešitvi enačbe:

$$p_1 = 9,111 \text{ m} \quad \text{in} \quad p_2 = -142,03 \text{ m}$$

Rešitev  $p_2$  nima praktičnega pomena, torej je dolžina vmesne preme enaka:

$$p = p_1 = 9,111 \text{ m}$$

Središčni kot  $\alpha'$  izračunamo po enačbi:

$$\alpha' = \beta - \gamma_2$$

Kjer je  $\beta$ ,

$$\tan \beta = \frac{x_2 + p}{y_2 - R_2} = 0,154$$

$$\beta = \tan^{-1} 0,154 = 8^\circ 45' 5''$$

Središčni kot vmesnega loka je tako enak:

$$\alpha' = 8^\circ 45' 5'' - 7^\circ 43' 28'' = 1^\circ 1' 37''$$

Elementi vmesnega loka:

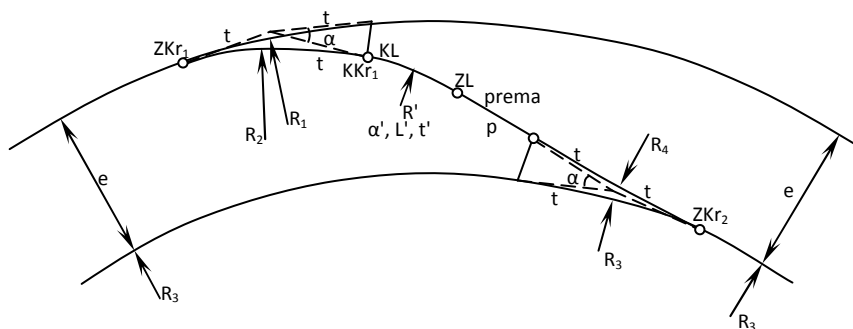
Polmer  $R' = R_4$ , središčni kot je  $\alpha'$ . Dolžina tangente  $t'$  znaša:

$$t' = R_2 \tan \frac{\alpha'}{2} = 2,764 \text{ m}$$

Dolžina vmesnega loka:

$$L' = \frac{\pi \cdot R_2 \cdot \alpha'}{180^\circ} = 5,521 \text{ m}$$

Spodnja slika prikazuje podatke, ki so potrebni za zakoličbo in izdelavo zakoličevalne skice obravnavane ločne tirne zveze.



Slika 60: Zakoličevanje tirne zveze

### 6.1.4 Višinski načrt tirne zveze

Vzporedna tirna loka ležita na razdalji  $e = 4,75$  m in v nadvišanju  $h = 60$  mm. Izračunati je potrebno vzpon oz. padec v odklonski smeri in višinski razliki nenadvišanih tirnic na ZSP za vsako kretnico posebej.

a) Kretnica št. 1:

Padec na ZSP v odklonski smeri kretnice izračunamo po enačbi:

$$s_{\text{‰}} = \frac{2h}{3} \left( \frac{1}{n} \pm \frac{s}{R_3} \pm \frac{s}{R_4} \right)$$

Kjer je :

$$R_3 = R' = 308,39 \text{ m} \quad \text{in} \quad R_4 = R_1 = 804,75 \text{ m}$$

Razdaljo med koncem kretnice in ZSP označujemo s  $s$ . V Pravilniku o zgornjem ustroju železniških prog je napaka pri navajanju vrednosti  $s$  za ločne kretnice 60E1 – 500 – 1:12. Zato sem razdaljo  $s$  izmeril iz montažnega načrta za to kretnico (Priloga A). Razdalja  $s = 5,236$  m

Torej lahko izračunamo  $s_{\text{‰}}$ :

$$s_1 \text{ ‰} = \frac{2 \cdot (-65)}{3} \left( \frac{1}{12} + \frac{5,236}{308,39} - \frac{5,236}{804,75} \right)$$

$$s_1 \text{ ‰} = -4,06 \text{ ‰}$$

Razdaljo  $b$ , ki predstavlja razdaljo med notranjo tirnico glavne in notranjo tirnico odklonske smeri, izračunamo po enačbi:

$$b = \frac{t + s}{n} \pm \frac{s^2}{2R_3} \pm \frac{s^2}{2R_4}$$

$$b_1 = \frac{20,797 + 5,236}{12} + \frac{5,236^2}{2 \cdot 308,39} - \frac{5,236^2}{2 \cdot 804,75}$$

$$b_1 = 2,197 \text{ m}$$

Nato izračunamo še višinsko razliko  $\Delta h$ :

$$\Delta h = b \frac{h}{1,5}$$

$$\Delta h_1 = -95,2 \text{ mm}$$

Ta višinska razlika je negativna, ker je nadvišanje negativno oz. zunanja tirnica kretnice obdrži začetno višino. Nadvišanje izvedemo tako, da znižamo višino notranjih tirnic. Zato tudi govorimo o padcu na ZSP.

b) Kretnica št. 2:

V tem primeru imamo vzpon na ZSP v odklonski smeri kretnice. V enačbo moramo vstaviti naslednje vrednosti:

$$\begin{aligned} R_3 &= \infty \quad \text{in} \quad R_4 = R_3 = 800 \, m \\ s_2 \, ‰ &= \frac{2 \cdot 65}{3} \left( \frac{1}{12} \pm \frac{5,236}{\infty} + \frac{5,236}{800} \right) \\ s_2 \, ‰ &= 3,895 \, ‰ \end{aligned}$$

Razdalja  $b$ :

$$\begin{aligned} b_2 &= \frac{20,797 + 5,236}{12} \pm \frac{5,236^2}{2 \cdot \infty} + \frac{5,236^2}{2 \cdot 800} \\ b_2 &= 2,186 \, m \end{aligned}$$

Višinska razlika  $\Delta h$ :

$$\Delta h_2 = 94,75 \, mm$$

Pri primerjavi izračunanih vrednosti  $s ‰$  in  $\Delta h$  obeh kretnic vidimo, da se te vrednosti medsebojno le malo razlikujejo. Za vzpon oz. padec na ZSP bomo nadalje uporabljali srednjo vrednost:

$$s \, ‰ = \frac{4,06 + 3,895}{2} = 3,98 \, ‰$$

c) V nadaljevanju je potrebno izvesti še kontrolni izračun vmesnega vzpona:

Potrebno višinsko razliko  $\Delta H$  nad niveletama glavnih tirov izračunamo po enačbi:

$$\Delta H = \frac{e \cdot h}{1,5} = \frac{4,75 \cdot 0,065}{1,5} = 0,2058 \, m$$

Zaradi enostavnosti predpostavljamo, da ležita glavna tira v progovnem nagibu 0,00 ‰ (horizontalno).

Če odštejemo višinski razliki  $\Delta h_1$  in  $\Delta h_2$  od  $\Delta H$ , potem preostane višinska razlika med nenadvišanima niveletama v odklonski smeri na ZSP:

$$\Delta H - \Delta h_1 - \Delta h_2 = 0,2058 - 0,0952 - 0,09475 = 0,0159 \, m = 15,9 \, mm$$

Ta višinska razlika se nanaša na razdaljo, ki jo dobimo, če odštejemo od razdalje med obema koncema kretnic dvakratno razdaljo od konca kretnice do ZSP ( $s = 5,236 \text{ m}$ ).

Razdalja med koncema kretnic znaša:

$$p + L' = 9,111 + 5,521 = 14,632 \text{ m}$$

$$p + L' - 2 \cdot s = 14,632 - 2 \cdot 5,236 = 4,16 \text{ m}$$

Vzpon, ki odgovarja višinski razliki 15,9 mm na razdalji 4,16 m, je:

$$s \text{ ‰} = \frac{15,9}{4,16} = 3,82 \text{ ‰}$$

Razlika med prvotno in kontrolno izračunanim nagibom je:

$$3,98 \text{ ‰} - 3,82 \text{ ‰} = 0,16 \text{ ‰}$$

Če upoštevamo, da se pojavlja ta napaka na dolžini 4,16 m, potem znaša napaka v milimetrih:

$$4,16 \cdot 0,16 = 0,66 \text{ mm}$$

To je zanemarljivo malo. Napaka nastane zaradi zaokroževanj višin in višinskih razlik na milimetre.

d) Negativno nadvišanje v odklonski smeri kretnice št.2:

Odklonski lok kretnice št. 2 ima polmer  $R_2 = 1333,33 \text{ m}$  in negativno nadvišanje  $h = -65 \text{ mm}$ .

V obravnavanem primeru, je merodajni pogoj na hitrost v tirni zvezi ( $V_{TZ}$ ), dopustna hitrost v odklonski smeri zunanje kretnice. To hitrost izračunamo iz enačbe, za račun hitrosti glede na dovoljeni primankljaj nadvišanja (66):

$$V_{TZ} = \sqrt{\frac{R_2 \cdot (h + 100)}{11,8}}$$

$$V_{TZ} = \sqrt{\frac{1333,33 \cdot (-65 + 100)}{11,8}} = 62,9 \frac{\text{km}}{\text{h}}$$

Izračunamo še dopustno hitrost glede na dovoljeno spremembo primankljaja nadvišanja (65), pri  $\Delta\Delta h_p = 120 \text{ mm}$ :

$$V_{TZ} = \sqrt{\frac{R_0 \Delta\Delta h_p}{11,8}}$$

$$V_{TZ} = \sqrt{\frac{500 \cdot 120}{11,8}} = 71,3 \frac{\text{km}}{\text{h}}$$

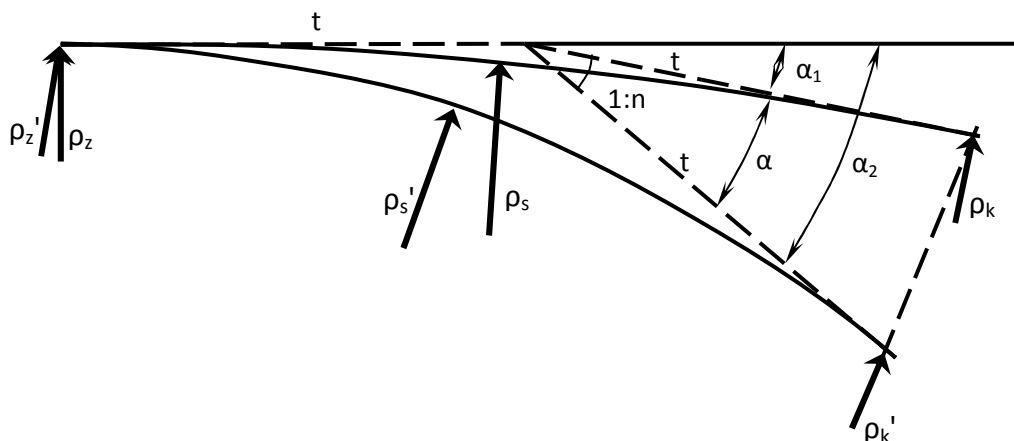
Od obeh izračunanih hitrosti je potrebno upoštevati manjšo vrednost in jo zaokrožiti navzdol, tako določimo hitrost v tirni zvezi:

$$V_{max} = 60 \frac{\text{km}}{\text{h}}$$

## 6.2 Parabolična kretnica

Na koncu prehodnice ( $L = 80 \text{ m}$ ) se od desnega tira odcepi tir z desno notranjo parabolično kretnico, s tehničnimi karakteristikami:

- Osnovna oblika kretnice je 60E1 – 500 – 1:12 – D
- Tangenta kretnice  $t = 20,797 \text{ m}$
- Dolžina kretnice  $D = 41,594 \text{ m}$
- Odklonski polmer osnovne oblike kretnice  $R_0 = 500 \text{ m}$
- Kot osnovne oblike kretnice  $\tan \alpha = \frac{1}{12}$  oz.  $\alpha = 4^\circ 45' 49''$
- Razdalja od konca kretnice do ZSP  $s = 3,940 \text{ m}$



Slika 61: Skica predelave notranje krivinske kretnice

Z  $g$  označujemo razdaljo od začetka prehodnice (ZP) do začetka kretnice (ZK), ki je v obravnavanem primeru enaka dolžini prehodnice ( $L = g = 80$  m). Krivinske polmere za glavno smer parabolične kretnice izračunamo po enačbi (45):

$$\rho_z = \frac{R \cdot L}{g} = \frac{800 \cdot 80}{80} = 800 \text{ m}$$

$$\rho_s = \frac{R \cdot L}{g - t} = \frac{800 \cdot 80}{80 - 20,797} = 1081 \text{ m}$$

$$\rho_k = \frac{R \cdot L}{g - 2t} = \frac{800 \cdot 80}{80 - 41,594} = 1666,4 \text{ m}$$

Krivinski polmeri za odklonsko smer:

$$\rho_z' = \frac{\rho_z \cdot R_0}{\rho_z + R_0} = \frac{800 \cdot 500}{800 + 500} = 307,7 \text{ m}$$

$$\rho_s' = \frac{\rho_s \cdot R_0}{\rho_s + R_0} = \frac{1081 \cdot 500}{1081 + 500} = 341,9 \text{ m}$$

$$\rho_k' = \frac{\rho_k \cdot R_0}{\rho_k + R_0} = \frac{1666,4 \cdot 500}{1666,4 + 500} = 384,6 \text{ m}$$

Sedaj imamo določeno predelano obliko osnovne ločne kretnice v desno notranjo parabolično kretnico oblike 60E1 – 1081/341,9 – 1:12

Spremembe dolžin vmesnih tirnic po enačbah (48) in (53):

$$\Delta_1 = -a + b = 23,7 \text{ mm}$$

$$\Delta_2 = -a - b = -34 \text{ mm}$$

$$\Delta_3 = \Delta_1 - c + d = 5,4 \text{ mm}$$

$$\Delta_4 = \Delta_2 - c + d = -52,3 \text{ mm}$$

Spremembe dolžin tirničnih trakov izračunamo po formulah (46), (47) in (49):

$$a = \frac{D^3}{12 \cdot \rho_s^2} = 0,00513143 \text{ m}$$

$$b = 0,75 \frac{D}{\rho_s} = 0,02886 \text{ m}$$

$$c = \frac{D^3}{6 \cdot R_0 \cdot \rho_s} = 0,02219 \text{ m}$$

$$d = \frac{D^4}{24 R_0 R L} = 0,0039 \text{ m}$$

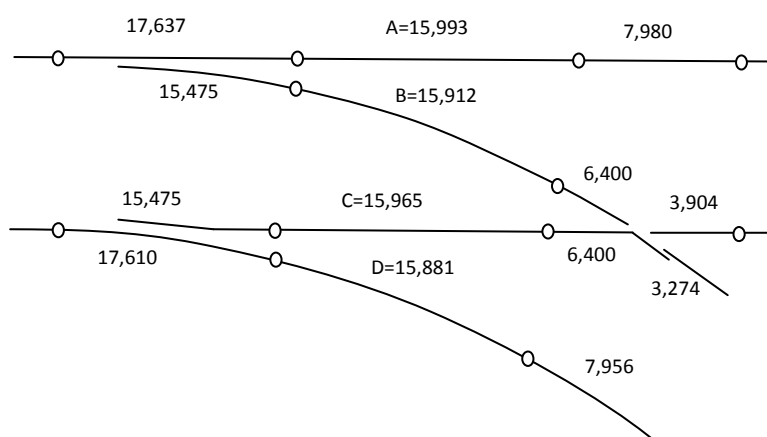
Nove dolžine vmesnih tirnic:

$$A = 15,969 + \Delta_1 = 15,969 + 0,0295 = 15,993 \text{ m}$$

$$B = 15,946 + \Delta_2 = 15,946 - 0,048 = 15,912 \text{ m}$$

$$C = 15,960 + \Delta_3 = 15,960 - 0,0003 = 15,965 \text{ m}$$

$$D = 15,933 + \Delta_4 = 15,933 - 0,0778 = 15,881 \text{ m}$$



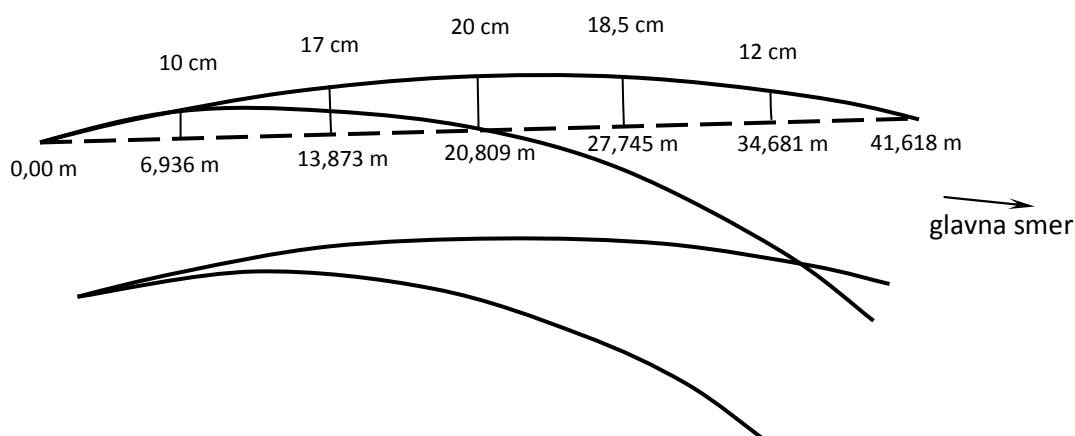
Slika 62: Skica novih dolžin vmesnih tirnic kretnice št. 1

Račun puščic za vezavo kretnice:

Končna dolžina tirnice v glavni smeri:

$$D_k = D + \Delta_1 = 41,594 + 0,0237 = 41,618 \text{ m}$$

$$R_1' = \rho_s + 0,7175 = 1081,03 + 0,7175 = 1081,747 \text{ m}$$



Slika 63: Skica puščic glavne smeri kretnice št.3

Dolžino  $D_k$  razdelimo na 6 enakih delov in izračunamo puščice po enačbi:

$$p = \frac{(m \cdot n)}{6R \cdot L} (3h + 2m + n)$$

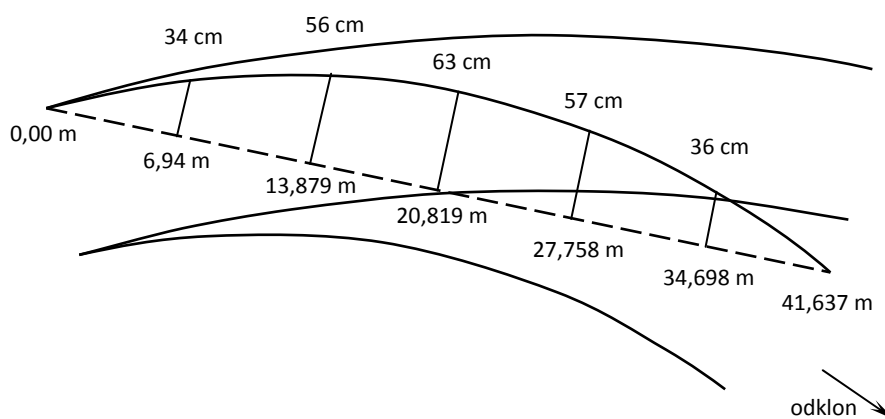
Preglednica 8: Izračun puščic za vezavo zunanje tirnice glavne smeri KR3

| št. | m      | n      | m*n     | p     |
|-----|--------|--------|---------|-------|
| 1   | 0,000  | 41,618 | 0,000   | 0,000 |
| 2   | 6,936  | 34,681 | 240,560 | 0,103 |
| 3   | 13,873 | 27,745 | 384,897 | 0,171 |
| 4   | 20,809 | 20,809 | 433,009 | 0,200 |
| 5   | 27,745 | 13,873 | 384,897 | 0,185 |
| 6   | 34,681 | 6,936  | 240,560 | 0,120 |
| 7   | 41,618 | 0,000  | 0,000   | 0,000 |

Končna dolžina zunanje tirnice v odklonski smeri je:

$$D_k = \widehat{AE} + \Delta_3 = 41,632 + 0,0054 = 41,637 \text{ m}$$

$$R_2' = \rho_s' + 0,7175 = 341,9 + 0,7175 = 342,592 \text{ m}$$



Slika 64: Skica puščic odklonske smeri kretnice št. 3

Račun puščic za vezavo zunanje tirnice odklonske smeri:

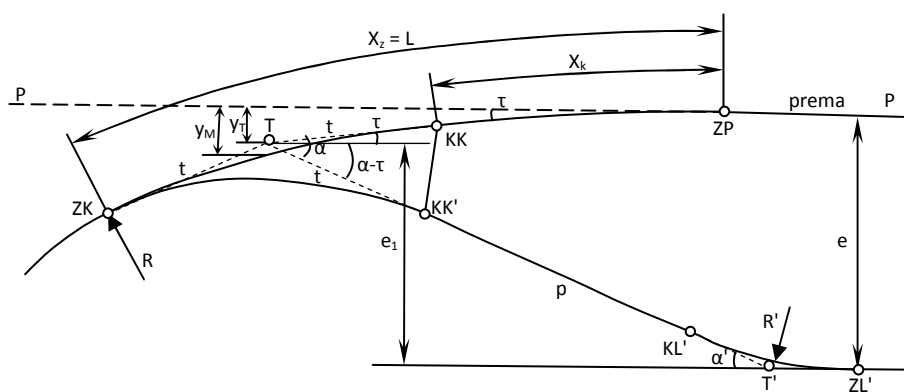
Preglednica 9: Izračun puščic za vezavo zunanje tirnice odklonske smeri KR3

| št. | m      | n      | m*n     | p     |
|-----|--------|--------|---------|-------|
| 1   | 0,000  | 41,637 | 0,000   | 0,000 |
| 2   | 6,940  | 34,698 | 240,788 | 0,343 |
| 3   | 13,879 | 27,758 | 385,261 | 0,557 |
| 4   | 20,819 | 20,819 | 433,419 | 0,634 |
| 5   | 27,758 | 13,879 | 385,261 | 0,570 |
| 6   | 34,698 | 6,940  | 240,788 | 0,361 |
| 7   | 41,637 | 0,000  | 0,000   | 0     |

### 6.2.1 Parabolična tirna zveza

Na koncu prehodnice se od desnega glavnega tira odcepi stranski postajni tir. Tira potekata na razdalji  $e = 4,75$  m. Glavni tir leži v prehodnici s parametroma  $L = 80$  m in  $R = 800$  m. Stranski tir je potrebno uvezati v glavni tir s pomočjo desne notranje parabolične kretnice. Razdalja od začetka prehodnice do začetka kretnice  $x_z = L = 80$  m. Za polmer priključnega loka na stranski tir sem izbral  $R' = 500$  m.

Določiti je potrebno dolžino vmesne preme  $p$  in elemente priključnega loka  $\alpha'$ ,  $t'$  in  $L'$ .



Slika 65: Skica parabolične tirne zveze

Razdaljo od konca kretnice do začetka prehodnice dobimo po obrazcu:

$$x_k = x_z - 2t$$

$$x_k = 80 - 2 \cdot 20,797 = 38,406 \text{ m}$$

Smerni kot  $\tau$  tangente na prehodnico v točki konca kretnice izračunamo po enačbi:

$$\tan \tau = y' = \frac{x^2}{2R \cdot L} = 0,0115236$$

$$\tau = 0^\circ 39' 37''$$

Naslednja enačba nam da razdaljo  $y_T$ , od preme do kotne točke T:

$$y_T = x_k^2 \frac{(x_k + 3t)}{6R \cdot L} = 0,387 \text{ m}$$

Razdalja od točke T do preme, ki jo tvori stranski tir, znaša:

$$e_1 = e - y_T = 4,75 - 0,387 = 4,363 \text{ m}$$

Razdalja od kotne točke T do temena T' priključnega loka pa je:

$$\overline{T - T'} = \frac{e}{\sin(\alpha - \tau)} = 50,489 \text{ m}$$

Središčni kot vmesnega loka:

$$\alpha' = \alpha - \tau = 4^\circ 6' 12''$$

Ostali elementi vmesnega loka s polmerom  $R'$ :

$$t' = R' \cdot \tan\left(\frac{\alpha'}{2}\right) = 17,912 \text{ m}$$

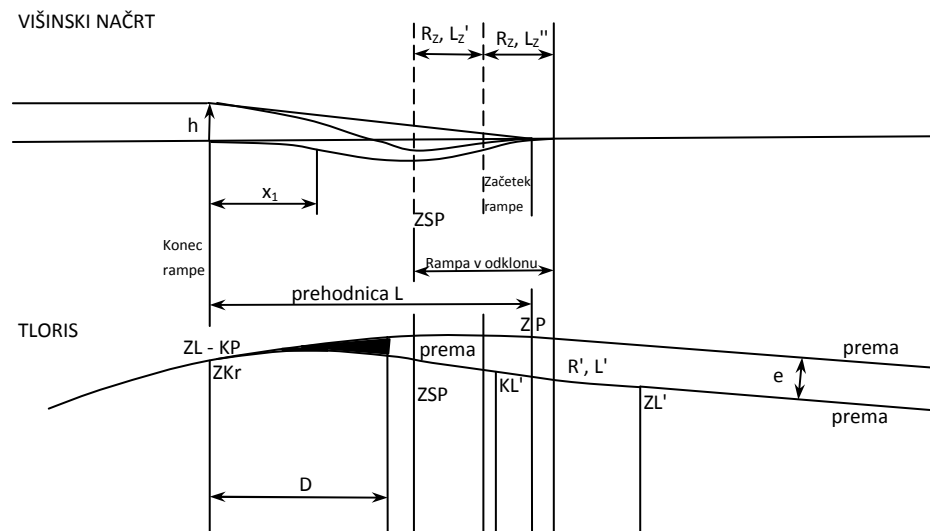
$$L' = \frac{\pi \cdot R' \cdot \alpha'}{180^\circ} = 35,809 \text{ m}$$

Dolžina vmesne preme:

$$p = \overline{T - T'} - t - t' = 11,78 \text{ m}$$

## 6.2.2 Višinski načrt

Višinski načrt parabolične kretnice št. 3, ki povezuje glavni tir s stranskim postajnim tirom.



Slika 66: Skica višinskega načrta parabolične kretnice

Nagib rampe izračunamo po enačbi:

$$m = \frac{L}{h} = \frac{80}{0,065} = 1230,8$$

$$1:m = 1:1230,8$$

Nadvišanje v začetku kretnice in na ZSP izračunamo po enačbah:

$$h_1 = \frac{x_z}{m} = 65 \text{ mm}$$

$$h_2 = h_1 - \frac{(D + s)}{m} = 27 \text{ mm}$$

Višinska razlika  $\Delta h$  za ZSP:

$$\Delta h = \frac{(D + s)^2 h_2}{3R_0} = 39,4 \text{ mm}$$

Za  $s$  upoštevamo enako vrednost kot pri kretnicah KR1 in KR2 ( $s = 5,236 \text{ m}$ ).

Padec odklonske smeri na ZSP:

$$s_{\text{‰}} = \frac{1000 \cdot (D + s) \cdot (2x_z - 3(D + s))}{3R_0 \cdot m} = 0,49 \text{ ‰}$$

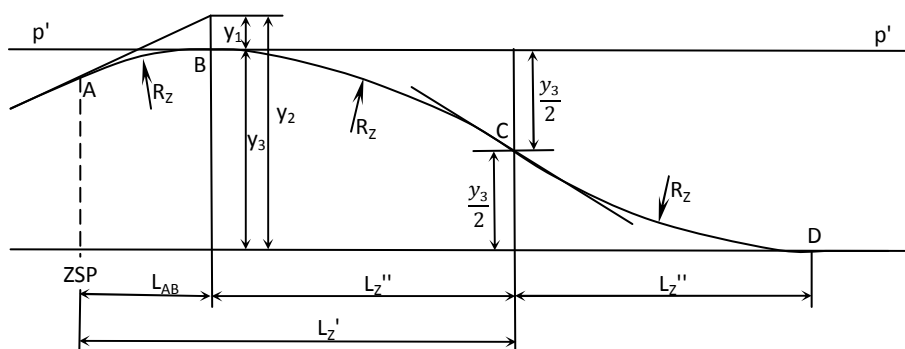
Razdalja obračajne točke do začetka kretnice, kjer je  $c = L$ :

$$x_1 = \frac{c}{3} = 26,67 \text{ m}$$

Razdalja minimuma od začetka kretnice:

$$x_2 = \frac{2c}{3} = 53,33 \text{ m}$$

ZSP sledita dva zaokrožitvena loka, ki sta izpeljana tako, da niveleta stranskega tira čim prej poteka po niveleti glavnega tira, vendar brez nadvišanja. Za zaokrožitvena loka sem izbral polmer  $R_Z = 5000 \text{ m}$ .



Slika 67: Shematični podolžni profil zaokrožitvenih lokov

Za izračun dolžin  $L_Z'$  in  $L_Z''$  obeh zaokrožitvenih lokov, moramo pred tem še izračunati še del prvega zaokrožitvenega loka od točke A do B:

$$L_{AB} = \frac{R_Z}{1000} \cdot s_{\text{‰}} = 2,45 \text{ m}$$

Nato izračunamo kote točke B:

$$y_1 = \frac{L_{AB}^2}{2R_Z} = 0,0006 \text{ m}$$

$$y_2 = \Delta h + L_{AB} \frac{s_{\text{‰}}}{1000} = 0,0406 \text{ m}$$

$$y_3 = y_2 - y_1 = 0,040 \text{ m}$$

Sedaj lahko izračunamo  $L_Z''$ :

$$L_Z'' = \sqrt{R_Z \cdot y_3} = 14,142 \text{ m}$$

Dolžina  $L_Z'$  prvega zaokrožitvenega loka:

$$L_Z' = L_Z'' + L_{AB} = 16,592 \text{ m}$$

### 6.3 Višinski načrt za celotno kretniško območje

Sedaj lahko izračunamo še višinski načrt za celotno območje. Vzemimo, da ima proga vzdolžni nagib  $S\text{‰} = 2\text{‰}$ . To pomeni, da se proga dviguje iz smeri A proti B. Za lažje razumevanje poimenujmo notranji tir v krožnem loku Tir 1 in zunanji tir Tir 2. Stranski tir, ki se odcepi v prehodnici, naj bo Tir 3.

Izračun višinske kote GRT v izhodiščni točki:

Za izhodiščno točko sem izbral mesto začetka prve kretnice (KR1) na kilometraži 0,000 km. V tej točki ima Tir 1 koto  $GRT_1 = 0,000 \text{ m}$ . Koto Tira 2 izračunamo tako, da GRT Tira 1 prištejemo vrednost  $\Delta H$ , ki jo izračunamo po naslednji enačbi:

$$\Delta H = \frac{e \cdot h}{1,5}$$
$$\Delta H = \frac{4,75 \cdot 0,065}{1,5} = 0,206 \text{ m}$$

GRT Tira 2 je tako na začetku KR1 enak  $GRT_1' = 0,206 \text{ mm}$ .  $\Delta H$  v krožnem loku predstavlja konstantno višinsko razliko med koto Tira 1 in 2.

Izračun višinske kote GRT v točki ZSP prve kretnice:

Kilometraža druge točke je 0,047 km. Višino Tira 1 v tej točki izračunamo po enačbi:

$$GRT_n = GRT_{n-1} + \frac{S\text{‰} \cdot \Delta l}{1000}$$

Kjer  $\Delta l$  pomeni dolžino odseka proge, ki jo dobimo kot razliko med kilometražama prve in druge točke v metrih.

$$GRT_2 = 0,000 + \frac{2 \cdot 47}{1000} = 0,094 \text{ m}$$

GRT Tira 2:

$$GRT_n' = \Delta H + GRT_n$$

$$GRT_2' = 0,206 + 0,094 = 0,3 \text{ m}$$

V tej točki je potrebno izračunati tudi koto GRT tirne zveze. Izračunamo jo tako, da koto GRT Tira 2 prištejemo  $\Delta h_1$  na ZSP prve kretnice. GRT glede na izračunane vrednosti v poglavju 6.1.4:

$$GRT_2'' = 0,3 - 0,095 = 0,205 \text{ m}$$

Izračun višinske kote GRT v točki ZSP druge kretnice:

Kilometražna tretje točke je 0,056 km. Višina Tira 1 v tej točki:

$$\Delta l = 56 - 47 = 9 \text{ m}$$

$$GRT_3 = 0,094 + \frac{2 \cdot 9}{1000} = 0,112 \text{ m}$$

GRT Tira 2:

$$GRT_3' = 0,206 + 0,112 = 0,318 \text{ m}$$

V tej točki je potrebno izračunati tudi koto GRT tirne zveze. Izračunamo jo tako, da koto Tira 1 prištejemo  $\Delta h_2$  na ZSP druge kretnice. GRT glede na izračunane vrednosti v poglavju 6.1.4:

$$GRT_3'' = 0,112 + 0,0948 = 0,207 \text{ m}$$

Izračun višinske kote GRT v točki začetka KR2:

Kilometražna četrte točke je 0,103 km. Višina Tira 1 v tej točki:

$$\Delta l = 103 - 56 = 47 \text{ m}$$

$$GRT_4 = 0,112 + \frac{2 \cdot 47}{1000} = 0,206 \text{ m}$$

GRT Tira 2:

$$GRT_4' = 0,206 + 0,206 = 0,412 \text{ m}$$

Izračun višinske kote GRT v točki začetka KR3:

Kilometražna pete točke je 0,110 km. Višina Tira 1 v tej točki:

$$\Delta l = 110 - 103 = 7 \text{ m}$$

$$GRT_5 = 0,206 + \frac{2 \cdot 7}{1000} = 0,22 \text{ m}$$

GRT Tira 2:

$$GRT'_5 = 0,206 + 0,22 = 0,426 \text{ m}$$

Izračun višinske kote GRT v točki ZSP tretje kretnice:

Kilometraža šeste točke je 0,157 km. Višina Tira 1 v tej točki:

$$\Delta l = 157 - 110 = 47 \text{ m}$$

$$GRT_6 = 0,22 + \frac{2 \cdot 47}{1000} = 0,314 \text{ m}$$

Ta točka se nahaja v prehodnici. Tu nastopi prehodna klančina, ki omogoči, da imajo tiri enak GRT, ko pridejo v premo. GRT v tej točki tako izračunamo glede na GRT na začetku prehodnice, saj je prehodna klančina linearna in tako s podobnimi trikotniki pridemo do enačbe:

$$\frac{\Delta H'}{L} = \frac{\Delta h'}{x_k}$$

Kjer je:

$\Delta H'$       razlika med  $GRT'_5$  in  $GRT'_7$

$\Delta h'$       razlika med  $GRT_6$  in  $GRT'_7$

$L$           dolžina prehodnice

$x_k$         razdalja med ZSP tretje kretnice in začetkom prehodnice

$GRT'_7$  bom izračunal v naslednji točki, kjer ugotovim, da je  $GRT'_7 = 0,38 \text{ m}$ , s čemer lahko izračunam vrednost  $\Delta h'$ :

$$\Delta h' = \frac{\Delta H' \cdot x_k}{L}$$

$$\Delta h' = \frac{0,046 \cdot 33,17}{80} = 0,0191 \text{ m}$$

GRT Tira 2:

$$GRT'_6 = 0,38 + 0,02 = 0,40 \text{ m}$$

V tej točki je potrebno izračunati tudi koto stranskega tira oziroma Tira 3. Izračunamo jo tako, da od kote GRT Tira 1 odštejemo  $\Delta h$  na ZSP tretje kretnice. GRT glede na izračunane vrednosti v poglavju 6.2.2:

$$GRT''_6 = 0,314 - 0,039 = 0,275 \text{ m}$$

Izračun višinske kote GRT na začetku prehodnice:

Kilometraža sedme točke je 0,190 km. V tej točki so kote GRT enake za vse tire, saj je proga prešla v premo, kjer ni več nadvišanja. Zako lahko zapišem:

$$\Delta l = 190 - 157 = 33 \text{ m}$$

$$GRT_7 = GRT_7' = GRT_7'' = 0,314 + \frac{2 \cdot 33}{1000} = 0,38 \text{ m}$$

Vrednosti višinskih kot GRT, v posameznih točkah kretniškega območja, so prikazane v naslednji preglednici:

Preglednica 10: Višinske kote GRT za točke kretniškega območja

|              | krožni lok |         |         |       | prehodnica |         |       |
|--------------|------------|---------|---------|-------|------------|---------|-------|
|              | T1         | T2      | T3      | T4    | T5         | T6      | T7    |
| tir 2        | 0,206      | 0,300   | 0,318   | 0,412 | 0,426      | 0,400   | 0,380 |
| tirna zveza  | /          | 0,205   | 0,207   | /     | /          | /       | /     |
| Tir 1        | 0,000      | 0,094   | 0,112   | 0,206 | 0,220      | 0,314   | 0,380 |
| stranski tir | /          | /       | /       | /     | /          | 0,275   | 0,380 |
| lega točke   | ZKr1       | ZSP Kr1 | ZSP Kr2 | ZKr1  | ZKr3=KP    | ZSP Kr3 | ZP    |

Izračunane kote posameznih točk nam omogočajo izris višinskega načrta za celotno območje kretnic. Kote GRT se nanašajo na notranje tirnice posameznih tirov, tako je na primer v krožnem loku kota zunanje tirnice v prvem tiru vedno večja za vrednost nadvišanja  $h = 65 \text{ mm}$ .

Glede na vzdolžni nagib proge  $S\text{‰} = 2 \text{‰}$ , izračunamo tudi nagib na ZSP v odklonskih smereh posameznih kretnic. Te vrednosti dobimo tako, da progovni nagib algebrsko prištejemo izračunanemu nagibu  $s\text{‰}$  iz poglavja 6.1.4 in 6.2.2.

Za kretnici št. 1 in 2 je enako:

$$s\text{‰} = 2 - 3,98 = -1,98 \text{‰}$$

Za kretnico št. 3 pa znaša  $s\text{‰}$ :

$$s\text{‰} = 2 - 0,49 = 1,51 \text{‰}$$

## 7 ZAKLJUČEK

Kot izhodišče za praktični del diplomske naloge sem dobil geometrijo kretniškega območja. Ta je predpisovala dvotirno progo v krožnem loku s polmerom krožnega loka ( $R = 800$  m), ki se nato s prehodnico ( $L = 80$  m) zaključi v premo. V krožnem loku sem moral izdelati tirno zvezo, na prehodu iz krožnega loka v prehodnico pa še odcepitev stranskega tira od glavnega.

Za izdelavo rešitve obravnavanega primera sem uporabil tri kretnice osnovne oblike 60E1 – 500 – 1:12.

Za tirno zvezo sem izbral, da je sestavljena iz desne notranje krivinske kretnice 60E1 – 804,75/308,39 – 1:12 (KR1) in leve zunanje krivinske kretnice 60E1 – 1333,33/800 – 1:12. Polmere glavnih in odklonskih smeri sem izračunal iz danega polmera krožnega loka, v katerega je bila kretnica vgrajena, ter medsebojne razdalje med tiroma v krožnem loku. Nato sem določil nadvišanje v krožnem loku ( $h = 65$  mm). Izbrano nadvišanje in dani radiji določajo hitrost, s katero lahko vlak pelje preko kretnice v krožni lok – glavno smer. Hitrost vlaka v glavni smeri pri vožnji preko kretnice je tako  $V = 105$  km/h.

Ko osnovno obliko kretnice krivimo v krivinsko kretnico, je potrebno določiti tudi spremembe dolžine vmesnih tirnic in puščice za vezavo kretnice. Nato sem lahko začel z izračunom tirne zveze. Najprej sem določil polmer vmesnega loka za kretnico št. 1, za katerega sem izbral  $R' = R_2 = 308,39$  m. S tem sem se izognil košarastemu loku. Za določitev tirne zveze sem nato moral izračunati še središčni kot vmesnega loka  $\alpha'$ , ter dolžino vmesne preme  $p$ , ki je povezala vmesni lok s koncem kretnice št. 2.

$\alpha' = 1^\circ 1' 37''$ , iz česar sem izračunal dolžino vmesnega loka  $L' = 5,521$  m. Izračunana dolžina preme pa je  $p = 9,111$  m. S tem je tirna zveza enolično določena.

Sledil je izračun višinskega načrta za celotno tirno zvezo. Izračunan gradient nivelete celotne tirne zveze je  $s\text{‰} = 3,89$  ‰. Ker je odklonska smer zunanje krivinske kretnice (KR2) negativno nadvišana, je hitrost, s katero je mogoče varno peljati v odklon, tudi merodajni pogoj za hitrost v tirni zvezi. Dopustna hitrost v tirni zvezi je tako  $V_{odkl} = 60$  km/h.

Nato je bilo potrebno sprojektirati še parabolično kretnico (KR3). Postopal sem po enakih korakih in najprej določil obliko kretnice z izračunanjem krivinskih radijev. Izračunal sem desno notranjo parabolično kretnico oblike 60E1 – 1081/341,9 – 1:12. Tudi pri parabolični

kretnici sem moral izračunati spremembe dolžin vmesnih tirnic in puščice za vezavo kretnice, nato pa sem določil potrebne parametre za zakoličbo tirne zveze oziroma odcepa stranskega tira od glavnega.

Za polmer priključnega loka na stranski tir sem določil  $R' = 500$  m. Za enolično določitev tirne zveze pa sem moral izračunati še dolžino vmesne preme  $p$  in elemente priključnega loka  $\alpha'$ ,  $t'$  in  $L'$ . Na podlagi izračuna dolžine vmesne preme  $p = 11,78$  m in središčnega kota  $\alpha' = 4^\circ 6' 12''$  sem dobil  $t' = 17,912$  m in  $L' = 35,809$  m. Nato sem izračunal višinski načrt za KR3. Izračunan gradient nivelete na ZSP je  $s_{\text{‰}} = 0,58$  ‰. Nagib prehodne klančine je 1:m = 1:1230,8. Sledil je izračun dolžine zaokrožitvenih lokov, za katere sem izbral polmer  $R_Z = 5000$  m. Izračunani dolžini  $L_Z'$  in  $L_Z''$  obeh zaokrožitvenih lokov, sta:  $L_Z' = 17,042$  m in  $L_Z'' = 14,142$  m.

Na koncu sem izračunal še višinski načrt v primeru progovnega nagiba  $S_{\text{‰}} = 2$  ‰ za celotno obravnavano območje, s katerim sem določil višinske kote in kilometraže posameznim točkam proge. S tem sem progo enolično določil tako v tlorisu, kot tudi v vzdolžnem prerezu.

Na osnovi izračunov sem z računalniškim programom Ferrovial, ki omogoča projektiranje železniških prog, izrisal načrt situacije in višinski načrt za celotno kretniško območje. Priloga B prikazuje načrt situacije, priloga C pa višinski načrt.

## **VIRI**

Ajdič, F. 1971. Montaža kretnic in pogoji za vgrajevanje v tir, Ljubljana.

Černe, B. 2008. Železniške postaje, osebna komunikacija (10.3.2011.)

Esveld, C. 2001. Modern railway track, Delft, Delft university of technology: str. 333-347.

Gspan, J. 1962. Železnice II. Zgornji ustroj železnic. Ljubljana, Univerza v Ljubljani: str. 154-186.

Javna železniška infrastruktura. 2012.

[http://www.mzip.gov.si/si/delovna\\_podrocja/zeleznice\\_in\\_zicnice/javna\\_zelezniska\\_infrastruktura/](http://www.mzip.gov.si/si/delovna_podrocja/zeleznice_in_zicnice/javna_zelezniska_infrastruktura/) ( Pridobljeno 11.6.2012)

Kretnice podjetja Voestalpine. 2012.

[http://www.voestalpine.com/vaers/en/products/railway\\_infrastructure/switchsystems.html](http://www.voestalpine.com/vaers/en/products/railway_infrastructure/switchsystems.html)  
(Pridobljeno 5.6.2012)

Milojković, T. 1986. Gornji stroj železnica. Beograd, Birografika Subotica: str. 190-208.

Minić, Đ. 1985. Neprekinuti kolosek, Beograd, Novinsko – izdavačka radna organizacija: str. 220-235.

Montažni načrt kretnice 60E1 – 500 – 1:12, Voestalpine, Zeltveg, 2012, osebna komunikacija (31.8.2012)

Murko, J. 1972. Geometrijski elementi za zasnovo ločnih in paraboličnih kretnic, Ljubljana: str. 6-45 in str. 77-127.

Murko, J. 1972. Grafična metoda določevanja razporeda skrajšanih tirnic v tirnih lokih, Ljubljana.

Murko, J. 1972. Projektiranje in zakoličevanje ločnih in paraboličnih tirnih zvez, Ljubljana: str. 68-74, str. 225-229, str.247-248, str. 251-253, str. 258-261, str. 266-268 in str. 285-286.

Navodilo za vgradnjo kretnice, Voestalpine, Linz, 2012.

Priročnik št. 121, 1997. Postopek aluminotermičnega varjenja tirnic. Railtech international, Gennevilliers, 2012.

Pravilnik o zgornjem ustroju železniških prog, Uradni list RS, št. 92/2010.

Splošni zahtevani pogoji pri izdelavi kretnic, menjal, srčišč, posameznih kretniških delov in tirnih križišč. ŠŽ – PE infrastruktura Gradbena dejavnost, Ljubljana, 2011, osebna komunikacija (10.7.2012.)

Tehnična specifikacija za interoperabilnost. Podsystem: Infrastruktura za proge za konvencionalne hitrosti, EU, 2011/275.

Tomičić – Torlaković, M. 1996. Gornji stroj železnica. Beograd, Birografika Subotica: str. 252-264.

Topolšek, D., Lipičnik, M. 2008. Infrastruktura železniškega prometa: str. 52-57 in str. 63-64.  
[http://164.8.132.54/Logisticna\\_infrastruktura\\_VS/cetrto.html](http://164.8.132.54/Logisticna_infrastruktura_VS/cetrto.html) (Pridobljeno 5.6.2012.)

Zgonc, B. 1996. Železnice I. Projektiranje, gradnja in vzdrževanje prog. Ljubljana, Univerza v Ljubljani: str. 203-225

Standardi:

SIST EN 13232-1:2004. Železniške naprave - Zgornji ustroj – Kretnice in križišča – 1.del: Definicije.

SIST EN 13232-4:2005+A1:2012. Železniške naprave - Zgornji ustroj - Kretnice in križišča - 4. del: Postavljalna naprava in kontrola lege ostrice.

SIST EN 13232-5:2005+A1:2012. Železniške naprave - Zgornji ustroj - Kretnice in križišča - 5. del: Kretniška menjala.

SIST EN 13232-7:2006+A1:2012. Železniške naprave - Zgornji ustroj - Kretnice in križišča - 7. del: Kretniška srca s premičnimi deli.

SIST EN 13232-9:2006+A1:2012. Železniške naprave - Zgornji ustroj - Kretnice in križišča -  
9. del: Kretniški sklopi.



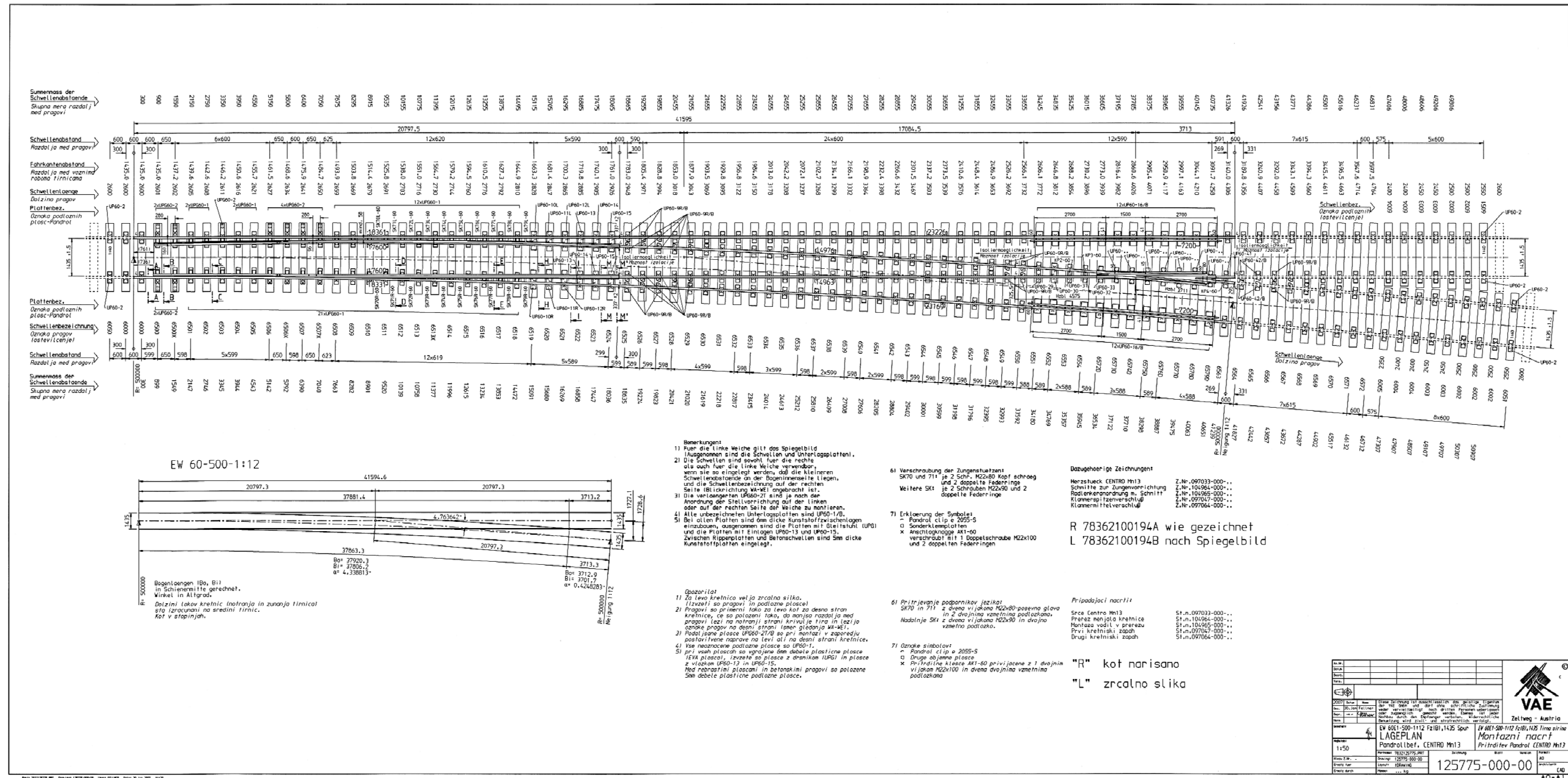
## **SEZNAM PRILOG**

Priloga A: Montažni načrt za krenico 60E1 – 500 – 1:12

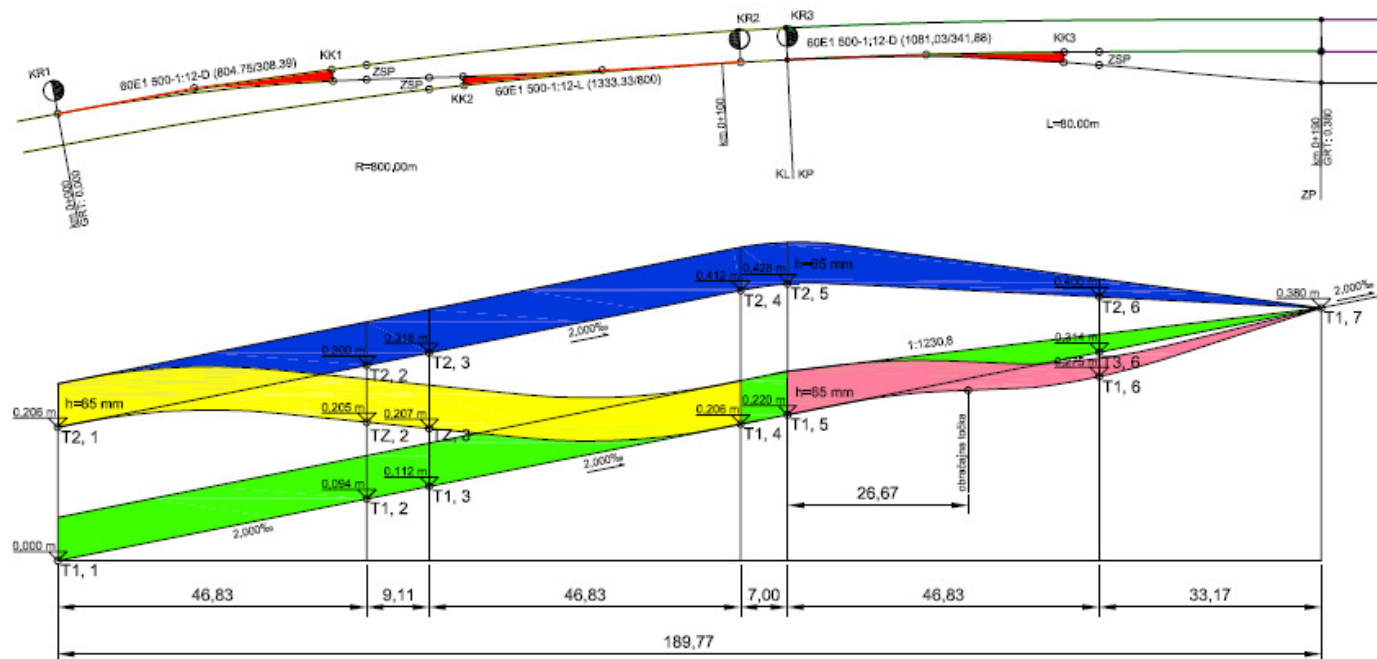
Priloga B: Višinski načrt kreniškega območja



## Priloga A: Montažni načrt za kretnico 60E1 – 500 – 1:12







# PRILOGA B

NAČRT: Višinski načrt kretniškega območja

DATUM: September 2012

MERILO: 1:1000/10