

Univerza
v Ljubljani
Fakulteta
*za gradbeništvo
in geodezijo*

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



Univerzitetni program Gradbeništvo,
Prometna smer

Kandidat:

Mihael Grah

Rekonstrukcija izvozne kretnične harfe postaje Litija

Diplomska naloga št.: 2849

Mentor:
prof. dr. Bogdan Zgonc

Ljubljana, 28. 11. 2005

IZJAVA O AVTORSTVU

Podpisani **MIHAEL GRAH** izjavljam, da sem avtor diplomske naloge z naslovom:
»REKONSTRUKCIJA IZVOZNE KRETNIČNE HARFE POSTAJE LITIJA«.

Izjavljam, da se odpovedujem vsem materialnim pravicam iz dela za potrebe elektronske
separatoteke FGG.

Ljubljana, 8.11.05

BIBLIOGRAFSKO – DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK

UDK:	625.15(043.2)
Avtor:	Mihael Grah
Mentor:	prof.dr. Bogdan Zgonc
Naslov:	Rekonstrukcija izvozne kretnične harfe postaje Litija
Obseg in oprema:	71 str., 6 pregl., 28 sl.,
Ključne besede:	rekonstrukcija progovnega odseka, ločne kretnice, deviacija

Izveček:

Diplomsko delo obravnava rekonstrukcijo odseka na progi med Zidanim Mostom in Ljubljano med km 534+680 in 536+250. Ta obsega zadnji del vseh treh postajnih tirov postaje Litija, njeno izvozno kretnično področje in v nadaljevanju del odprte proge, ki je nastal na novo zaradi premika trase. Osrednji del diplomske naloge je obnova kretnične harfe, zato sem moral predelati še del postajnih tirov. Kretnična harfa obsega pet kretnic, od katerih sta dve navadni ločni in tri krivinske, katerih izvedba in vzdrževanje so znatno dražji od navadnih. Uporabimo jih le, če ni druge možnosti. To je tudi mojem v primeru, ker se zaradi konfiguracije terena krožni lok začne že na področju, kjer moramo namestiti kretnice. Za kretnično področje sem izdelal tudi poseben višinski načrt, vse tri odseke pa sem obdelal v tlorisu in narisu.

Zaradi zelenega dviga hitrosti s sedanjih 75 km/h na 90 km/h sem moral povečati radij lokov na progovnem odseku med km 535+200 in 536+250. Ta sprememba je zahtevala premik trase na kmetijske površine. Premakniti je bilo potrebno tudi 300 m regionalne ceste. Projektiral sem po pravilnikih in navodilih Slovenskih železnic, v glavnem po Pravilniku o pogojih za projektiranje, gradnjo in vzdrževanje zgornjega ustroja železniških prog.

BIBLIOGRAPHIC – DOCUMENTALISTIC INFORMATION

UDC: 625.15(043.2)
Avtor: Mihael Grah
Supervisor: prof.dr. Bogdan Zgonc
Title: Reconstruction of bended track switches Station Litija
Notes: 71p., 6 tab., 28 fig.
Key words: railway track section modernisation, turnout systems, track deviation

Abstract

The subject of this diploma thesis is a railway track reconstruction between Zidani Most and Ljubljana (Slovenia). The track section between kilometer 534+680 and 536+250 contains the rear part of three Litija station tracks, the departure turnout systems and the following railroad. That was a new construction because of a track relocation. A part of the station tracks had to be adapted as a result of the turnout system modernisation, which is the main part of this thesis. The turnout system consists of five track switches, namely two ordinary and three bended. The second type produces much higher installation and maintenance expenses and is used only if there is no other possibility. In this case the landscape configuration required bended tracks in the switch area. Furthermore, I worked out a special altitude profile as well as a ground and a front plan.

The increase of the speed limit from 75 to 90 km/h in the station entrance area required a bow radius enlargement from kilometer 535+200 to 536+250. In this section, the former curve with two radii of 375 m and 380 m was replaced by one larger curve with a radius of 500 m. This radius enlargement caused a railway displacement from the former location to agricultural land. As a result 300 m of a local road had to be moved. All the projecting work was done accordingly to the Slovenian Railway guidelines and directives. The most relevant was the guideline 314.

ZAHVALA

Za pomoč pri nastajanju diplomske naloge se iskreno zahvaljujem mentorju prof.dr. Bogdanu Zgoncu, za stalno strokovno in praktično pomoč pa Špeli Kavčič.

Zahvalil bi se tudi svoji širši družini za nepretrgano vsestransko podporo, predvsem pa Nevenki in Mii za neskončno potrpljenje in obžalujem za ves nenadomestljivi čas, ko nisem bil z njima.

KAZALO VSEBINE

1	UVOD	1
2	PROUČITEV OBSTOJEČEGA STANJA.....	3
2.1	Področje celotne rekonstrukcije.....	3
2.2	Kretnična harfa	4
3	IDEJNI NAČRT OBNOVE ODSEKA OD km 534+680 DO km 536+250	7
3.1	Deli kretnice	7
3.1.1	Definicija kretnic	7
3.1.2	Menjalo	8
3.1.2.1	Ravna ostrica	8
3.1.2.2	Ukrivljena ostrica s presegom	8
3.1.2.3	Tangencialna ostrica	9
3.1.2.4	Tangencialna ostrica z lomljenim vrhom	9
3.1.3	Srednji del kretnice	11
3.1.4	Srčišče	11
3.1.5	Vgradnja kretnice.....	13
3.1.6	Vzdrževanje kretnic	14
3.2	Teoretična podlaga izračunov	15
3.2.1	Horizontalni elementi.....	15
3.2.1.1	Horizontalni elementi odprte proge in postajnih tirov	15
3.2.1.2	Horizontalni elementi kretnic.....	18
3.2.1.2.1	Tangenta kretnic.....	18
3.2.1.2.2	Izračun spremembe vmesnih dolžin tirnic	19
3.2.1.2.2.1	Izračun puščic	21
3.3	Vertikalni elementi	22
3.3.1.1	Vertikalni elementi odprte proge in postajnih tirov.....	22
3.3.1.2	Višinski izračuni ločnih kretnic.....	23
3.3.1.2.1	Splošno.....	23
3.3.1.2.2	Oznake in formule	23
3.4	Rekonstrukcija.....	25
3.4.1	Splošno.....	25
3.4.2	Elementi trase v tlorisu	25
3.4.2.1	Levi tir	25
3.4.2.2	Desni tir	28
3.4.2.3	Tretji tir	30
3.4.2.4	kretnice in tirne zveze.....	32
3.4.2.5	Izračun dolžin vmesnih tirnic.....	36

3.4.2.5.1	Kretnica št. 13	36
3.4.2.5.2	Kretnica št. 15	37
3.4.2.5.3	Kretnica št. 16	38
3.4.2.6	Puščice	40
3.4.3	Elementi trase v narisu	46
3.4.3.1	Levi tir	46
3.4.3.2	Desni tir	47
3.4.3.3	Tretji tir	47
3.4.3.4	Višinski načrti izvozne kretnične harfe	47
3.4.3.5	Projektiranje načrta nadvišanj	55
3.4.3.5.1	Glavni prevozni - levi tir	55
3.4.3.5.2	Glavni prevozni – desni tir.....	55
3.4.3.5.3	Tretji tir	55
3.4.3.5.4	Prva kretnična zveza glavnih prevoznih tirov, kretnici 14 in 15	56
3.4.3.5.5	Druga kretnična zveza glavnih prevoznih tirov, kretnici 16 in 17... ..	56
4	OSTALI DEJAVNIKI..... Napaka! Zaznamek ni definiran.	
4.1	Prestavitev ceste.....	57
4.2	Vozna mreža na rekonstruiranem in novem delu trase.....	57
4.2.1	Tabela za maksimalni razmak drogov v odvisnosti od radija loka	57
4.2.2	Minimalni odmik od osi tira	57
5	SKLEPNE UGOTOVITVE.....	59
5.1	Ugodno.....	59
5.2	Neugodno.....	59
VIRI		61
PRILOGE.....		62

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Puščice glavne smeri kretnice 13

Preglednica 2: Puščice odklonske smeri kretnice 13

Preglednica 3: Puščice glavne smeri kretnice 15

Preglednica 4: Puščice odklonske smeri kretnice 15

Preglednica 5: Puščice glavne smeri kretnice 16

Preglednica 6: Puščice odklonske smeri kretnice 16

KAZALO SLIK

- Slika 1: Obstoječe kretnice št. 13, 14 in 15
- Slika 2: Obstoječi kretnici št. 16 in 17
- Slika 3: Kretnice s sestavnimi deli (Uradni list RS, št.85/00)
- Slika 4: Ravna ostrica (Milojković, T. 1986, str. 192.)
- Slika 5: Ukrivljena ostrica s presegom
- Slika 6: Tangencialna ostrica
- Slika 7: Tangencialna ostrica z lomljenim vrhom
- Slika 8: a) vodilna tirnica posebnega prečnega preseka
b) vodilna tirnica z odbijačem
- Slika 9: Srce v monoblok izvedbi
- Slika 9: Pregled delitve in delov kretnice
- Slika 10: Zaporedje pri varjenju kretnic
- Slika 11: Premočrtna prehodna klančina
- Slika 12: Sprememba tirničnih trakov glavne smeri
- Slika 13: Sprememba tirničnih trakov odklonske smeri
- Slika 14: Izračun puščic
- Slika 15: Navadna ločna kretnica v osnovni obliki
- Slika 16: Dolžine tirnic navadne desne kretnice v osnovni obliki
- Slika 17: Skica novih dolžin krivljene kretnice
- Slika 18: Puščice glavne smeri kretnice 13
- Slika 19: Puščice odklonske smeri kretnice 13
- Slika 20: Puščice glavne smeri kretnice 15
- Slika 21: Puščice odklonske smeri kretnice 15
- Slika 22: Puščice glavne smeri kretnice 16
- Slika 23: Puščice odklonske smeri kretnice 16
- Slika 24: Račun nadvišanj kretnice 13
- Slika 25: Račun nadvišanj kretnice 14
- Slika 26: Račun nadvišanj kretnice 15
- Slika 27: Račun nadvišanj kretnice 16
- Slika 28: Račun nadvišanj kretnice 17

1 UVOD

Postaja Litija leži v V. oz. XI. Panevropskem koridorju, na progi med Ljubljano in Dobovo. Ta odsek proge med Ljubljano in Zidanim Mostom je najbolj frekventen. Pogled na zemljevid pokaže, da poteka po zelo pestrem terenu, kar se je pokazalo že ob zahtevnem zasnovanju in gradnji te proge še pod Avstro-ogrsko monarhijo. Ker je zaradi pomembnosti prometnega koridorja predvidena gradnja nove trase za večje hitrosti s sofinanciranjem iz evropskih kohezijskih skladov, menim, da zdaj ni smiselno preveč vlagati v sedanjo traso. Obstoječe omrežje je do takrat potrebno ohranjati in s čim manjšimi vlaganji doseči boljšo pretočnost. Potek sedanje trase pokaže, da bi bilo smiselno investirati v manjše rekonstrukcije proge Ljubljana-Zidani Most le na odseku od Ljubljane do Save.

Da bi lahko poenotili hitrost na 100 km/h¹ ali več, bi morali na tem odseku odpraviti čim več nepotrebnih ovir. Izstopajo odseki: Zalog-Laze, kjer bi nekaj ovinkom rahlo povečali radij, ponovna sanacija predora Poganeč, da bi dovolil prevoz z zdajšnjo hitrostjo 90 km/h ter celotno območje postaje Litija.

V diplomski nalogi kot enega nujnih ukrepov obravnavam rekonstrukcijo kretnične harfe in naslednjih 1050m odprte proge na izvozni strani postaje Litija.

Diplomska naloga sem razdelil na 6 poglavij. V drugem poglavju podajam teoretične podlage kretnic, v tretjem teoretične podlage izračunov, v četrtem proučujem obstoječe stanje, v petem razgrinjam idejni načrt kot rešitev problematike, v šestem podajam spremljajočo problematiko, v sedmem pa sklenem in predstavljam dobre in slabe strani projekta.

Poleg navadnih kretnic, ki se vgrajujejo v premo, uporabljamo tudi kretnice, vgrajene v tirni lok. Imenujemo jih navadne ločne kretnice. To so posebne kretnice s srcem v loku.

Najpogosteje uporabljamo naslednje kretnice:

UIC 60-300-1:9 za glavne proge in S 49-300-1:9 za stranske proge

¹ Kadar bom v nadaljevanju govoril o hitrostih, vedno mislim na najnižjo progovno hitrost za potniške vlake, to je najnižja hitrost na rumenih tablah za omejitve hitrosti

UIC 60-500-1:12 za glavne proge in S 49-500-1:12 za stranske proge

UIC 60-760-1:14 za glavne proge in S 49-760-1:14 za stranske proge

UIC 60-1200-1:18,5 za glavne proge in S 49-300-1:18,5 za stranske proge

Primer: UIC 60 opisuje vrsto v kretnici uporabljenih tirnic (teža tirnice 60 kg/m), 1200 pomeni radij odklonskega tira v nekrivljeni obliki, 1:18,5 pa tangens kota kretnice, ki je lahko izražen tudi v stopinjah.

Če navadno ločno kretnico krivimo tako, da jo lahko vložimo v lok, govorimo krivinskih kretnicah. Lahko jih krivimo v notranje ali zunanje ločne kretnice. Če jo vložimo v prehodnico, je to parabolična kretnica. Poznamo notranje in zunanje krivinske kretnice. Notranja krivinska kretnica je tista, ki ima središči obeh radijev na eni strani kretnice, zunanja krivinska kretnica pa je tista, ki ima središči lokov na različnih straneh kretnice. Kretnice, katere imajo tangencialne ostrice in ločno srce, je značilno, da imajo dolžine vseh treh tangent enake. Dolžino tangente za vsako osnovno obliko kretnice dobimo po enačbi:

$$t = R_0 \cdot \tan \frac{\alpha}{2} \quad (1.1)$$

R_0 Radij odklonskega tira v osnovni obliki

α kot osnovne oblike kretnice

2 PROUČITEV OBSTOJEČEGA STANJA

2.1 Področje celotne rekonstrukcije

Področje rekonstrukcije se razprostira od konca perona v km 534+680 do km 536+250, približno na polovici poti med koncem litijske postaje in predorom Poganeč na glavni dvotirni progi št.10 med vozliščema Zidani Most in Ljubljana. Na progi se odvija levostranski promet. Na postajnem delu tega odseka je hitrost vlakov 75 km/h^2 , na delu odprte proge pa 90 km/h . Postajni del, torej tiri 1, 2 in 3, so že obnovljeni in nadvišanja na prevoznih tirih ustrezajo hitrosti 100 km/h . V smeri kilometraže se niveleta stalno dviga, pogosto spreminja nagib in predvsem v kretničnem področju je to zelo neugodno. Dva nagiba sta po veljavnih predpisih nedovoljena: v kilometru 535+058 se niveleta vzpne na $4,85 \%$, v km 535+117 pa na $3,50 \%$, vse do km 535+235, kjer preide na $1,80 \%$. Predpisi namreč dopuščajo na postajah nagib v loku največ do $2,50 \%$.

V horizontalnem pogledu se na levi tir vključim v km 534+680 v loku z radijem 560 m in nadvišanjem 100 mm, ki košarasto prehaja v radij 670m brez prehodnice z istim nadvišanjem. V km 534+915,05 z 20 m dolgo prehodnico preide v lok z radijem 500 m in nadvišanjem 80 mm. V tem loku sta obe kretnici tega prevoznega tira. V km 535+160,29 se košarasto, brez prehodnice priključi lok z radijem 390 m, v katerem je tudi rampa za spremembo nadvišanja z 80 mm na 135 mm in v km 535+223,70 košarasto preide v radij 385 m. V km 535+499,66 se začne 80 m dolga prehodnica, za njo preide v lok z radijem 1250 in nadvišanjem 40 mm, ta pa košarasto preskoči v radij 1015 m brez prehodnice do km 536+182,10, kjer 50 m dolga prehodnica privede v premo. Na desnem tiru se obravnava začne v km 534+835, kjer že teče za 100 mm nadvišan lok z radijem 700 m, v km 534+846,54 s 25 m dolgo prehodnico se preusmeri v radij 500 m, nadvišan za 80mm do km 535+107,76. Tu se začne tudi 80 mm nadvišan lok z radijem 380 m, košarast prehod v radij 375, v katerem nadvišanje preide na

² Kadar bom v nadaljevanju govoril o hitrostih, vedno mislim na najnižjo progovno hitrost za potniške vlake, to je najnižja hitrost na rumenih tablah za omejitve hitrosti

100 mm, v km 535+499,96 pa se preko 80 m dolge prehodnice vključi v radij 1250m, iz njega pa preko 50 m dolge prehodnice v premo.

Največji problemi tega odseka so še neobnovljena kretnična harfa na izvozni strani postaje, ozko grlo oz. dva preostra radija, da bi lahko na celem odseku vlaki vozili 90 km/h, prekoračen vzdolžni nagib na postajnem področju in hrup, saj del proge poteka neposredno mimo strnjenegega naselja. Del odprte proge od konca kretnične harfe v km 535+200 do km 536+250 je bil že obnovljen.

2.2 Kretnična harfa

Kretnična harfa postaje Litija zajema pet kretnic tipa S 49 – 500 1:12, med kilometroma 534+957.44 in 535+207.89. Kretnična zveza 14-15 med glavnima prevoznima tiroma obstaja že od prvotne gradnje proge, medtem ko je tirna zveza 16-17 vgrajena začasno zaradi sanacije predora Poganeč leta 1999. Ker se je pokazala potreba po stalnem obstoju te zveze tudi po zaključeni sanaciji, je niso odstranili. Obe kretnični zvezi sta izvedeni v S-loku, ki bi se ga morali pri projektih izogibati. Kretnično področje je na obeh straneh na nedovoljen način vgrajeno v močnejše tirnice UIC 60. To so glavni razlogi za nujno rekonstrukcijo tega kretničnega področja. Hitrost preko kretničnega področja v premo na prevoznih tirih je zaradi ostrih radijev 375 in 380 m omejeno na 75 km/h. Nadvišanje vseh kretnic je 80 mm.

Kretnica št. 13:

Namenjena je odcepu prehitevalnega tira za tovarne vlake. Stacionaža: 535+999.08, vgrajena je kot desna ločna kretnica. Glavna smer je krivljena v radij 500 m, odklonska smer pa v radij 250 m. Leto izdelave: 1980.

Kretnica št. 14:

Je sestavni del prve tirne zveze tega kretničnega področja in vlakom, ki pripeljejo po nepravem tiru iz smeri Kresnice, omogoča vračanje na pravi tir. Stacionaža: 535+000.08,

vgrajena je kot navadna desna kretnica z odklonsko smerjo v glavnem prevoznem tiru, ki se ujema z radijem odklonskega tira kretnice tipa 500. Leto izdelave: 1982.

Kretnica št. 15:

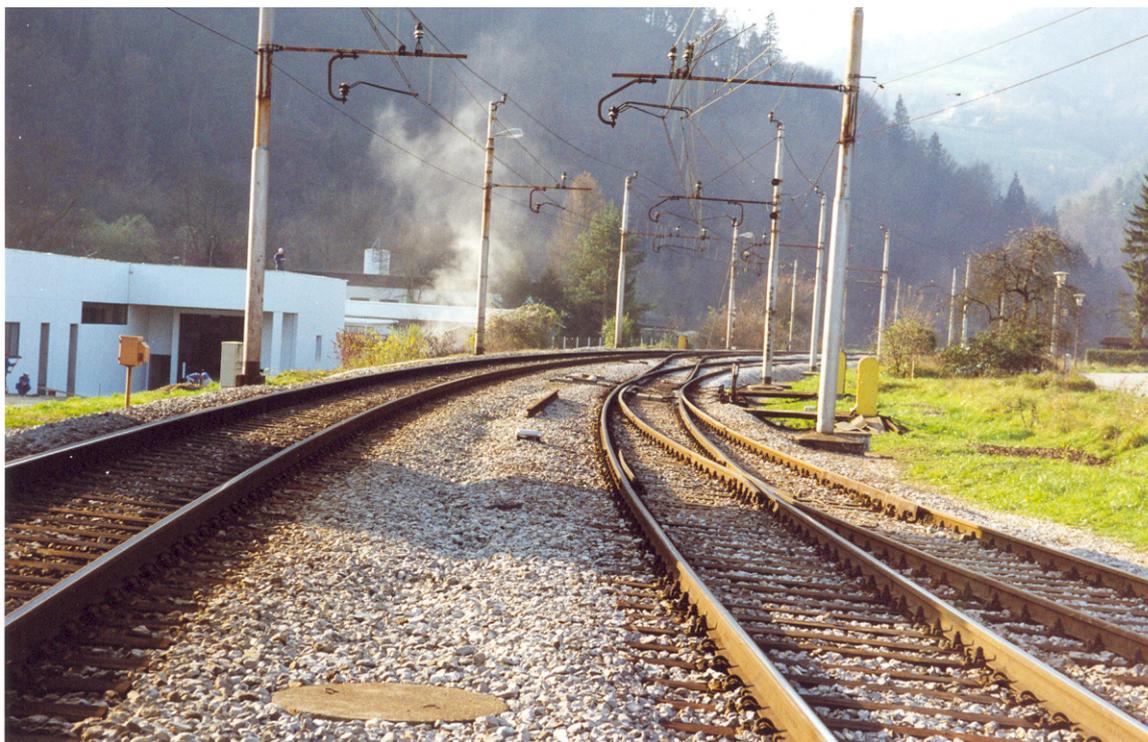
Je sestavni del prve kretniške zveze. Stacionaža: 535+097.45, vgrajena je kot leva ločna kretnica. Glavna smer je krivljena v radij 500 m, odklonska smer pa v radij 250 m. Leto izdelave: 1993.

Kretnica št. 16:

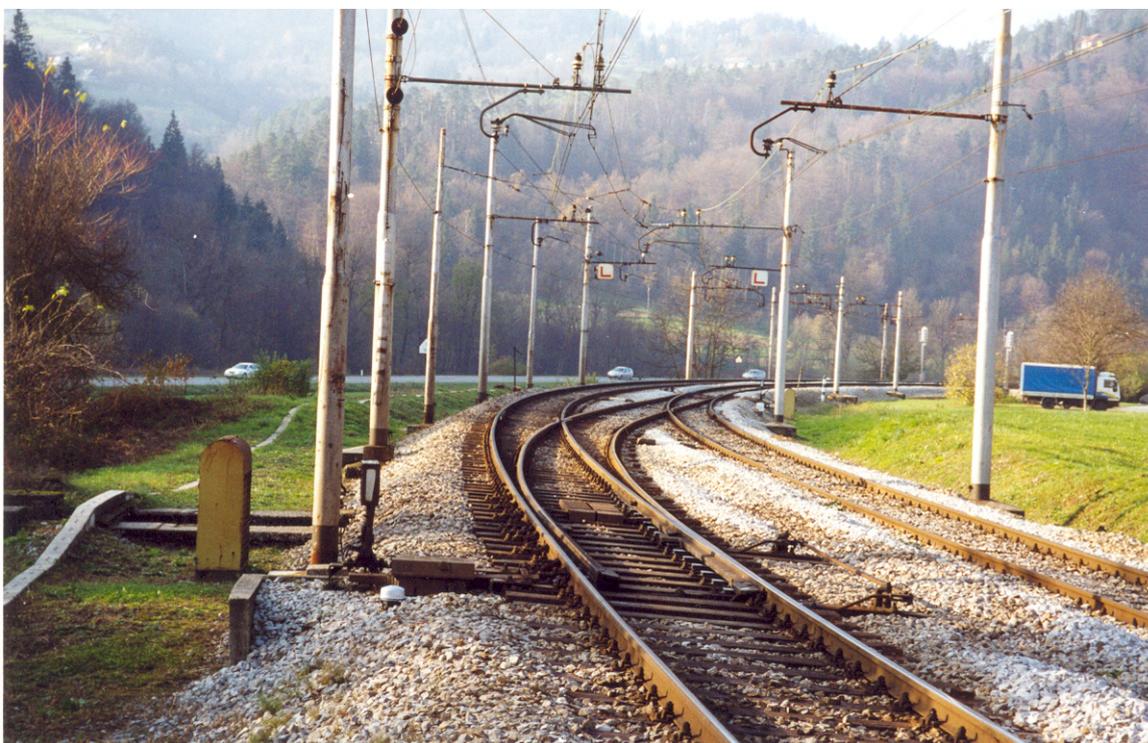
Je sestavni del druge kretnične zveze med glavnima prevoznima tiroma, ki omogoča izvoz vlakov s tira 1 na nepravi tir proti Kresnicam. Stacionaža: 535+100,00 vgrajena je kot ločna desna kretnica z glavno smerjo v glavnem prevoznem tiru, ki je krivljena v radij 500m. Odklonska smer je krivljena v radij 250m. Leto izdelave: 1997.

Kretnica št. 17:

Je sestavni del druge kretnične zveze. Stacionaža: 535+000.08, vgrajena je kot ločna leva kretnica z odklonsko smerjo v glavnem prevoznem tiru, krivljena je v radij prevoznega tira 380 m. Glavna smer kretnice je krivljena v radij 1587 m. Leto izdelave: 1971.



Slika 1: Obstoječe kretnice št. 13, 14 in 15



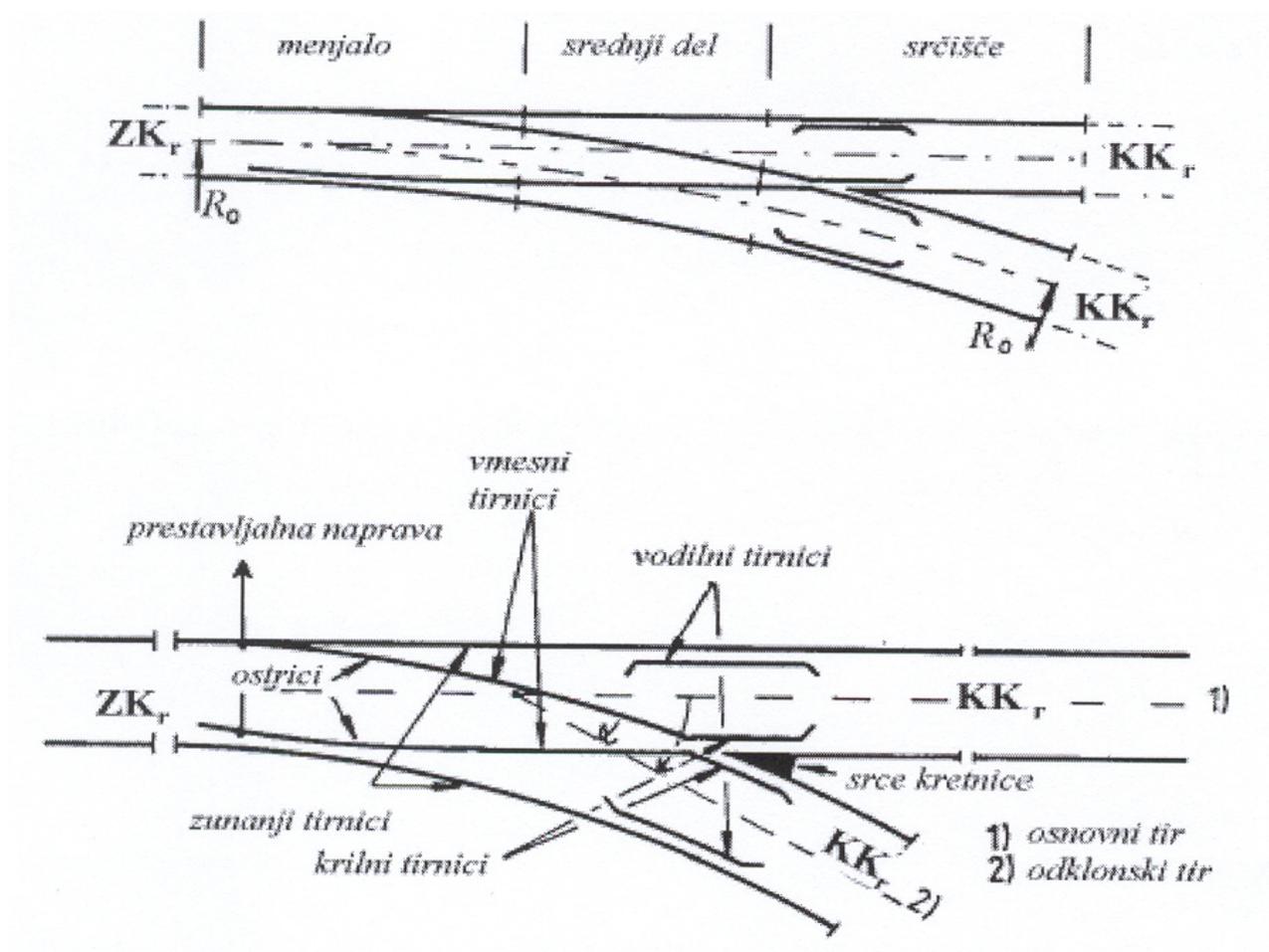
Slika 2: Obstoječi kretnici št. 16 in 17

3 IDEJNI NAČRT OBNOVE ODSEKA OD km 534+680 DO km 536+250

3.1 Deli kretnice

3.1.1 Definicija kretnic

Kretnica je tehnična naprava, ki omogoča prevoz vlaka z enega na drugi tir brez ustavitve. Sestavni deli kretnic so menjalo, srednji del in srčišče. Sredina kretnice pa je tista točka, kjer se sekajo vse tri tangente. Začetek kretnice je pri menjalu (ZK), konca kretnice sta dva - konec glavne smeri (KK) in konec odklonske smeri (KK'). Kot kretnice je kot, ki ga oklepata os glavnega tira z osjo odklonskega tira na koncu kretnice. Radij kretnice pa je radij krožnega loka odklonskega tira.



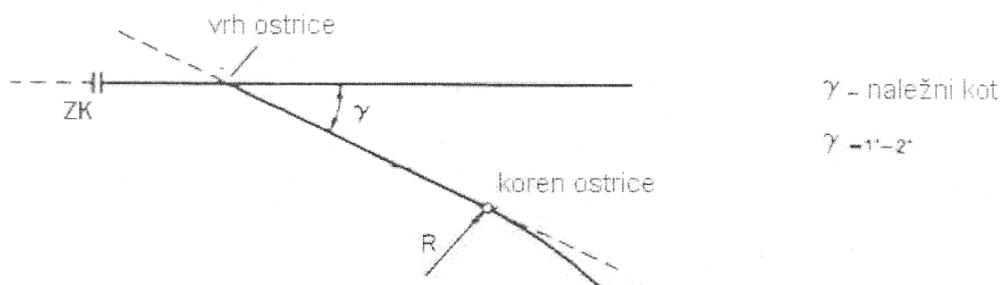
Slika 3: Kretnice s sestavnimi deli (Uradni list RS, št.85/00)

3.1.2 Menjalo

Sestavljen je iz dveh zunanjih tirnic, dveh ostric, podložnih plošč, pritrdilnega materiala ter menjalnega mehanizma. Položaji ostric in zunanjih tirnic morajo biti zavarovani vsak zase in tudi medsebojno. Preprečiti moramo polovični položaj, saj lahko privede do vožnje v razdvoj. Za prestavljanje ostrice ne sme biti potrebna prevelika sila.

3.1.2.1 Ravna ostrica

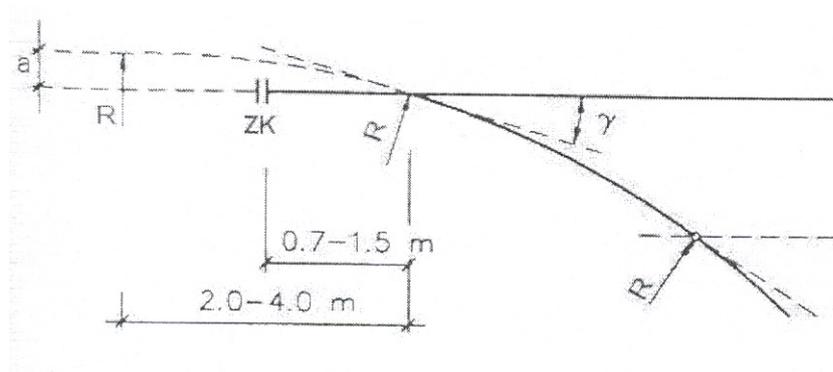
V tem primeru sta obe ostrici ravni. Prednost te izvedbe je enostavna izdelava in dejstvo, da so enake ostrice za leve in desne kretnice. Slabost pa je sunek, ki nastane pri vožnji skozi kretnico. To obliko najdemo pri starejših oblikah kretnic.



Slika 4: Ravna ostrica (Milojković, T. 1986, str. 192.)

3.1.2.2 Ukrivljena ostrica s presegom

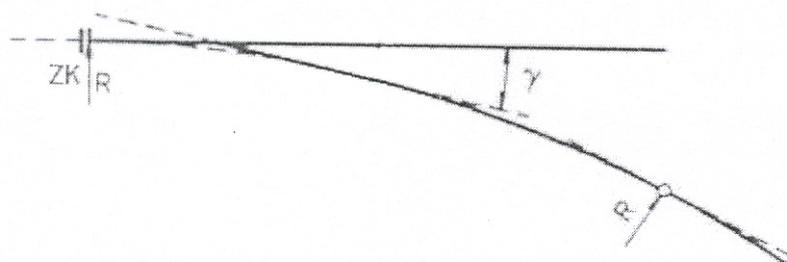
V tem primeru ima ostrica na začetku primernejšo debelino. Stik kretnice je od 0,7 do 1,5m in namišljeni pričetek loka 2 do 4 m pred vrhom ostrice. Odmikanje voznega roba ostrice od voznega roba zunanje tirnice je hitrejše kot pri ravni ostrici. Med kretnicami s to vrsto ostrice mora biti vsaj 6 m tira. Takih ostric se ne vgrajuje več.



Slika 5: Ukrivljena ostrica s presegom (Milojković, T. 1986, str. 192.)

3.1.2.3 Tangencialna ostrica

Pri tej ostrici je vozni rob v bližini vrha tangencialen na krivini te ostrice in se dotika glavne tirnice pod kotom γ . Odmikanje voznega roba ostrice je počasnejše kot pri ravni ostrici oz. pri ostrici s presegom, zato je vožnja udobnejša. Ta oblika ostrice se uporablja pri sodobnih kretnicah.

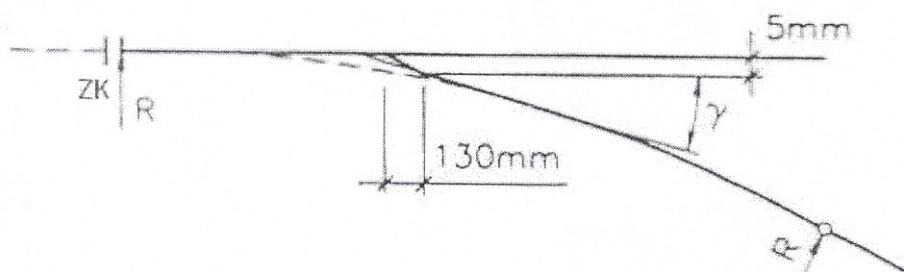


Slika 6: Tangencialna ostrica (Milojković, T. 1986, str. 192.)

3.1.2.4 Tangencialna ostrica z lomljenim vrhom

Uporablja se pri kretnicah z velikim radijem. 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

približno 130 mm. S tem dosežemo najbližji kot prileganja in zelo udobno vožnja. Ta način je uporabljen pri najsodobnejših kretnicah.



Slika 7: Tangencialna ostrica z lomljenim vrhom (Milojković, T. 1986, str. 192.)

Vrste ostric po konstrukciji:

- **Korenska ostrica:** Je starejša oblika izvedbe. Korenske ostrice so na korenu nasajene na čep. S tem je omogočeno premikanje ostrice okrog ene točke. Korenske ostrice so dolge okrog 5 m. Običajno je dolžina obeh ostric enaka.
- **Vzmetna ostrica:** Ta oblika ima le teoretično obračalno točko, obrača se okrog oslabiljenega dela ali pa se cela elastično upogiba. Izdelana je lahko iz:
 - navadnih tirnic in tirnic z debelejším vratom. Zaradi majhnega vztrajnostnega momenta tirnice v horizontalni smeri se tirnica upogiba po celi dolžini. Take so bile starejše oblike kretnic.
 - tirnic iz posebnih profilov. Ti profili so navadno nižji od glavne tirnice, s široko peto in odebeljenim vratom.
 - 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 tako, da se stanjša vrat. Potem se zavari za normalno tirnico in šele na njej se izdelava oslabiljen del, ki je upogljiv.

3.1.3 Srednji del kretnice

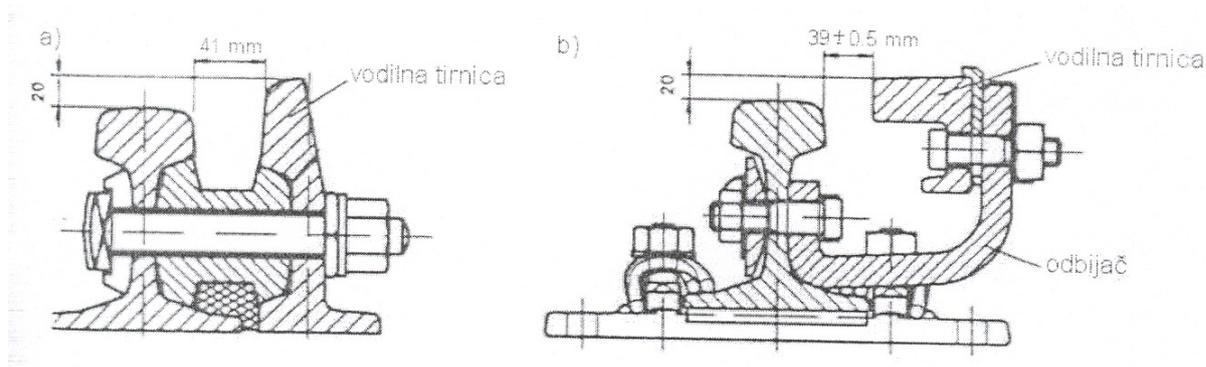
Srednji del je sestavljen iz štirih tirnic. Dve zunanji in dve vmesni. Izdelan je iz običajnih tirničnih profilov. Pri krivinskih in paraboličnih kretnicah se krajša oz. daljša ta del.

3.1.4 Srčišče

Srčišče sestavljajo vrh srca in krilne tirnice, vodilne tirnice in zunanje tirnice primernih dolžin. V srcu se ločne kretnice ločijo od navadnih. Ločne kretnice imajo tudi srce v loku, lok starejše kretnice odklonskega tira pa se konča pred srcem.

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. Pri starejših izvedbah kretnice se za vodilni tirnici uporabljajo kar običajni profili, ki so povezani z glavnima tirnicama. V mlajših izvedbah uporabljajo vodilno tirnico specialnega preseka in vodilno tirnico z odbijačem. Take vodilne tirnice so za 20 mm višje od glavnih. Vodilni tirnici morata biti oddaljeni za natanko določeno distanco voznih robov, kajti ta razmak prisili kolo v pravo smer.



Slika 8:

a) vodilna tirnica posebnega prečnega preseka

b) vodilna tirnica z odbijačem

(Milojković, T. 1986, str. 193.)

Glede na način izdelave in vrsto materiala ločimo naslednje vrste kretničnih src:

Srce v enem kosu oz. monoblok:

Krilni tirnici in vrh srca so izdelani iz enega kosa. Uliti so iz legiranega Mn ali Cr-Mn jekla najmanjše trdote $800 - 900 \text{ N/mm}^2$



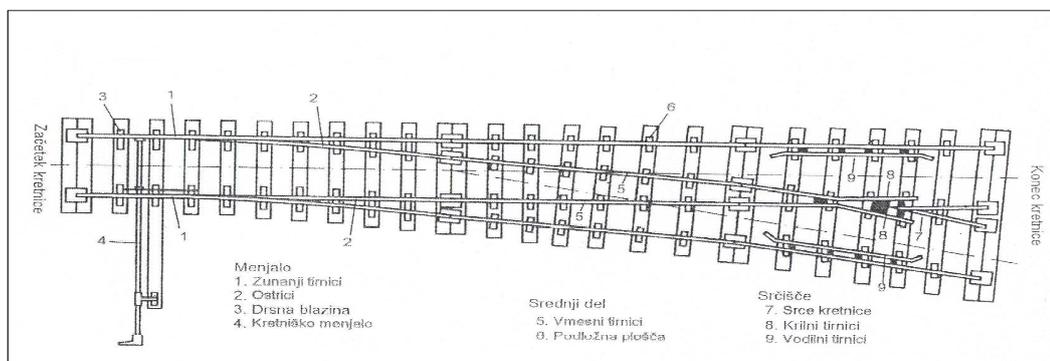
Slika 9: Srce v monoblok izvedbi
(Milojković, T. 1986, str. 195.)

Srce z vloženim jedrom:

Ta oblika se danes redkeje uporablja. Vrh srca je vlit kot en kos, včasih tudi vložki. Ta del je krajši od monobločnega srca, zato je vožnja prek njega manj udobna.

Pomična srca:

Teh oblik Slovenske železnice še nimajo, na zahodu jih uporabljajo na hitrih progah. Žleba med krilno tirnico in vrhom srca ni, zato sta vodilni tirnici nepotrebni. Obstajata dva načina postavljanja vozni poti: lahko se pomika vrh srca ali pa krilne tirnice. Tretja možnost so pomični klini za zapiranje žlebov.

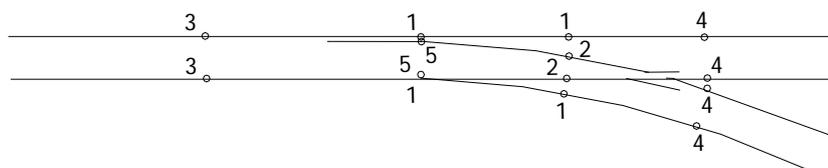


Slika 9: Pregled delitve in delov kretnice
 (Arhiv SVP Ljubljana)

3.1.5 Vgradnja kretnice

V preteklosti so se kretnice z vijačenimi stiki vgrajevale v tir. Danes se jih skoraj izključno varimo v dolgi tirni trak. Vendar se pri tem pojavlja nevarnost osnih napetosti, ki vplivajo na brezhibnost delovanja kretnice in kakovostno vožnjo po njej.

Kretnice varimo pri temperaturi od 0°C do 25°C. Pritrdilni material pred posegom odvijemo in po ohlajanju spet privijemo. Zaporedje pri varjenju je naslednje: najprej zvarimo zunanje tirnice srednjega dela, nato privarimo vmesni tirnici na krilni, stika na začetku kretnice, vse štiri stike na koncu kretnice in končno še stika na ostricah. Kretnico proti vzdolžnemu pomiku zavarujemo z MATHEE sponkami.



Slika 10: Zaporedje pri varjenju kretnic

3.1.6 Vzdrževanje kretnic

Uporabna doba kretnic je 18 do 25 let, z dobrim vzdrževanjem lahko to dobo še podaljšamo.

Na kretnicah opravljamo naslednje meritve:

- širina tira
- višinski odnos tirnic
- prileganje in odprtina ostric
- prevokotnost in posedenost stikov
- smer in niveleta kretnicpotrebna sila za prestavljanje ostric
- mere žlebov
- naleganje ostric in drsalke
- stabilnost pragov
- zvarjena mesta
- morebitni premiki kretnice ali njenih sestavnih delov
- velikost dilatacij na stikih
- obraba tirnic, srca in ostric

Tehnična varnost kretnice je zagotovljena, če so vse mere znotraj dovoljenih odstopanj, če so brez mehanskih poškodb ter brez vegavih in dotrajanih delov. Ostrice morajo pravilno bočno nalegati na matično tirnico in drsalke. Poškodovane in pokvarjene dele je potrebno čim prej zamenjati. Ob prekomerni uporabi, dotrajanju vrha ostrice in zunanje tirnice, vra srca ali krilne tirnice, je potrebno v celoti zamenjati vrh ostrice z zunanjo tirnico in vrh srca s krilno tirnico.

Kretnico je treba redno čistiti, drsne površine pa tudi namazati. Pragovi morajo biti leseni ali betonski. Leseni pregovi morajo biti ostrorobi. Pragovi morajo ležati na tolčencu, podlaga mora imeti primerno odvodnjavanje.

Pregledi na kretnicah na odprti progi, glavnih postajnih tirih in posebej obremenjenih kretnicah po ranžirnih postajah se izvajajo na tri mesece, glavni pregled kretnic pa se izvaja

enkrat na leto. Pregledi se vpisujejo v prometni dnevnik na pripadajočem službenem mestu. Podatki, pridobljeni med merjenjem pa se vpisujejo v knjigo meritev kretnic, ki jo vodjo v nadzorništvi proge.

Kritična mesta:

- na glavnih prevoznih tirih, kjer je tudi odklonska smer zelo obremenjena
- na slabo nosilnem spodnjem ustroju
- kretnična področja na ranžirnih postajah
- kretnice na odsekih proge za visoke hitrosti
- nadvišane krivinske kretnice, katerih vzdrževanje je dražje, kot za navadne

Za spodbijanje kretnic obstajajo posebni stroji, med njimi tudi kretnična spodbijalka. Delo s stroji pa zahteva tirno gredo določene debeline, kakovosti zrn in čistosti. Vsaka kretnica naj bi bila vsaj enkrat letno spodbita, bolj obremenjene pa večkrat.

3.2 Teoretična podlaga izračunov

3.2.1 Horizontalni elementi

3.2.1.1 Horizontalni elementi odprte proge in postajnih tirov

Poseg, ki ga obdelujem v diplomski nalogi, ima status rekonstrukcije. Zato sem pri opcijah v pravilniku uporabil formule za rekonstrukcijo.

- minimalni radij krožnega loka:

$$R_{\min} = 0,06V_{\max}^2 \quad (3.1)$$

- nadvišanje:

$$h = 7.1 \frac{V_{\max}^2}{R} \quad (3.2)$$

Izračunane vrednosti nadvišanj zaokrožujemo na 5 mm.

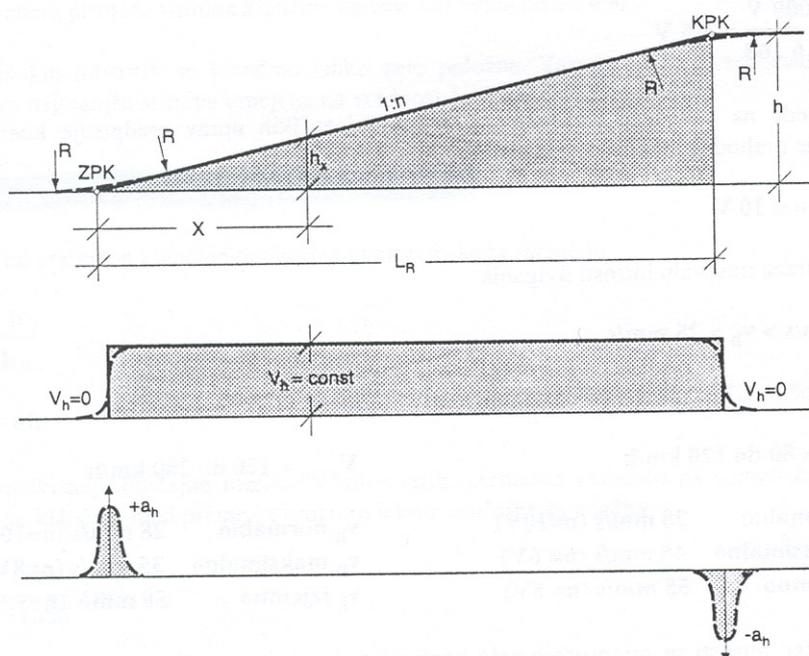
- hitrost vožnje skozi krivine:

$$V_{\max} = \sqrt{\frac{R \cdot h}{7,1}} \quad (3.3)$$

- premočrtna prehodna klančina:

Prehodna klančina omogoča prehod z nenadvišane preme v nadvišani lok. Značilnost premočrtna klančine je linearno naraščanje nadvišanja in konstantna strmina po vsej dolžini.

Pri nas uporabljamo le premočrtne prehodne klančine.



Slika 11: Premočrtna prehodna klančina

(Zgonc, B. 1996, str. 107.)

Strmina prehodne klančine:

$$n = 10V_{\max} \quad (3.4)$$

Pri rekonstrukcijah mora biti razmerje $1 : n = 1 : 600$, najblažji nagib pa $1 : 2000$.

Dolžina prehodne klančine pri prehodu iz loka v premo:

$$L_R = \frac{10 \cdot V \cdot h}{1000} \quad (3.5)$$

Dolžina prehodne klančine pri prehodu iz loka v lok:

$$L_R = \frac{10 \cdot V \cdot (h_1 - h_2)}{1000} \quad (3.6)$$

Ne glede na izračun, mora biti minimalna dolžina prehodne klančine vsaj 20 m, da se vozilo umiri pred vstopom v naslednji element. Izračunane dolžine se zaokrožujejo navzgor na 5 m.

- prehodnica:

Prehodnica se mora vgraditi na odprti progi in na glavnih prevoznih tirih postaj povsod, kjer je prehodna klančina. Po dolžini mora sovpadati s prehodno klančino.

- krivina brez prehodnic:

Prema-krožni lok:

$$R \leq \frac{V_{\max}^2}{4} \quad (3.7)$$

Košarasta krivina $R_1 > R_2$

$$\frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 - R_2} \geq \frac{V_{\max}^2}{4} \quad (3.8)$$

- smer tira:

Smer tira ugotavljamo z merjenjem puščic. Puščica v sredini tira:

$$f = \frac{s^2}{8 \cdot R} \quad (3.9)$$

3.2.1.2 Horizontalni elementi kretnic

3.2.1.2.1 Tangenta kretnic

$$t = \tan \frac{\alpha}{2} \quad (3.9)$$

Za izračun odklonskega radija pri notranjih krivinskih kretnicah uporabljamo formuli:

$$R_2 = \frac{R_1 \cdot R_0 - t^2}{R_1 + R_0} \quad (3.10)$$

Izračun hitrosti v odklon:

$$V_{\max} = \sqrt{\frac{R_2(h+100)}{11,8}} \quad (3.11)$$

Kretnico smemo kriviti le do meje, ko odklonski radij doseže vrednost $R = 214$ m.

3.2.1.2.2 Izračun spremembe vmesnih dolžin tirnic

Pri krivljenju navadne kretnice v krivinsko predpostavljamo, da se dolžine tangent ne spremenijo, dolžine osi pa se napram ravni kretnici nekoliko spremenijo. Najprej izračunamo to razliko, potem pa še za koliko se zaradi krivljenja spremenijo dolžine vseh štirih tirnih trakov. Spremembe dolžine korigiramo tako, da spremenimo dolžino vmesnih tirnic, tirnice menjala in srčišča pa ostanejo nespremenjena. Dolžina tangente t je enaka polovici dolžine ravne kretnice. Tako je D dolžina kretnice, $D = 2t$.

Δ_1 sprememba dolžine zunanje tirnice glavne smeri

Δ_2 sprememba dolžine notranje tirnice glavne smeri

Δ_3 sprememba dolžine zunanje tirnice odklonske smeri

Δ_4 sprememba dolžine notranje tirnice odklonske smeri

Ker sem v obravnavani kretnični harfi uporabljal le notranje krivinske kretnice, navajam formule le zanje:

$$\Delta_1 = -a+b$$

$$\Delta_2 = -a-b \quad (3.12)$$

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

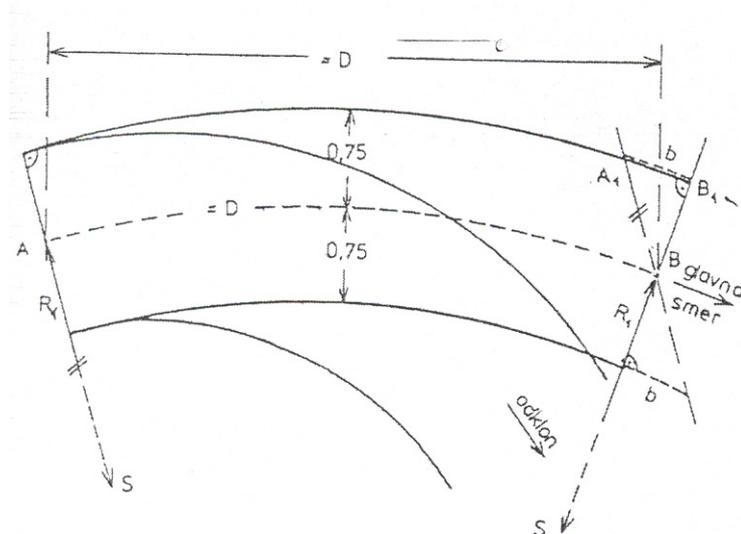
$$\Delta_4 = -a-b-c$$

Sprememba dolžine osi krivinske kretnice proti dolžini osi navadne kretnice v glavni smeri:

$$a = \frac{D_3}{12 \cdot R_1^2} \quad (3.13)$$

Sprememba dolžine zunanjega (notranjega) tirničnega traku glavne smeri proti dolžini osi glavne smeri:

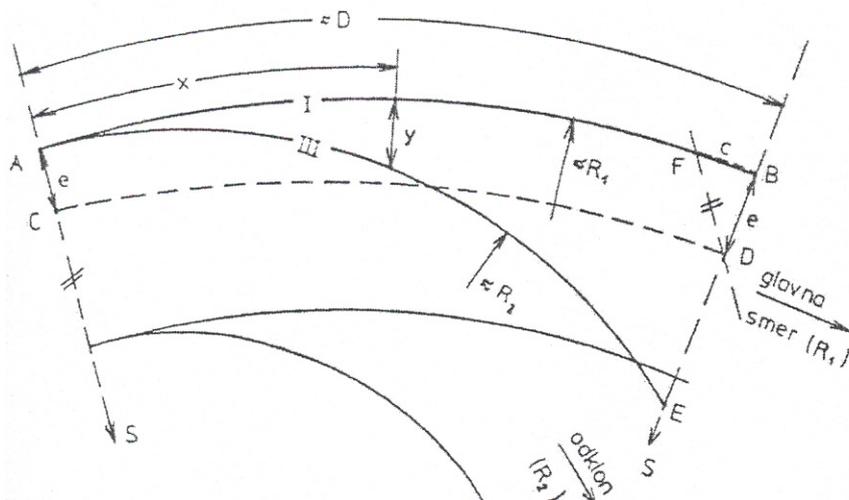
$$b = \pm 0,75 \frac{D}{R} \quad (3.14)$$



Slika 12: Sprememba tirničnih trakov
glavne smeri (Murko, J. 1972 str.8.)

Sprememba dolžine zunanlega (notranjega) tirničnega traku odklona proti dolžini zunanlega (notranjega) tirničnega traku glavne smeri:

$$c = \pm \frac{D^3}{6 \cdot R_0 \cdot R1} \quad (3.15)$$

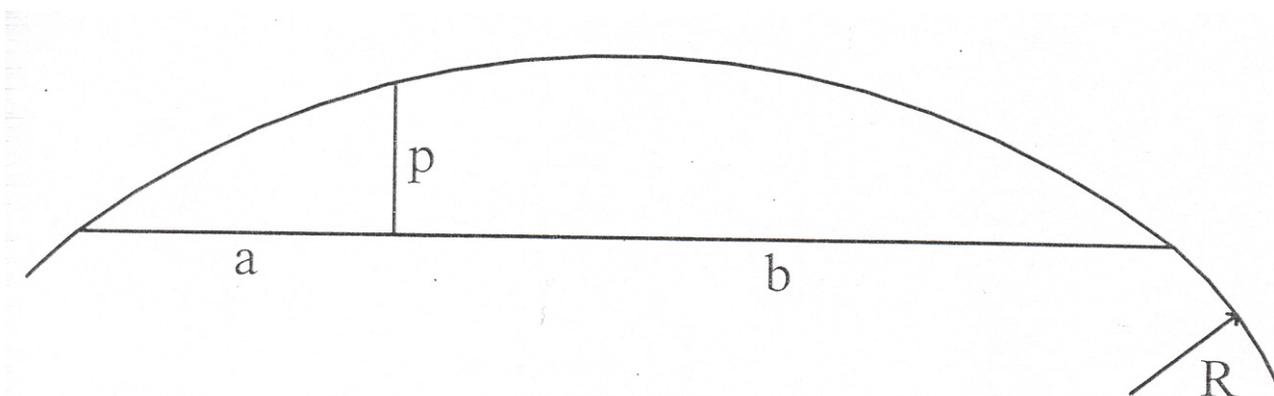


Slika 13: Sprememba tirničnih trakov odklonske smeri (Murko, J. 1972 str.8.)

3.2.1.2.2.1 Izračun puščic

Po izračunu sprememb dolžin vmesnih tirnic krivinskih kretnic, izračunamo še puščice, ki so nam pomoč pri vezavi kretnice. Dajo ji pravilno obliko. Izračunamo jih za glavno in odklonsko smer. Puščico izračunamo po naslednji formuli:

$$p = \frac{m \cdot n}{2 \cdot R} \quad (3.16)$$



Slika 14: Izračun puščic

V formuli sta m in n oba odseka tetive na krožnem loku z radijem R . Lok razdelimo na šest enakih delov, za katere izračunamo puščico.

m, n, \dots odseka tetive na krožnem loku

R, \dots radij krožnega loka

3.3 Vertikalni elementi

3.3.1.1 Vertikalni elementi odprte proge in postajnih tirov

Zaokrožitev lomov nivelete je potrebno, če je razlika nagibov večja od 1‰. To velja seveda za moj primer, to je za novogradnjo oz. rekonstrukcijo. Na odprti progi in na prevoznih tirih je ta odvisen od hitrosti:

$$R_v = V_{\max}^2 \quad (3.17)$$

Določiti je treba še tangento T in odmik y .

- izračun vertikalnih elementov:

a) horizontala-nagib

$$L_t = \frac{R \cdot i}{2 \cdot 1000} \quad (3.18)$$

b) nagib-nagib

$$L_t = \frac{R \cdot (i_1 - i_2)}{2 \cdot 1000} \quad (3.19)$$

c) vzpon-padec

$$L_t = \frac{R \cdot (i_1 + i_2)}{2 \cdot 1000} \quad (3.20)$$

Izračun ordinate:

$$y = \frac{L_t^2}{2 \cdot R} \quad (3.21)$$

3.3.1.2 Višinski izračuni ločnih kretnic

3.3.1.2.1 Splošno

Ločne kretnice imajo nadvišanje h . Tako se odklonska smer kretnice dviga ali spušča proti glavni smeri. Zato je potrebno poleg zakoličevalnih elementov v tlorisu določiti še elemente višinskega poteka. Če ima kretnica v glavni smeri nadvišanje h , je zaradi skupnih pragov, na katere je pritrjena, že določen potek nivelete odklonske smeri. Zato tudi ni potrebno računati vrednosti Δh med ZK, KK in KK', temveč zadostuje vrednost Δh na ZSP in nagib tangente glede na glavno smer na tem mestu.

3.3.1.2.2 Oznake in formule

i ‰.....nagib proge

D ‰.....diferenčni nagib

Z ‰.....končni nagib na ZSP v odklonski smeri kretnice

Δhvišinska razlika med voznima roboma nenadvišanih tirnic na ZSP

hnadvišanje v mm

brazdalja med voznima roboma nenadvišanih tirnic

s oddaljenost ZSP od konca kretnice (konstanta za vsak tip kretnice)

R_1 polmer krožnega loka glavne smeri od ZK do KK

R_2 polmer krožnega loka odklonske smeri od ZK do KK`

R_3 polmer priključnega krožnega loka odklonske smeri od KK` do ZSP

R_4 polmer priključnega krožnega loka glavne smeri od KK do ZSP

$$D = \frac{2 \cdot h}{3} \left(\frac{1}{n} \pm \frac{s}{R_3} \pm \frac{s}{R_4} \right) \quad (3.22)$$

$$\tan \delta = \frac{2 \cdot h}{3} \cdot \tan \varepsilon \quad (3.23)$$

$$\tan \varepsilon = \tan \alpha \pm \tan \beta_3 \pm \tan \beta_4 \quad (3.24)$$

$$\tan \alpha = \frac{1}{n} \quad (3.25)$$

$$\tan \beta_3 = \frac{s}{R_3} \quad (3.26)$$

$$\tan \beta_4 = \frac{s}{R_4} \quad (3.27)$$

$$\tan \delta = \frac{2h}{3} \left(\frac{1}{n} \pm \frac{s}{R_3} \pm \frac{s}{R_4} \right) = D \quad (3.28)$$

$$b = i \pm y_3 \pm y_4 \quad (3.29)$$

$$i = \frac{\frac{D}{2} + s}{n} \quad (3.30)$$

$$y_3 = \frac{s^2}{2R_3} \quad (3.31)$$

$$y_4 = \frac{s^2}{2R_4} \quad (3.32)$$

$$\Delta h = b \cdot \frac{h}{1,5} \quad (3.33)$$

$$Z = S + D \quad (3.34)$$

3.4 Rekonstrukcija

3.4.1 Splošno

Projekt zamenjave kretnične harfe izvozne strani postaje sem razširil v premaknitev trase na novo lokacijo med km 535+200 in 536+250, ker sicer kljub zamenjavi petih kretnic ne bi mogel dovolj dvigniti hitrosti na tem odseku. To pomeni, da bi ozko grlo kljub veliki investiciji ostalo, kar ni racionalno. Po zamenjavi uvoznih kretnic bi lahko dvignili hitrost skozi celotno postajo Litija na 100 km/h, saj je srednji del postaje že zdaj prirejen za to hitrost, med postajama Litija in Sava paje že zdaj dovoljena hitrost več kot 100 km/h. Proga za izvoznimi kretnicami Litije je do predora Poganeč usposobljena za hitrost 90 km/h. Najprej sem poskusil na izvoznih kretnicah in progi do Poganka dvigniti hitrost na 100 km/h, vendar je to terjalo lok z radijem 600 m. Za to bi morali nasuti del brega Save, kar za pridobitev 10 km/h večje hitrosti ni smiselno.

Odločil se sem se lok z radijem 500 m in nadvišanjem 115 mm, ki dovoljuje maksimalno hitrost vlaka 90 km/h, ker se mi zdi to dovolj racionalno. ako spreminjam le traso do km 535+250, naprej pa je za to hitrost že usposobljena. Tako pridobim za ta strošek navečji efekt, istočasno pa še odmaknem progo od naselja, združim prometne koridorje v snop prometnih poti po zahodnoevropskem vzoru in pridobim tik ob naselju na ozemlju stare trase zazidljiva zemljišča, primerna za gradnjo vrstnih hiš ob lokalni poti. Zanimanje za taka zemljišča je v današnjem času veliko in z izkupičkom od njihove prodaje bi lahko pokrili del investicije. Res je, da bi bilo treba prestaviti 1050 m proge, ki je bila pred nekaj leti remontirana, a se bo dalo tirnice, pragove in del tolčenca porabiti, saj je material še skoraj nov. Edini nov objekt, ki ga bi bilo treba zgraditi, je 4 m širok propust v km 535+627, da stanovanjska hiša, ki jo nova trasa odreže od glavne ceste, dobi nov dovoz.

3.4.2 Elementi trase v tlorisu

3.4.2.1 Levi tir

Na obstoječo traso priključim novo v km 534+680, to je v loku z radijem 560 m in nadvišanjem 100 mm na mestu, kjer se lomi niveleta. Ker pa je lok za spoznanje premalo nadvišan za novo hitrost 90 km/h, teh nekaj milimetrov dodam s pomočjo strojne regulacije in

odatka tolčenca. Niveleta sama obdrži svoj nivo. Ostali del podlage ostane nespremenjen, ker je že bil obnovljen. Izračun novega nadvišanja:

$$V = 90 \text{ km/h}$$

$$R = 560 \text{ m}$$

$$\alpha = 1^{\circ}46'59''$$

$$t = 8,747 \text{ m}$$

$$D = 17,427 \text{ m}$$

Formula 3.2:

$$h = 7.1 \frac{90^2}{560} = 103 \text{ mm}$$

Nadvišanje zaokrožimo in dobimo $h = 105 \text{ mm}$. V kilometru 534+970,43 lok brez prehodnice preide v radij 670 m, saj je po enačbi za preverjanje košarastih krivin pogoj zadoščen:

$$R = 670 \text{ m}$$

$$\alpha = 18^{\circ}32'35''$$

$$t = 109,421 \text{ m}$$

$$D = 216,836 \text{ m}$$

$$R_1 = 560 \text{ m}$$

$$R_2 = 670 \text{ m}$$

Formula 3.8:

$$\frac{560 \cdot 670}{670 - 560} \geq \frac{90^2}{4}$$

$$3410,91 \geq 2025$$

Isto nadvišanje se nadaljuje tudi v naslednjem loku. V km 534+924,03 prehaja lok v 20 m dolgo prehodnico in nato v radij 505 m. Izračun potrebne dolžine, strmine prehodne klančine in nadvišanja:

$$R = 505 \text{ m}$$

$$\alpha = 94^{\circ}34'0''$$

$$t = 545,624 \text{ m}$$

$$D = 833,514 \text{ m}$$

$$V_{\max} = 90 \text{ km/h}$$

Formula 3.2:

$$h = 7,1 \frac{90^2}{505} = 113,881 \text{ mm} ;$$

Zaokrožim na 5 mm in dobim nadvišanje 115 mm. Formula 3.6:

$$Lr = \frac{10 \cdot 90 \cdot (115 - 105)}{1000} = 9 \text{ m} ;$$

Ker je minimalna dolžina prehodne klančine 20m, privzamem to dolžino. Strmina znaša:

$$1 : n = 1 : 2000;$$

To je več, kot zahteva predpis za rekonstrukcije: min 1 : 600. V km 535+760,84 se začne 20 m dolga prehodnica, ki na koncu preide v radij 634m.

$$R = 634 \text{ m}$$

$$\alpha = 48^{\circ}31'37'9''$$

$$t = 103,732 \text{ m}$$

$$D = 207,919 \text{ m}$$

$$V_{\max} = 90 \text{ km/h}$$

Formula 3.2:

$$h = 7,1 \frac{90^2}{634} = 90,71 \text{ mm} ;$$

zaokrožim na 5 mm in dobim nadvišanje 95 mm. Po formuli 3.6 izračunamo:

$$Lr = \frac{10 \cdot 90 \cdot (115 - 95)}{1000} = 18m ;$$

Ker je minimalna prehodne klančine 20 m, privzamem to dolžino. Strmina rampe znaša:

$$1 : n = 1 : 1000 ;$$

Kar je spet več, kot zahteva predpis za rekonstrukcije: min 1 : 600. V km 535+986,14 se lok prelevi v 90 m dolgo prehodnico in nakoncu preide v premo

$$R = 634 \text{ m}$$

$$V_{\max} = 90 \text{ km/h}$$

Formula 3.5:

$$Lr = \frac{10 \cdot 90 \cdot 95}{1000} = 85,5m ;$$

Dolžino klančine zaokrožim na 5 m, in dobim dolžino 90 m.

$$1 : n = 1 : 947 ;$$

To je tudi več, kot zahteva predpis za rekonstrukcije: min 1 : 600. Prema se nadaljuje do km 536+250, kjer se konča območje mojega posega.

3.4.2.2 Desni tir

Rekonstrukcija na tem tiru se začne z lokom radija 700 m z nadvišanjem 100 mm, ki ga v horizontalni smeri ne premikam. Preverim le, če nadvišanje ustreza 100 km/h progovni hitrosti. Formula 3.2:

$$h = 7,1 \frac{100^2}{700} = 101,16 \text{ mm}$$

Če to še zaokrožim na 5mm, se pokaže, da za to hitrost potrebujemo nadvišanje 105mm. Zato bom za ta lok predvidel korekturo nadvišanja pri ohranitvi nivelete s pomočjo strojne regulacije. V km 534+849,04 se začne 20 m dolga prehodnica, ki pripelje do loka 500 m z nadvišanjem 115 mm:

$$R = 700 \text{ m}$$

$$\alpha = 105^\circ 54' 54''$$

$$t = 545,824 \text{ m}$$

$$D = 924,283 \text{ m}$$

Formuli 3.2 in 3.6:

$$h = 7,1 \frac{90^2}{500} = 115 \text{ mm}$$

$$Lr = \frac{10 \cdot 90 \cdot (115 - 105)}{1000} = 9 \text{ m};$$

Ker pa je minimalna dolžina prehodne klančine 20m, privzamem to dolžino. Strmina rampe znaša:

$$1 : n = 1 : 2000;$$

To je več kot po predpisih za rekonstrukcije: min 1 : 600. V tem loku ležijo tri od petih kretnic izvozne kretnične harfe. V km 535+759,73 se prek prehodnice začne lok z radijem 630 m z naslednjimi elementi:

$$R = 630 \text{ m}$$

$$\alpha = 18^\circ 35' 6''$$

$$t = 103,208 \text{ m}$$

$$D = 204,353 \text{ m}$$

Formula 3.2:

$$h = 7,1 \frac{90^2}{630} = 91,18 \text{ mm}$$

Zaokrožim in dobim $h = 95 \text{ mm}$; formula 3.6:

$$Lr = \frac{10 \cdot 90 \cdot (115 - 95)}{1000} = 18 \text{ m};$$

Minimalna dolžina prehodne klančine je 20m, zato privzamem to dolžino. Strmina znaša:

$$1 : n = 1 : 1000$$

To ustreza predpisu. V kilometru 535+986,14 pa s prehodnico preidemo v premo.

Formula 3.5:

$$Lr = \frac{10 \cdot 90 \cdot 95}{1000} = 85,5 \text{ m};$$

zaokrožim na 90 m, strmina prehodne klančine znaša:

$$1 : n = 1 : 947$$

Prema se nadaljuje do konca deviacije v km 536+250.

3.4.2.3 Tretji tir

Rekonstrukcija na tem tiru se začne v km 534+895 v loku z radijem 650 m. Obstoječe nadvišanje znaša 60 mm. V km 534+932,50 se začne prema, ki je rezervirana za namestitev dodatne kretnice, ko bo izvorni in ciljni lokalni promet na tej postaji tako narasel, da bo treba dodati še en slepi tir za te potrebe. Prema se konča v km 534+972,86, kjer se začne lok z

radijem 249,567 m, ki je v bistvu podaljšek odklonskega radija kretnice št.13. V km 534+951,20 je zadnji skupni prag, v km 534+957,00 pa konec kretnice 13. V izračunu horizontalnih elementov kretnic 15 in 16 sem ugotovil, da je največja dovoljena odklonska hitrost preko kretnic 14, 15, 16 in 17 65 km/h. Ker pa se v praksi vozi čez vse kretnice ene kretnične harfe z isto odklonsko hitrostjo, v naslednjem računu preverim, ali je ta hitrost mogoča tudi po tiru 3. Na zadnjem skupnem pragu imam nadvišanje 115 mm, ki ga moram znižati na 60 mm na začetku loka z radijem 650 m. Najprej izračunam, ali nadvišanje 60 mm zadostuje hitrosti 65 km/h:

$$R = 650 \text{ m}$$

$$\alpha = 2,^{\circ}58'5''$$

$$t = 16,993 \text{ m}$$

$$D = 33,671 \text{ m}$$

Formula 3.2:

$$h = 7,1 \frac{65^2}{650} = 46 \text{ mm}$$

Nadvišanje zadostuje tej hitrosti. Zdaj določim dolžino rampe: ker sem imel od ZSP do začetka loka na razpolago 42,425m, sem vzel za rampo 42 m. Ker pa mi niveleta rahlo zaide pod koto 3. tira, na sredini rampe naredim lom nivelete z zaokrožitvijo in dobim dve tangenti po 21 m. Izračuni:

Formula 3.6:

$$Lr = \frac{10 \cdot 65 \cdot (115 - 95)}{1000} = 35,75 \text{ m};$$

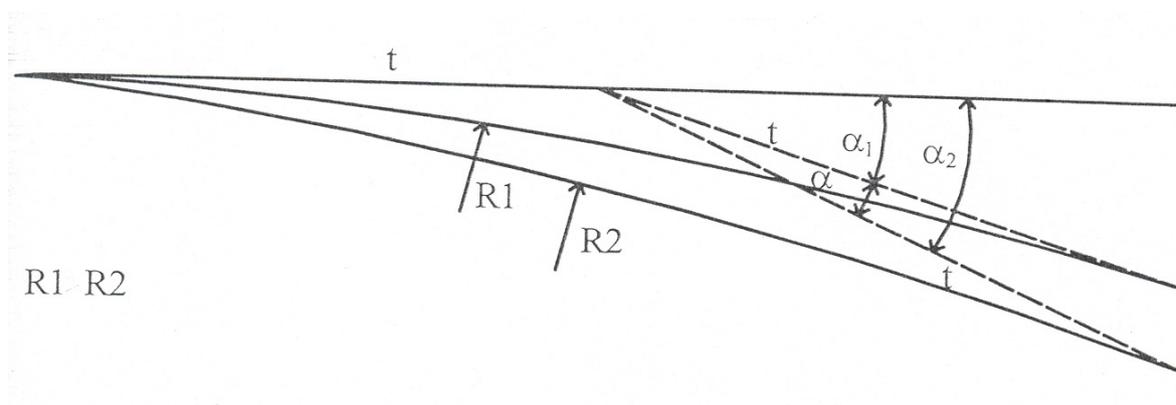
Torej dolžina tangente zadostuje. Strmina rampe znaša:

$$1 : n = 1 : 764$$

Tudi to ustreza pravilniku za rekonstrukcije.

3.4.2.4 kretnice in tirne zveze

Pri izbiri kretnic sem skušal doseči, da bi bilo ločnih kretnic čim manj, ker so bistveno dražje pri nakupu in vzdrževanju. Tako se je kot najugodnejša in hkrati edina, ki pride v poštev, ponudila kretnica tipa 500. Tako sem lahko za dve od petih kretnic uporabil navadno ločno, saj se odklonski radij ujema z lokom levega tira v kretničnem področju. Istočasno pa ta izbira kretnice dovoljuje precej visoko odklonsko hitrost, ki znatno pripomore k prepustnosti proge ob prometnih konicah, ko je dosti uvozov lokalnih vlakov na tretji tir. Kretnica vrste 300 se je pokazala kot neugodna, ker bi pri krivljenju v kretnico št. 14 in 17 nastala zunanji ločna kretnica, kar pa bi v tirno zvezo vneslo nezaželeni S-lok, kretnice vrste 760 pa bi znatno podaljšale kretnično področje in so predrage za ta projekt.



Slika 15: Navadna ločna kretnica v osnovni obliki

Kretnica št. 13

- Notranja ločna kretnica
- Model UIC 60 – 500- 1 : 12
- Radij prevoznega tira: 500 m

- V radij prevoznega tira krivim premo kretnice

Računamo po formulah: 1.1, 3.10, 3.11:

$$R_2 = \frac{500 \cdot 500 - 20,797^2}{500 + 500} = 249,567m$$

$$\alpha = \arctan \frac{1,728}{20,797} = 4^\circ 45'$$

$$\alpha_1 = 2 \arctan \frac{20,797}{500} = 4^\circ 45' 47''$$

$$\alpha_2 = \alpha + \alpha_1 = 4,75 + 4,763 = 9^\circ 30' 47''$$

Izračun hitrosti v odklon:

$$V_{\max} = \sqrt{\frac{249,567(115 + 100)}{11,8}} = 67,4km/h$$

Hitrost pri vožnji v košarasti lok:

$$V_{\max} = 2,91 \sqrt{\frac{500 \cdot 249,567}{500 - 249,567}} = 64,96km/h$$

Hitrost vožnje v odklon preko te kretnice znaša 65 km/h.

Kretnica št. 14

- Navadna ločna kretnica
- Model UIC 60 – 500- 1 : 12
- Radij prevoznega tira: 500 m
- V radij prevoznega vložim odklonski del kretnice, ki se ujema z radijem prevoznega tira

Kretnica št. 15

- Notranja ločna kretnica
- Model UIC 60 – 500- 1 : 12
- Radij prevoznega tira: 504,6 m
- Glavno smer kretnice krivim v radij prevoznega tira 504,6 m

Računamo po formulah: 1.1, 3.10, 3.11:

$$R_2 = \frac{500 \cdot 504,6 - 20,797^2}{500 + 504,6} = 250,714m$$

$$\alpha = \arctan \frac{1,728}{20,797} = 4^\circ 45'$$

$$\alpha_1 = 2 \arctan \frac{20,797}{504,6} = 4^\circ 43' 12''$$

$$\alpha_2 = \alpha + \alpha_1 = 4,75 + 4,72^\circ = 9^\circ 28' 12''$$

Izračun hitrosti v odklon:

$$V_{\max} = \sqrt{\frac{250,714(115 + 100)}{11,8}} = 67,59km/h$$

Hitrost pri vožnji v košarasti lok:

$$V_{\max} = 2,91 \sqrt{\frac{504,6 \cdot 250,714}{504,6 - 250,714}} = 64,96km/h$$

Hitrost vožnje v odklon preko te kretnice znaša 65 km/h.

Kretnica št. 16

- Notranja ločna kretnica
- Model UIC 60 – 500- 1 : 12

- Radij prevoznega tira: 504,6 m
- V radij prevoznega vložim odklonski del kretnice, ki se ujema z radijem prevoznega tira

Računamo po formulah: 1.1, 3.10, 3.11:

$$R_2 = \frac{500 \cdot 504,6 - 20,797^2}{500 + 504,6} = 250,714m$$

$$\alpha = \arctan \frac{1,728}{20,797} = 4^\circ 45'$$

$$\alpha_1 = 2 \arctan \frac{20,797}{504,6} = 4^\circ 43' 12''$$

$$\alpha_2 = \alpha + \alpha_1 = 4,75 + 4,72^\circ = 9^\circ 28' 12''$$

Izračun hitrosti v odklon:

$$V_{\max} = \sqrt{\frac{250,714(115 + 100)}{11,8}} = 67,59 \text{ km/h}$$

Hitrost pri vožnji v košarasti lok:

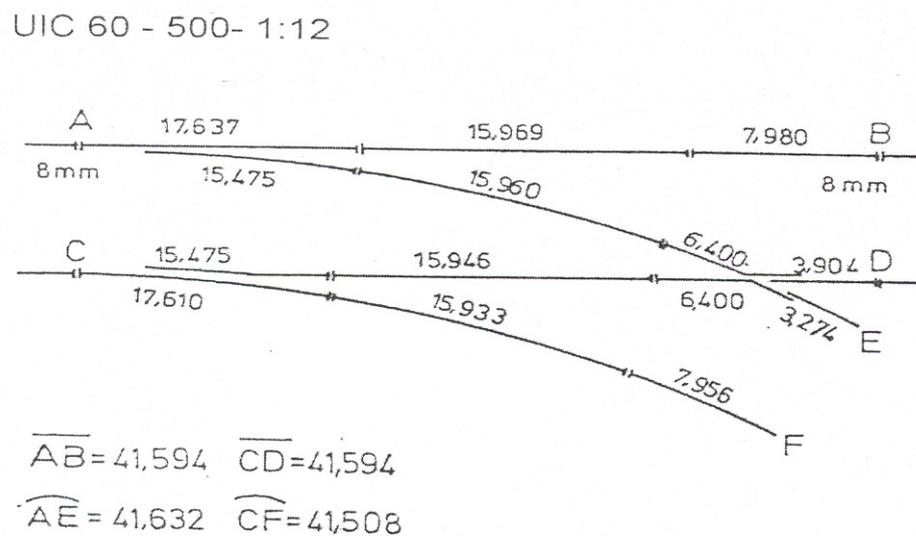
$$V_{\max} = 2,91 \sqrt{\frac{504,6 \cdot 250,714}{504,6 - 250,714}} = 64,96 \text{ km/h}$$

Hitrost vožnje v odklon preko te kretnice znaša 65 km/h.

Kretnica št. 17

- Navadna ločna kretnica
- Model UIC 60 – 500- 1 : 12
- Radij prevoznega tira: 500 m
- V radij prevoznega vložim odklonski del kretnice, ki se ujema z radijem prevoznega tira

3.4.2.5 Izračun dolžin vmesnih tirnic



Slika 16: Dolžine tirnic navadne desne kretnice v osnovni obliki (Murko, J. 1972, str.15.)

3.4.2.5.1 Kretnica št. 13

UIC 60-500-1:12; notranja leva

$$D = 2t = 41,594 \text{ m}$$

a) sprememba dolžine osi v glavni smeri

$$a = \frac{D_3}{12 \cdot R_1^2} = \frac{41,594^3}{12 \cdot 500^2} = 24 \text{ mm} \quad (3.13)$$

b) sprememba dolžin tirničnih trakov v glavni smeri

$$b = \frac{0,75D}{R_1} = \frac{0,75 \cdot 41,594}{500} = 62mm \quad (3.14)$$

c) sprememba dolžin tirničnih trakov v odklonski smeri

$$c = \pm \frac{D_3}{6 \cdot R_0 \cdot R1} = \frac{41,594^3}{6 \cdot 500 \cdot 500} = 48mm \quad (3.15)$$

$$\Delta_1 = 24 + 62 = 38 \text{ mm}$$

$$\Delta_2 = -24 - 62 = -68 \text{ mm} \quad (3.12)$$

$$\Delta_3 = -24 + 62 - 48 = -10 \text{ mm}$$

$$\Delta_4 = -24 - 62 - 48 = -134 \text{ mm}$$

Nove dolžine vmesnih tirnic:

$$A = 15,969 + \Delta_1 = 15,969 + 0,038 = 16,007 \text{ m}$$

$$B = 15,946 + \Delta_2 = 15,946 - 0,086 = 15,860 \text{ m}$$

$$C = 15,960 + \Delta_3 = 15,960 - 0,010 = 15,950 \text{ m}$$

$$D = 15,933 + \Delta_4 = 15,933 - 0,134 = 15,799 \text{ m}$$

3.4.2.5.2 Kretnica št. 15

UIC 60-500-1:12; notranja desna

$$D = 2t = 41,594 \text{ m}$$

a) sprememba dolžine osi v glavni smeri

$$a = \frac{D_3}{12 \cdot R_1^2} = \frac{41,594^3}{12 \cdot 504,6^2} = 24mm \quad (3.13)$$

b) sprememba dolžin tirničnih trakov v glavni smeri

$$b = \frac{0,75D}{R_1} = \frac{0,75 \cdot 41,594}{504,6} = 61mm \quad (3.14)$$

c) sprememba dolžin tirničnih trakov v odklonski smeri

$$c = \pm \frac{D_3}{6 \cdot R_0 \cdot R1} = \frac{41,594^3}{6 \cdot 500 \cdot 504,6} = 47mm \quad (3.15)$$

$$\Delta_1 = -24+61= 37 \text{ mm}$$

$$\Delta_2 = -24-61= -85 \text{ mm} \quad (3.12)$$

$$\Delta_3 = -24+61-47= -10 \text{ mm}$$

$$\Delta_4 = -24-61-47= -132 \text{ mm}$$

Nove dolžine vmesnih tirnic:

$$A= 15,969+\Delta_1 = 15,969+0,037 = 16,006 \text{ m}$$

$$B= 15,946+\Delta_2 = 15,946-0,085 = 15,861 \text{ m}$$

$$C= 15,960+\Delta_3 = 15,960-0,010 = 15,950 \text{ m}$$

$$D= 15,933+\Delta_4 = 15,933-0,132 = 15,801 \text{ m}$$

3.4.2.5.3 Kretnica št. 16

UIC 60-500-1:12; notranja desna

$$D = 2t = 41,594 \text{ m}$$

a) sprememba dolžine osi v glavni smeri

$$a = \frac{D_3}{12 \cdot R_1^2} = \frac{41,594^3}{12 \cdot 504,6^2} = 24mm \quad (3.13)$$

b) sprememba dolžin tirničnih trakov v glavni smeri

$$b = \frac{0,75D}{R_1} = \frac{0,75 \cdot 41,594}{504,6} = 61mm \quad (3.14)$$

c) sprememba dolžin tirničnih trakov v odklonski smeri

$$c = \pm \frac{D_3}{6 \cdot R_0 \cdot R_1} = \frac{41,594^3}{6 \cdot 500 \cdot 504,6} = 47mm \quad (3.15)$$

$$\Delta_1 = -24+61=37 \text{ mm}$$

$$\Delta_2 = -24-61= -85 \text{ mm} \quad (3.12)$$

$$\Delta_3 = -24+61-47= -10 \text{ mm}$$

$$\Delta_4 = -24-61-47= -132 \text{ mm}$$

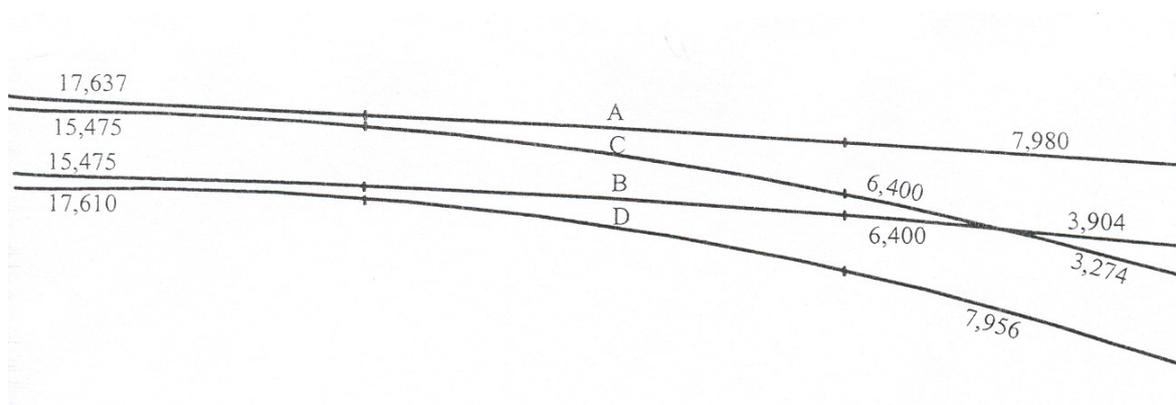
Nove dolžine vmesnih tirnic:

$$A = 15,969+\Delta_1 = 15,969+0,037 = 16,006 \text{ m}$$

$$B = 15,946+\Delta_2 = 15,946-0,085 = 15,861 \text{ m}$$

$$C = 15,960+\Delta_3 = 15,960-0,010 = 15,950 \text{ m}$$

$$D = 15,933+\Delta_4 = 15,933-0,132 = 15,801 \text{ m}$$



Slika 17: Skica novih dolžin krivljene kretnice

3.4.2.6 Puščice

Kretnica 13

GLAVNA SMER:

$$D = D + \Delta_1 = 41,594 + 0,038 = 41,632 \text{ m}$$

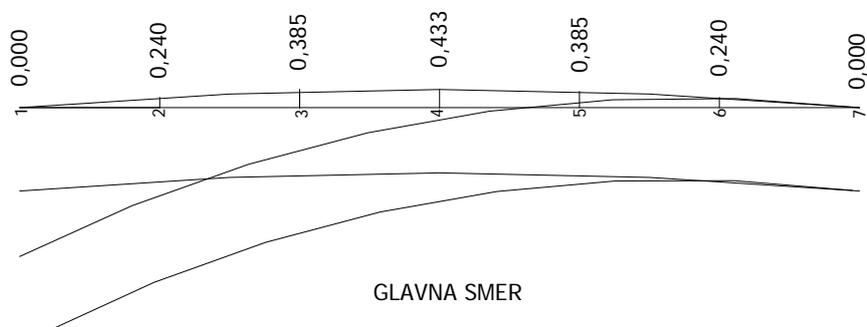
$$R_1 = R_1 + 0,718 = 500 + 0,718 = 500,718 \text{ m}$$

Razdelim na šest enakih delov:

$$41,632 / 6 = 6,939 \text{ m}$$

Preglednica 1: Puščice glavne smeri kretnice 13

i	m	n	m.n	$p = (m.n) / (2.R_1)$
1	0,000	41,632	0,000	0,000
2	6,939	34,694	240,742	0,240
3	13,877	27,755	385,156	0,385
4	20,816	20,816	433,306	0,433
5	27,755	13,877	385,156	0,385
6	34,694	6,939	240,742	0,240
7	41,632	0,000	0,000	0,000



Slika 18: Puščice glavne smeri kretnice 13

ODKLONSKA SMER:

$$D = D + \Delta_3 = 41,632 - 0,010 = 41,622 \text{ m}$$

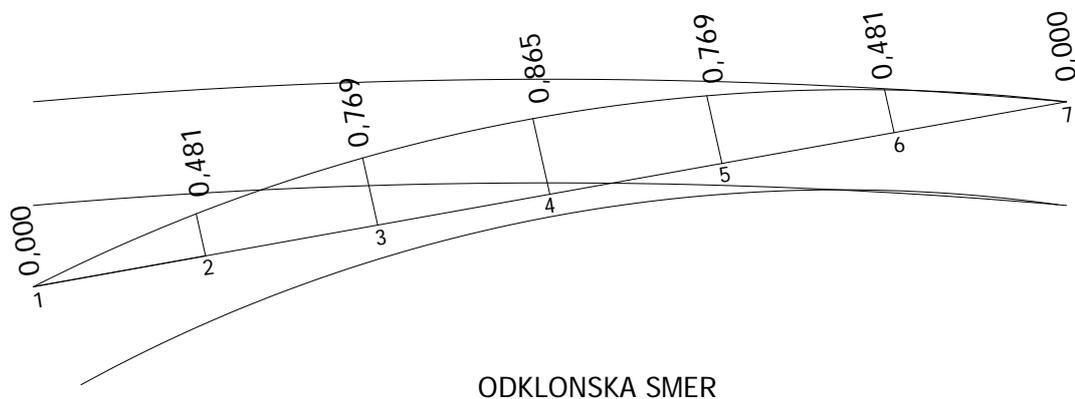
$$R_2 = R_2 + 0,718 = 249,567 + 0,718 = 250,285 \text{ m}$$

Razdelim na šest enakih delov:

$$41,622 / 6 = 6,937 \text{ m}$$

Preglednica 2: Puščice odklonske smeri kretnice 13

²	m	n	m.n	$p = (m.n) / (2.R_2)$
1	0,000	41,622	0,000	0,000
2	6,937	34,685	240,610	0,481
3	13,874	27,748	384,976	0,769
4	20,811	20,811	433,098	0,865
5	27,748	13,874	384,976	0,769
6	34,685	6,937	240,610	0,481
7	41,622	0,000	0,000	0,000



Slika 19: Puščice odklonske smeri kretnice 13

Kretnica 15

GLAVNA SMER

$$D = D + \Delta_1 = 41,594 + 0,037 = 41,631 \text{ m}$$

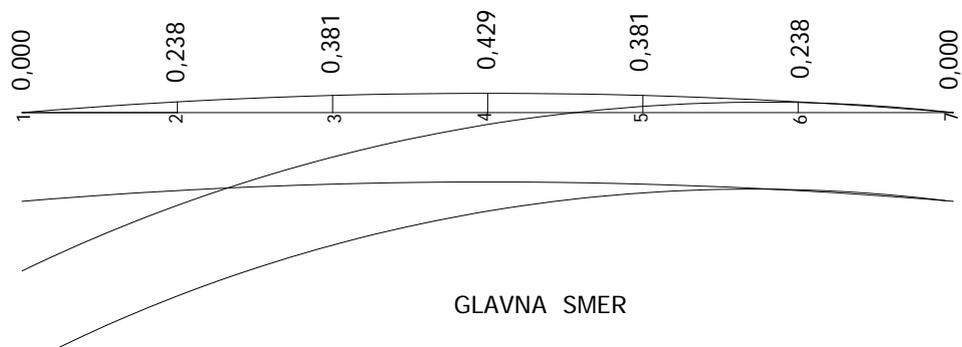
$$R_1 = R_1 + 0,718 = 504,6 + 0,718 = 505,318 \text{ m}$$

Razdelim na šest enakih delov:

$$41,631 / 6 = 6,938 \text{ m}$$

Preglednica 3: Puščice glavne smeri kretnice 15

³	m	n	m.n	$p = (m.n) / (2.R_1)$
1	0,000	41,631	0,000	0,000
2	6,938	34,693	240,700	0,238
3	13,877	27,754	385,142	0,381
4	20,815	20,815	433,264	0,429
5	27,754	13,877	385,142	0,381
6	34,693	6,938	240,700	0,238
7	41,631	0,000	0,000	0,000



Slika20: Puščice glavne smeri kretnice 15

ODKLONSKA SMER

$$D = D + \Delta_3 = 41,632 - 0,010 = 41,622 \text{ m}$$

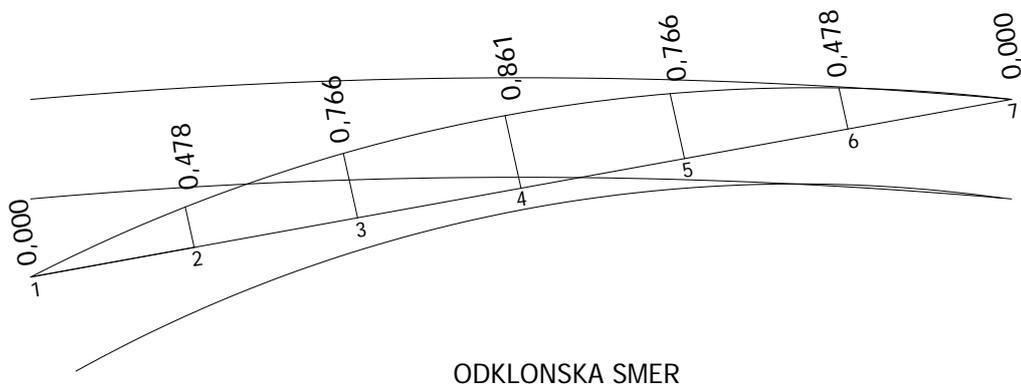
$$R1 = R1 + 0,718 = 250,714 + 0,718 = 251,432 \text{ m}$$

Razdelim na šest enakih delov:

$$41,622 / 6 = 6,937 \text{ m}$$

Preglednica 20: Puščice odklonske smeri kretnice 15

4	m	n	m.n	$p = (m.n) / (2.R2)$
1	0,000	41,623	0,000	0,000
2	6,937	34,686	240,621	0,478
3	13,874	27,749	384,894	0,766
4	20,812	20,812	433,119	0,861
5	27,749	13,874	384,994	0,766
6	34,686	6,937	240,621	0,478
7	41,623	0,000	0,000	0,000



Slika 21: Puščice odklonske smeri kretnice 15

Kretnica 16

GLAVNA SMER

$$D = D + \Delta_1 = 41,594 + 0,037 = 41,631 \text{ m}$$

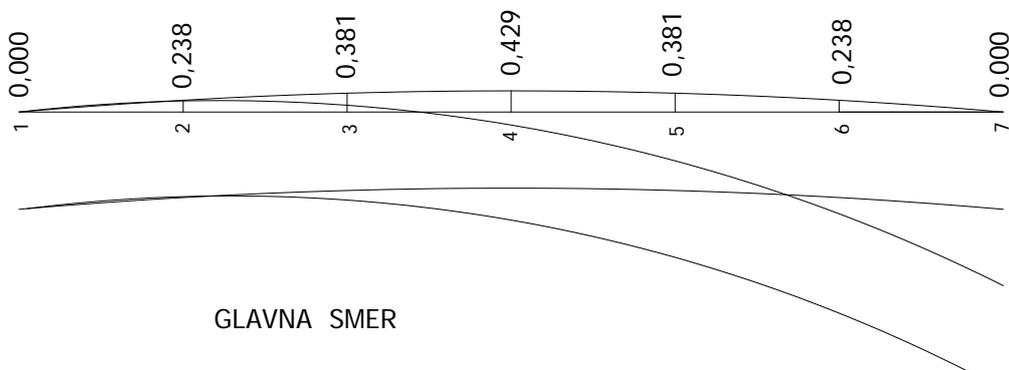
$$R1 = R1 + 0,718 = 504,6 + 0,718 = 505,318 \text{ m}$$

Razdelim na šest enakih delov:

$$41,631 / 6 = 6,938 \text{ m}$$

Preglednica 5: Puščice glavne smeri kretnice 16

5	m	n	m.n	$p=(m.n)/(2.R1)$
1	0,000	41,631	0,000	0,000
2	6,938	34,693	240,700	0,238
3	13,877	27,754	385,142	0,381
4	20,815	20,815	433,264	0,429
5	27,754	13,877	385,142	0,381
6	34,693	6,938	240,700	0,238
7	41,631	0,000	0,000	0,000



Slika 22: Puščice glavne smeri kretnice 16

ODKLONSKA SMER

$$D = D + \Delta_3 = 41,632 - 0,010 = 41,622 \text{ m}$$

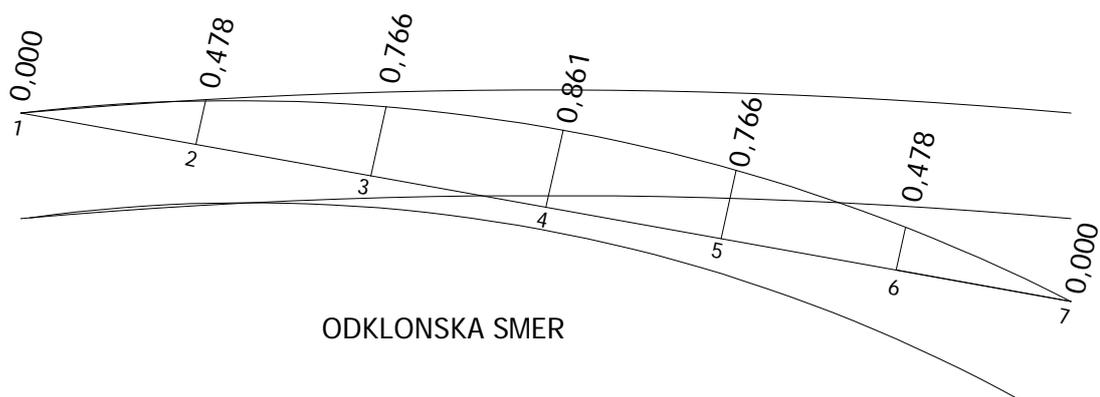
$$R_1 = R_1 + 0,718 = 250,714 + 0,718 = 251,432 \text{ m}$$

Razdelim na šest enakih delov:

$$41,622 / 6 = 6,937 \text{ m}$$

Preglednica 6: Puščice odklonske smeri kretnice 16

6	m	n	m.n	$p=(m.n)/(2.R_2)$
1	0,000	41,623	0,000	0,000
2	6,937	34,686	240,621	0,478
3	13,874	27,749	384,894	0,766
4	20,812	20,812	433,119	0,861
5	27,749	13,874	384,994	0,766
6	34,686	6,937	240,621	0,478
7	41,623	0,000	0,000	0,000



Slika 23: Puščice odklonske smeri kretnice 16

Kretnice bodo zvarjene v dolgi tirni trak in proti vzdolžnemu potovanju tira zavarovane z MATHEE napravami.

3.4.3 Elementi trase v narisu

3.4.3.1 Levi tir

Po novem se v km 534+680 začne vzpon 2,259 ‰. Vertikalna zaokrožitev ni potrebna, ker razlika nagibov ne presega 1 ‰. Naslednja sprememba nagiba se zgodi v km 534+850, kjer se vzpon poveča na 2,5 ‰. To je maksimalni nagib, ki je dovoljen na postajah v loku. Uporabil sem ga za dvig nivelete tira 1 nad tir 2 na kretniškem platoju, da bi se izognil motečim lomom nivelete v tirnih zvezah. Razlika med vzponoma je spet dovolj majhna, da ni bilo potrebno izvajati vertikalne zaokrožitve. Lom nivelete v km 534+850 sem vpeljal naknadno, da med staro in novo traso ne bi bilo prevelike višinske razlike. Naslednji lom nivelete izsledimo v km 535+045, kjer nagib preide v blažji vzpon 1,975. To je začetek kretničnega platoja, kateremu sem priredil manjši nagib, da bi se izognil še večjim padcem tangent na odklonskih smereh kretnic. Tudi tukaj vertikalna zaokrožitev ni potrebna. Lom nivelete v km 535+178 na koncu kretničnega platoja pa zahteva vertikalno zaokrožitev:

$$i_1 = 1,975 \text{ ‰}$$

$$i_2 = 0,000 \text{ ‰}$$

Zahtevana minimalna zaokrožitev:

$$Rv = 90^2 = 8100m \quad (3.17)$$

$$lt = \frac{8100 \cdot 1,975}{2000} = 8,88m \quad (3.18)$$

$$Rv = \frac{2000 \cdot 10}{1,975} = 10127m \quad (3.21)$$

$$y = \frac{10^2}{2R} = 0,005m$$

Izberem dolžino tangente $lt = 10$ m. V tem kilometru se začne 164 m dolga prema, ki naj bi niveleti obeh tirov spet spravila v isto višino, se pravi levi tir poteka v horizontali, desni tir pa se dviga do km 535+342, kjer se niveleta levega tira pridruži niveleti desnega tira, nato se paralelno vzpenjata z 2,227 ‰ konstantnega vzpona do konca deviacije. Tudi v priključitvi nivelete na obstoječe v km 536+250 ni potrebna vertikalna zaokrožitev.

3.4.3.2 Desni tir

Rekonstrukcija se začne v km 534+835 z višinsko koto 239,769 m, kjer se je bil že prej lom nivelete, le da je vzpon sedaj 2,022 ‰, dolg pa je 168 m. Vertikalna zaokrožitev ni potrebna. V km 535+003 se niveleta spet lomi na višinski koti 240,109m. Zaokrožitev ni potrebna, dolžina tangente znaša 232 m, vzpon se zmanjša na 1,975 ‰, tukaj se začne kretnični plato. Naslednji lom se pojavi v km 535+235 brez zaokrožitve na višinski koti 240,567 m in se vzpenja z nagibom 2,227 ‰ na razdalji 1015m do konca rekonstrukcije v km 536+250, na višinski koti 242,878, kjer tudi ni potrebna vertikalna zaokrožitev.

3.4.3.3 Tretji tir

Tega natančneje obravnavam v poglavju višinski načrti.

3.4.3.4 Višinski načrti izvozne kretnične harfe

Kretnica št. 13

UIC 60-500-1:12

$R_3 = 249,56 \text{ m}$

$R_4 = 500 \text{ m}$

$D = 41,594 \text{ m}$

$h = 115 \text{ m}$

$s = 5,8 \text{ m}$

Po formulah 3.22, 3.29, 3.30, 3.31, 3.32, 3.33, 3.34:

$$y_3 = \frac{5,8^2}{2 \cdot 249,56} = 0,067 \text{ m}$$

$$y_4 = \frac{5,8^2}{2 \cdot 500} = 0,034 \text{ m}$$

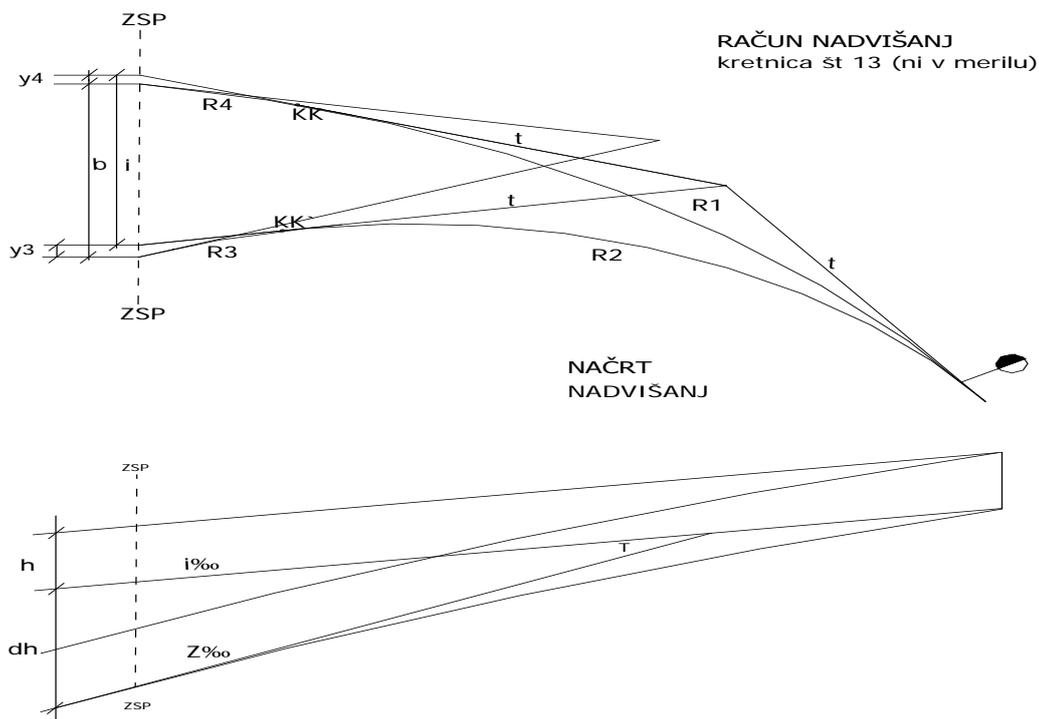
$$i = \frac{20,797 + 5,8}{12} = 2,216 \text{ m}$$

$$b = 2,216 + 0,067 - 0,033 = 2,25 \text{ m}$$

$$D\text{‰} = \frac{2 \cdot 115}{3} \left(\frac{1}{12} + \frac{5,8}{249,56} - \frac{5,8}{500} \right) = 7,281$$

$$\Delta h = \frac{2,25 \cdot 115}{1,5} = 172 \text{ mm}$$

$$Z = S + D = -2,022 \text{ ‰} - 7,281 \text{ ‰} = -9,303 \text{ ‰}$$



Slika 24: Račun nadvišanj kretnice 13

Kretnica št. 14

UIC 60-500-1:12

R3 = neskončno

R4 = 500m

D = 41,594m

h = 115m

s = 5,8m

3.22, 3.29, 3.30, 3.31, 3.33, 3.34:

$$y_3 = \frac{5,8^2}{2 \cdot 500} = 0,034m$$

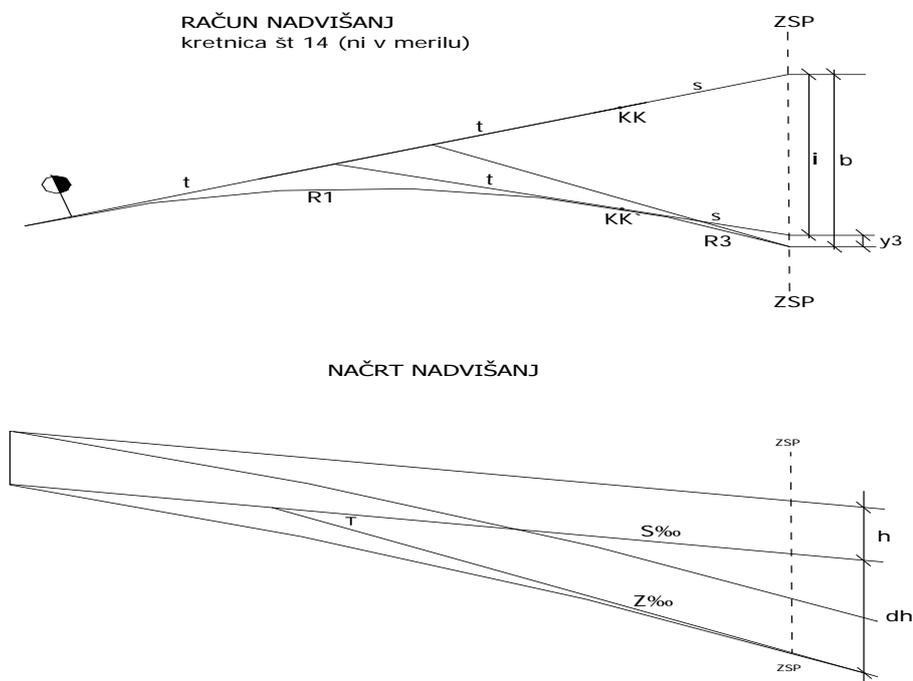
$$i = \frac{20,797 + 5,8}{12} = 2,216m$$

$$b = 2,216 + 0,034 = 2,25m$$

$$D\% = \frac{2 \cdot 115}{3} \left(\frac{1}{12} + \frac{5,8}{500} \right) = 7,278\%$$

$$\Delta h = \frac{2,25 \cdot 115}{1,5} = 172m$$

$$Z = S + D = 1,975 \text{ ‰} + 7,278 \text{ ‰} = 9,253 \text{ ‰}$$



Slika 25: Račun nadvišanj kretnice 14

Kretnica št. 15

UIC 60-500-1:12

R3 = 250,714 m

R4 = 504,6 m

D = 41,594 m

h = 115 m

$$s = 5,8 \text{ m}$$

Po formulah 3.22, 3.29, 3.30, 3.31, 3.32, 3.33, 3.34:

$$y_3 = \frac{5,8^2}{2 \cdot 250,714} = 0,067 \text{ m}$$

$$y_4 = \frac{5,8^2}{2 \cdot 504,6} = 0,033 \text{ m}$$

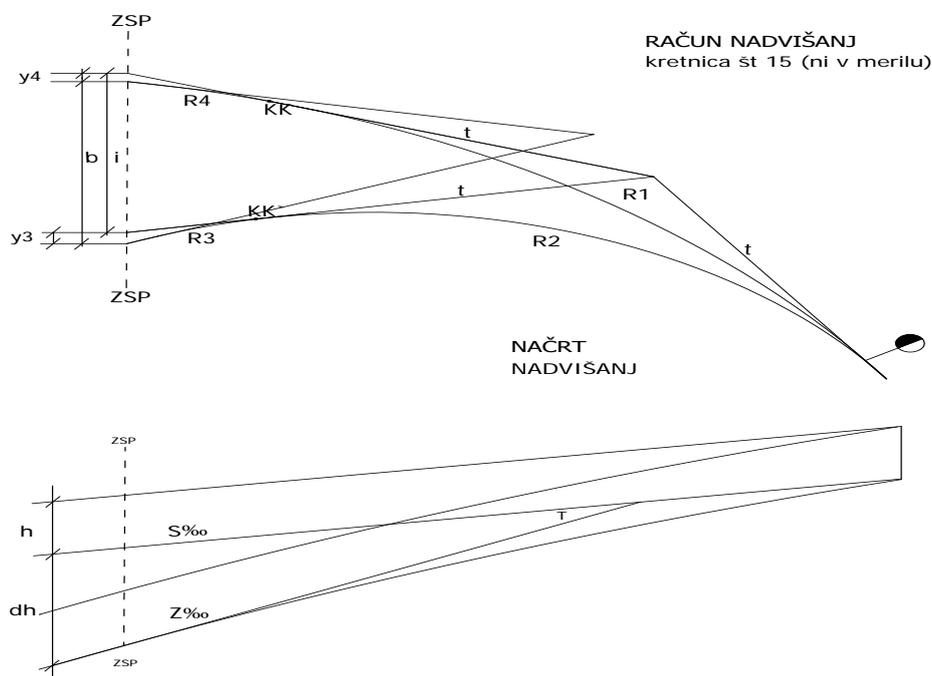
$$i = \frac{20,797 + 5,8}{12} = 2,216\text{‰}$$

$$b = 2,216 + 0,067 - 0,033 = 2,25$$

$$D\text{‰} = \frac{2 \cdot 115}{3} \left(\frac{1}{12} + \frac{5,8}{250,714} - \frac{5,8}{504,6} \right) = 7,281\text{‰}$$

$$\Delta h = \frac{2,25 \cdot 115}{1,5} = 172 \text{ mm}$$

$$Z = S + D = -1,975\text{‰} - 7,281\text{‰} = -9,256\text{‰}$$



Slika 26: Račun nadvišanj kretnice 15

Kretnica št. 16

UIC 60-500-1:12

$$R3 = 250,714 \text{ m}$$

$$R4 = 504,6 \text{ m}$$

$$D = 41,594 \text{ m}$$

$$h = 115 \text{ m}$$

$$s = 5,8 \text{ m}$$

Po formulah 3.22, 3.29, 3.30, 3.31, 3.32, 3.33, 3.34:

$$y_3 = \frac{5,8^2}{2 \cdot 250,714} = 0,067 \text{ m}$$

$$y_4 = \frac{5,8^2}{2 \cdot 504,6} = 0,033 \text{ m}$$

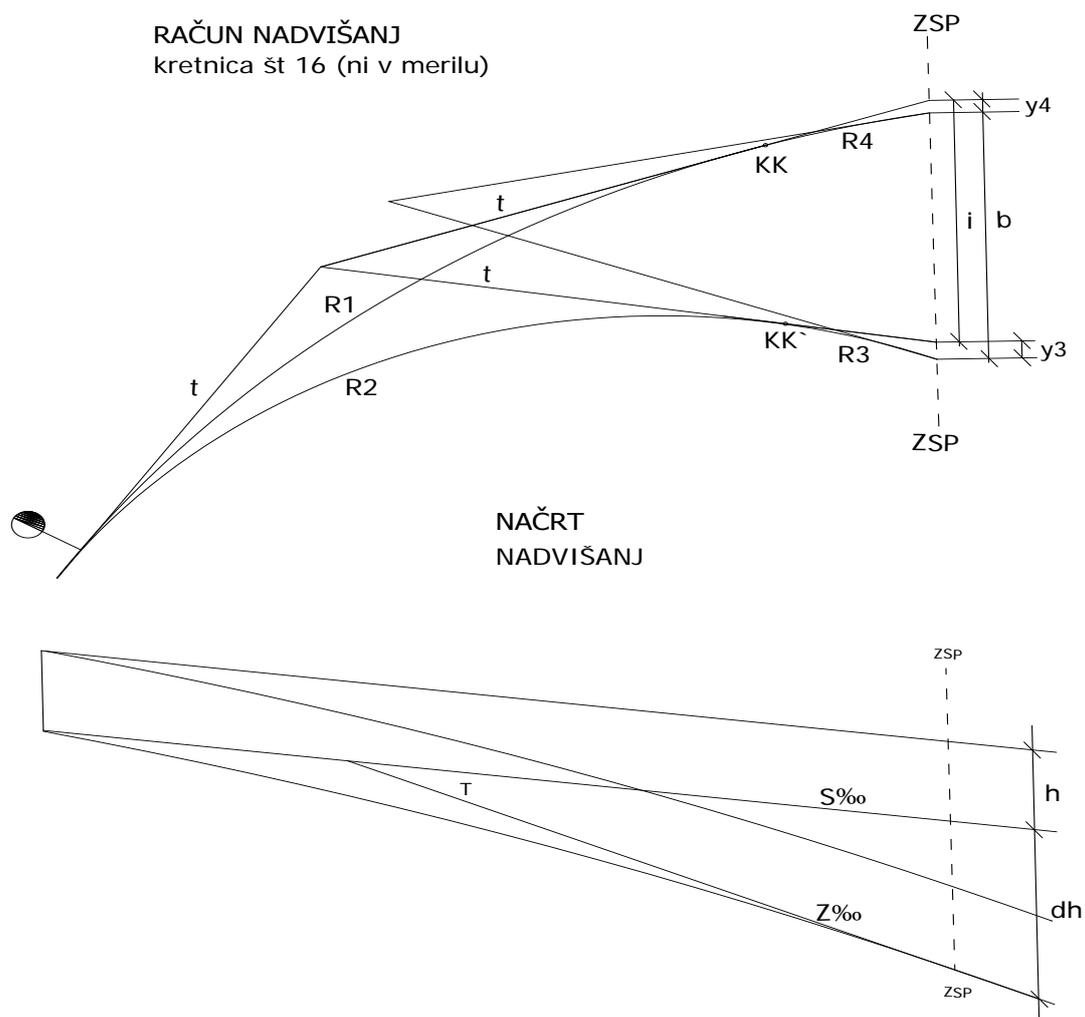
$$i = \frac{20,797 + 5,8}{12} = 2,216 \text{ m}$$

$$b = 2,216 - 0,033 + 0,067 = 2,25 \text{ m}$$

$$D_{\text{‰}} = \frac{2 \cdot 115}{3} \left(\frac{1}{12} + \frac{5,8}{250,714} - \frac{5,8}{504,6} \right) = 7,281 \text{ ‰}$$

$$\Delta h = \frac{2,25 \cdot 115}{1,5} = 172 \text{ mm}$$

$$Z = S + D = 1,975 \text{ ‰} - 7,281 \text{ ‰} = -5,306 \text{ ‰}$$



Slika 27: Račun nadvišanj kretnice 16

Kretnica št. 17

UIC 60-500-1:12

R3 = neskončno

R4 = 500 m

D = 41,594 m

h = 115 m

s = 5,8 m

Po formulah 3.22, 3.29, 3.30, 3.31, 3.33, 3.34:

$$y_3 = \frac{5,8^2}{2 \cdot 500} = 0,034m$$

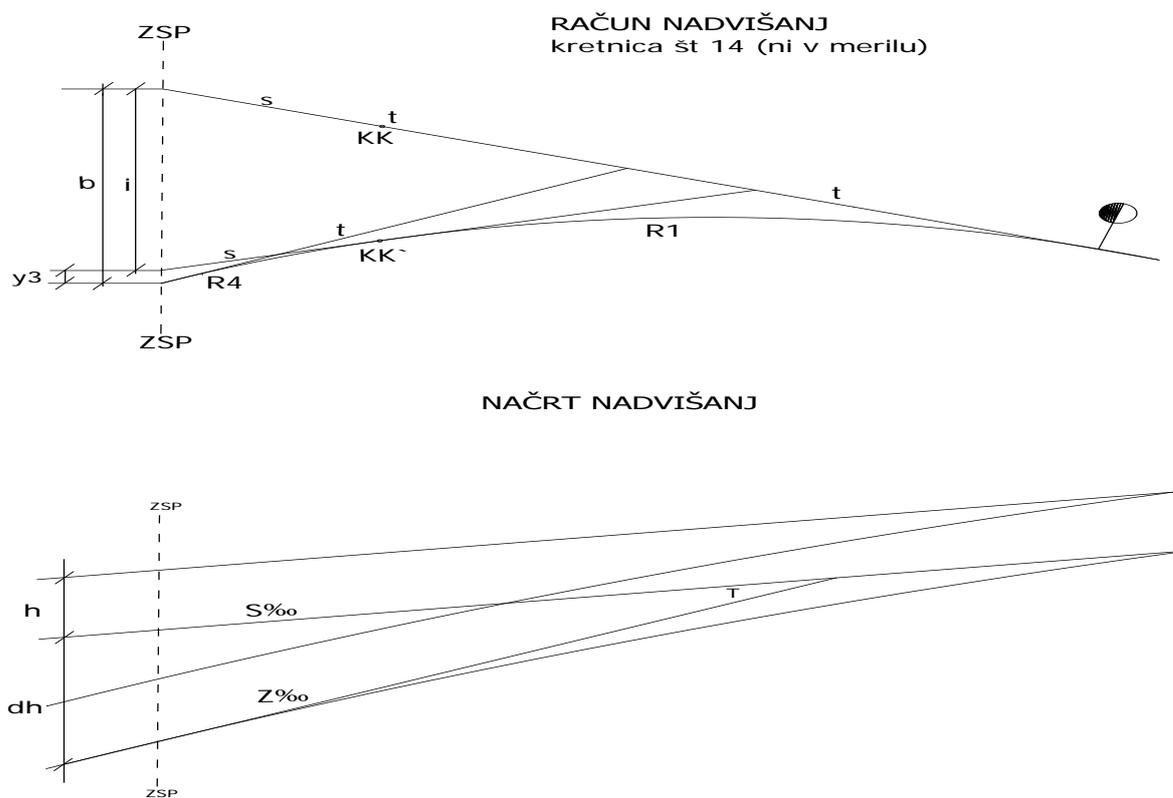
$$i = \frac{20,797 + 5,8}{12} = 2,216m$$

$$b = 2,216 + 0,034 = 2,25m$$

$$D\text{‰} = \frac{2 \cdot 115}{3} \left(\frac{1}{12} + \frac{5,8}{500} \right) = 7,278\text{‰}$$

$$\Delta h = \frac{2,25 \cdot 115}{1,5} = 172mm$$

$$Z = S + D = -1,975 \text{‰} + 7,278 \text{‰} = 5,303 \text{‰}$$



Slika 28: Račun nadvišanj kretnice 17

3.4.3.5 Projektiranje načrta nadvišanj

Višinski načrt: dolžine sem risal v merilu 1:500, višine pa v merilu 1:10. Prevozna tira sem že obdelal v poglavju Elementi trase v narisu, v tem poglavju bom še enkrat natančno opisal le kretnično področje.

3.4.3.5.1 Glavni prevozni - levi tir

Kretnični plato se na tem tiru začne z lomom nivelete T 1,2 v km 535+045 v vzponu 1,975 ‰ in na višinski koti 240,550 m. Niveleta v tej točki je za 25 cm višja od obstoječega, ker sem moral izravnati nedovoljene nagibe prek 2,5 ‰. Hkrati sem še povečal nadvišanje z 80 na 115 mm. Vzpon sem pred tem lomom povečal za največ, kot je dovoljeno, da sem dobil čim manj nagnjen kretnični plato, s tem sem zmanjšal tudi diferenčni nagib tangent na zadnjem skupnem pragu. Ta vzpon in nadvišanje se konstantno nadaljuje preko kretnice 15 do loma T1,3 v km 535+178 na višinski koti 240,808. Tukaj višino držim konstantno, v horizontali nadaljujem do km 535+300, desni tir pa se do tu dviga. V tej točki se niveleti obeh tirov spet ujameta in nadaljuje se vzpon 2,227 ‰.

3.4.3.5.2 Glavni prevozni – desni tir

Tu se odsek začne z vzponom 2,022 ‰ v T2,1 in višinsko koto 239,769, ki je skladna s koto obstoječega tira. Vzpon sem povečal, da bi tako ublažil nadaljna dva vzpona na obstoječi trasi, ki sta za zdajšnje predpise prekoračena. Vzpon se nadaljuje preko kretnice št. 13 do višinske kote 240,109 na T2,2 v km 535+003, ki leži 48 mm nad obstoječo niveleto. Tukaj se začne enoten nagib platoja 1, 975 ‰, ki je preko kretnic 14 in 16 konstanten, do konca platoja v km 535+235 v T 2,2, kjer se začne vzpon 2,227 ‰. Ta točka leži natanko 20 cm pod niveleto obstoječega. V tej točki ta tir tudi zapusti obstoječo traso.

3.4.3.5.3 Tretji tir

Na tem tiru posežem v obstoječe v km 534+895 na 60 mm nadvišanem radiju 650 m, ki se do tu nahaja v horizontali na koti 239,678 m in ga s T3,2 začnem spuščati s padcem 1,000 ‰, ki sem ga moral na novo vpeljati, da bi pod nivo spuščeni tir spet pripeljal na nivo tira tri. Lahko bi uporabil tudi strmejši padeč in s tem začel zlom malo bližje kretnici, a sem zagovornik čim blažjih projektantskih elementov, ki pripomorejo k udobnejši vožnji. V km 534+914,61 se

začne prema in istočasno tudi 42 m dolga rampa, ki nadvišanje pripelje iz teh 60 mm na 115 mm in je strma 1:1333. V točki T3,3 se nahaja lom nivelete, ki je zaokrožen z radijem 4095 m. V isti točki se padec prevesi v vzpon 9,256 ‰, ki je istočasno tudi diferenčni nagib tangente na zadnjem skupnem pragu. Z zaokrožitvijo ga privedem na nivo 240,101 m na ZK 13.

3.4.3.5.4 Prva kretnična zveza glavnih prevoznih tirov, kretnici 14 in 15

V ZK 14 na koti 240,117 se odcepim z desnega tira in se povzpnem na ZSP 14, kjer diferenčni vzpon tangente znaša 9,253 ‰. Takoj za tem je še ZSP 15 s tangento diferenčnega nagiba 9.256 ‰. Med kretnicama bi moral narediti blag lom nivelete, vendar ga ignoriram, ker se razlika vzponov pojavi šele na tretji decimaliki. V ZK 15 se pridruži niveleti tira 1 na višinski koti 240,659 m.

3.4.3.5.5 Druga kretnična zveza glavnih prevoznih tirov, kretnici 16 in 17

Tukaj gre za neke vrste analognost glede na prvo kretnično zvezo, le da se tukaj zaradi obratne lege kretnic diferenčni nagib zmanjša, torej pri kretnici 16 na 5,306 ‰ in pri kretnici 17 na 5.303 ‰. Tudi tukaj zaradi minimalne razlike padcev te poenotim v eno tangento brez vmesnega loma.

4 OSTALI DEJAVNIKI

4.1 Prestavitev ceste

Zaradi povečanja hitrosti sem med kilometroma 535+200 in 536+000 povečal radij, kar je za seboj potegnilo premik trase zahodneje od zdajšnje. Na 300-metrskem odseku sem moral cesto premakniti za nekaj metrov v levo. V Zakonu o varnosti v železniškem prometu je določeno, da mora biti rob ceste 8 m odmaknjen od osi najbližjega tira. Ta odmik sem upošteval pri določanju nove trase ceste na tem odseku..

4.2 Vozna mreža na rekonstruiranem in novem delu trase

Drogove za vozno mrežo sem na rekonstruiranem delu od km 543+680 do 535+200 pustil na svojih mestih, saj so vsi minimalni oz. maksimalni odmiki znotraj dovoljenih meja. Na novozgrajenem odseku, to je od km 535+200 do 536+250 sem razpored drogov prilagodil terenskim razmeram. Minimalni odmik in medsebojni razmak sem določil po pravilniku za projektiranje, gradnjo in vzdrževanje stabilnih naprav elektrovleke 3kV.

4.2.1 Tabela za maksimalni razmak drogov v odvisnosti od radija loka

- R = 500 m.....a = 38 m
- R = 630 m.....a = 43 m
- Premaa = 60 m

4.2.2 Minimalni odmik od osi tira

- Nadvišanje 115 mm: -na notranji strani loka: 2,8 m
-na zunanji strani loka: 2,5 m
- Nadvišanje 100 mm: -na notranji strani loka: 2,7 m

- na zunanji strani loka: 2,5 m
- Nadvišanje 95 mm: -na notranji strani loka: 2,6 m
-na zunanji strani loka: 2,5 m

5 SKLEPNE UGOTOVITVE

Zamenjava kretničnega področja postaje Litija bo sprožila tudi nujno rekonstrukcijo dobrega poldruega kilometra proge. Na podlagi tehtanja različnih možnosti in kombinacij posegov bi moja izbrana rešitev prinesla naslednje dobre in slabe strani:

5.1 Ugodno

- Odmik proge od urbanega območja
- Združitev prometnih koridorjev v en snop, kar je osnova evropskih ekoloških programov
- Vključitev odseka v isto vozno hitrost kot je dovoljena pred in za tem odsekom, kar pripelje do manjše porabe električne energije in do enakomernejše in mirnejše vožnje vlakov za prevoz potnikov
- Pridobitev zazidalnih parcel na območju bivše trase, ki leži tik ob lokalni cesti in na robu pozidanega področja
- Odpravljeno nedovoljeno stanje kretnic vrste S 49 med tirnicami vrste UIC 60
- Višja odklonska hitrost, ki igra bistveno vlogo pri pretočnosti proge za uvoz in izvoz izvorno-ciljnega lokalnega prometa na tir 3
- Zaradi ohranitve loka z radijem 500 m desnega tira preko kretničnega področja lahko obe kretnici v tem tiru vgradim kot navadni, saj jima to za približno petkrat zniža ceno v primerjavi z ločnimi

5.2 Neugodno

- Večji stroški, potrebno je zgraditi 1050 m popolnoma nove trase
- Bočna prestavitev regionalne ceste na odseku 300 m, kar predstavlja dodatne stroške

- Sprememba namembnosti kmetijskim površinam

Vsekakor bo ta poseg pripomogel k udobnejši, varnejši in enakomernejši vožnji. Prav tako pa pričakujem nižje stroške obratovanja in vzdrževanja. Dosežem tudi povečanje prepustnosti proge in malo krajši vozni čas za vlake med Zidanim Mostom in Ljubljano.

VIRI

Milojković, T. 1986. Gornji stroj željeznica. Beograd, Birografika Subotica: 236 str.

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

Murko, J. 1972. Geometrijski elementi za zasnovu ločnih in paraboličnih kretnic. Ljubljana, Sklad Borisa Kraigherja: 166 str.

Murko, J. 1972. Priloga k elaboratu Geometrijski elementi za zasnovu ločnih in paraboličnih kretnic. Ljubljana: 100 str.

Tomičić, A., Torlaković M. 1970. Održavanje željezničkih pruga. Beograd, Birografika Subotica: 211 str.

Gspan, J. 1962. Železnice II, Zgornji ustroj železnic. Ljubljana, Univerza v Ljubljani: 187 str.

Stehlik, V., Petrović, D. 1952. Gornji stroj železnica. Beograd, Štamparsko poduzeće Jugoslovenskih železnica: 128 str.

Pravilnik o pogojih za projektiranje, gradnjo in vzdrževanje zgornjega ustroja železniških prog. Uradni list RS št. 85/2000. minister za promet: 40 str.

Pravilnik o projektiranju, gradnji in vzdrževanju stabilnih naprav električne vleke enosmernega sistema 3 kV. osnutek, Ljubljana 2002: 83 str.

Arhiv SVP Ljubljana

PRILOGE

Priloga A: Situacija

Priloga B: Podolžni prerez levega tira

Priloga C: Podolžni prerez desnega tira

Priloga D: Višinski načrt izvozne kretnične harfe

Priloga E: Prečni profili od 45 do 77

Priloga F: Prečni profili 78 do 122