

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:

Lazarević, N., 2013. Zasnova hitre proge Divača - Ljubljana in koncept varnosti v predorih. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. (mentor Zgonc, B., somentorica Šemrov, D.): 93 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:

Lazarević, N., 2013. Zasnova hitre proge Divača - Ljubljana in koncept varnosti v predorih. B.Sc. Thesis. Ljubljana, University of Ljubljana, Faculty of civil and geodetic engineering. (supervisor Zgonc, B., co-supervisor Šemrov, D.): 93 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

Kandidatka:

**NATAŠA LAZAREVIČ**

**ZASNOVA HITRE PROGE DIVAČA - LJUBLJANA IN  
KONCEPT VARNOSTI V PREDORIH**

Diplomska naloga št.: 3317/PS

**THE HIGH - SPEED RAILWAY TRACK DIVAČA -  
LJUBLJANA PLANNING AND THE CONCEPT OF  
SAFETY IN TUNNELS**

Graduation thesis No.: 3317/PS

**Mentor:**

prof. dr. Bogdan Zgonc

**Predsednik komisije:**

izr. prof. dr. Janko Logar

**Somentorica:**

asist. Darja Šemrov

**Član komisije:**

prof. dr. Aleš Krainer

asist. dr. Mitja Košir

Ljubljana, 27. 06. 2013

## **ERRATA**

## **IZJAVA O AVTORSTVU**

Podpisana Nataša Lazarević izjavljam, da sem avtorica diplomskega dela z naslovom »Umestitev hitre proge Divača-Ljubljana v prostor in koncept varnosti v predorih«.

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

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

Nova Gorica, 7.6.2013

Nataša Lazarević

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

<b>UDK:</b>	<b>624.19:625.1/.3:656.2(043.2)</b>
<b>Avtor:</b>	<b>Nataša Lazarević</b>
<b>Mentor:</b>	<b>prof. dr. Bogdan Zgonc, univ. dipl. inž. grad.</b>
<b>Somentorica:</b>	<b>asist. Darja Šemrov, univ. dipl. inž. grad.</b>
<b>Naslov:</b>	<b>Zasnova hitre proge Divača-Ljubljana in koncept varnosti v predorih</b>
<b>Tip dokumenta:</b>	<b>Dipl. nal.-UNI</b>
<b>Obseg in oprema:</b>	<b>93 str., 17 pregl., 32 sl., 9 en., 13 pril.</b>
<b>Ključne besede:</b>	<b>omrežje TEN-T, visokohitrostna proga, Ferrovial, Direktiva 2008/57/ES, Sklep Komisije 2011/275/ES, enotirni dvocevni predor, Odločba Komisije 2008/163/ES</b>

### **Izvleček**

V diplomski nalogi je prikazana zasnova nove hitre proge Divača-Ljubljana. Ker se ta odsek uvršča med načrtovano jedrno omrežje TEN-T, sem pri njegovem umeščanju in izbiri parametrov za projektiranje upoštevala tehnične specifikacije za interoperabilnost posameznih podsistemov, ki so bili izdelani na osnovi Direktive 2008/57/ES o interoperabilnosti železniškega sistema v Skupnosti. Izhodiščna točka nove železniške povezave se nahaja tik pred razdelilno tehnično postajo v Divači, kjer se navezuje na traso Trst-Divača, ki je bila določena v okviru študije leta 2011. Končno točko na odseku Divača-Ljubljana predstavlja podzemna postaja v Ljubljani. Nova proga je predvidena za potniški promet, pri katerem vlaki dosega hitrosti do 250 km/h ter tovorni promet, kjer vlaki potujejo s hitrostjo do 100 km/h. Za izvedbo praktičnega dela diplomske naloge, sem projektirala progo v skladu z določili slovenskega standarda SIST EN 13803-1:2010 in TSI za infrastrukturni podsistem (UL L 126, 2011). Ta določila zajemajo pogoje in mejne vrednosti elementov trase v narisu in tlorisu, ki so namenjeni za načrtovanje visoko hitrostnih prog. V okviru preučevanja okoljskih omejitev za načrtovanje trase se je izkazalo, da sem bila pri izbiri optimalne variante uspešna, saj proga ne preči nikakršnega ranljivega območja. Ker pretežen del proge poteka v predorih, sem v drugem delu diplomske naloge podrobneje obravnavala splošni varnostni koncept, ki temelji na uporabi TSI v zvezi z varnostjo v železniških predorih (UL L 64, 2007) v vseevropskem železniškem sistemu za konvencionalne in visoke hitrosti. V zaključku sem opisala še izpolnjene kriterije varnosti na izbrani varianti enotirnega dvocevne predora za predlagani odsek.

## **BIBLIOGRAPHIC – DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT**

<b>UDC:</b>	<b>624.19:625.1/.3:656.2(043.2)</b>
<b>Author:</b>	<b>Nataša Lazarević</b>
<b>Supervisor:</b>	<b>Prof. Bogdan Zgonc, Ph. D.</b>
<b>Cosupervisor:</b>	<b>Assist. Darja Šemrov, B. Sc.</b>
<b>Title:</b>	<b>The high-speed railway track Divača-Ljubljana planning and the concept of safety in tunnels</b>
<b>Document type:</b>	<b>Graduation Thesis – University studies</b>
<b>Scope and tools:</b>	<b>93 p., 17 tab., 32 fig., 9 eq., 13 ann.</b>
<b>Key words:</b>	<b>TEN-T networks, high-speed railway track, Ferrovia, Directive 2008/57/ES, Commission Decision 2011/275/ES, single track twin-bore tunnel, Commission Decision 2008/163/ES</b>

### **Abstract**

The thesis deals with the planning of the new high-speed railway track Divača-Ljubljana. This section belongs to the planned TEN-T core network, so in order to place and select the parameters for designing the railway track I had to take into account the technical specifications for interoperability regarding each subsystem based on Directive 2008/57/EC on the interoperability of the rail system within the Community. The starting point of the new rail link is located just before technical distribution station Divača, where it is linked to the section Trst-Divača, which was determined in a study in 2011. The ending point of discussed rail section is an underground passenger station in Ljubljana. The railway track is intended for international passenger traffic where trains reach speed up to 250 km/h and freight traffic trains travel with speed up to 100 km/h. For the practical part of my thesis I designed railway track according to directions of the Slovenian Standard SIST EN 13803-1:2010 and TSI on Infrastructure Subsystem. The terms and limit values of the elements in the plan and front view are based on those directions, which are used for planning the high-speed railways. In the study of environmental constraints concerning the design of the railway track it turned out that I successfully selected the optimal variant because the railway track does not cross any vulnerable area. The major part of the track is positioned in the tunnel, so in the second part of the thesis I summarized the general safety concept, which is based on the use of technical specification of interoperability concerning safety in railway tunnels in the trans-European conventional and high-speed rail system. In the conclusion I described the fulfilled criteria regarding safety on the chosen variant of single track twin-bore tunnel for the proposed section.

## **ZAHVALA**

Ob zaključku diplomske naloge se za strokovno pomoč in nasvete pri njenem nastajanju zahvaljujem mentorju prof. dr. Bogdanu Zgoncu ter somentorici asist. Darji Šemrov. Za pomoč pri uporabi programa Ferrovial se zahvaljujem g. Viliju Kovaču iz podjetja Ginex International d.o.o.. Temu istemu podjetju se iskreno zahvaljujem za finančno podporo in izkušnje, pridobljene tekom študija.

Posebna zahvala gre staršema, ki sta mi omogočila brezskrben študij in mi skupaj s sestrama ves čas nudila podporo in razumevanje.

Od samega začetka študija se za nesebično pomoč zahvaljujem mojemu Matiji, ki je ves čas verjel vame in me spodbujal. Hvala tudi vsem sošolcem za nepozabna študijska leta.

**KAZALO VSEBINE**

<b>1</b>	<b>UVOD .....</b>	<b>1</b>
1.1	NAMEN DIPLOMSKE NALOGE .....	3
1.2	CILJ DIPLOMSKE NALOGE .....	3
<b>2</b>	<b>OBSTOJEČI ODSEK PROGE DIVAČA-LJUBLJANA .....</b>	<b>4</b>
2.1	Razvoj železniške infrastrukture na Slovenskem (Južna železnica) .....	4
2.2	Analiza stanja javne železniške infrastrukture in železniškega prometa v Sloveniji .....	6
2.3	Obseg prevozov na slovenskih tirih .....	7
2.4	Analiza trenutnega prometno-tehnološkega stanja obstoječega odseka Divača-Ljubljana .....	8
2.5	Zmogljivost proge .....	10
2.6	Analiza in napoved prometa za novo železniško povezavo .....	12
<b>3</b>	<b>ZASNOVA NOVE ŽELEZNIŠKE POVEZAVE DIVAČA – LJUBLJANA.....</b>	<b>15</b>
3.1	Upoštevana zakonodaja .....	16
3.2	Tehnični parametri načrtovane trase .....	16
3.2.1	Elementi trase v tlorisu .....	17
3.2.1.1	<i>Krožni lok</i> .....	17
3.2.1.2	<i>Prehodnice in prehodne klančine</i> .....	19
3.2.2	Elementi trase v narisu .....	20
3.2.2.1	<i>Vzdolžni nagib nivelete</i> .....	20
3.2.2.2	<i>Vertikalna zaokrožitev</i> .....	21
3.2.3	Izračun elementov trase Divača-Ljubljana .....	21
3.3	Geologija in okoljske vsebine na območju trase .....	26
3.3.1	Geološke lastnosti tal .....	27
3.3.2	Tektonika .....	30
3.3.3	Okoljske vsebine.....	31
3.3.3.1	<i>Površinske in podzemne vode</i> .....	31
3.3.3.2	<i>Sistem zavarovanih območij</i> .....	33
3.3.3.3	<i>Naravne vrednote (podzemne kraške jame)</i> .....	33
3.3.3.4	<i>Kulturna dediščina</i> .....	34
3.3.3.5	<i>Raba tal</i> .....	35
3.4	Predstavitev izbranega odseka Divača-Ljubljana .....	35
3.4.1	Uporabljena programska oprema za projektiranje.....	36
3.4.2	Potek novo umeščene proge .....	37



3.4.3	Izhodišči nove trase v Divači in Ljubljani.....	37
3.4.4	Potek proge med Divačo in Ljubljano.....	38
3.4.4.1	Prvi odsek P1 - P10.....	39
3.4.4.2	Drugi odsek P10 – P88.....	40
3.4.4.3	Tretji odsek P88 – P174.....	41
3.4.4.4	Četrti odsek P174 – P181 (Viadukt).....	41
3.4.4.5	Peti odsek P181 – P219.....	43
3.4.4.6	Šesti odsek P219 – P277.....	43
3.4.5	Sklep – ustreznost zasnove izbrane trase.....	44
<b>4</b>	<b>PREDORI IN ZAGOTAVLJANJE PREDPISANE VARNOSTI.....</b>	<b>45</b>
<b>4.1</b>	<b>Splošno o predorih.....</b>	<b>45</b>
<b>4.2</b>	<b>Uporabljena zakonodaja za gradnjo predorov in zagotavljanje varnosti.....</b>	<b>47</b>
<b>4.3</b>	<b>Elementi za zagotavljanje varnosti v predoru.....</b>	<b>48</b>
4.3.1	Scenariji tveganj.....	52
4.3.2	Funkcionalne in tehnične specifikacije za izbrano vsebino določenih podsistemov.....	52
4.3.2.1	Dolžina predora in oštevilčenje posamezne cone.....	52
4.3.2.2	Namestitev kretnic in križišč.....	53
4.3.2.3	Zahteve za požarno varnost konstrukcij in gradbenega materiala.....	53
4.3.2.4	Površine za samoreševanje, evakuacijo in reševanje v primeru nezgode.....	54
4.3.2.5	Evakuacijske poti, njihova razsvetljava in označevanje.....	55
4.3.2.6	Reševalne postaje.....	56
4.3.2.7	Komunikacija v sili.....	57
4.3.2.8	Intervencijske površine zunaj predorov.....	57
4.3.2.9	Prenosni ročni gasilni aparati.....	58
4.3.2.10	Oskrba z vodo / hidrantna mreža.....	58
4.3.2.11	Oskrba z električno energijo.....	58
4.3.3	Reševanje v primeru izrednih dogodkov.....	59
4.3.3.1	Obratovanje v primeru izrednega dogodka.....	59
4.3.3.2	Samoreševanje.....	60
4.3.3.3	Odkrivanje požara / sistem detekcije.....	60
4.3.3.4	Pomoč reševalnih ekip.....	61
4.3.3.5	Dostop za reševalne službe.....	61
4.3.3.6	Reševalna območja in portalna območja.....	62
4.3.3.7	Predhodni ukrepi za lažje reševanje.....	63
4.3.4	Odvodnjavanje.....	63
4.3.5	Prezračevalni sistem.....	64

4.3.6	Nadzor objekta.....	65
4.3.6.1	<i>Kontrolni in nadzorni center</i> .....	65
4.3.6.2	<i>Nadzor hitrosti</i> .....	65
4.3.6.3	<i>Nadzor osnih ležajev</i> .....	66
4.3.6.4	<i>Prekinitev vozne mreže in ozemljitev</i> .....	66
4.3.7	Vzdrževalna dela .....	66
<b>4.4</b>	<b>Predor na obravnavani progi Divača-Ljubljana .....</b>	<b>66</b>
4.4.1	Primerjava enotirnega dvocevne predora in dvotirnega enocevne predora .....	67
4.4.2	Izbira optimalne variante predora.....	70
<b>4.5</b>	<b>Izgradnja predorske cevi .....</b>	<b>81</b>
4.5.1	Poznane metode gradnje predorov in opis izbrane metode .....	81
4.5.2	Ocena količine izkopa in stroški izgradnje .....	84
4.5.3	Struktura predora – NK, HI, ZK oboka .....	85
<b>4.6</b>	<b>Sklep – ustreznost izbranega predora z vidika varnosti .....</b>	<b>86</b>
<b>5</b>	<b>ZAKLJUČEK .....</b>	<b>87</b>
<b>VIRI</b>	<b>.....</b>	<b>89</b>

## KAZALO SLIK

Slika 1: Sredozemski in Baltsko-Jadranski koridor omrežja TEN-T (Primorske novice, 2013).....	2
Slika 2: Glavne in regionalne proge železniškega omrežja (Program omrežja - SŽ, 2011).....	5
Slika 3: Statistični podatki prepeljanih potnikov in tovora med letoma 2007 in 2011 (Statistični urad RS, 2013).....	7
Slika 4: Obstoječa proga Divača – Ljubljana (Analiza sedanjih razmer in razlogov..., 2010).....	9
Slika 5: 6. prednostni projekt (TEN-T Executive Agency, 2013).....	15
Slika 6: Oblikovni tipi reliefa (Perko, 2001).....	28
Slika 7: Vrste kamnin na območju trase (Perko, 2001).....	28
Slika 8: Strukturno-tektonska karta Slovenije 1 : 100 000 (leto izdaje 2000).....	30
Slika 9: Shematski prikaz poteka trase (lasten vir) .....	31
Slika 10: Hidrografija Podlipske doline (ARSO, 2013).....	32
Slika 11: Območje Natura 2000 (ARSO, 2013).....	33
Slika 12: Kraške jame (ARSO, 2013).....	34
Slika 13: Kulturna dediščina (ARSO, 2013).....	34
Slika 14: Raba tal na območju Divače (PISO, 2013).....	35
Slika 15: Potniški center Ljubljana (Trigranit, 2013).....	36
Slika 16: Shematični prikaz poteka najprimernejše variante Trst-Divača (Študija izvedljivosti nove železniške povezave Trst – Divača – Ljubljana..., 2011).....	37
Slika 17: Prvi odsek P1 - P10 (lasten vir) .....	39
Slika 18: Shematski prikaz KPP enotirnih prog v dvocevnem predoru (lasten vir).....	40
Slika 19: Drugi odsek P10 - P88 (lasten vir).....	40
Slika 20: Tretji odsek P88 - P174 (lasten vir) .....	41
Slika 21: Četrti odsek P174 - 181, Viadukt čez Podlipsko dolino (lasten vir).....	41
Slika 22: Shematski prikaz KPP enotirne proge na mostu (lasten vir).....	42
Slika 23: Peti odsek P181 - P219 (lasten vir).....	43
Slika 24: Šesti odsek 217 - P277 (lasten vir).....	43
Slika 25: Skica kretnice 60 E-1200-1:18.5 L (lasten vir).....	71
Slika 26: Skica posamezne kretniške zveze (lasten vir).....	72
Slika 27: Niša za klic v sili (Dars d. d., 2013).....	74
Slika 28: Skica stopnišča v navpičnem zasilnem izhodu (lasten vir).....	75
Slika 29: Shematski prikaz reševalne postaje (Koraln Tunnel, 2013) .....	77
Slika 30: Reševalna postaja med evakuacijo potnikov (Koraln Tunnel, 2013) .....	78
Slika 31: Shematski prikaz klasičnega vrtanja (Sorč, 2006).....	83

## KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Hitrosti in krivinski radiji na progovnem odseku Borovnica-Divača (lasten vir) .....	9
Preglednica 2: Povprečno dnevno število vlakov in izkoriščenost prepustne zmogljivosti posameznih progovnih odsekov (Študija izvedljivosti proge Trst-Divača (CROSS-5), 2008).....	10
Preglednica 3: Letna stopnja rasti BDP v obdobju 2025 - 2045 v % (Študija izvedljivosti proge Trst-Divača (CROSS-5), 2008).....	13
Preglednica 4: Letno število prepeljanih potnikov (Študija izvedljivosti.....	13
Preglednica 5: Letno število prepeljanih ton blaga (Študija izvedljivosti .....	14
Preglednica 6: Vrednosti dolžine prehodnic glede na nagib (Zgonc, 2012).....	20
Preglednica 7: Vrednost radija vertikalne zaokrožitve $R_v$ (Pravilnik o tehničkima..., 2011).....	21
Preglednica 8: Vrednost vzdolžnega nagiba nivelete (lasten vir).....	25
Preglednica 9: Mejne vrednosti radija vertikalne zaokrožitve (lasten vir) .....	26
Preglednica 10: Vrste kamnin na območju trase (lasten vir).....	29
Preglednica 11: Pregled odsekov glede na medprofilna območja (lasten vir).....	38
Preglednica 12: Vsebina poglavja 4.3 "Elementi za zagotavljanje varnosti v predoru" (lasten vir) .....	50
Preglednica 13: Primerjava predorskih cevi (lasten vir).....	67
Preglednica 14: Območja kretniških zvez (KZ) znotraj predorskih cevi (lasten vir) .....	72
Preglednica 15: Območje postavitve navpičnih zasilnih izhodov (NZI) iz predorske cevi (lasten vir) .....	74
Preglednica 16: Območje reševalne postaje (RP) znotraj predorskih cevi (lasten vir).....	76
Preglednica 17: Glavne metode gradnje predorov (lasten vir) .....	81

## OKRAJŠAVE IN SIMBOLI

ERTMS	evropski železniški sistem vodenja (ang. The European Rail Traffic Management System)
EU	Evropska unija
JŽI	javna železniška infrastruktura
KPP	karakteristični prečni prerez
OECD	Organizacija za gospodarsko sodelovanje in razvoj (ang. Organisation for Economic Cooperation and Development)
RTP	razdelilna transformacijska postaja
TEN-T	vseevropsko prometno omrežje (ang. Trans – European Transport Network)
TSI	Tehnične specifikacije za interoperabilnost (ang. Technical Specifications for interoperability)



## 1 UVOD

Družbeni, ekonomski in politični sistemi sčasoma doživljajo spremembe, katere so posledica načina prostega trgovanja. Pri tem prevzema vlogo mobilnosti prometni sistem, ki vzpostavlja vse krajše medsebojne razdalje, a hkrati omogoča mobilnost ljudi in tovora tudi preko državnih meja. Prometna politika je tista, ki podaja smernice za delovanje transportnega sistema na nacionalnih nivojih.

Že od samega začetka Evropske unije so si njeni ustanovitelji prizadevali za inovativen in konkurenčnejši nastop v svetu. Leta 1993 je bil na območju Evropske unije vzpostavljen enoten in tako imenovan svoboden trg. Ta je s padcem gospodarskih meja doprinesel ekonomsko in politično sodelovanje članic Evropske unije, ki so do takrat vodile razvoje omrežij, temelječe na nacionalnih interesih. Sčasoma je želja po uskladitvi nacionalnih programov na evropskem območju privedla do zapisa pravnega zakonodajnega okvirja, to je Bele knjige iz leta 2001. V njej so Evropska komisija, svet in parlament sprejeli usmeritve prometne politike. Te vključujejo predloge za vzpostavitev konkurenčnega železniškega evropskega omrežja na podlagi interoperabilne opreme, tehnološke naprednosti, okolju prijaznejše energije in učinkovitejše mobilnosti. Del zadanega načrta je tudi vseevropsko prometno omrežje (v nadaljevanju omrežje TEN-T) s ciljem povezovanja zračnega, pomorskega, cestnega in železniškega prometa s čimer se omogoči nemoteno delovanje notranjega trga, tranzita in stabilne gospodarske ter socialne Evropske unije. Začrtano omrežje železniških koridorjev bi v prihodnje spremenilo tokove prometa in zmanjšalo veljavo obstoječih poti (Godec, 2004).

Podatki o uporabi prevoznih sredstev kažejo, da je cestni promet v veliki prednosti po uporabi pred železniškim. Slednji izgublja na konkurenčnosti predvsem na račun omejene prilagodljivosti in nezadostnega prostorskega pokrivanja. Po mnenju strokovnjakov naj bi temu bilo tako zaradi heterogene organizacije železnic, ki se kaže v nacionalni raznolikosti (Godec, 2004). Za uskladitev nacionalnih projektov, ki bi prioriteto preusmerjali tovor in potnike s cestnega na železniški promet, so prometni ministri sprejeli dokumente za harmonizacijo železniškega prometa na Evropskem območju. V sklopu Kretskega (1994) in Helsinškega (1997) dogovora je bilo določenih 10 čezevropskih koridorjev kot del omrežja TEN-T. Ti zajemajo mrežo vseh vrst transporta, za katero so organi Evropske unije sprejeli strateško razvojne dokumente. Namen koridorjev je transportna povezava zahodnih držav Evrope in hkrati omrežja TEN-T s srednjeevropskimi, vzhodnimi in jugovzhodnimi državami Evrope (Zgonc, 1996).

Zaradi uspešnejšega usklajevanja železniškega omrežja Evropska komisija od držav članic EU zahteva prilagoditev prometnega gospodarstva trenutnim razmeram tako, da poteka vključitev posameznega nacionalnega prometnega sistema v skupni interoperabilni evropski sistem na ravni, ki je finančno

dosegljiva vsem državam. Poleg tega je zahtevan tudi usklajen razvoj tako jedrnega kakor napajalnega dela omrežja na področju omrežja TEN-T. Glavna načela za njegovo oblikovanje na vseh strateških ravneh so (Evropska komisija, 2010):

- odprava ozkih grl z razvojem vmesnih povezav,
- vzpostavitev interoperabilnega omrežja,
- neposredna povezava železniškega prometa z letalskim,
- poudarek na varnosti in zanesljivosti omrežja TEN-T,
- upoštevanje okoljske zaščite v fazi projektiranja in vzpostavitve omrežja ter
- razvoj trajnostne mobilnosti oseb in blaga.



Slika 1: Sredozemski in Baltsko-Jadranski koridor omrežja TEN-T (Primorske novice, 2013)

Članstvo v Evropski uniji zavezuje Slovenijo, da sodeluje pri razvoju železniškega omrežja TEN-T. Bistvena koridorja, v katera je vključeno slovensko omrežje, sta Sredozemski in Baltsko-Jadranski koridor. Del prvo omenjenega koridorja je tudi odsek Divača-Ljubljana, ki je predmet obravnave v moji diplomski nalogi.

Železniška proga med Divačo in Ljubljano se je že v preteklosti izkazala za eno izmed najpomembnejših železniških povezav slovenskega omrežja, saj povezuje jugozahodni del države in edino pomorsko pristanišče z osrednjo Slovenijo. Prav tako ima velik mednarodni pomen, ker se preko nje navezujemo na italijansko omrežje in preostalo zahodno Evropo. Zaradi takšne lege je vpeta v omrežje TEN-T, kar nam posledično narekuje upoštevanje Direktive 2008/57/ES Evropskega



parlamenta in sveta o interoperabilnosti železniškega sistema v Skupnosti (UL L 191/1, 2008) in z njo določenih tehničnih specifikacij za interoperabilnost (v nadaljevanju TSI) za posamezen podsistem.

## **1.1 NAMEN DIPLOMSKE NALOGE**

Glavni namen diplomske naloge je zasnova nove hitre proge med Divačo in Ljubljano, ki v pretežni meri poteka v predoru. Ker moramo izpolnjevati Evropske standarde na področju razvoja železniške infrastrukture in ker je obstoječi odsek Divača-Ljubljana del omrežja TEN-T, je poleg umestitve nove proge v prostor namen diplomske naloge še preučitev dveh dokumentov s področja projektiranja novih hitrih prog, ki se uveljavljajo pri nas. Oba dokumenta sta bila sprejeta v skladu z Direktivo 2008/57/ES Evropskega parlamenta in sveta o interoperabilnosti železniškega sistema v Skupnosti (UL L 191/1, 2008). TSI za infrastrukturni podsistem (UL L 126, 2011), se uporablja za določitev tehničnih elementov pri projektiranju nove infrastrukture v železniškem sistemu za visokohitrostne proge. TSI v zvezi z varnostjo v predorih (UL L 64, 2007) pa se uporablja za preprečevanje ter ublažitev nesreč in nezgod znotraj daljših predorov, predvsem tistih, ki jih povzroča požarna nevarnost.

## **1.2 CILJ DIPLOMSKE NALOGE**

Cilj diplomske naloge je analizirati obstoječe stanje proge Divača-Ljubljana in podati razloge, zakaj je nova hitra proga potrebna ter v okviru namena pokazati uporabo direktive in obeh tehničnih specifikacij na novo zastavljeni trasi. V sklopu projektiranja so prikazani tudi situacijski prikazi in vzdolžni profil proge v Prilogah od A do F. Poleg tega so karakteristični prečni prerez predora in območja posameznih kretniških zvez skupaj s karakterističnim prečnim prerezom dvotirne proge v nasipu priloženi v Prilogah od G do M.

## 2 OBSTOJEČI ODSEK PROGE DIVAČA-LJUBLJANA

V tem poglavju sem se osredotočila na obravnavan odsek Divača-Ljubljana, ki je del slovenske glavne proge E 69 s smerjo: državna meja – Središče – Pragersko – Zidani Most – Ljubljana – Divača – Koper. Najprej sem ga podrobno analizirala od razvoja železnice do trenutnega stanja. Nato pa sem na podlagi ugotovitev, da je na tej progi potreben investicijski ukrep, napovedala še obseg bodočega prometa.

### 2.1 Razvoj železniške infrastrukture na Slovenskem (Južna železnica)

Evropsko železniško omrežje se je v 19. stoletju pospešeno razvijalo. To obdobje je zaznamovala intenzivna industrijska revolucija, ki je botrovala gradnji železniških poti. Iz leta v leto so se širila znanja na področju gradnje železnic in njenih spremljajočih objektov. Z izkušnjami in človeško željo po premagovanju nemogočega tudi hribovita območja niso predstavljala večjega problema. Že od vsega začetka so ljudje, odgovorni za načrtovanje trase, težili k čim krajši razdalji, saj je to pomenilo hitrejši in cenejši prevoz za uporabnike tako potniškega kakor tovornega železniškega prometa (Humar, 2004).

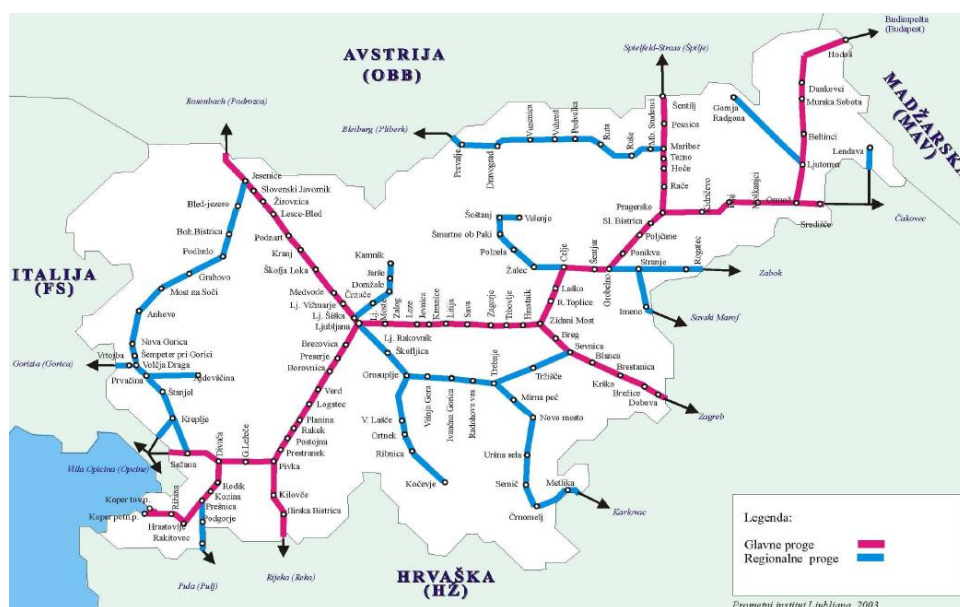
Prva železniška povezava, ki je bila vzpostavljena preko današnje Slovenije, se je imenovala Južna železnica. Ker je Avstro-Ogrska oblast težila k povezavi med Dunajem in Trstom, se je začelo načrtovanje železnice med omenjenima krajema že leta 1837. Pogoj, ki so ga načrtovalci morali upoštevati, je bila izpeljava trase mimo Gradca in Ljubljane. Območje med Trstom in Ljubljano je graditeljem, z vidika terenskih razmer, predstavljalo zahteven odsek. Kot največja težava se je izkazalo Ljubljansko barje zaradi močvirnate podlage. To so rešili s sondiranjem terena z izsuševanjem barja in zasipavanjem močvirja ter gradnjo nasipov. Proga je v nadaljevanju potekala čez Borovniški oziroma današnji Štampetov viadukt. Na poti do Jadrana je dosegla najvišjo točko pri Postojni na nadmorski višini Postojnskih vrat (602,5 m). Z nadaljevanjem železnice po kraških tleh, so graditelji premagovali doline in vzpone kraških uval s skalnimi nasipi ter po potrebi tudi s predori. Celotno progo, ki je prečila naše ozemlje, so gradili med letom 1847, ko so pričeli z raziskavami na prej omenjenem odseku in letom 1857, ko se je zapeljal prvi vlak po njem (Brilej, 1999).

Odsek med Trstom in Postojno na progi Dunaj-Trst je bil kot prvi elektrificiran s strani italijanske Ferrovie dello Stato že leta 1936. Razvoj električne vleke se je nadaljeval še po drugi svetovni vojni, ko je bila leta 1962 dokončana elektrifikacija proge Postojna-Ljubljana (Zgodovina SŽ, 2012). Tako kot nekoč so še danes vse slovenske elektrificirane proge opremljene z enotnim enosmernim sistemom

nominalne napetosti 3000 V. Ta vrednost se spremeni le ob prehodu vlakov v sosednje države. S spremembo načina vleke, iz parne na električno vleko, so dosegli hitreje prevoze med kraji, zmanjšali obseg onesnaževanja na okolje in hkrati izkoristili bližnje obnovljive vire.

Po odprtju južne železnice se je pričelo železniško omrežje bliskovito razvejano širiti na območju današnje Slovenije. Določila o razvrščanju obstoječih prog, ki sestavljajo železniško omrežje so zapisana v Uredbi o kategorizaciji prog (2002), zaslediti pa jih je mogoče tudi na internetnih straneh Slovenskih Železnic v dokumentu Programa omrežja (2011). Vsem slovenskim progam je skupna tirna širina, ki znaša 1435 mm. Vendar se proge med seboj razlikujejo glede na:

- obseg prometa, gospodarski pomen in povezovalno vlogo železniškega prometa v prostoru. Ta nam podaja razvrstitev prog v glavne in regionalne proge,



Slika 2: Glavne in regionalne proge železniškega omrežja (Program omrežja - ŠŽ, 2011)

- največje dovoljene progovne hitrosti. Zaradi reliefnih in urbanističnih omejitev uvrščamo vse slovenske obstoječe proge izključno v razred konvencionalnih prog, med tem ko proge za visoke hitrosti še niso zgrajene pri nas,
- število tirov. Pri nas imamo skoraj trikrat več enotirnih prog kot dvotirnih,
- največjo dolžino vlakov. Odvisna je od uporabne dolžine postajnih tirov, ki trenutno dovoljuje največ 430 metrov dolge kompozicije potniških vlakov in največ 700 metrov dolge tovarne vlake,
- vrste dopustnih nakladalnih profilov. Obstoječe proge dopuščajo prevoz vozil z nakladalnim profilom SŽ I ter nakladalnima profiloma za kombinirani transport GA in GB. Novozgrajene proge pa morajo zagotavljati nakladalni profil GC,

- dovoljeno osno in dolžinsko obremenitev s tovornimi vagoni. Glede na ta dva razreda se proge ali odseki delijo v naslednje kategorije: A, B1, B2, C2, C3, C4, D2, D3, D4. Pretežni del prog v Sloveniji, po katerih poteka odprti tranzitni promet, ustreza D3 kategoriji. To pomeni, da je vrednost osne obremenitve 22,5 t in dolžinske obremenitve 7,2 t/m'.

## **2.2 Analiza stanja javne železniške infrastrukture in železniškega prometa v Sloveniji**

Slovenske železnice d.o.o. že vrsto let upravljajo z železniško infrastrukturo in voznim parkom na progah dolžine 1228 km ter zajemajo storitve v notranjem in mednarodnem prometu. Vse pogosteje pa je mogoče zaznati, da je bilo na tem področju premalo storjenega, da bi železniški promet lahko konkuriral cestnemu. Kritično stanje obstoječe javne železniške infrastrukture (v nadaljevanju JŽI) se odraža na obrabljenih tirnicah, dotrajani vozni mreži (pritrilni materiali, drogovi,...) in pragovih, nesaniranih nevarnih plaziščih ob progah ter še bi lahko naštevali. Vse skupaj pa posledično vpliva na uvedbo nižjih hitrosti kot so zapisane v voznem redu. Nastale škode vplivajo predvsem na zamude vlakov, kar v skrajnih primerih privede do odpovedi prevozov. Zato pri uporabnikih JŽI prihaja do nezadovoljstva, ki se iz leta v leto povečuje, saj se tudi razmere sčasoma poslabšujejo. Poglavitni razlog za poslabšanje celotnega stanja JŽI je pomanjkanje finančnega vložka, ki je potreben za vzdrževanje in posodobitev obstoječega omrežja ter razvoj novega visoko hitrostnega železniškega sistema.

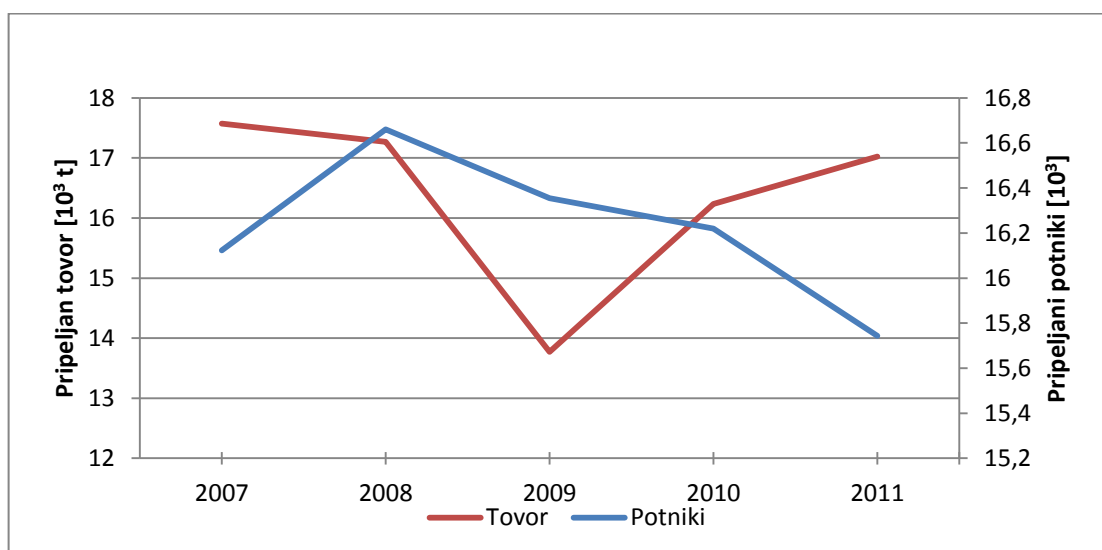
Ob zastavljeni prometni politiki Evropske unije je potrebno odgovorno izpolnjevati določene zahteve v čim večji meri. Problem, ki nastaja na poti do izpolnitve cilja, je prepočasno vlaganje v železniško infrastrukturo in ob povečanju obsega transportnega prometa se povečuje tudi obremenitev posameznih odsekov. To nas privede do dodatnih zaostritev na voznem omrežju in sicer na področju omejevanja osnih obremenitev. Skrajni nezaželeni ukrep, ki se pojavi ob nastalem scenariju, je zapora posameznih odsekov prog. Še huje, kar je Slovenijo zaradi omejitve dopustne osne obremenitve že doletelo, so preusmeritve posameznih tovorov na progah mimo naše države. Tovorni promet je sicer lažje ohraniti na železniških tirih, nekoliko težje pa je usmerjati potnike s sodobnejšega cestnega na železniški promet ob trenutnih pogojih. Že sama statistika v povezavi s stopnjo motorizacije državljanov kaže, da vsaka vozno sposobna oseba poseduje osebni avtomobil. To prevozno sredstvo zagotovo nudi večje udobje in se trenutno izkazuje v popolni prednosti glede potovalnih časov med pomembnejšimi kraji v Sloveniji (Žerak, 2011).

### 2.3 Obseg prevozov na slovenskih tirih

Hiter razvoj cestne infrastrukture in konkurenčnejšega transporta s cestnim prevozom glede na časovni potek tranzita ter cenovno dosegljivost sili upravitelje mednarodnih železnic k interoperabilnosti in inovativnosti na področju razvijanja novejših produktov za obstoj vsaj trenutnega obsega prevozov posameznih pošilk. Nastalo situacijo na področju tovornega prometa za začetek rešujejo z uvajanjem direktnih povezav med terminali držav na zahodu (Italija) in vzhodu (Balkanske države) (Letno poročilo 2011 – SŽ, 2011).

Slovenske železnice d. d., eden izmed slovenskih železniških prevoznikov, z izvajanjem raznih ukrepov poskušajo obdržati trenutni delež uporabnikov prevozov na železnici. Statistika kaže, da se je s tovornim prometom v letu 2011 prepeljalo 17.024 ton blaga, kar je za 4,9 % več kot leto prej (Statistični urad RS, 2013). Na področju potniškega prometa je prišlo do upada prepeljanih potnikov za 2,9 % glede na predhodno leto 2010. Števek prepeljanih potnikov je bil 15.744 ljudi. Ravno tako so se zmanjšali potniški kilometri in sicer za 4,9 % (Statistični urad RS, 2013). S stališča potnikov je za preprečitev upada uporabe železniškega prevoza potrebnega nekaj finančnega vložka v postajna poslopja, saj jih odvrta zaradi svoje nečistoče in videza. Ker je med drugim prišlo do upada mednarodnega prometa, je sedaj za povečanje prehoda tujcev čez naše ozemlje potrebno pospešeno razvijati hiter daljinski promet (Letno poročilo 2011 – SŽ, 2011).

Spremembe obsega prevozov na slovenskih tirih so ponazorjene na sliki 3, kjer so uporabljeni statistični podatki prepeljanih potnikov in tovora med letoma 2007 in 2011. Podatki za leto 2012 pa še niso dostopni na Statističnem uradu RS.



Slika 3: Statistični podatki prepeljanih potnikov in tovora med letoma 2007 in 2011 (Statistični urad RS, 2013)

Iz grafa je razvidno, da uporaba železniškega potniškega prometa narašča v letu med 2007 in 2008, nato pa pada vse do leta 2011. Uporaba železnice za prevoz tovora najprej pada med letoma 2007 in 2009. Po letu 2009 pa se količina prepeljanega tovora povečuje do leta 2011.

## **2.4 Analiza trenutnega prometno-tehnološkega stanja obstoječega odseka Divača-Ljubljana**

Glavna proga Ljubljana-Sežana-državna meja z Italijo je bila zgrajena kot del Južne železnice leta 1857. Nanjo so kasneje v Divači priključili progo Koper-Divača, ki je omogočila povezavo preostalega dela države z edinim pomorskim pristaniščem pri nas. Sedaj pa predstavlja tudi enega od pomembnih evropskih prometnih koridorjev. Vendar se slabša stran tamkajšnje umestitve proge v območje brez večjih mestnih središč kaže v tem, da je že od nekdaj imela večji poudarek na tovornem prometu kakor na potniškem. Slednji sčasoma zopet pridobiva na pomenu in uporabi predvsem v primestnem območju prestolnice. Pretekli časi so na področju tranzita bili namreč bolj naklonjeni cestnemu prometu, ko se je avtomobilska industrija razcvetela in nudila uporabnikom večje udobje.

V nadaljevanju je povzet opis in trenutno stanje odseka Divača-Ljubljana po dokumentu »Analiza sedanjih razmer in razlogov za investicijski projekt; Visokozmogljivostna proga / hitra proga Divača – Ljubljana«, ki ga je izdelal Prometni inštitut Ljubljana d.o.o. v letu 2010.

Progovni odsek med Ljubljano in Divačo je dolg 104 km. Proga najprej zapusti Ljubljansko kotlino z vzpenjanjem proti postaji Logatec pri zmanjšani hitrosti in nadaljuje na severno vzhodne obronke Planinskega polja preko Postojnskih vrat do Postojne. Po dolini reke Pivke pride proga do postaje Pivka in od tu naprej vse do Divače proga sledi še južnim obronkom Vremščice. Na tej poti jo spremlja 16 prometnih mest (postaje, postajališča, nadzorne postaje), prečka pa 21 premostitvenih objektov in 7 predorov (najdaljši je Košanski s 540,5 m) ter 20 nivojskih prehodov. Čeprav so predori na celotnem odseku v relativno dobrem stanju, ostaja problem premajhnega svetlega profila predorov na pododseku Divača-Pivka, ki ne dovoljuje sočasne uporabe prehodnega mesta dveh tovornih vlakov z nakladalnim profilom GC. Hitrost vlakov je na tem območju zmanjšanja in v voznoredni knjižici predpisana za hitrost 30 km/h. Ta omejitev vpliva na povečanje voznih časov in s tem kakovost prevozne storitve. Ker so stroški razširitve prereza predora visoki, bo v sklopu nadgradnje tega pododseka potrebno v prihodnosti zgraditi nove predore za zadostitev svetlega profila GC.

Kategorizacija analizirane proge Divača-Ljubljana po Uredbi o kategorizaciji prog (Ur. l. RS, št. 343-13/2002-1) ustreza razredu D3. Od tod sledi, da je vzdolž izbranega odseka predpisana največja dopustna osna obremenitev 22,5 t in dopustna dolžinska obremenitev 7,2 t/m' na vgrajenih tirnicah 49 E1 in 60 E1. Glede na potek proge, njene značilnosti in dopustne hitrosti, proga

podaja tudi različno zavorno razdaljo na posameznih statističnih odsekih. Ti znašajo 1000 m na odseku med Ljubljano in Borovnico, 700 m pa od Borovnice do Divače.



Slika 4: Obstoječa proga Divača – Ljubljana (Analiza sedanjih razmer in razlogov..., 2010)

Na območju ljubljanskega barja so težave gradnje na močvirnati podlagi rešili z utrjenimi nasipi. Vendar kljub ugodno izpeljanim horizontalnim elementom trase do Borovnice, ki zajemajo blage krivine in številne preme, ni mogoče povišati progovne hitrosti nad 100 km/h zaradi dotrajane infrastrukture. V spodnji preglednici so podani horizontalni radiji še za preostale dele proge do Divače.

Preglednica 1: Hitrosti in krivinski radiji na progovnem odseku Borovnica-Divača (lasten vir)

Progovni odsek	Radij krivine [m]	Hitrost [km/h]
Borovnica-Logatec	$R < 300$	75
Logatec-Postojna	$R < 300$	75 - 85
Postojna-Pivka	$R < 300$	65 - 75
Pivka-Divača	$R < 300$	70 - 80

Vzdolž celotnega analiziranega odseka Divača-Ljubljana so vrednosti horizontalnih radijev ukrivljenosti skromne ( $R_{\min} = 275$  m) zaradi razgibanega poteka terena na območju proge. Pri tem se vrednosti najmanjšega vzdolžnega nagiba proge nahajajo med postajo Planina in Rakek ( $i_{\min} = 3$  ‰), največjega v vrednosti  $i = 12$  ‰ pa ob spustu proti borovniški postaji v Ljubljanski kotlini.

Že od samega začetka umestitve proge med Divačo in Ljubljano v prostor je trasa v celoti elektrificirana z enosmerno napetostjo 3 kV. Za delovanje voznega parka se proga med Divačo in

Ljubljano oskrbuje iz elektronapajalnih postaj, ki so locirane v Divači, Pivki, Logatcu in na Viču. Vodenje in potek prometa se ureja lokalno iz posameznih postaj. Proga je povsod opremljena z radijsko zvezo.

## 2.5 Zmogljivost proge

V okviru moje diplomske naloge sem se omejila na prepustno zmogljivost železniške proge, ki pomeni sposobnost določenega odseka na progi, da v določenem časovnem obdobju z obstoječo tehnično opremljenostjo proge, določeno vrsto in serijo vlečnih vozil ter z obstoječo organizacijo prometa vlakov prepusti določeno število parov vlakov oziroma število vlakov (Pravilnik o zgornjem ustroju železniških prog, Ur. l. RS št. 92/2010). Izraža se s številom vlakov, ki ob upoštevanju dejanske tehnologije prometa in tehničnih napravah prevozijo posamezen odsek v določenem času.

V sklopu študije »Študija izvedljivosti nove železniške povezave Trst - Divača (CROSS-5), INTERREG III/A« je Prometni inštitut Ljubljana opravil analizo prepustne zmogljivosti proge za odsek Divača-Ljubljana. Pri tej analizi se je upoštevala prometna struktura za leto 2008 in ker se ta do danes ni bistveno spremenila, so razlike med strukturama minimalne. Tako lahko predpostavim, da navedeni podatki veljajo tudi za leto 2013. Prepustno zmogljivost proge so na inštitutu izračunali po metodi UIC 405. Podlaga za izvedbo te metode so parametri prepustne zmogljivosti omejitvenega pododseka. Za omejitveni pododsek se jemlje odsek med postajama, ki ima najdaljše vozne čase oziroma tisti, kjer so povprečni najmanjši intervali med vlaki dejansko najmanjši.

V spodnji preglednici je prikazana izkoriščenost prepustne zmogljivosti na dveh posameznih progovnih odsekih med Divačo in Ljubljano.

Preglednica 2: Povprečno dnevno število vlakov in izkoriščenost prepustne zmogljivosti posameznih progovnih odsekov (Študija izvedljivosti proge Trst-Divača (CROSS-5), 2008)

<b>Proga 50: Ljubljana - Sežana - d. m.</b>			
<b>Omejitveni odsek Ljubljana-Divača</b>	<b>Skupno dnevno število vlakov</b>	<b>Zmogljivost</b>	<b>Izkoriščenost [%]</b>
Ljubljana-Borovnica	120	146	82,19
Pivka-Divača	103	135	76,30

V rezultatih analize Prometnega inštituta je zapisano, da je na progi Divača-Ljubljana omejitveni odsek med postajama Divača in Pivka, ker imajo vlaki tukaj najdaljše vozne čase. Ta odsek tako določa zmogljivost celotne proge Divača-Ljubljana. Zato znaša prepustna zmogljivost tega odseka



135 vlakov/dan oziroma je njegov odstotek izkoriščenosti prepustne zmogljivosti 76,3 %, kot je zapisano v preglednici 2 (Analiza sedanjih razmer in razlogov..., 2010).

Smatra se, da je odsek proge popolnoma izkoriščen, ko je odstotek izkoriščenosti prepustne zmogljivosti določenega odseka 85 % za enotirne in 90 % za dvotirne proge (Žerak, 2011). Iz prikazane Preglednice 2 in podatkov, ki so mi bili na voljo v študiji, je razvidno, da na progi Divača-Ljubljana še ni povsem izkoriščena prepustna zmogljivost. Zaradi spoštovanja evropskih direktiv in smernic, ki težijo k temu, da se čim več tovora pripelje po železnici, in glede na, to da je vse več stanovanj v predmestjih, kar posledično pomeni tudi več ljudi, ki za javno prevozno sredstvo uporabljajo vlak, se odsek med Ljubljano in Borovnico danes približuje zgornji meji zasičenosti. Ne gre pozabiti, da bi nekoč lahko bile tudi postajne proge popolnoma izkoriščene (Žerak, 2011).

Problem obstoječega odseka Divača-Ljubljana je zagotovo slabo stanje zgornjega ustroja proge, zaradi česar so zmanjšane progovne hitrosti glede na zapisane hitrosti v voznem redu in se bodo z leti le še bolj omejevale zaradi zagotavljanja varnosti na progi. Če ne bodo izvedeni potrebni ukrepi za odpravo vzrokov za počasno vožnjo, se bodo posledično tudi obstoječi vozni časi podaljševali. Večjo kakovost transportne storitve kombiniranega prevoza omejujejo predori med Divačo in Pivko, ki preprečujejo vzporedno vožnjo tovornih vlakov z nakladalnim profilom GC in premajhno medtirno razdaljo ter s tem povzročajo podaljšanje voznih časov. Poleg tega lahko izpostavim tudi prekratke koristne dolžine postajnih tirov (t.j. 750 m), ki ovirajo prehitevanje daljših vlakov na območju postaj (Analiza sedanjih razmer in razlogov..., 2010).

Zgornje navedbe o vzrokih za zmanjšanje zmogljivosti in omejevanje hitrosti na progi Divača-Ljubljana predstavljajo poglobljen razlog za investicijski ukrep. S tem se zajema bodisi nadgradnja proge bodisi novogradnja. Ker pa je obravnavani odsek del predvidenega jedrnega omrežja TEN-T, kjer je pri njegovem oblikovanju in umeščanju v prostor potrebno upoštevati Direktivo 2008/57/ES o interoperabilnosti železniškega sistema v Skupnosti (UL L 191/1, 2008 - v nadaljevanju Direktiva 2008/57/ES) in standarde TEN-T omrežja, je gradnja nove hitre proge povsem smiselna.

## 2.6 Analiza in napoved prometa za novo železniško povezavo

Na podlagi ugotovljenih dejstev iz poglavja 2.5, da je potrebna nova železniška povezava med Divačo in Ljubljano, sem naredila kratko analizo in napoved prometa na tem odseku. Za to sem povzela rezultate iz študije »Študija izvedljivosti nove železniške povezave Trst – Divača (CROSS-5)« (v nadaljevanju Študija izvedljivosti proge Trst-Divača (CROSS-5)). Podatki so pridobili s pomočjo opravljenih anket, v katerih so upoštevali različne trende socialnih in ekonomskih gibanj glede na razpoložljivo ponudbo in povpraševanja po mobilnosti. Infrastrukturno ponudbo so še dodatno dopolnili tako na obstoječem kakor planiranem progovnem odseku. Na podlagi zbranih odgovorov anketirancev so naredili matematični model prometnega planiranja s štirimi fazami napovedovanja obremenitev mreže. S temi fazami so napovedali nivo bodočih potovanj na območju posamezne cone (t. j. generacija potovanj), določili število potovanj med posameznimi pari con (t. j. distribucija potovanj), določili število potovanj opravljenih z vsako vrsto prometa na območju izbranega odseka (t. j. izbira prometnega sredstva) in ocenili prometne tokove na posameznih pododsekih v območju obravnavane proge (t. j. obremenjevanje mreže). Anketna vprašanja so se nanašala na oba prometna tokova, tako potniški kakor tovorni. V študiji, ki je zajemala 31 con (28 v Italiji in 3 v Sloveniji) so ugotovili, da se je med letoma 1999 in 2005 delež uporabe obeh vrst prometa povečal, s tem da je bil delež uporabe železniškega tovornega prometa večji glede na cestni promet. Rast skupnega tovornega prometa je na analiziranem območju še danes opazna (Študija izvedljivosti za odsek Trst-Divača (CROSS-5), 2008).

Pri diplomskem delu sem uporabila podatke analize iz leta 2008, ki so upoštevali scenarije za leta 2025, 2035, 2045 s ciljem vzpostavitve in zagona proge Divača-Ljubljana v obratovanje do leta 2020 (Študija izvedljivosti proge Trst-Divača (CROSS-5), 2008). Ker pa je od zadnje analize do danes preteklo veliko časa in hkrati bilo spremenjenih veliko infrastrukturnih načrtov zaradi zamujenih priložnosti investiranja v razvoj in izgradnjo proge, se podaljšuje rok za uresničitev nove povezave. Četudi ne bi bilo današnje gospodarstvo v takšnem položaju, bi se progo, predvideno v Študiji izvedljivosti proge Trst-Divača (CROSS-5) (2008), v najhitrejšem možnem času vzpostavilo šele do leta 2026. Zato sem se v mojem primeru opredelila le na scenarija za leti 2035 in 2045.

V študiji iz leta 2008 so preučevali projektni hipotezi brez in s projektom (t. j. nadgradnja obstoječe proge) ter dodatno hipotezo imenovano »HS varianta«. V tej diplomski nalogi sem upoštevala slednjo hipotezo, saj določa hitro progo in je zato primerna za novo povezavo za velike kapacitete med Divačo in Ljubljano. Analizirali so dve časovni obdobji, ki do leta 2045 z ekonomskega vidika upoštevata višjo ali manjšo rast v sodelujočih državah, poimenovani »visok scenarij« in »nizek scenarij«. V spodnji preglednici so glede na omenjena scenarija upoštevane naslednje letne stopnje rasti BDP:

Preglednica 3: Letna stopnja rasti BDP v obdobju 2025 - 2045 v % (Študija izvedljivosti proge Trst-Divača (CROSS-5), 2008)

Države	2015 - 2025		2025 - 2035		2035 - 2045	
	Nizek scenarij	Visok scenarij	Nizek scenarij	Visok scenarij	Nizek scenarij	Visok scenarij
Avstrija	1,5	2,0	1,2	1,6	1,2	1,6
Hrvaška	2,5	3,0	2,0	2,4	2,0	2,4
Italija	1,5	2,0	1,2	1,6	1,2	1,6
Madžarska	2,5	3,0	2,0	2,4	2,0	2,4
Slovenija	2,5	3,0	2,0	2,4	2,0	2,4

Vrednosti BDP iz posameznih časovnih obdobj so nato primerjali še z ekonomskimi vrednostmi iz Scott Wilsonove strateške študije za isto časovno obdobje. Na podlagi Wilsonove študije, ki upošteva le eno časovno obdobje, so za Slovenijo dobili 2,3 % povprečno letno stopnjo rasti BDP v obdobju 2005 – 2045, ki so jo nato uporabili pri nadaljnjih izračunih. Ustreznost izbire je potrdilo tudi ujemanje povprečnih in srednjih vrednosti sosednjih držav z vrednostmi iz Wilsonove strateške študije.

Z upoštevanjem rasti BDP iz Preglednice 3 sledi, da bo število prepeljanih potnikov in ton blaga z leti naraščalo na vseh analiziranih odsekih med Divačo in Ljubljano, kot je razvidno iz Preglednic 4 in 5.

Končne rezultate analize predstavljajo predvideni prometni tokovi na celotnem odseku med Divačo in Ljubljano za različni časovni obdobji in različne scenarije, nanašajoče se na obe smeri prometa, tako potniškega kakor tovarnega. Ti so predstavljeni v naslednjih preglednicah.

Preglednica 4: Letno število prepeljanih potnikov (Študija izvedljivosti proge Trst-Divača (CROSS-5), 2008)

Progovni odsek	2035	2035	2045	2045
	Nizek scenarij	Visok scenarij	Nizek scenarij	Visok scenarij
Divača-Pivka	2.000	2.000	2.000	2.000
Pivka-Postojna	118.000	137.000	137.000	167.000
Postojna-Logatec	4470.000	5048.000	5138.000	6126.000
Logatec-Ljubljana	8888.000	10248.000	10355.000	12398.000

Preglednica 5: Letno število prepeljanih ton blaga (Študija izvedljivosti  
proge Trst-Divača (CROSS-5), 2008)

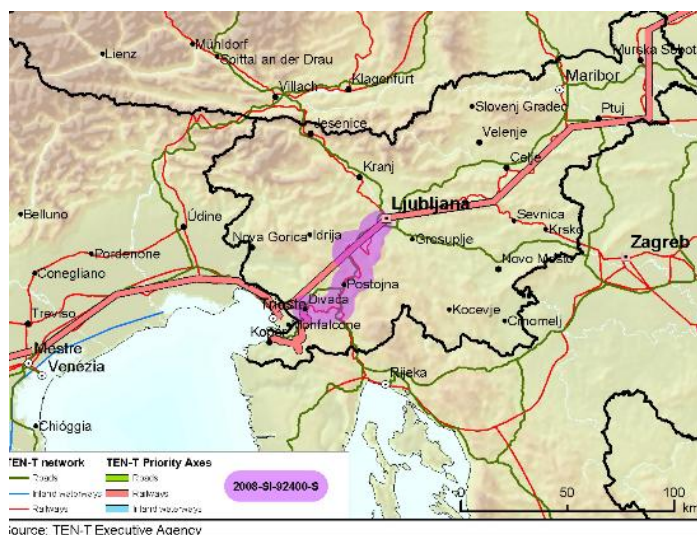
	<b>2035</b>	<b>2035</b>	<b>2045</b>	<b>2045</b>
<b>Progovni odsek</b>	<b>Nizek scenarij</b>	<b>Visok scenarij</b>	<b>Nizek scenarij</b>	<b>Visok scenarij</b>
Divača – Pivka	546.000	676.000	648.000	837.000
Pivka – Postojna	2089.000	2483.000	2445.000	3022.000
Postojna – Logatec	1113.000	1302.000	1303.000	1580.000
Logatec - Ljubljana	43088.000	56014.000	54649.000	70396.000

Z upoštevanjem »visokega scenarija« prometnih tokov pri izračunani povprečni letni stopnji rasti BDP bo prišlo do povečanja števila prevozov potnikov in blaga. Posledica tega bo zasičenje obstoječih prog in prisiljeni bomo v investicijske ukrepe. V primeru nadgradnje teh odsekov bi le podaljšali pogoje za nemoteno odvijanje železniškega prometa za nekaj let, nato pa bi zopet prišlo do zasičenosti posameznih odsekov. Zato se gradnja nove proge izkaže za primerno rešitev, saj bo razbremenila obstoječi odsek Divača-Ljubljana.

### 3 ZASNOVA NOVE ŽELEZNIŠKE POVEZAVE DIVAČA – LJUBLJANA

Veljavna Odločba Evropskega parlamenta in sveta št. 884/2004/ES podaja navodila Skupnosti za razvoj omrežja TEN-T s prioritarnimi projekti, ki so namenjeni vsem vrstam prometnih tokov (Zemljič s sodelavci, 2011). Da bi bilo prehajanje mej med članicami Evropske unije lažje in posledično bolj učinkovito železniško omrežje, je bilo v postopku poenotenja obstoječih in bodočih nacionalnih ter sosednjih transportnih sistemov v skupno omrežje TEN-T potrebno sprejeti tudi poenotene standarde. Ti pravni predpisi so tako imenovane direktive, ki določajo pravila in smernice ter omogočajo harmonizirano delovanje celotnega mednarodnega sistema. Direktive določajo tehnične specifikacije za vsak posamezen podsistem omrežja TEN-T, s čimer zadostimo bistvenim zahtevam interoperabilnosti železniškega omrežja (Godec, 2010). Interoperabilnost je zmožnost železniškega sistema, da zagotovi varen in neprekinjen promet vlakov ob zahtevani stopnji izkoriščenosti teh prog (UL L 191/1, 2008).

Kot sem že omenila, bodoči progovni odsek Divača-Ljubljana leži na območju omrežja TEN-T in sicer v delu Sredozemskega koridorja »Lyon – Torino – Milano – Benetke – Trst – Divača/Koper – Ljubljana – Maribor – Budimpešta – ukrajinska meja«, kjer so vlakom omogočene hitrosti do 250 km/h. To pomeni, da je pri zasnovi nove proge potrebno upoštevati TSI za infrastrukturni podsistem (UL L 126, 2011) za hitre proge, ki so v skladu z Direktivo 2008/57/ES Evropskega parlamenta in sveta o interoperabilnosti železniškega sistema v Skupnosti (UL L 191/1, 2008).



Slika 5: 6. prednostni projekt (TEN-T Executive Agency, 2013)

Da bo na novi progi Divača-Ljubljana zagotovljena interoperabilnost, mora izpolnjevati določene funkcionalne in tehnične zahteve dane kategorije. Glede na TSI kategorije prog jo uvrščamo v razred IV-M, saj predstavlja del jedrne proge, ki je hkrati namenjena mešanemu prometu. Po njej bodo vozili potniški in tovorni vlaki, katerih kompozicije ne bodo presegle dolžine 750 metrov in ne bodo povzročale večje osne obremenitve od 25 ton. Za izbrano kategorijo proge je predpisan svetli profil GC. Progovni odsek med Divačo in Ljubljano bo sodil med proge, na katerih so vlakom omogočene visoke hitrosti, saj bodo lahko potniški vlaki vozili z največjo hitrostjo 250 km/h in tovorni vlaki z največ 100 km/h.

### 3.1 Upoštevana zakonodaja

Izbor zakonodajnih predpisov in tehničnih specifikacij za zasnovo prog za visoke hitrosti in njihovo kasnejše podrobno projektiranje temelji predvsem na Evropskih določilih. Tehnične specifikacije za podsistem infrastrukture (UL L 126, 2011) za hitre proge, ki so sprejete v skladu z Direktivo 2008/57/ES, določajo le komponente interoperabilnosti in podajajo usmeritve, kaj je potrebno doseči pri načrtovanju nove trase. Ne predpisujejo pa enačb za izračun elementov proge. Zato sem poleg omenjene TSI kot podlago za izvedbo praktičnega dela diplomske naloge upoštevala še knjigo Železniška infrastruktura (Zgonc, 2012) in naslednja dokumenta, ki določajo smernice in tehnične parametre opisane v poglavju 3.2:

- Slovenski standard SIST EN 13803-1:2010, v veljavi od 1.9. 2010 (v nadaljevanju SIST EN 13803-1:2010) in nadomešča Standard SIST ENV 13803-1: 2004 (Njegova vsebina temelji na opisu železniških naprav, zgornjega ustroja, parametrov za projektiranje prog, tirnih širin 1435 mm in več za odprte proge),
- Pravilnik o tehniških i drugim uslovima za projektovanje i građenje železničkih pruga postrojenja, uređaja i objekata na magistralnim prugama (Sl. g. RS, br. 056/2011) (v nadaljevanju Srbski pravilnik), (Pravilnik povzema kriterije za projektiranje in gradnjo železniških prog s hitrostmi tudi do 220 km/h),

### 3.2 Tehnični parametri načrtovane trase

Projektirana železniška proga mora biti v načrtih prikazana na način, da iz njih lahko razberemo prostorski potek trase. To omogočimo s prikazom proge v narisu in tlorisu, ki ju ustvarimo s povezavo posameznih delov med seboj. Ti sestavni deli se imenujejo elementi trase, ki jih po potrebi zaokrožujemo z vertikalnimi in horizontalnimi krivinami. Vendar se elemente trase ne da vnaprej določiti, saj na njihov izbor vplivajo terenske razmere, obseg in vrsta prometa ter pomeni posameznih

odsekov prog. Predhodno pa moramo poznati tudi temeljna načela projektiranja uporabljenih posameznih elementov trase in njihovo medsebojno odvisnost, udobnost, varnost ter ekonomičnost, ki jo nudi obratovanje proge. Tako lahko na varno vožnjo negativno vplivajo mesta z nenadnimi spremembami sil, ki delujejo na vlakovne kompozicije. Na takšno neugodno vožnjo in voznodinamične razmere obratovanja v vzdolžnih profilih vplivajo mesta, kjer pride do lomov in zaokrožitve nivelete. Pri tlorisnih elementih pa imajo največji vpliv elementi za spreminjanje smeri vožnje (Zgonc, 1996).

Traso železniške proge v tlorisu predstavlja nekakšen poligon, ki je spojen z ustreznimi krivinami, določa pa jo lega njene vzdolžne osi. Prema, krožni lok in prehodnica so elementi, s katerimi jo opisujemo. Prehodnico določamo z njo povezano prehodno klančino, premo pa le z dolžino in smerjo. Krožni lok je določen z njegovim polmerom, prehodna klančina z njej ustrezno prehodnico in nadvišanjem, ki pri nekem polmeru krožnega loka podaja največjo dovoljeno hitrost v krivini ter osnovne parametre prehodne klančine in prehodnice.

Traso železniške proge v narisu prikazujemo z vzdolžnim profilom, kar predstavlja presek razvite trase z vertikalno ravnino v njeni osi. Iz te risbe lahko razberemo potek terena, obliko in položaj umeščene trase v nasipih ali usekih s stacionažami ter morebitna križanja s prometnicami in vodotoki. Najpomembnejša v vzdolžnem profilu je zagotovo črta nivelete, ki pri novogradnjah predstavlja položaj trase ter se nanaša na kote osi planuma. Njeno obliko opisujejo raznovrstni nagibi, lomi in zaokrožitve.

Za našteje trasne parametre so po pravilnikih določene tri vrste vrednosti in sicer normalna, minimalna in izjemna vrednost. Uporabi izjemnih vrednosti se raje izogibamo, predvsem uporabi več različnih na istem mestu vzdolž proge (SIST EN 13803-1:2010, 2010).

### **3.2.1 Elementi trase v tlorisu**

V nadaljevanju bom opisala temeljne elemente, s pomočjo katerih bom progo Divača-Ljubljana tlorisno umestila v prostor.

#### **3.2.1.1 Krožni lok**

Krožni lok omogoča spremembo smeri in je določen s svojim polmerom  $R$  in velikostjo središčnega kota. Na postajnih tirih je predpisan najmanjši polmer krožnega loka 500 m za udobnejše sestopanje

potnikov z vlaka (SIST EN 13803-1:2010). Prav tako je predpisana normalna vrednost dolžine krožnega loka in preme med dvema krivinama, ki ne sme biti manjša od 20 m in mora zadoščati pogoju (Zgonc, 2012):

$$l \geq 0,4 * V, \quad (1)$$

kjer je:

$V$  ... projektna hitrost [km/h].

Na vlak med vožnjo skozi krožni lok deluje sredobežna sila, ki ga poskuša prevrniti navzven. Ta negativen vpliv lahko kompenziramo z bočno komponento sile teže, ki jo dobimo z nadvišanjem ( $h$ ) zunanje tirnice nad notranjo glede na njuno višinsko lego. Od tod sledi, da je nadvišanje pogojeno z bočnim pospeškom  $b$  [ $m/s^2$ ], ki deluje v ravnini tira na tirno vozilo. Idealnega bočnega pospeška ni mogoče doseči, ko je proga namenjena mešanemu potniškemu in tovornemu prometu zaradi različnih hitrosti. Zato se v takšnih primerih nadvišanje prilagodi neki srednji hitrosti vlakov, kar privede do dejstva, da je za določene vlake premajhna in imamo primanjkljaj nadvišanja  $h_p$  s pozitivnim pospeškom, v nasprotnem primeru pa višek nadvišanja  $h_v$  z negativnim bočnim pospeškom.

Splošni izraz za izračun nadvišanja je izpeljan iz osnovne formule za bočni pospešek  $b$  in primanjkljaj nadvišanja  $\Delta h_p$ , ki sta povezana in soodvisna. Zato ni pomembno, katerega upoštevamo pri izračunih. S tem dobimo splošno enačbo za nadvišanje (Zgonc, 1996):

$$h = 11,8 * \frac{V^2}{R} \pm \Delta h \text{ mm} , \quad (2)$$

oziroma enačbi za minimalno nadvišanje za najhitrejši vlak  $h_{min}$  in maksimalno nadvišanje za najpočasnejši vlak  $h_{max}$  (Zgonc, 2012):

$$h_{min} = 11,8 * \frac{V_{max}^2}{R} - \Delta h_p \text{ mm} , \quad (3)$$

$$h_{max} = 11,8 * \frac{V_{min}^2}{R} - \Delta h_v \text{ mm} , \quad (4)$$

kjer je:

$V$  ... največja projektirana dovoljena hitrost [km/h],

$R$  ... polmer krožnega loka [m],

$\Delta h$  ... primanjkljaj  $h_p$  ali presežek nadvišanja  $h_v$  [mm].



Običajno izračunano nadvišanje zaokrožujemo navzgor na 5 mm. Najmanjše nadvišanje, ki ga še izvajamo je 20 mm, pri čemer se vrednosti nadvišanja med 10 in 20 mm zaokrožiti navzgor, vrednosti manjše od 10 mm pa na 0mm. Hkrati največje nadvišanje, ki ga še izvajamo na progah za visoke hitrosti, ne sme presegati normalne mejne vrednosti 160 mm oziroma izjemne mejne vrednosti 180 mm (SIST EN 13803-1:2010).

Ker vlaki na istih progah ne vozijo z enakimi hitrostmi, bi za vrednosti absolutnega največjega nadvišanja  $h=160$  mm (SIST EN 13803-1:2010) počasnejši vlaki zahtevali manjši, hitrejši vlaki pa večji minimalni polmer krožnega loka. Ob upoštevanju dopustnih vrednosti primanjkljaja nadvišanja  $h_p$  za najhitrejše vlake in dopustnih vrednostih presežka za najpočasnejše vlake  $h_v$ , se mora velikost minimalnega polmera krožnega loka nahajati med naslednjima vrednostima (Zgonc, 2012):

$$\frac{11,8 \cdot V_{max}^2}{160 - \Delta h_v} \geq R \geq \frac{11,8 \cdot V_{min}^2}{160 + \Delta h_p} \quad (5)$$

Pri projektiranju nove hitre proge, pri kateri je interval hitrosti med najhitrejšimi in najpočasnejšimi vlaki relativno velik, se uporablja enačba, ki predstavlja srednjo vrednost med minimalnim krožnim lokom za najhitrejši in minimalnim krožnim lokom za najpočasnejši vlak po spodnji enačbi (Zgonc, 2012):

$$R_{min} = 11,8 * \frac{V_{max}^2 - V_{min}^2}{\Delta h_v + \Delta h_p} \quad (6)$$

Ko se določa dopustne hitrosti na železniški progi razlikujemo med največjo dovoljeno hitrostjo na progi in največjo dovoljeno hitrostjo določenega vlaka, ki je predpisana z voznim redom. Največja dovoljena hitrost na progi pri znanem polmeru in nadvišanju krožnega loka pa je določena s pomočjo splošne enačbe bočnega pospeška (Zgonc, 2012):

$$V_{max} = \sqrt{\frac{R}{11,8} * (h + h_p)} \quad (7)$$

### 3.2.1.2 Prehodnice in prehodne klančine

Prehodnica omogoča miren prehod iz preme v krožni lok in obratno ter med dvema krožnima lokoma različnih polmerov. S tem se ublaži sunek, ki nastane ob nenadni spremembi ukrivljenosti.

V primeru, ko imamo nadvišano krivino, se izvede sprememba nadvišanja med premo in krožnim lokom s prehodno klančino. In sicer lahko nadvišamo zunanje tirnice s poglobitvijo notranje ali z delnim nadvišanjem zunanje in delno poglobitvijo notranje tirnice (Zgonc, 2012).

Dolžina prehodnice praviloma sovпада z dolžino prehodne klančine ( $L_n$ ), pri čemer naj zakrivljenost narašča enako kakor nadvišanje. Dolžino prehodnice izračunamo po naslednji enačbi:

$$L_n = \frac{n \cdot h}{1000} [\text{m}], \quad (8)$$

kjer je :

$n$ ... normalni nagib premočrtne klančine,

$h$ ... nadvišanje [mm].

Za visoke hitrosti je običajno, da so klančine lahko zelo položne, a ne smejo imeti blažjega nagiba kot 1 : 2000, izjemoma 1 : 3000 in ne večjega od 1 : 600 (Pravilnik o tehničkimi..., 2011). Vrednosti nagiba sta različni za normalni in izjemni dolžini premočrtne klančine, kar je prikazano v spodnji preglednici.

Preglednica 6: Vrednosti dolžine prehodnic glede na nagib (Zgonc, 2012)

	<b>Nagib prehodne klančine</b>	<b>Dolžina prehodnice</b>
Normalna vrednost	$n = 10 * V$	$L_n = \frac{10 * V * h}{1000}$
Mejna dovoljena vrednost	$n = 8 * V$	$L_n = \frac{8 * V * h}{1000}$

### 3.2.2 Elementi trase v narisu

Podobno kot v poglavju 3.2.1 bom opisala pomembne elemente v narisu, s pomočjo katerih bom progo Divača-Ljubljana umestila v prostor.

#### 3.2.2.1 Vzdolžni nagib nivelete

Kot je bilo v uvodnem delu poglavja povedano, niveleta predstavlja obliko in položaj osi trase v vzdolžnem profilu. Njeni odseki so lahko horizontalni ali nagnjeni, njihovo sečišče pa imenujemo lom

nivelete. Posamezen element nivelete je odsek med sosednjima lomoma, njegov nagib pa izračunamo po (Zgonc, 1996):

$$i = \frac{1000 \cdot \Delta H}{l} \quad [\text{‰}], \quad (9)$$

kjer je:

$\Delta H$ ... višinska razlika skrajnih točk elementa [m],

$l$ ... horizontalna razdalja skrajnih točk elementa [m].

Največja predpisana vrednost nagiba nivelete na odprti progi je 12,5 ‰. Na območju novih postaj je njena največja vrednost 1 ‰, v usekih pa naj bo ta nagib največ 2 ‰ zaradi odvodnjevanja. V železniških predorih, ki so krajši od 1000 m, je najmanjši nagib 2 ‰, medtem ko je v daljših tunelih predpisana vrednost nagiba nivelete 4 ‰ (Pravilnik o tehničkim..., 2011).

### 3.2.2.2 Vertikalna zaokrožitev

V primeru, ko je razlika med sosednjima nagiboma  $\Delta i \geq 1 \text{ ‰}$ , je potrebna zaokrožitev spremembe nagiba nivelete z vertikalnim krožnim lokom  $R_v$ . Takšna izvedba pripomore k mirnejši vožnji, saj se izognemo spreminjanju smeri sil v nizu vagonov, od tlačnih v natezne (Zgonc, 1996). Pri tem ukrepu je potrebno upoštevati, da mora biti dolžina tangente krožnega loka daljša od 20 m.

Preglednica 7: Vrednost radija vertikalne zaokrožitve  $R_v$  (Pravilnik o tehničkim..., 2011)

Mejna vrednost izvedljivosti (maksimalna)	$Rv \leq 30000 \text{ m}$
Normalna vrednost	$Rv \geq 0,4 * V^2$
Mejna dovoljena vrednost (minimalna)	$Rv \geq 0,25 * V^2 \geq 2000 \text{ m}$

### 3.2.3 Izračun elementov trase Divača-Ljubljana

Izbrano progo sem projektirala v skladu z določili dokumentov, navedenih v začetku poglavja 3.1 in knjigo Železniška infrastruktura (Zgonc, 2012), ki zajemajo pogoje in parametre za proge visokih hitrosti. Za to diplomsko delo se kot najvišja še dovoljena hitrost upošteva 250 km/h. V predhodnem poglavju sem povzela teoretične osnove tehničnih parametrov, ki sem jih potrebovala za oblikovanje trase. V nadaljevanju pa je prikazan izračun nekaterih najpomembnejših elementov za posamezne

odseke nove proge v smeri od Divače proti Ljubljani. Vrednosti nadvišanj  $h$  so zaokrožene na 5 mm navzgor in prav tako so dolžine prehodnic  $L$  zaokrožene na 5 m navzgor.

### Dolžina elementov

Normalne vrednosti za dolžine krožnega loka, izražene v metrih in preme med dvema krivinama vzdolž celotne trase, zadostujejo pogoju, ki zahteva:

$$l \geq 0,4 * V ,$$

$$V_{max} = 250 \text{ km/h},$$

$$250 * 0,4 = 100 \geq 20.$$

### Nadvišanja

Glede na mejne vrednosti, določene v TSI za infrastrukturni podsistem (UL L 126, 2011), sem za izračun elementov upoštevala naslednje vrednosti primanjkljaja  $\Delta h_p$  in presežka nadvišanja  $\Delta h_v$ :

$$\Delta h_p = 100 \text{ mm},$$

$$\Delta h_v = 70 \text{ mm}.$$

### Minimalni krožni lok

Ker se v diplomski nalogi obravnava projektiranje povsem nove proge za visoke hitrosti, sem upoštevala enačbo (6) iz prejšnjega poglavja in izračunala vrednost minimalnega dovoljenega krožnega loka ob upoštevanju hitrosti 250 km/h za potniške vlake in 100 km/h za tovarne vlake:

$$R_{min} = 11,8 * \frac{V_{max}^2 - V_{min}^2}{\Delta h_v + \Delta h_p} = 11,8 * \frac{250^2 - 100^2}{70 + 100} = 3644 \text{ m}.$$

### Vrednost elementov v posameznih krivinah vzdolž trase

V stacionaži km 23+765,37 proge Trst-Divača, ki je bila obdelana v študiji »Študija izvedljivosti nove železniške povezave Trst – Divača – Ljubljana – Budimpešta – Ukrajinska meja« leta 2011 (Priloga B), sem priključila novo traso Divača-Ljubljana za mešani promet in jo nadaljevala od te vrednosti stacionaže dalje. Na tem mestu so izdelovalci študije predvideli dve varianti odcepa preko kretnic in priključka na obstoječo progo Sežana-Divača. V območju med km 23+765,37 in km 24+265

bo nova proga v premi nadaljevala pot v smeri Ljubljane. To pomeni, da so vrednosti elementov sledeče:

$$R = \infty,$$

$h = 0$ , zaradi proge, ki sovpada z glavno smerjo in prevozi območje kretnic,

$b = 0$ , ker proga poteka v premi ter

$$V_{max} = 250 \text{ km/h za potniški promet in } V_{min} = 100 \text{ km/h za tovorni promet.}$$

Pred spustom proge v prvi predor na stacionaži km 24+265,37 (Priloga B) se prične prvi krožni lok s temenom TS1 in zaključi v stacionaži km 24+515,37. Izračunane vrednosti so naslednje:

$$R = 4500 \text{ m,}$$

$$V_{max} = 250 \text{ km/h,}$$

$$h_{min} = \frac{11,8 \cdot V_{max}^2}{R} - \Delta h_p = \frac{11,8 \cdot 250^2}{4500} - 100 = 64 \text{ mm,}$$

$$h_{max} = \frac{11,8 \cdot V_{min}^2}{R} + \Delta h_p = \frac{11,8 \cdot 100^2}{4500} + 70 = 96 \text{ mm, izbran } h = 70 \text{ mm,}$$

$$b = \frac{V_{max}^2}{13 \cdot R} - \frac{h}{153} = \frac{250^2}{13 \cdot 4500} - \frac{70}{153} = 0,611 \text{ m/s}^2,$$

$$L_n = \frac{10 \cdot V_{max} \cdot h}{1000} = \frac{10 \cdot 250 \cdot 70}{1000} = 175 \text{ m in}$$

$$V_{max} = \frac{R \cdot (h + \Delta h_p)}{11,8} = \frac{4500 \cdot (70 + 100)}{11,8} = 255 \text{ km/h.}$$

Dolžina preme med prvim in drugim krožnim lokom je  $l = 247 \text{ m}$  ter ustreza predpisom o najmanjši dovoljeni vrednosti. Območje drugega krožnega loka s temenom TS2 (Priloga B) je locirano v predoru, tik pod Letališčem Divača med stacionažama km 26+015,37 in km 35+765,37. Izračunane vrednosti so naslednje:

$$R = 6000 \text{ m,}$$

$$V_{max} = 250 \text{ km/h,}$$

$$h_{min} = \frac{11,8 \cdot V_{max}^2}{R} - \Delta h_p = \frac{11,8 \cdot 250^2}{6000} - 100 = 23 \text{ mm,}$$

$$h_{max} = \frac{11,8 \cdot V_{min}^2}{R} + \Delta h_p = \frac{11,8 \cdot 100^2}{6000} + 70 = 90 \text{ mm, izbran } h = 80 \text{ mm,}$$

$$b = \frac{V_{max}^2}{13 \cdot R} - \frac{h}{153} = \frac{250^2}{13 \cdot 6000} - \frac{80}{153} = 0,278 \text{ m/s}^2,$$

$$L_n = \frac{10 \cdot V_{max} \cdot h}{1000} = \frac{10 \cdot 250 \cdot 80}{1000} = 200 \text{ m in}$$

$$V_{max} = \frac{R \cdot (h + \Delta h_p)}{11,8} = \frac{6000 \cdot (80 + 100)}{11,8} = 294 \text{ km/h.}$$

Prehodnici med drugim in tretjim krožnim lokom na območju predora pod AC Razdrto – Postojna povezuje prema, ki je dolga  $l = 11594$  m in ravno tako zadostuje pogojem. Tretji krožni lok s temenom TS3 (Priloga C) ima enak radij kakor drugi, različna je le dolžine uporabljene prehodnice:

$$R = 6000 \text{ m,}$$

$$V_{max} = 250 \text{ km/h,}$$

$$h_{min} = \frac{11,8 \cdot V_{max}^2}{R} - \Delta h_p = \frac{11,8 \cdot 250^2}{6000} - 100 = 23 \text{ mm,}$$

$$h_{max} = \frac{11,8 \cdot V_{min}^2}{R} + \Delta h_p = \frac{11,8 \cdot 100^2}{6000} + 70 = 90 \text{ mm, izbran } h = 80 \text{ mm,}$$

$$b = \frac{V_{max}^2}{13 \cdot R} - \frac{h}{153} = \frac{250^2}{13 \cdot 6000} - \frac{80}{153} = 0,278 \text{ m/s}^2,$$

$$L_n = \frac{10 \cdot V_{max} \cdot h}{1000} = \frac{10 \cdot 250 \cdot 80}{1000} = 200 \text{ m in}$$

$$V_{max} = \frac{\sqrt{R \cdot (h + \Delta h_p)}}{11,8} = \frac{\sqrt{6000 \cdot (70 + 100)}}{11,8} = 294 \text{ km/h.}$$

Na predelu predora pod Kalcami proga poteka v premi dolžine  $l = 578$  m vse do četrtega krožnega loka s temenom TS4 (Priloga D), ki vodi progo čez viadukta. Ta se zaradi izogibanja področju kamnoloma vije v velikem radiju  $R = 44691$  m. Zaradi njegove velikosti nista ne predhodna prema ne prema v nadaljevanju povezani s krožnim lokom preko prehodnice.

Prema, ki vodi do zadnjega krožnega loka, je dolga  $l = 1334$  m. Med stacionažama km 71+015,37 in km 80+265,37 je proga umeščena v predor in poteka v radiju s temenom TS5 (Priloga E), ki se nahaja pod območjem Horjula. Izračuni elementov so sledeči:

$$R = 8000 \text{ m,}$$

$$V_{max} = 250 \text{ km/h,}$$

$$h_{min} = \frac{11,8 \cdot V_{max}^2}{R} - \Delta h_p = \frac{11,8 \cdot 250^2}{8000} - 100 = -7,8 \text{ mm,}$$

$$h_{max} = \frac{11,8 \cdot V_{min}^2}{R} + \Delta h_p = \frac{11,8 \cdot 100^2}{8000} + 70 = 85 \text{ mm, izbran } h = 70 \text{ mm,}$$

$$b = \frac{V_{max}^2}{13 \cdot R} - \frac{h}{153} = \frac{250^2}{13 \cdot 8000} - \frac{70}{153} = 0,143 \text{ m/s}^2,$$

$$L_n = \frac{10 \cdot V_{max} \cdot h}{1000} = \frac{10 \cdot 250 \cdot 70}{1000} = 175 \text{ m in}$$

$$V_{max} = \frac{\sqrt{R \cdot (h + \Delta h_p)}}{11,8} = \frac{\sqrt{8000 \cdot (70 + 100)}}{11,8} = 340 \text{ km/h.}$$

Vlaki prevozijo zadnjo premo ( $l = 12913$  m), ki se zaključi na potniški postaji v Ljubljani na koti -1, v območju predora pod AC Ljubljansko obvoznico (Priloga E).

Na območju Ljubljanske potniške postaje se vsi potniški vlaki ustavijo, medtem ko je za tovarne vlake predvideno, da nadaljujejo z vožnjo mimo postaje z zmanjšano hitrostjo do območja ranžirne postaje Zalog. To hitrost in način priključitve bi bilo potrebno posebej obravnavati v dodatnem projektu. Na podlagi pravilnikov sem določila naslednje vrednosti za postajno območje:

$$R = \infty,$$

$$h = 0, \text{ zaradi proge na območju postaje v premi,}$$

$$b = 0, \text{ ker proga poteka v premi ter}$$

$$V = 0 \text{ km/h za potniške vlake, ki se ustavijo na postaji.}$$

### Vertikalna zaokrožitev

Ker nova proga poteka pretežno pod terenom, sem se temu primerno ozirala na predpise pravilnikov, ki podajajo mejne vrednosti vzdolžnih nagibov nivelet v predorih. Te morajo ustrezati pogoju  $4\% \leq i \leq 12,5\%$  za konkavno zaokrožitev. Uporabljene vrednosti vzdolžnih nagibov trase so prikazane v naslednji preglednici:

Preglednica 8: Vrednost vzdolžnega nagiba nivelete (lasten vir)

Območje nagiba nivelete	Vrednost nagiba in smer**	Dolžina nagnjenega elementa
Od priključitve proge Trst-Divača do začetka 1. predora	-5,0047 ‰ →	2000 m
... približno do sredine 1. predora	+4,3444 ‰ ←	19625 m
... do začetka 2. predora (pred vhodom vanj, proga poteka na dveh viaduktih)	-7,2000 ‰ →	23197 m
... do območja pod Horjulom	+5,000 ‰ ←	9428 m
... do potniške postaje Ljubljana	- 4,0198 ‰ →	15307 m

\*\* - Nagibi so pozitivni (+), če ordinate nivelete v smeri kilometraže naraščajo in negativni (-), če ordinate nivelete v smeri kilometraže padajo (Zgonc, 2012).

Kot je razvidno iz zgornje preglednice, sem z vrednostmi nagibov nivelete in dolžinami nagnjenih elementov zadostila mejnim vrednostim iz poglavja 3.2.2.2. Prav tako so izračunane vrednosti radija vertikalne zaokrožitve v dopustnem območju, kakor je prikazano v spodnji preglednici:

Preglednica 9: Mejne vrednosti radija vertikalne zaokrožitve (lasten vir)

Mejne vrednosti $R_v$	Izračunane vrednosti
$R_{v, \max} \leq 30000 \text{ m}$	<ul style="list-style-type: none"> <li>- <math>R_{v1} = 12800 \text{ m}</math>,</li> <li>- <math>R_{v2} = 20000 \text{ m}</math></li> <li>- <math>R_{v3} = 20000 \text{ m}</math></li> <li>- <math>R_{v4} = 20000 \text{ m}</math></li> </ul>
$R_{v, \min} \geq 0,25 \cdot V^2 \geq 2000 \text{ m}$	<ul style="list-style-type: none"> <li>- <math>R_{v1} = 12800 \text{ m} \geq 0,25 \cdot V^2 = 15625 \text{ m}</math></li> <li>- <math>R_{v2} = 20000 \text{ m} \geq 0,25 \cdot V^2 = 15625 \text{ m}</math></li> <li>- <math>R_{v3} = 20000 \text{ m} \geq 0,25 \cdot V^2 = 15625 \text{ m}</math></li> <li>- <math>R_{v4} = 20000 \text{ m} \geq 0,25 \cdot V^2 = 15625 \text{ m}</math></li> </ul>

### 3.3 Geologija in okoljske vsebine na območju trase

Ko načrtujemo nove prometnice, se pojavljajo določene omejitve v prostoru, ki jih moramo pri projektiranju trase in vrednotenju njenega vpliva na okolje upoštevati. Za potrebe tega diplomskega dela sem se pri analiziranju vplivov gradnje hitre proge na okolje v prvi vrsti nanašala na razpoložljive podatkovne spletne baze prostorskih omejitev, ki so dostopne javnosti, in Občinske prostorske načrte. V nalogi je narejena le inženirska presoja z namenom zaznavanja zavarovanih območij. Kjer bi proga posegala v te naravne vrednote in urbanizirana področja, bi se jim bilo potrebno najprej izogniti ali v nasprotnem primeru izvesti ukrepe za omilitve njihovih vplivov. Novo progo sem umestila v prostor tako, da sem predhodno upoštevala naslednja območja prostorskih omejitev:

- površinske in podzemne vode,
- sistema zavarovanih območij,
- podzemne kraške jame,
- kulturne dediščine ter
- rabe tal (kmetijske, gozdne ali urbane značilnosti).

Predvidena proga Divača-Ljubljana poteka pretežno v predoru, kar posledično pomeni manjše obremenitve okolice in urbanih površin. Prav tako je nepotrebno spreminjanje rabe tal vzdolž njene osi. Na površju trasa poteka le pri Divači, kjer je območje neposeljeno ter v območju Podlipske doline, kjer proga poteka 21 m nad terenom, na viaduktu. Poleg tega so že v predhodni študiji trase za odsek



Trst-Divača (2011) v veliki meri upoštevali sovpadanje infrastrukturnih koridorjev. S tem se pri načrtovanju novih infrastrukturnih povezav zmanjša poraba še nepozidanega prostora in motnje v okolici. Takšnemu načelu sem sledila tudi sama. Torej sem pri nadaljevanju odseka Trst – Divača ohranila smer, ki je vzporedna avtocestnemu kraku Divača – Fernetiči, vse dokler se proga ne spusti v predor, t. j. približno 3 km pred Razdelilno transformacijsko postajo Divača (v nadaljevanju RTP Divača).

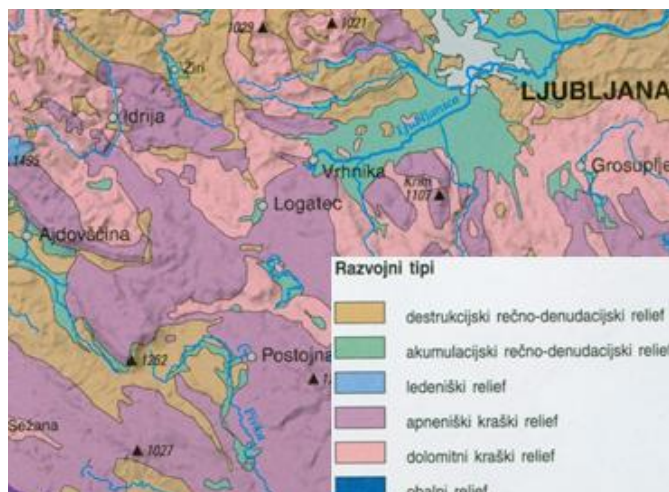
Morda deluje, kot da umeščena trasa nima večjih negativnih vplivov na okolje, ne gre pa pozabiti na obdobje med njeno izgradnjo. Ravno tedaj se pri tovrstnih gradbenih delih pričakuje največje vplive, katere se lahko z ustreznim pristopkom zmanjša že v fazi projektiranja. Bližina gradbišč poleg naselij, lahko zaradi emisij hrupa in zraka, vibracij ter škodljivih snovi pomeni potencialni vpliv na zdravje ljudi. Področja, kjer se običajno pojavljajo trajne ali trenutne škode med gradnjo, in ukrepi, s katerimi blažimo posledice gradnje, so naslednji:

- vznemirjanja živali blažimo z ukrepom protihrupnih ograj,
- nastajanja prahu zmanjšujemo z ukrepom navlaževanja usedlin prahu in območja gradbišča ter s pokrivanjem tovornjakov z izkopanim materialom,
- prevoženih poti gradbenih strojev z in na gradbišče mimo urbanih področij rešujemo z ukrepom iskanja najoptimalnejših ali postavitvijo začasnih dovozov,
- glasnosti delovnih strojev blažimo z ukrepom, ki bi prepovedoval čas obratovanja med 22. in 7. uro zjutraj ter
- vibracij na območjih urbanega predela Ljubljane omilimo z ukrepom uporabe čim bolj primernih vrtnih strojev, saj imajo posledice na zgradbah.

Na območju predvidene trase se pojavljajo tudi posebnosti krajine, kamor uvrščamo številne kraške jame z ne povsem predvidljivimi podzemnimi vodami (podtalnica). Tem je potrebno posvetiti posebno pozornost zaradi občutljivosti na onesnaževanje in posledične zmanjšane kakovosti.

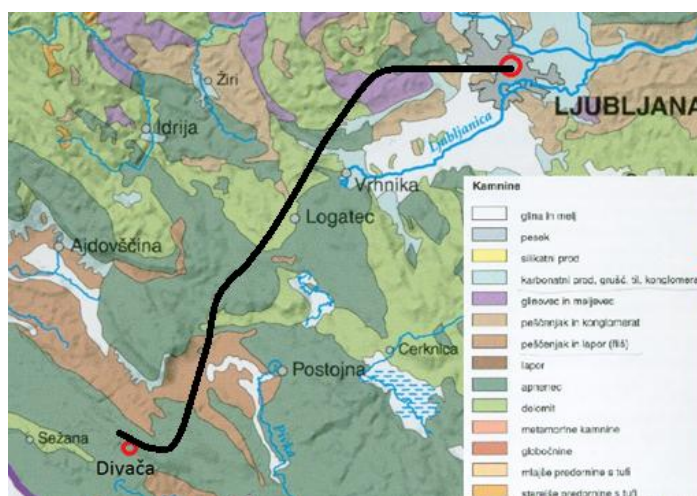
### **3.3.1 Geološke lastnosti tal**

Znanstveniki so razdelili geološki razvoj Zemlje po geoloških dobah, v katerih so nastale kamnine. Za oblikovanost današnjega površja države sta obdobji koncem pliocena in kvartarja najpomembnejši. To sta bili obdobji tektonskih razlamljanj vzdolž prelomov in izrazitega preoblikovanja površja zaradi mehničnega preperevanja površin. Omenjeno delovanje in številni geomorfološki procesi so povzročili nastanek t. i. oblikovnih tipov, ki opisujejo izoblikovanost površja (Perko, 2001).



Slika 6: Oblikovni tipi reliefa (Perko, 2001)

Proga se v celoti izogne ledeniškemu in obalnemu reliefu ter le na manjšem območju prečka akumulacijski relief. Najdlje poteka skozi apneniški kraški relief, nekoliko manj pa skozi dolomitni kraški in destruktivski relief. Za kraški relief je v splošnem značilno kemično raztapljanje kamnin. Tako lahko pri apneniškem krasu zasledimo številne jame in brezna, ki se povezujejo v nekakšen podzemni kraški sistem z izviri podzemnih voda. Medtem se pri dolomitnem krasu srečamo z erozijskimi območji brez večjih kraških pojavov. Predstavnice kamnin, ki pripadajo prevladujočim reliefom, so karbonatne kamnine in kvartarne naplavin. K prvim prištevamo apnenice in dolomite, ki so podvrženi zakrasevanju, k drugim pa kasneje omenjene neprepustne kamnine. Svojevrstna posebnost na območju trase je mogoče Ljubljanska kotlina s prodnato površino. V njenem srednjem delu zaznamo starejše kvartarne naplavin (prod), sprijete v konglomerat.



Slika 7: Vrste kamnin na območju trase (Perko, 2001)

Iz zgornje slike so jasno razvidna območja posameznih kamnin, ki sestavljajo podlago, po kateri in skozi katero poteka obravnavan odsek Divača-Ljubljana. Torej v tej smeri si sledijo območja s pripadajočimi vrstami kamnin, kot sem prikazala v spodnji preglednici:

Preglednica 10: Vrste kamnin na območju trase (lasten vir)

<b>OBMOČJE KAMNINE</b>	<b>VRSTA KAMNINE</b>
okolica Divače in odsek, vzporeden AC kraku Divača – Razdrto	apnenec
območje, ki seka AC krak Razdrto – Postojna	peščenjak in lapor (fliš)
območje pod Hrušico	prevladuje apnenec z vmesnimi plastmi apnenca ter peščenjaka in konglomerata
okolica Logatca	dolomit
okolica Podlipske doline	karbonati, prod, grušč, konglomerat
območje severno od ravnine reke Ljubljanice	dolomit
okolica Horjula	karbonati, prod, grušč, konglomerat in v nadaljevanju dolomit
območje pod Ključem	glinovec in meljevec
okolica Dobrove	karbonati, prod, grušč in konglomerat
območje pod obročem AC Ljubljanske obvoznice	glina in melj
območje na robu Ljubljanske kotline	peščenjak in konglomerat

Koridor, v katerem poteka trasa, ima največji delež krednega apnenca in dolomita, čeprav so preostale vrste kamnin večkrat omenjene. Vendar se te pojavljajo v ožjih pasovih. Tako lahko zaključim, da z vidika geologije v procesu predorogradnje ni potrebno izvajati posebnih ukrepov, saj se nahajamo pretežno v stabilnih geoloških formacijah z zadovoljivo nosilnostjo. Torej bi uporabili le standardne ukrepe, ki zajemajo zaščito predora s sidri in brizganim betonom.

Za izbiro vrste tehnologije gradnje predorov sem se odločila glede na rezultate analizirane podlage, ki se na krajšem območju hitro spreminja in številne nepredvidljive jame, ki se jih lahko odkrije tekom gradnje. V takšnih primerih, ko nas narava lahko preseneti, je najboljša uporaba nove avstrijske metode (v nadaljevanju NATM). Ta dopušča tudi različne velikosti in oblike prečnega profila ter upošteva geološke formacije tekom izgradnje proge.

### 3.3.2 Tektonika

Pri umeščanju trase v prostor, bodisi cestne ali železniške, moramo veliko pozornost posvečati poglavju tektonike. Predvsem, ko postavljamo progo v predor, kjer lahko prihaja do lomov kamnin in posledičnega zamika cevi. Najugodnejša postavitev je pravokoten potek trase na različne narive ali prelome. Tako sem se tudi v mojem primeru izogibala vzporednosti tektonskih premikov.

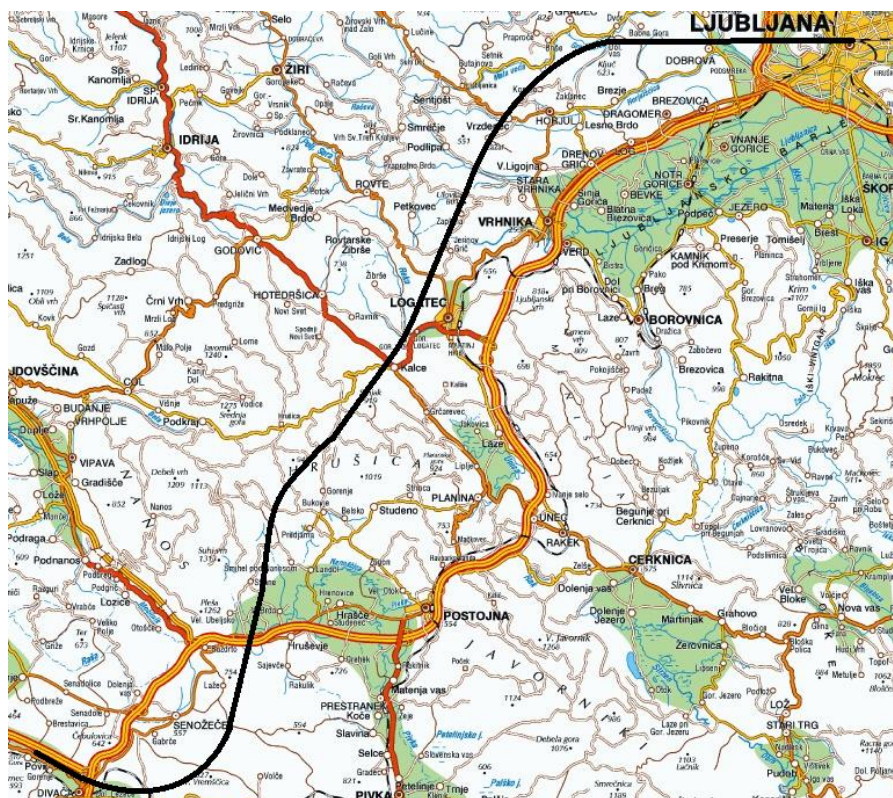
Na prvi polovici trase, sem pod Hrušiško planoto naletela na nariv Nanosa in Hrušice, ki je lociran pravokotno na progo, v smeri vzhod-zahod. Torej sem se povsem uspešno izognila neprijetnostim. V nadaljevanju, tik ob Kalcah, pa sem naletela na najpomembnejši prelom na Primorskem, t. j. Idrijski prelom, ki poteka v smeri severozahod-jugovzhod. Trasa ga preči pod kotom  $60^\circ$ . Drugih posebnosti ne srečamo na tem območju.



Slika 8: Strukturno-tektonska karta Slovenije 1 : 100 000 (leto izdaje 2000)

### 3.3.3 Okoljske vsebine

Pri umestitvi proge v prostor (shematično prikazana na spodnji sliki) sem poskušala v čim večji meri upoštevati področja okoljskih omejitev površinske in podzemne vode, sistema zavarovanih območij, podzemne kraške jame, kulturne dediščine ter rabe tal.



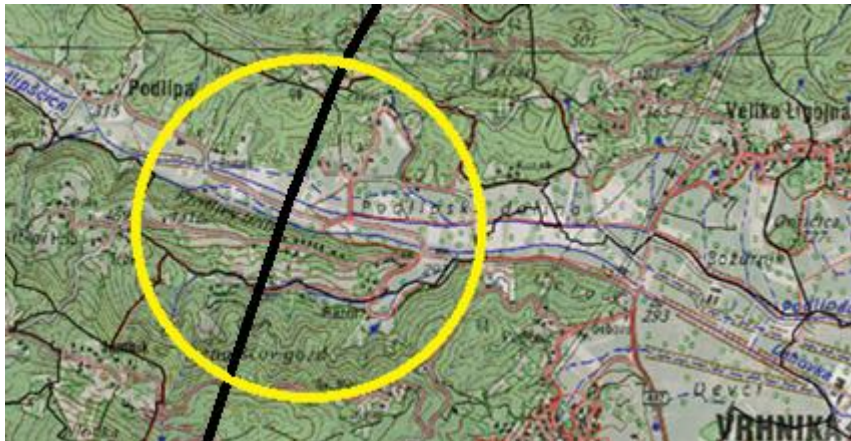
Slika 9: Shematski prikaz poteka trase (lasten vir)

#### 3.3.3.1 Površinske in podzemne vode

Načrtovan potek nove povezave je med drugim povezan s površinskim in podzemnim vodotokom. Podzemnim vodam sem posvetila veliko pozornosti zaradi nepoznavanja smeri njihovega gibanja in količine. Lahko bi naletela tudi na brezna, katera drenirajo površinsko vodo vse do podtalnice, ki predstavlja vir pitne vode na nekaterih področjih. V primeru površinskih voda sem se skušala izogniti poseganju v področje vodotokov z različnimi inženirskimi rešitvami, kot je na primer viadukt.

Na podlagi okoljskih kart, ki so dostopne na internetnih straneh Agencije RS za okolje (ARSO, 2013), sem se poskušala izogibati področjem površinskih voda z glavnimi vodotoki in pripadajočim omrežjem. Vendar je bilo območje Podlipske doline z reko Podlipco nemogoče obiti, saj se razteza v

daljšem območju vse od Vrhniko pa do Smrečja. Predhodno trasa poteka pod površjem hribovja v bližini Rovt, nato pa je proga vodena na površju približno 21 metrov nad najnižjo točko doline. Tako sem kot ukrep, s katerim bi najmanj posegala v prostor in premostila to dolino, predvidela dva vzporedna viadukta na stacionaži med km 67+015 in km 68+765. Drugo območje, kjer proga poteka po površju in bi se morebiti bilo potrebno izogniti površinski vodi, je območje med Povirjem in Divačo. Preden se proga spusti v prvo predorsko cev je postavljena neposredno na teren, kjer pa ni vodotokov.



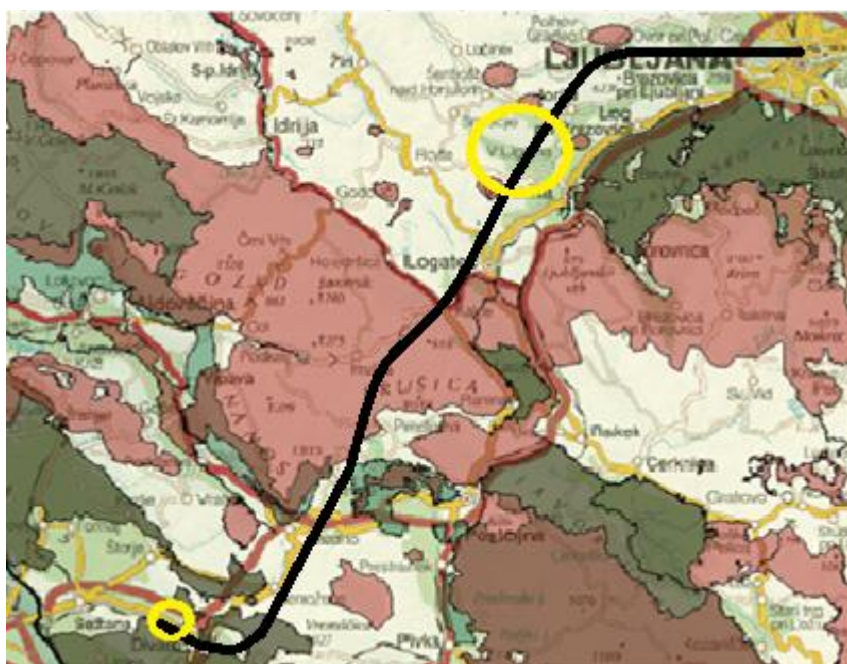
Slika 10: Hidrografija Podlipske doline (ARSO, 2013)

Področje podzemnih voda je za umeščanje trase nekoliko bolj obširno, saj zahteva preučitev obsega prepustnosti geoloških plasti, izvirov, mokrih kraških jam in podzemnih tokov. Naj izpostavim dve bistveni območji geoloških slojev vzdolž izbranega odseka. Prve podtalnice, ki jih trasa preči na poti do Ljubljane, so na flišni podlagi, ki se nahajajo na zahodnem območju Postojne, ko proga seka AC krak Postojna – Razdrto. Ta plast predstavlja hidrološko pregrado z obilico vode zaradi neprepustnih kamnin, kot sta peščenjak in lapor. Zato se vodotoki, ki jih proga preči, zadržujejo še nekaj časa na površju, nato pa poniknejo. Dva izmed teh sta na primer Nanoščica in Žabovec. V nadaljevanju, kjer proga poteka večinoma na prepustnem produ in grušču, pa se ta pod terenom sooča s podtalnimi pritoki Ljubljanice, Reke in Horjulščice.

Kot sem že izpostavila, sem za uspešno predorogradnjo skozi različne geološke sloje uporabila NATM. In ravno tako bi se ta izbira izkazala za najprimernejšo pri soočanju s pojavom nepričakovanih voda, ki jih je potrebno obvladovati v času gradnje in obratovanja.

### 3.3.3.2 Sistem zavarovanih območij

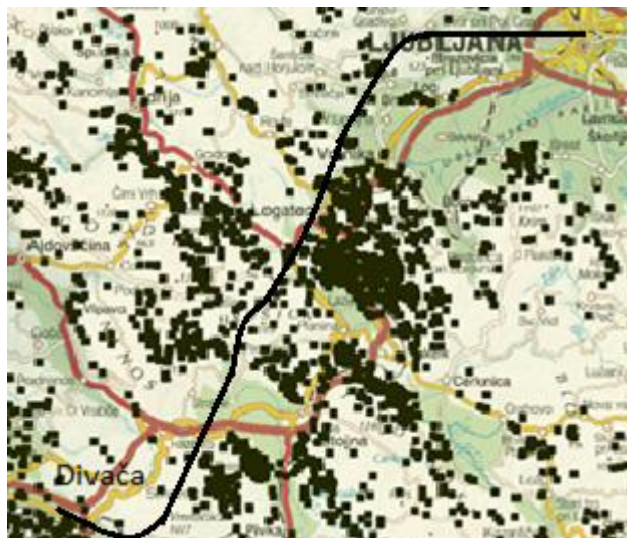
Tekom postavljanja trase sem analizirala tudi občutljiva območja narave, t. j. območje evropskega programa Natura 2000 in ekološko pomembna območja. Ker proga poteka na površju pred Divačo in po viaduktu preko Podlipške doline, sem se v teh predelih skušala izogniti zavarovanim območjem, kar mi je tudi uspelo. Severno od naselja Gornje pri Divači se proga spusti v prvi predor tik pred območjem Nature 2000. Če se temu ne bi izognila, bi posledično zmanjšala biotsko raznovrstnost, povečala možnost uničenja območij posameznih habitatov ter degradacije habitatov živalskih in rastlinskih vrst.



Slika 11: Območje Natura 2000 (ARSO, 2013)

### 3.3.3.3 Naravne vrednote (podzemne kraške jame)

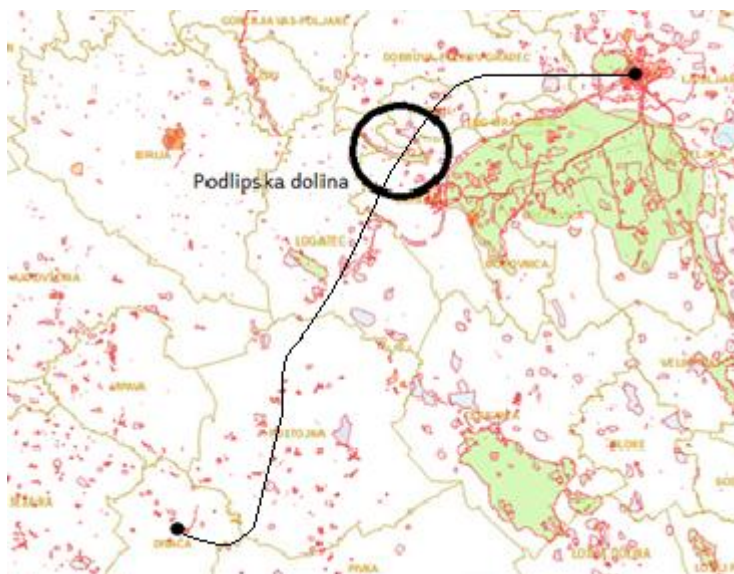
Večji predel med Divačo in Ljubljano gradijo plasti apnenca, za katere so z geomorfološkega stališča značilni kraški pojavi, ki oblikujejo podzemlje. Torej je verjetnost, da bo predor sekal kraške jame in naletel na navpične jaške, razmeroma velika. To se dogaja predvsem na območjih, kjer se stikata apnenec in fliš. Kot je razvidno iz spodnje karte, so nahajališča jam med Divačo in AC odsekom Postojna – Razdrto redka. Na tem področju se pojavljajo na južni in severni strani hriba Vremščica ter pri naselju Laže. Pod Hrušico se že pojavljajo v večjem številu, največ pa jih je med Logatcem in Vrhniko, na zelo majhnem območju.



Slika 12: Kraške jame (ARSO, 2013)

#### 3.3.3.4 Kulturna dediščina

Kulturno dediščino definirajo tako naravna kakor s človeško pomočjo postavljena bogastva. Med območja, ki so na svojevrsten način posebna, štejemo zgodovinsko krajino, arheološko dediščino, kulturno krajino, naselbinsko dediščino, sakralno stavbno dediščino ipd. Ker je kulturna dediščina vezana na objekte na površju, sem preverila le področji, kjer poteka trasa izven predora. Ugotovila sem, da na območju Divače ni večjih posebnosti, medtem ko pa je pri premoščanju doline reke Podlipce le-ta del kulturne krajine. Vendar ne bi prišlo do večjih nestrinjanj z naravovarstveniki, saj se proga nahaja 21 m nad dolino in minimalno posega v prostor.



Slika 13: Kulturna dediščina (ARSO, 2013)



### 3.3.3.5 Raba tal

Prav tako sem pri analiziranju poglavja rabe tal preverila ranljivost območij, kjer bi trasa potekala na površju in ne v predoru. To področje v prvi vrsti zajema različne kategorije, kot so mestna območja, infrastrukturna omrežja, rudarska območja, kmetijska in gozdna območja.

Na območju severno od Gornjega pri Divači, preden se proga spusti v predorsko cev, poteka po površini, opredeljeni kot trajni travnik in kmetijsko zemljišče v zaraščanju, kar ne povzroča posebnih skrbi. Večje posledice na tem predelu bi se poznale na prestavljanju daljnovoda, ki je napeljan vzdolž načrtovane železniške proge do RTP Divača.



Slika 14: Raba tal na območju Divače (PISO, 2013)

Podatke za področje Podlipske doline glede namembnosti prostora sem poiskala na internetnih straneh geografskega informacijskega sistema (iObčina, 2013) in ugotovila, da proga na tem območju preči manjši del »drugega« območja kmetijskih zemljišč in lastno proizvodni gozd. Vendar je na območju vodotoka Podlipce speljana lokalna cesta in daljnovod. To pa ne bo povzročilo večjih preprek za gradnjo železniške proge, saj ravno na tem predelu poteka proga po viaduktu nad terenom.

V obeh primerih, kjer se proga nahaja nad površjem, je ali povsem neposeljeno območje (okolica Divače) ali pa sta dve stavbi locirani v neposredni bližini viaduktov (Podlipska dolina). V skrajnem primeru se takšne situacije rešuje z iskanjem nadomestnih stavbnih zemljišč.

## 3.4 Predstavitev izbranega odseka Divača-Ljubljana

Na področju prometne ureditve Evropske unije nova železniška povezava Divača-Ljubljana predstavlja del Sredozemskega koridorja Lyon – Trst – Ljubljana – Budimpešta – ukrajinska meja, ki sovпада s področjem nekoč začrtanega 6. prioritarnega projekta. Načrtovana dvotirna proga je dolga

69,81 km. Zasnovana je kot proga za mešani promet in nadaljuje odsek predvidene nove hitre proge Trst-Divača s podobnimi karakteristikami in progovno hitrostjo. Tako se proga nad terenom priključuje na novo povezavo tik pred Divačo in zaključuje v predoru pod predvideno poglobljeno Ljubljansko železniško postajo (t.i. Potniški center Ljubljana). Potek načrtovane proge sem v večji meri predvidela v dveh predorih z vmesnim viaduktom.



Slika 15: Potniški center Ljubljana (Trigranit, 2013)

### 3.4.1 Uporabljena programska oprema za projektiranje

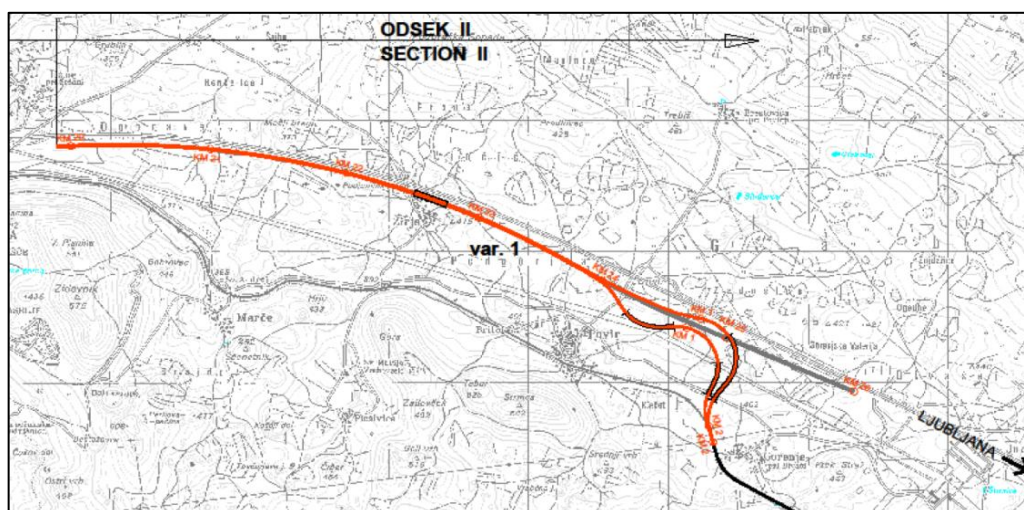
Za praktični del diplomske naloge, kjer je zajeto projektiranje trase, sem uporabila računalniški program za načrtovanje železniške infrastrukture, t. j. Ferrovia 2012. Ta predstavlja računalniško podprto orodje za projektiranje ter deluje na Autodeskovi platformi AutoCAD Civil 3D. Ferrovia skupaj z Autocadovo platformo omogoča vzpostavitev kvalitetnega digitalnega modela reliefa. Tako sem za topografsko podlago uporabila temeljne topografske načrte merila 5.000 (TTN5) in 10.000 (TTN10), ki jih poseduje Geodetska uprava RS. Digitalni model reliefa, ki ga podajajo načrti, je narejen na podlagi vektoriziranih plastnic s 5 metrsko in 10 metrsko navpično razdaljo med izohipsami. Ti načrti med drugim vsebujejo podatke o hidrografiji, naseljih s prometno mrežo in reliefu plastnic, na podlagi katerih sem umeščala traso v prostor in naredila pripadajoče profiliranje. V sklopu programa Ferrovia sem poleg situacijskega prikaza trase prikazala njen potek še v vzdolžnem profilu.

### 3.4.2 Potek novo umeščene proge

Varianta novo predlagane hitre proge se v izhodišču nanaša na študijo »Študija izvedljivosti nove železniške povezave Trst – Divača – Ljubljana – Budimpešta – Ukrajinska meja« iz leta 2011, na kateri temeljijo določene karakteristike železniške povezave med Divačo in Ljubljano. Leto pred njo je bila narejena tudi preliminarna študija, ki je predlagala dve tako imenovani visoki varianti, a se je ozirajoč na tehnične izvedljivosti in okoljske posledice gradnje izkazalo, da je ugodnejša varianta trase ob avtocestnem kraku. Poleg preprostejše gradnje z manjšimi stroški bi takšna izbira variante tudi v mojem primeru doprinesla manjše posege v okolje in s tem ohranitev krajinske kvalitete v prostoru. Z odločitvijo, da bo pretežni del proge potekal pod terenom v predorih, bo ta projekt pod manjšim pritiskom okoljevarstvenikov, saj bo koridor minimalno posegal v zavarovana območja.

### 3.4.3 Izhodišči nove trase v Divači in Ljubljani

Izhodiščno točko novi železniški povezavi Divača-Ljubljana predstavlja izbrana tako imenovana varianta trase ob avtocestnem kraku odseka Trst-Divača. Ta se na slovensko stran prebije skozi dvocevni enotirni predor na vzhodni strani Sežane. Proga vseskozi poteka po površju, 25 – 50 metrov južneje od avtoceste A3 Divača – Dane – Fernetiči, z medtirno razdaljo 4,5 m. Ker so ob zaključku proge pri avtocestnem počivališču in naselju Povir upoštevali možnost bodoče navezave hitre proge Divača-Ljubljana, se le ta priključi na obstoječo progo proti postaji Divača z izvennivojskim priključkom. Ta je bil zasnovan ločeno za levi in desni tir, po katerih bi se lahko nadaljevalo po obstoječi železniški progi Sežana-Ljubljana ali po morebitni novi povezavi v smeri Ljubljane.



Slika 16: Shematični prikaz poteka najprimernejše variante Trst-Divača (Študija izvedljivosti nove železniške povezave Trst – Divača – Ljubljana..., 2011)

Načrtovana proga med Divačo in Ljubljano se torej priključuje na dvotirno železniško povezavo Trst-Divača, ki je osnovana za progo, po kateri lahko potniški vlaki vozijo s hitrostjo do 250 km/h, tovorni pa s hitrostjo do 100 km/h. Namenjena je prometu z največjo osno obremenitvijo 25 kN/os ter dolžinsko obremenitvijo 80 kN/m. Za nakladalni profil proge je uporabljen profil GC (UL L 126, 2011).

### 3.4.4 Potek proge med Divačo in Ljubljano

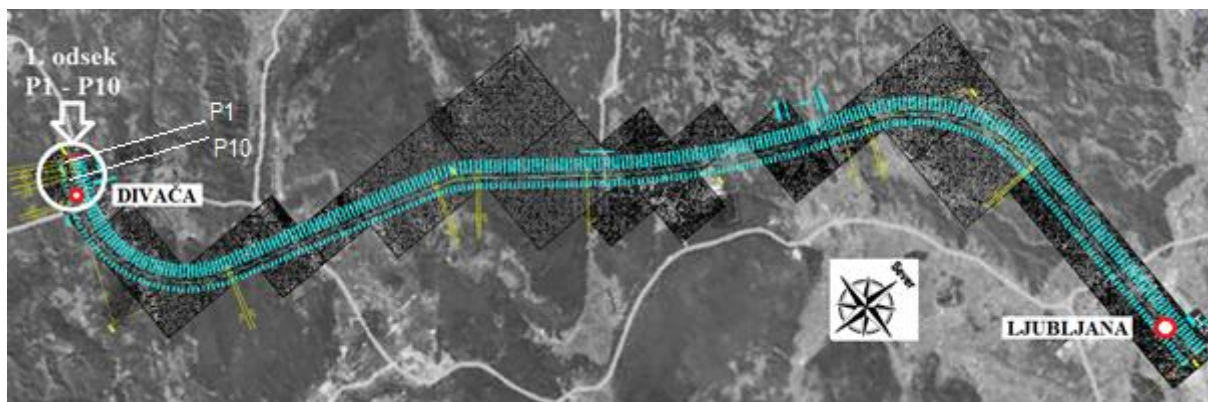
To poglavje je namenjeno natančnejšemu opisu proge v smeri od Divače proti Ljubljani. Potek trase je razdeljen v odseke med vertikalnimi lomi nivelete. Opise posameznih odsekov spremljajo slike situacijskih prikazov za nazornejšo predstavitev. Poleg tega so načrti teh situacij in vzdolžnega profila kot priloge vpeti na koncu diplomske naloge (Priloge od B do F). V spodnji preglednici je najprej podan pregled odsekov glede na izbrana območja med profili načrtovane trase, t. j. medprofilna območja.

Preglednica 11: Pregled odsekov glede na medprofilna območja (lasten vir)

Zaporedna št. odseka	Medprofilno območje	Vrednost nagiba nivelete [%]**
1. odsek	P1 – P10	- 5
2. odsek	P10 – P88	+ 4,34
3. odsek	P88 – P174	- 7,2
4. odsek (viadukt čez Podlipsko dolino)	P174 – P181	- 7,2
5. odsek	P181 – P219	+ 5
6. odsek	P219 – P277	- 4

\*\* - Nagibi so pozitivni (+), če ordinate nivelete v smeri kilometraže naraščajo in negativni (-), če ordinate nivelete v smeri kilometraže padajo (Zgonc, 2012).

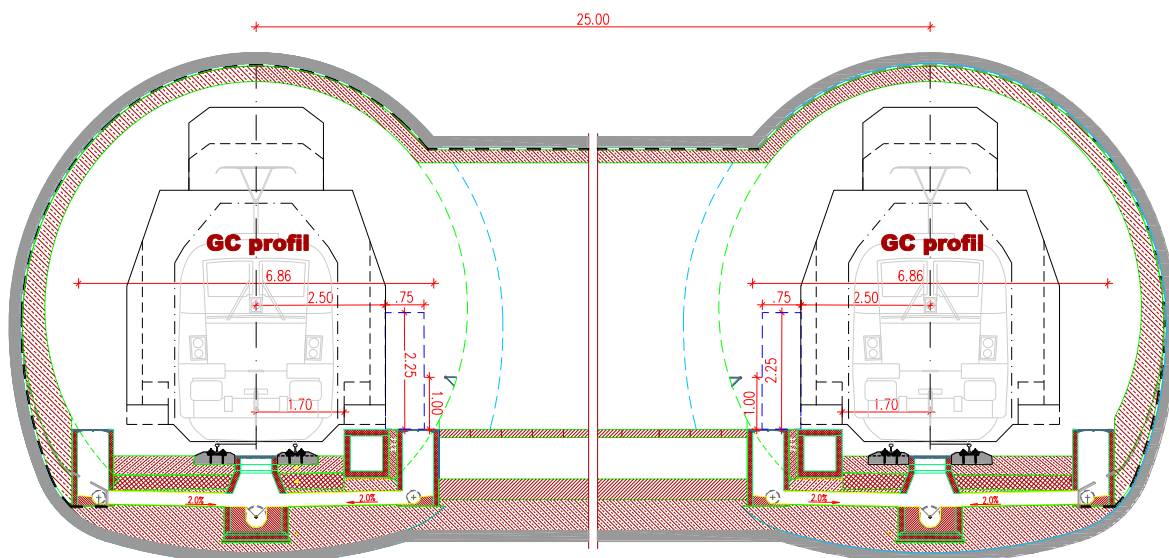
### 3.4.4.1 Prvi odsek P1 - P10



Slika 17: Prvi odsek P1 - P10 (lasten vir)

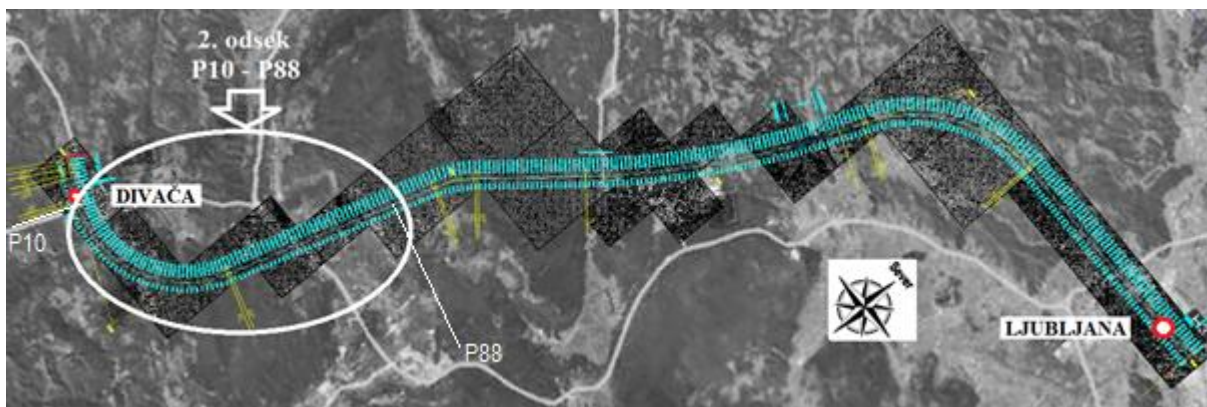
V stacionaži km 23+765 je izhodiščna točka obravnavanega odseka Divača-Ljubljana. Tu je predvideno cepišče, odkoder en tir vodi proti obstoječi postaji Divača preko kretnice radija 760 m, ki omogoča maksimalno hitrost v odklon 80 km/h. Po drugem tiru pa nadaljujemo pot v smeri Ljubljane z nespremenjeno največjo dovoljeno hitrostjo 250 km/h za potniške vlake oziroma 100 km/h za tovarne vlake. Kota nivelete je v prvi točki vertikalnega loma nivelete (profil P1) na nadmorski višini 394,151 m, nato pa se nadaljnja 2 km spušča v smeri stacionaže z vrednostjo nagiba nivelete 5 ‰. Kakor v območju cepišča, trasa še vedno nadaljuje pot v nasipu naslednjih 490 m. Shematski prikaz karakterističnega prečnega prereza proge v nasipu je prikazan v Prilogi M. Proga je nato umeščena v vkop naslednjih 790 m, nakar se spusti v prvi predor. Tik pred njegovim vhomom je predvideno reševalno območje oziroma tako imenovana reševalna ploščad. Dostopna bo po lokalni poti, ki se bo odcepila od regionalne ceste R2-446 Sežana-Divača in bo vzpostavljena samo za dostop reševalnih vozil do vhomov v predorski cevi. O njenih dimenzijah, načinu uporabe in namembnosti je zapisano v četrtem poglavju.

Železniška proga je umeščena v prvi predor (41,75 km) na območju med profilom P7, kjer se na nadmorski višini 400,4 m nahaja prvi portal, in profilom P174 z drugim portalom na 333,5 m nadmorske višine kote nivelete. Ta predstavlja najdaljši železniški predor na tem odseku, a tudi na splošno na slovenskih tleh v primeru njegove realizacije. V začetnem delu prve polovice tunela je nagib nivelete še vedno -5 ‰ v smeri stacionaže. Potek predstavljenega območja je prikazan v Prilogi F. Shematski prikaz karakterističnega prečnega prereza za primer enotirnih prog v dvocevnem predoru z vmesnimi prečniki pa je priložen na spodnji sliki.



Slika 18: Shematski prikaz KPP enotirnih prog v dvocevnem predoru (lasten vir)

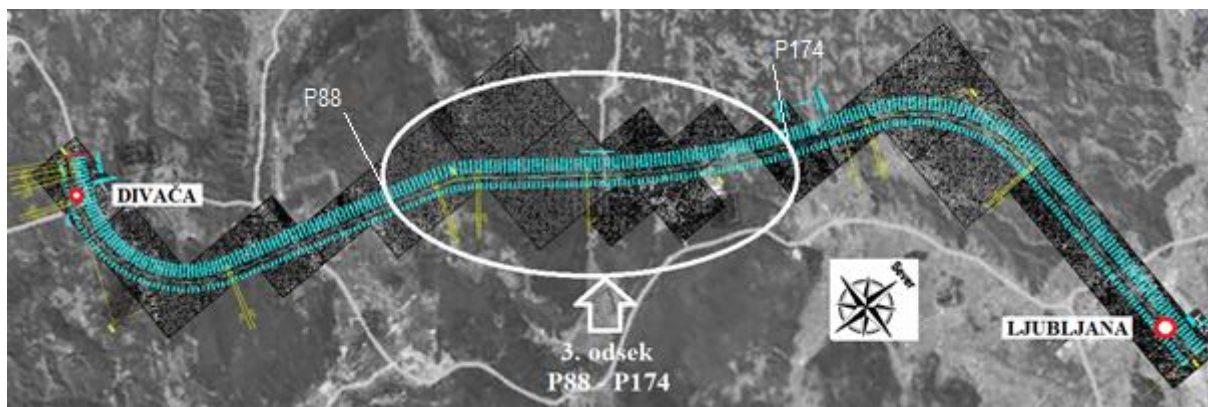
#### 3.4.4.2 Drugi odsek P10 – P88



Slika 19: Drugi odsek P10 - P88 (lasten vir)

Proga se od profila P10 prične dvigovati po dobrih 700 metrih z vzdolžnim nagibom 4,34 ‰ do profila P88. Na območju profila P10 se nahaja konkavni lom nivelete. Zaradi hribinske vode in vode, ki bi nastala ob gašenju v primeru nesreče, je potrebna tamkajšnja namestitvev črpalne naprave približno 1,70 m pod koto nivelete na nadmorski višini 384,3 m. S tem se bo omogočilo prečrpavanje zbrane vode iz predora. Potek predstavljenega območja je prikazan v Prilogi F.

### 3.4.4.3 Tretji odsek P88 – P174



Slika 20: Tretji odsek P88 - P174 (lasten vir)

Trasa doseže najvišjo točko na sredini prvega predora na območju profila P88, in sicer na nadmorski višini 469,1 m. Od tu naprej se spušča proti drugemu portalu z nagibom 7,2 ‰. Drugi portal je lociran na območju profila P174, s koto nivelete 315,5 m. Ravno tako kot pri prvem portalu je tudi pri tem portalu predvideno reševalno območje z istim načinom dostopanja po lokalni poti, ki se odcepi od lokalne ceste Stara Vrhnika-Podlipa in je namenjena le dostopanju reševalnih vozil do vhodov v predorske cevi.

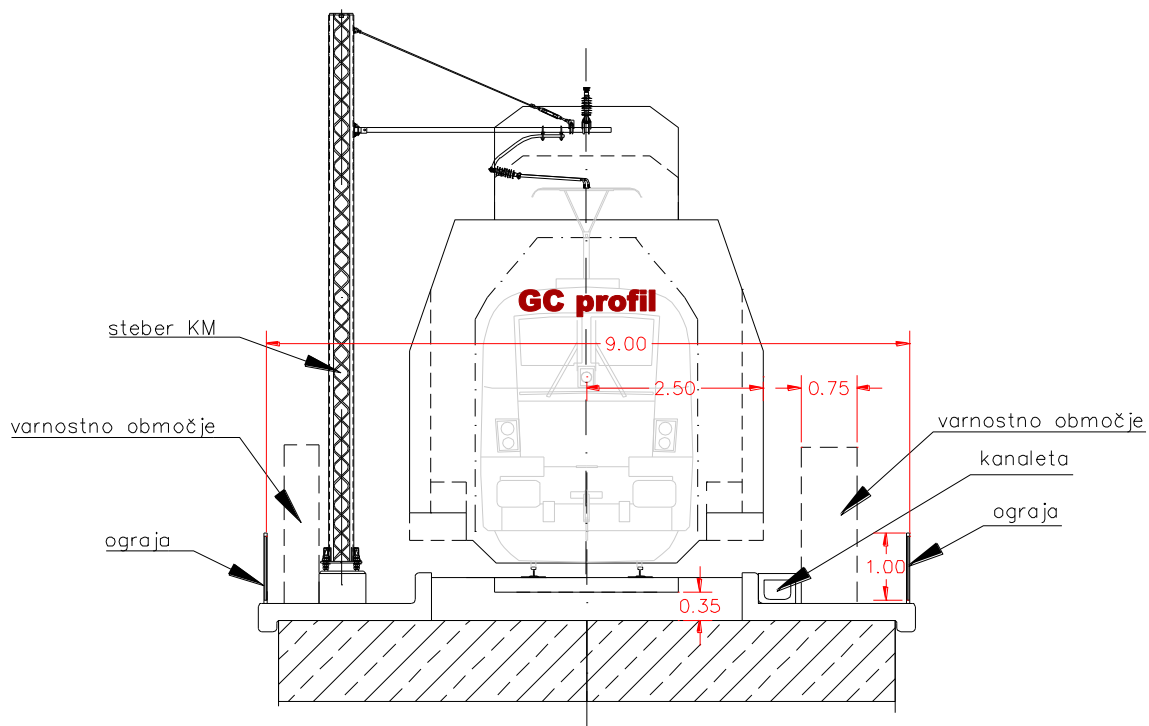
### 3.4.4.4 Četrty odsek P174 – P181 (Viadukt)



Slika 21: Četrty odsek P174 - 181, Viadukt čez Podlípisko dolino (lasten vir)

Proga je speljana na površje na osrednjem delu občinskega območja Vrhnike in večji del ravnine premošča z dvema vzporednima viaduktoma. Iz drugega portala poteka dvotirna proga naslednjih 210 m v vkopu, in sicer še vedno na medsebojni tirni razdalji 25 m. Tik pred profilom P175 trasa

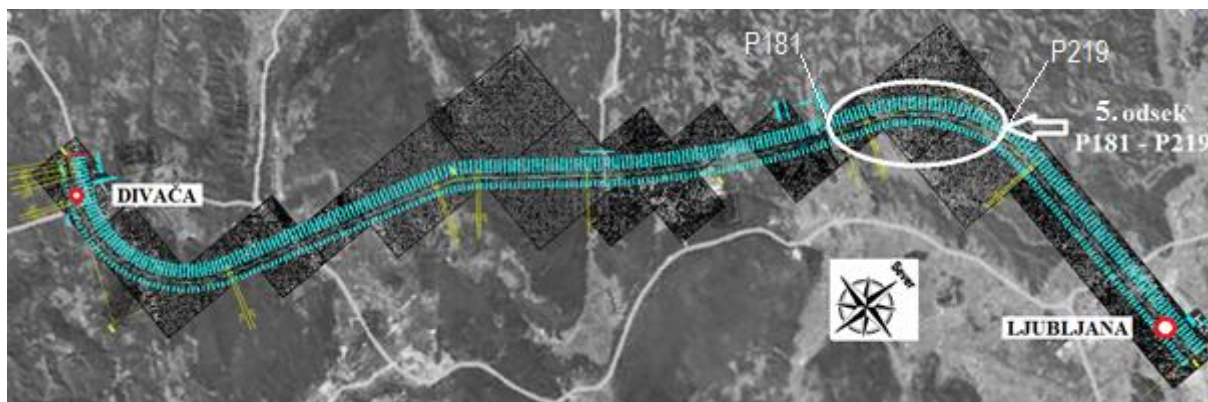
preide na viadukt in najprej prečka lokalno pot za Staro Vrhniko, nato pa ravnino na nadmorski višini 290 m z naseljem Trčkov grič na levi strani in Podlipa na desni strani. Po prehodu manjšega gozdnega pasu gre trasa zopet čez travnato ravnino, kjer prečka lokalno cesto Podlipa ter prestopi z viadukta na teren. Shematični prikaz karakterističnega prečnega prereza posameznega viadukta je prikazan na spodnji Sliki 23. V vkopu proga nadaljuje naslednjih 190 m, ko vstopi v drugi predor skozi tretji portal, pred katerim je predvideno reševalno območje, do katerega se dostopa po lokalni poti. Ta se odcepi od lokalne ceste Podlipa-Smrečje in je namenjena le za dostop intervencijskih vozil. Gledano na celotno situacijo obravnavane železniške povezave med Divačo in Ljubljano poteka železniška proga samo na tem območju na viaduku (1420 m). Medsebojna razdalja tirov ostaja ves čas enaka, saj je premostitveno območje ravnine z viaduktom med dvema predoroma prekratko za zmanjšanje te vrednosti. To pomeni, da sta viadukta enotirna s širino 9 m. Zgrajena bi bila iz armiranega betona, pri čemer se nosilne plošče izvede s pomočjo tehnologije narivanja. Če bi statični račun in podrobnejša geološko-geomehanska raziskava potrdila, bi ta bila podprta z enojnimi stebri, med katerimi bi najvišji meril 21 metrov v višino. K hitrejši izvedbi bi pripomoglo tudi dejstvo, da objekt ne prekinja pomembnejše komunikacije. Celoten potek predstavljenega območja je prikazan v Prilogi D in F.



Slika 22: Shematski prikaz KPP enotirne proge na mostu (lasten vir)



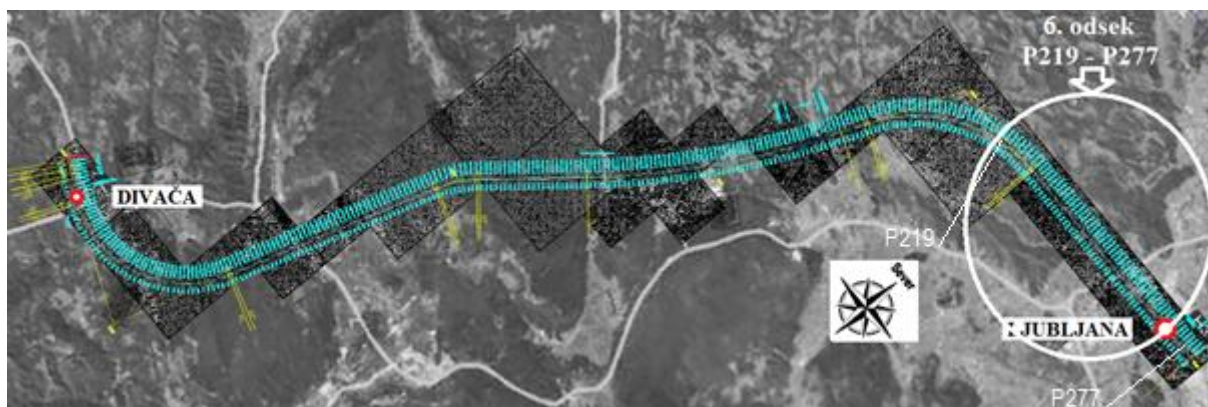
#### 3.4.4.5 Peti odsek P181 – P219



Slika 23: Peti odsek P181 - P219 (lasten vir)

Tretji portal je umeščen na stacionaži km 68+840 tik za profilom P181. Ta predstavlja vhod v drugi predor na odseku Divača-Ljubljana. Kota nivelete tega portala je na nadmorski višini 302,76 m, ki se zaradi takojšnje spremembe vzdolžnega nagiba prične dvigovati na višje predele. In sicer vertikalno zaokrožitev zasledimo že pri vstopu v predorsko cev, kar pomeni, da ne bi bilo potrebno nameščati črpališča znotraj predora, kakor je bilo to potrebno v primeru prvega. Tako se voda le zbira ob portalu in po ceveh odvaja na druge predele. Kot že rečeno, se v smeri Ljubljane na dolžini 9,428 km trasa zopet dviga z nagibom nivelete v vrednosti 5 ‰. V drugem predoru doseže niveleta najvišjo koto na območju profila P219, na nadmorski višini 349,5 m pri naselju Log pri Polhovem Gradcu. Potek predstavljenega območja je prikazan v Prilogi F in D.

#### 3.4.4.6 Šesti odsek P219 – P277



Slika 24: Šesti odsek 219 - P277 (lasten vir)

Še zadnji padec nivelete proti končni točki, kjer proga zaključi ta odsek pa je dolg 15,307 km z vrednostjo vzdolžnega nagiba dobre 4 ‰. Umestitev trase v tem diplomskem delu je predvidena do točke na stacionaži km 93+572, ki se prostorsko gledano nahaja ravno pod podvozom Šmartinske ceste s postajnimi tiri na Ljubljanski železniški postaji. Vendar je pred to zaključno točko v profilu P277 predvidena priključitev proge na postajne tire Ljubljanske potniške postaje na nivoju -1. Ta bi se nahajala 28,7 m pod površjem in v stacionaži km 92+765 predstavlja končno točko obravnavanega odseka proge Divača-Ljubljana.

### 3.4.5 Sklep – ustreznost zasnove izbrane trase

Izbrano progo Divača-Ljubljana sem projektirala v skladu z določili slovenskega standarda SIST EN 13803-1:2010, tujega pravilnika (Pravilnik o tehničkim..., 2011) in TSI za infrastrukturni podsistem (UL L 126, 2011), ki so sprejete v skladu z Direktivo 2008/57/ES. Ta določila zajemajo pogoje in mejne vrednosti elementov trase v narisu in tlorisu, ki so namenjeni načrtovanju prog za hitrosti do 250 km/h.

Pri umeščanju trase v prostor je na progah, kjer se vlaki ustavljajo na postajah, med drugim potrebno nameniti pozornost tudi zaustavitveni razdalji, katera se z večanjem hitrosti premo sorazmerno povečuje. To bi v primeru hitre proge, kjer potniški vlaki vozijo s hitrostjo 250 km/h, zahtevalo približno 2400 m ter 385 m za tovarne vlake, ki vozijo s hitrostjo do 100 km/h. Proga je v mojem primeru za takšne omejitve umeščena ugodno, saj je pred Ljubljansko potniško postajo načrtovana daljša prema. Tako bi vlaki v njeni smeri brez težav zmanjševali hitrost od profila P259, t. j. od območja pod naseljem Grič pred avtocestnim priključkom Ljubljana Brdo.

Ko sem načrtovala potek trase v okolju, sem morala upoštevati različna področja njegovih omejitev. Kot se je izkazalo, sem bila pri izbiri optimalne variante uspešna, saj proga ne preči katerega izmed zavarovanih območij.

Izkazalo se je, da pretežni del trase poteka v dveh predorih, zato jima je posebna pozornost namenjena šele v četrtem poglavju, ki temelji na uporabi TSI v zvezi z varnostjo v železniških predorih (UL L 64, 2007).

## **4 PREDORI IN ZAGOTAVLJANJE PREDPISANE VARNOSTI**

Ker pretežen del proge poteka v predoru in je del omrežja TEN-T, sem pri obravnavanju izpolnjevanja varnosti v predoru upoštevala predvsem zahteve, zapisane v Odločbi Komisije 2008/163/ES o TSI v zvezi z varnostjo v železniških predorih v vseevropskem železniškem sistemu za konvencionalne in visoke hitrosti (v nadaljevanju TSI v zvezi z varnostjo v predorih. UL L 64, 2007). V tem poglavju sem povzela splošno predpisane ukrepe za povečanje varnosti znotraj predora, ter jih prenesla na obravnavan primer. Obrazložila sem njegovo obliko, sestavo in velikost prečnega profila glede na geološke značilnosti terena. Ravno tako se tega poglavja tiče uporabljena tehnologija za izgradnjo predora ter parametri, ki omogočajo večjo varnost pri uporabi v primeru nezgod oziroma za zmanjšanje le teh.

### **4.1 Splošno o predorih**

Prometne poti naletijo predvsem v hribovitem svetu na ovire, ki se sprva zdijo povsem nepremagljive. Sicer je povezave mogoče vzpostaviti preko gorskih sedel, vendar bi to pomenilo daljšo pot z velikimi vzponi in spusti. Da bi se tem problemom pri hitrejšem razvoju gospodarstva izognili, so načrtovalci cest in železniških prog, potisnili prometnice pod površje, v predor. Ta predstavlja podzemni gradbeni objekt, ki ohranja geometrijske in tehnične karakteristike trase enake skozi razgiban teren z urbanimi površinami ter štiti okolje pred večjimi prometnimi vplivi (Uredba o tehničnih..., 2006).

### **Zgodovinski pregled**

Ko se vozimo skozi dolge predore, le te dojemamo kot velike dosežke sodobnega časa. Vendar je prvotne rove in jame izoblikovala narava, skozi leta pa so ljudje s svojim znanjem dosegali vse več podzemnih prebojev za razne prometne namene, vodne napeljave (hidroelektrarne, vodovodi), oskrbovalne poti (energetski kabli) in za peš poti. Humarjev (2004) povzetek zgodovinskega dogajanja na področju predorogradnje sega tisočletja nazaj, ko so si ljudje v raznih jamah urejali bivališča. Orodja, ki so jim služila za ročne izkope, so bila narejena iz kovin. Te so privedle človeka do rudarjenja, ki se je pred nekaj deset tisočletji pr. n. št. pojavilo v Afriki. Na območju Egipta so si ljudje pod površjem urejali prostore namenjene grobnicam. Slabo tisočletje pr. n. št. so si Asirci priskrbeli predore za navodnjavanje polj, v antiki pa za dovajanje pitne vode v višje ležeča naselja. Že takrat je kopanje skozi hribino potekalo z obeh vhodov, predor pa je bil obložen s kamnitimi ploščami. S tako enostavnim orodjem so kopali tudi Rimljani, ki od nekdaj veljajo za gradbene mojstre. Med največja dela jim štejejo gradnjo 5,6 km dolgega predora za odvodnjo jezera Fucino, ki je potekala skozi več

vertikalnih jaškov. Prav tako so vzpostavili cestno podzemno povezavo v bližini Neaplja, ki je glede na izkopen material veljala dolga leta za največji dosežek. Srednji vek je, kot razdiralno sredstvo trših kamnin v predoru, zaznamoval smodnik. Resnejše predorogradnje so nastajale v začetku 19. stoletja na območju Francije in Velike Britanije za transport blaga pod plovnimi kanali. Težavam, kot so bili notranji pritiski peščene podlage, so se izognili z rudarskim načinom podpiranja, t. j. »metoda z jedrom«. Po odprtju prve javne železniške proge v Angliji leta 1825, se je pričelo novo obdobje tudi na področju predorogradnje. S širitvijo železniškega omrežja se je razvijala tudi metodologija gradnje predorov v Evropi, ki so se imenovale po državah, v katerih so nastajale (npr. belgijska, italijanska, stara in nova avstrijska). Gradbišča so pridobivala učinkovitejšo opremo za prodiranja, kot so pnevmatske vrtalke (1852) in dinamit (1875). Slednji je bil prvič uporabljen v 15 km dolgem Švicarskem železniškem predoru St. Gotthard. Z danes enim najbolj uporabljenih vrtalnih strojev TBM so vzpostavili povezavo pod Rokavskim prelivom med Anglijo in Francijo. Zaradi različnih političnih interesov je potekala gradnja vse od leta 1870, ko je prišlo do prvega predloga, pa do leta 1994 (Humar, 2004).

### **Železniški predori v številkah pri nas in v svetu**

Med zgodovinske gradnje štejemo tudi prve železniške predore na današnjih slovenskih tleh, ki so bili zgrajeni v času Južne železnice. Prvo zgrajena sta bila Šentiljski predor in predor Počehova v letu 1846, vendar je bil Košanski (540 m) na kraškem odseku te povezave najdaljši (Humar, 2004). Z nastajanjem novih železniških povezav, je Slovenija dobila tudi daljše predore. Trenutno predstavlja Bohinjski predor s 6327,3 m dolžine najdaljši železniški predor pri nas, kjer se je že kopalo z električnimi vrtalnimi stroji (Predori, 2013). V svetu pa vedno znova slišimo o številkah, ki podirajo rekordne dolžine obstoječih predorov. Glede na dolžino si prvih šest najdaljših sledi v spodaj zapisanem zaporedju (The World's longest Railway Tunnels, 2012):

- Gotthard Base, Švica (dvocevni predor dolžine 57 km; v gradnji do leta 2017),
- Brenner Base, Avstrija (enocevni predor dolžine 55,4 km; v gradnji do leta 2026),
- Sei – kann, Japonska (enocevni predor pod morskim dnom dolžine 53,8 km; zgrajen leta 1988),
- Channel, Angleški Kanal (dvocevni predor dolžine 50,5 km; zgrajen leta 1994),
- Lötschberg, Švica (enocevni predor dolžine 34,6 km; obnovljen leta 2007) in
- Koralm, Avstrija (dvocevni predor dolžine 32,9 km; v gradnji do leta 2022).

Zahtevnost gradnje predorov je tako v preteklosti kakor še danes v prvi vrsti odvisna od geomehanskih karakteristik, poleg tega pa tudi od prisotnosti podzemnih voda, želenega prečnega prereza predorske cevi, njene dolžine in globine, kjer naj bi ta potekala. Gradnja predorov, v primerjavi z ostalimi premostitvenimi objekti, z ekonomskega vidika pomeni relativno visoke stroške, ki se ohranjajo tekom

celotnega obratovanja in vzdrževanja. Poleg tega so tudi tehnološko in tehnično zahtevnejši objekti, saj morajo po vsej svoji dolžini zagotavljati medsebojno učinkovitost med kamnino in podpornimi ukrepi.

#### **4.2 Uporabljena zakonodaja za gradnjo predorov in zagotavljanje varnosti**

Iz tretjega poglavja sledi, da je načrtovana hitra proga med Divačo in Ljubljano v pretežni meri postavljena pod površje. Ker je bil takšen potek predviden že od samega začetka nastajanja diplomske naloge, sem v začetni fazi opravila tudi pregled veljavne regulative na področju železniških predorov za Republiko Slovenijo. Nadaljnje obravnavane tehnične karakteristike proge in varnostni koncept zastavljenih predorov na izbranem odseku morajo temeljiti na trenutno veljavnih dokumentih.

Tekom pregledovanja regulativ sem ugotovila, da na področju slovenske zakonodaje še ne obstajajo konkretni predpisi za gradnjo hitrih železniških prog v predorih. Elemente, ki niso obravnavani v okviru določenih slovenskih predpisov, se v praksi upošteva iz tujih prepisov. To so največkrat avstrijski in nemški predpisi. Za področje varnostnih zahtev v predorih se uporablja tudi evropske dokumente, ki uvajajo interoperabilnost v omrežju TEN-T (UL L 64, 2007).

Pri načrtovanju železniške proge Divača - Ljubljana sem ugotovila, da so najprimernejši dokumenti, ki ustrezajo predmetu diplomske naloge, naslednji:

- (1) »Pravilnik o pogojih za projektiranje, gradnjo in vzdrževanje spodnjega ustroja železniških prog« iz leta 2003;
- (2) »Pravilnik o tehničnih normativih in pogojih za projektiranje in gradnjo železniških predorov« iz leta 1973, ki je prenehal veljati 11.7.2009;
- (3) »Uredba o tehničnih normativih in pogojih za projektiranje cestnih predorov v RS« iz leta 2006, ki v določenih poglavjih obravnava reševanje v primeru nesreč in s tem povezane varnostne izhode;
- (4) »Varnostni koncept predorov« izdelan kot samostojni elaborat za odsek Divača-Koper leta 2010;
- (5) Odločba Komisije 2008/163/ES o TSI v zvezi z varnostjo v železniških predorih v vseevropskem železniškem sistemu za konvencionalne in visoke hitrosti, iz leta 2007, ki upošteva Direktivo 2001/16/ES ter Direktivo sveta 96/48/ES. Ta TSI obravnava načrtovane ukrepe za zmanjšanje posebnih nevarnosti v predorih ter vpliv okolja v predoru z zaščitnimi ukrepi za njihovo ublažitev, ki lahko vplivajo na varnost. Tako splošni varnostni ukrepi (signalizacija,...) kakor področja posebnih tveganj za varnost potnikov in vlakovnega osebja

(terorizem, nepooblaščen vstop v predor, zdravje nadzornega osebja predora, trčenje iztirjenega vlaka v konstrukcijo predora,...) niso zajeti v tej TSI;

- (6) »Richtlinie 853; Eisenbahntunnel planen, bauen und instand halten« (Smernice za projektiranje, gradnjo in vzdrževanje železniških predorov) iz leta 2002, ki zajema predpise o trasi, oblikovanju prečnega prereza predora in portala ter zaščito pred požarom.

### 4.3 Elementi za zagotavljanje varnosti v predoru

Ne glede na dolžino ali vrsto prometa, ki se odvija v predorih, njegovo dogajanje spremljajo nesreče z različnimi vzroki nastanka. Če opazujemo cestni promet, kjer je udeleženih več voznikov, ugotovimo, da je posledično tudi več potencialnih povzročiteljev nesreč. Z današnjo hitrostjo povečevanja števila vozil na cestah, ki vse pogosteje prevažajo vnetljiva sredstva, se hkrati povečuje tudi možnost nevarnih nesreč. Največjo nevarnost predstavljajo nesreče s požarom, ki jih povzroči vnetje snovi. Ob tem nastane gost dim, ki mu sledijo visoke temperature, pri katerih lahko prihaja do razpokanja in kasnejšega razpada notranje betonske obloge predora. Lokalna porušitev predora lahko privede do njegovega zaprtja. Ko se dogajajo takšni požari, kjer se razvijajo gosti dimi in strupeni plini, so ljudje največkrat žrtve zastrupitve ali zadušitve. V praksi se je že izkazalo, da še tako učinkovit prezračevalni sistem ne deluje več. Porast števila težkih nesreč pomeni tudi več smrtnih žrtev v predorskih nesrečah, pri čemer ne smemo pozabiti na težavnost reševanja, saj vsako vozilo (avtomobil, kamion, vagon) predstavlja potencialno eksplozivno telo (Humar, 2004).

Mednarodna prizadevanja o izboljšanju varnosti v cestnih predorih so posledično spodbudila tovrstne dejavnosti na področju železniških predorov. Leta 2003 je Evropski komite za notranji transport izdal številne smernice in minimalne standarde za gradnjo železniških predorov, daljših od 1000 m in krajših od 15000 m. Ti zajemajo ukrepe, ki se nanašajo na infrastrukturo, vozni park in obratovanje. Glede na način obrambe za povečanje varnosti v predorih razvrščamo te ukrepe v naslednje štiri razrede njihovega prispevka (OECD Studies..., 2006):

- Preprečevanje nesreč: inštalacije za nadzor hitrosti in signalnega sistema, redni pregled stanja predora, ukrepi za protipožarno zaščito;
- Ublažitev posledic nesreče: vzdrževalni ukrepi proti iztirjenju, zahteve za protipožarno zaščito konstrukcije predora, sistem za radijsko komunikacijo, zasilna zavora za nadaljevanje vožnje pri nižji hitrosti do izhoda vlaka iz tunela ter zaustavitev prihajajočih vlakov;
- Evakuacija: zasilni izhodi, oprijemala v predoru, oznake v predoru in zasilna razsvetljava predora, izobraževanje vlakovnega osebja;
- Reševanje: oskrba predora z vodo za gašenje in potrebe reševalne ekipe, radijska komunikacija za reševalne ekipe ter obveščanje o prevozu nevarnega blaga.

Leta 2004 sta Evropski Parlament in Svet sočasno z Direktivo 2004/54/ES o varnosti v cestnih predorih sprejela Direktivo 2004/49/ES o varnosti na železnicah Skupnosti (v nadaljevanju Direktiva 2004/49/ES). Namenjena je vzpostavitvi skupnega okvira regulative za zagotavljanje varnosti v železniških predorih z usklajevanjem vsebine varnostnih pravil, varnostnih potrdil o prevoznikih v železniškem omrežju, nalog in vlog varnostnih organov ter preiskovalcev nesreč. Poleg naštetega so med pglavitnimi nalogami direktive še harmonizacija vsebinske oblike regulativ Držav Članic ter razvoj skupnih varnostnih ciljev in metod za njihovo doseganje. Direktiva 2004/49/ES tako predstavlja podlago za nastajanje novih smernic za povečanje varnosti v železniških predorih (OECD Studies..., 2006).

Glede na specifično načrtovane proge, ki zajema dolge odseke v predorih (daljše od 20 km), je cilj diplomske naloge opraviti še zasnovo zagotavljanja varnosti v predorih. Izmed naštetih uporabljenih dokumentov iz poglavja 4.2, ki ustrezajo vsebini diplomskega dela, sem največkrat temeljila na zahtevah TSI v zvezi z varnostjo v predorih (UL L 64, 2007), saj se TSI za infrastrukturne podsisteme za visoke hitrosti sklicuje prav na to specifikacijo. Vendar Države Članice za nove predore z interoperabilnimi vlaki opozarjajo, da je potrebno preveriti, če lokalne okoliščine zahtevajo dodatne ukrepe poleg že zajetih v tej TSI. Nekatere Članice so celo že določile varnostne ukrepe, pri katerih se zahteva višja raven varnosti, kakor je predpisana v omenjeni TSI. Predhodno naštete štiri kategorije ukrepov za povečanje varnosti v predorih, naj bi preprečile ali občutno zmanjšale tveganja, ki izhajajo iz raznih nesreč. Nikakor pa ne bodo jamčili odsotnost tveganj nesreč s smrtnim izidom (UL L 64, 2007).

Poglavja, v katerih so opisani ukrepi za zagotavljanje varnosti v predorih, si s podpoglavji sledijo v vrstnem redu, kakor prikazuje spodnja preglednica. Njihova opredelitev temelji na uporabi vseh naštetih dokumentov v poglavju 4.2. Ker je ta diplomska dela namenjena prikazu izpolnitve zahtev za zagotovitev varnosti z vidika opremljenosti in oblike predorske cevi, so v nadaljevanju zajeti predvsem infrastrukturni in energijski podsistem ter podsistem nadzor-vodenje in signalizacija. Medtem, ko je opredelitev ukrepov za podsistem železniškega voznega parka za fazo umestitve trase v prostor in oblikovanje predorske cevi še preuranjena.

Preglednica 12: Vsebina poglavja 4.3 "Elementi za zagotavljanje varnosti v predoru" (lasten vir)

Št. pogl.	Ime poglavja	Št. podpogl.	Ime podpoglavja	Vsebina podpoglavja
4.3.1	Scenariji tveganj			
4.3.2	Funkcionalne in tehnične specifikacije za izbrano vsebino določenih podsistemov	4.3.2.1	Dolžina predora in oštevilčenje posamezne cone	
		4.3.2.2	Namestitvev kretnic in križišč	
		4.3.2.3	Zahteve za požarno varnost konstrukcij in gradbenega materiala	Določitev požarne odpornosti in požarnih sektorjev
				Požarna varnost kabelskih kanalov
		4.3.2.4	Površine za samoreševanje, evakuacijo in reševanje v primeru nezgode	Stranski in/ali navpični zasilni izhodi na površje
				Prečni prehodi v drugo prometno ali servisno cev
		4.3.2.5	Evakuacijske poti, njihova razsvetljava in označevanje	Oprijemala vzdolž evakuacijske poti
				Razsvetljava evakuacijskih poti
				Označevanje evakuacijskih poti
				Stebriček in niša za klic v sili
		4.3.2.6	Reševalne postaje	
		4.3.2.7	Komunikacija v sili	
		4.3.2.8	Intervencijske površine zunaj predorov	
		4.3.2.9	Prenosni ročni gasilni aparati	
		4.3.2.10	Oskrba z vodo / hidrantna mreža	
		4.3.2.11	Oskrba z električno energijo	Zanesljivost oskrbe z električno energijo

se nadaljuje ...



...nadaljevanje Preglednice 12

Št. pogl.	Ime poglavja	Št. podpogl.	Ime podpoglavja	Vsebina podpoglavja
4.3.3	Reševanje v primeru izrednih dogodkov	4.3.3.1	Obratovanje v primeru izrednega dogodka	Požar na vlaku
				Preostali vlaki v predoru
				Možnost iztirjenja
		4.3.3.2	Samoreševanje	
		4.3.3.3	Odkrivanje požara / sistem detekcije	
		4.3.3.4	Pomoč reševalnih ekip	
		4.3.3.5	Dostop za reševalne službe	Dostop skozi portal
				Dostop skozi evakuacijski navpični / poševni izhod
				Dostop skozi servisne cevi
		4.3.3.6	Reševalna območja in portalna območja	Osnovna oprema reševalnih in portalnih območij
				Dodatna oprema reševalnih in portalnih območij
		4.3.3.7	Predhodni ukrepi za lažje reševanje	Razpoložljive informacije za potnike
				Redne vaje
				Usposabljanje vlakovnega osebja
4.3.4	Odvodnjavanje			
4.3.5	Prezračevalni sistem			
4.3.6	Nadzor objekta	4.3.6.1	Kontrolni in nadzorni center	
		4.3.6.2	Nadzor hitrosti	
		4.3.6.3	Nadzor osnih ležajev	
		4.3.6.4	Prekinitev vozne mreže in ozemljitev	
4.3.7	Vzdrževalna dela			

### 4.3.1 Scenariji tveganj

V nasprotju z nesrečami na odprtih progah, kot so iztirjenja vlakov zaradi naravnih nesreč (plazovi in poplave), takšne nesreče niso mogoče v predoru. Zaradi tega in dejstva, da je obratovanje v predorih dokaj enostavno, je število nesreč na prevožen kilometer vlaka v predorih manjše kot na odprtem. Zato pa je v nasprotnem slučaju, ko vlak v predoru gori, nezgoda veliko bolj kritična. V takšnem primeru so tako telesne kakor materialne posledice veliko večje.

V skladu z TSI v zvezi z varnostjo v predorih (UL L 64, 2007) so spodaj navedeni možni začetni dogodki in scenariji nezgod:

- vroča nezgoda: požar ali eksplozija, ki ji sledi požar, emisija dimov ali plinov;
- hladna nezgoda: manjše ali večje mehanske poškodbe s posledičnim izbruhom požara;
- izpust nevarnih snovi v tekočem ali plinastem stanju;
- dolgotrajni postanek zaradi hitrega dviga temperature v notranjosti vlaka, lahko privede do panike med potniki in spontane evakuacije.

### 4.3.2 Funkcionalne in tehnične specifikacije za izbrano vsebino določenih podsistemov

Četrto poglavje, ki zajema področje zagotavljanja varnosti v predorih, povzema varnost uporabnikov (potnikov in osebja vlaka). Varnostni ukrepi niso določeni na podlagi izvzetih dogodkov, npr. terorizma, vendar učinkujejo tudi pri takšnih dogodkih na osnovi podobnih scenarijev posledic. Prav tako ta koncept varnosti ne velja za tehnične objekte, ki stojijo izven predorov, saj se načrtujejo na podlagi nacionalnih predpisov požarne varnosti.

#### 4.3.2.1 Dolžina predora in oštevilčenje posamezne cone

Specifikacije TSI v zvezi z infrastrukturnimi podsistemi se uporabljajo za predore, daljše od 1 km. Zaporedja dveh predorov, ne moremo smatrati za en predor, če je razdalja med njima manjša od 500 m in je znotraj odprtega odseka možen dostop do varnega mesta oziroma izhod iz njega (UL L 64, 2007).

Celotno dolžino predora je potrebno razdeliti na cone. Vsaka posamezna cona ne sme presegati dolžine 12,5 m. Meje con se označuje in zaporedno oštevilčuje v smeri poteka naraščanja stacionaže. Tako se v primeru enotirnega predora cone oštevilčuje le na eni strani predora, kjer poteka

evakuacijska pot. Če pa imamo dvotiren predor, se oznake zapišejo na obeh straneh. Velikost označbe mora biti berljiva, velika 150 mm in zapisana 1,5 m nad pohodno površino.

#### **4.3.2.2 Namestitev kretnic in križišč**

Zagotoviti je potrebno minimalno število nameščenih kretnic in križišč, kar mora biti v skladu s projektnimi, varnostnimi in obratovalnimi ukrepi. Na mestu, kjer so nameščene kretnice, je potrebno zagotoviti sredstva za komunikacijo in razsvetljavo za omogočanje varnega vzdrževanja in ročnega upravljanja kretniške opreme.

#### **4.3.2.3 Zahteve za požarno varnost konstrukcij in gradbenega materiala**

Ne glede na dolžino predora, TSI v zvezi z varnostjo v predorih (UL L 64, 2007) zahtevajo ohranitev celovitosti konstrukcije v primeru požara toliko časa, da je omogočeno samoreševanje in evakuacija potnikov in vlakovnega osebja ter intervencija reševalnih služb brez tveganja porušitve konstrukcije. Smatra se, da stabilnost konstrukcije na predelu reševanja ni ogrožena, ker se tam opravlja gašenje požara. Vendar je požarna odpornost končne površine predora ocenjena na podlagi »krivulje temperature-časa« (krivulja EUREKA).

#### **Določitev požarne odpornosti in požarnih sektorjev**

Če so predori predvideni v samonosni kamnini, požarna odpornost obloge predora v takem primeru ni potrebna, v nasprotnem pa obvezna. V območju portalov, kjer kamnina ni samonosna, je obvezno potrebno zagotoviti požarno nosilnost konstrukcije REI 90 (Evrokod 2, 2005).

Vsak predor naj predstavlja ločen sektor, ravno tako evakuacijski stranski izhodi, tehnični prostori v prečnikih med cevmi, servisna cev v primeru njene uporabe ter elektro niše, nameščene v prečnikih ali evakuacijskih stranskih izhodih.

Evrokod 2 predpisuje, da za pregradne stene med prečniki in glavno predorsko cevjo ter med evakuacijskimi izhodi in glavno predorsko cevjo velja zahteva po požarni odpornosti EI 90. Enak predpis je zahtevan za stene med tehničnimi prostori in evakuacijskim izhodom ali prečnikom. Za protipožarna vrata med prečnikom ali evakuacijskim izhodom in glavno cevjo se zahteva požarna odpornost E90-C po SIST ENV 1627:2000.

### **Požarna varnost kabelskih kanalov**

TSI v zvezi z varnostjo v predorih (UL L 64, 2007) predpisujejo, da morajo biti vse električne inštalacije, ki zagotavljajo varnost, zaščitene tako pred mehanskimi udarci kakor pred poškodbami in požarom. Nameščeni kabli morajo imeti požarno odpornost E90/FE 180 in ne smejo vsebovati halogena (nekovine). Prav tako morajo ustrezati zahtevam, da:

- so težko vnetljivi,
- dopuščajo minimalno širitev požara in
- imajo majhno toksičnost in gostost dima.

#### **4.3.2.4 Površine za samoreševanje, evakuacijo in reševanje v primeru nezgode**

Tehnični prostori predstavljajo z vrati zaprte prostore za dostop oziroma izhod na notranji ali zunanji strani predora z varnostnimi napravami, ki so nujne za: samoreševanje, evakuacijo, klic v sili, reševanje in gašenje požara ter oskrbo s pogonsko energijo. Vgrajeni detektorji so namenjeni opozarjanju upravljavca infrastrukture v primeru požara. Torej ti prostori predstavljajo varna mesta, za katere velja, da omogočajo:

- pogoje za preživetje,
- dostop ljudi s pomočjo ali brez,
- samoreševanje ali počakajo varno na pomoč reševalnih ekip ter
- komunikacijo preko mobilnih ali fiksnih telefonov s kontrolnim centrom upravljavca.

### **Stranski in/ali navpični zasilni izhodi na površje**

Izhodi morajo biti zagotovljeni na medsebojni razdalji 1000 m v enotirnih predorih ali na 500 m za prehod na drugo varno mesto (upošteva se tudi servisna cev). Minimalne dimenzije teh izhodov na površje morajo zadoščati 2,25 m višine in 2,25 m širine. Naklon in dolžina izhoda na odprto sta odvisna od terenskih razmer, ki jih je potrebno premagati (npr. globlje je postavljena cev, večji naklon ali daljši prehod bo potreben). Odprtine vrat morajo imeti minimalne dimenzije 1,40 m širine x 2,00 m višine in priporočeno je, da se dvokrilna vrata zapirajo avtomatsko. Vrata morajo biti porinjena nazaj vsaj 5 m v območje zasilnega izhoda, tako da nastane med predorom in nivojem vrat manjši prostor. Izhodi, ki so namenjeni glavnim prehodom za reševalne ekipe, so opisani kasneje pod naslovom Dostop za reševalne službe. Vsekakor morajo biti vsi načrtovani izhodi osvetljeni in označeni.

### **Prečni prehodi v drugo prometno ali servisno cev**

Prečni prehodi med sosednjimi cevni predori, bodisi prometnimi ali servisnimi, omogočajo uporabo drugega predora, kot varno mesto. Zagotoviti jih moramo vsakih 500 m ter jih ustrezno osvetliti in označiti. Njihove dolžine so odvisne od medsebojne razdalje cevi. Minimalne dimenzije teh prehodov

morajo biti vsaj 2,25 m višine in 2,25 širine. Po možnosti se morajo dvokrilna vrata zapirati avtomatsko. Iz strani predorske cevi jih je mogoče odpreti kadarkoli, iz strani prečnika pa le, ko je promet zaustavljen. Odprtine vrat morajo imeti minimalne dimenzije 1,40 m širine x 2,00 m višine. Vrata morajo biti porinjena nazaj vsaj 5 m v območje zasilnega izhoda, tako da nastane med predorom in nivojem vrat manjši prostor.

#### **4.3.2.5 Evakuacijske poti, njihova razsvetljava in označevanje**

Evakuacijske poti se uporabljajo v predorih daljših, od 500 m, na istih straneh, kjer so predvideni zasilni izhodi oziroma kjer so prehodi v sosednjo predorsko cev ali servisno cev. V primeru enotirnega predora se jih gradi vsaj na eni strani proge, v dvotirnih predorih pa na obeh straneh predora. Če imamo širše predore z več kot dvema tiroma, je potrebno zagotoviti dostop do evakuacijskih poti z vsakega tira. Upoštevati je potrebno še sledeče zahteve:

- površina poti mora biti ravna in hrapava za preprečitev nevarnosti spotikanja in zdrsov,
- najmanjša razdalja, gledano navpično nad potjo, mora znašati vsaj 2,25 m,
- minimalna širina naj bo 0,75 m zaradi omejenih dimenzij invalidskih vozičkov,
- pešpot ne sme biti nižja od gornje višine nenadvišanega tira ( $GTR + \max 30 \text{ cm}$ ) ter
- oviram na območju izhoda se je potrebno v čim večji meri izogniti. Ovire naj ne bodo daljše od 2 m in naj ne zmanjšajo širine pešpoti na manj kot 0,7 m.

#### **Oprijemala vzdolž evakuacijske poti**

Pritrditve oprijemal so predpisane na 1 m nad ravnino pešpoti, ki vodi do varnega mesta. Namestiti jih je potrebno zunaj zahtevanega minimalnega obsega poti ter pod kotom  $30^\circ$  do  $40^\circ$  na vzdolžno os predora pri vhodu ali izhodu posamezne ovire.

#### **Razsvetljava evakuacijskih poti**

Zasilno razsvetljava, ki vodi potnike in osebje do varnega mesta v primeru izrednega dogodka, je potrebno zagotoviti v vseh predorih daljših, od 500 m. V primeru enotirne predorske cevi se razsvetljava zahteva le na eni strani, in sicer na tisti kjer je pešpot. Če pa se uporabi dvotirne predore, je predpisana razsvetljava na obeh straneh. Luči naj bodo nameščene čim nižje nad pešpotjo, vendar ne smejo posegati v prostor, namenjen prehodu ljudi.

V primeru izrednih dogodkov mora biti oskrba z električno energijo zagotovljena še 90 minut od trenutka zaznave nesreče. Če je zasilna luč v času normalnega obratovanja ugasnjena, je omogočen njen prižig na dva načina:

- ročno znotraj predora, na vsakih 250 m in

- z daljinskim upravljanjem s strani upravljavca predora.

### **Označevanje evakuacijskih poti**

Označitev evakuacijske poti nakazuje zasilne izhode ter oddaljenost in smer varnega mesta. Uporablja se v vseh predorih, daljših od 100 m. Znake za izhode v sili se namešča na stranske stene. Največja razdalja, ki je še dovoljena med dvema znakoma v sili je 25 m, saj ta omogoča da se na območju vsakega vagona nahaja ustrezna oznaka. Te imajo lastno razsvetljavo in prikazujejo smer reševanja v obeh smereh ter oddaljenost do naslednjega zasilnega izhoda. Predor mora vsebovati tudi znake, ki usmerjajo ljudi do opreme potrebne v izrednih dogodkih. Vrata, ki vodijo v zasilne izhode, morajo biti označena z osvetljenim napisom Izhod (ang. Exit). Osvetljeni napisi se napajajo iz dveh ločenih naprav za neprekinjeno napajanje z električno energijo.

### **Stebriček in niša za klic v sili**

Stebrički za klic v sili morajo biti nameščeni takoj za vrati (na varni strani) v prečnikih in zasilnih izhodih ter na območju portalov. Telefoni morajo biti osvetljeni in označeni s stacionažo proge. Delujejo na principu, da ko oseba stisne na gumb za klic, se ta avtomatsko sproži in v nadzornem centru lahko identificirajo lokacijo klica. Omogočena je tudi govorna zveza med potniki in pristojnim v centru.

V predoru morajo biti zagotovljene tudi niše za klic v sili, ki po Uredbi za cestne predore (2005) morajo biti razporejene na največji medsebojni razdalji 150 m. Nameščene morajo biti tudi tako, da ne bodo od portalov ali vhodov v predor oddaljene več kot 200 m. Niše se z govorno garnituro za klic v sili zapirajo z vrati, njihove minimalne dimenzije pa morajo ustrezati meram 0,8 x 1,6 x 2,0 m (širina x dolžina x višina). Del njihove opreme sta tudi dva gasilna aparata.

#### **4.3.2.6 Reševalne postaje**

Reševalne postaje predstavljajo dodatno varno mesto. V primeru daljših predorov se njihova postavitve zahteva vsaj na sredini predora za ustavitev vlaka in evakuacijo. V primerih, ko se vlak z nezgodo nahaja pred to postajo, mora zapeljati do nje. Predpisano je, da se vlaki na njih lahko ustavijo le v primerih izrednih dogodkov in ne zaradi katerih koli drugih razlogov, kot je deljenje vlaka ali odpenjanje lokomotive. V skladu s TSI v zvezi z varnostjo v predorih (UL L 64, 2007), reševalne postaje zagotavljajo boljše pogoje za hitrejšo in varnejšo evakuacijo potniškega vlaka, na katerem je izbruhnil požar, kolikor je le to mogoče v samem predoru.

Zasilni peroni, na katere izstopajo potniki, so zgrajeni na isti strani kot evakuacijska pot. Odvodnjavanje tega območja je urejeno preko lovilcev olja. Običajne dimenzije takšne postaje pa so:

- 400 m dolg zasilni peron,
- višina zasilnega perona nad gornjim robom tirnic je pribl. 35 cm, merjeno na nenadvišan tir,
- širina zasilnega perona je pribl. 3 m,
- vzdolžni naklon sledi naklonu proge na tistem območju.

Na področju zasilnih peronov je obvezna zagotovitev naslednjih sistemov (Varnostni koncept predorov, 2010).

- Nadzor: nadzor postaje se vrši preko kamer, informacije pa se prenašajo preko zvočnikov. Snemanje pogovorov se opravlja z napravami, nameščenimi v nadzornih centrih.
- Razsvetljava: ni obvezno, da mora biti območje postaje oskrbovano preko naprave za neprekinjeno napajanje z električno energijo (to pomeni, da se dva neodvisna dogodka ne moreta zgoditi sočasno).
- Sistem ozvočenja: ta sistem je namenjen usmerjanju potnikov iz nadzornega centra.
- Stebrički za klic v sili: tudi ta sistem mora biti zagotovljen na območju postaje.
- Oskrba z vodo za gašenje: ta se izvede z mokrim hidrantnim omrežjem, prav tako so predvideni hidranti na območju postaje.
- Prva pomoč: zagotovljena mora biti oprema za prvo pomoč.

#### **4.3.2.7 Komunikacija v sili**

Ne glede na dolžino predora je zahtevana radijska zveza s sistemom GSM-R med vlakom in kontrolnim centrom. Preko njega je mogoče podajati informacije neposredno v potniški vagon in obveščati več kot en vlak hkrati o dogajanju nesreče. Ta sistem reševalnim ekipam omogoča uporabo lastne komunikacijske opreme. Zagotavlja se tudi neprekinjena radijska zveza za komuniciranje reševalnih služb s krmilnimi napravami na kraju nesreče. V skladu s TSI v zvezi z varnostjo v predorih (UL L 64, 2007), je za oskrbo komunikacijskega sistema z električnim tokom predviden rezervni sistem, ki dopušča normalno delovanje naprav še 90 minut.

#### **4.3.2.8 Intervencijske površine zunaj predorov**

Intervencijske površine moramo postaviti v bližino predora, ob dovozno pot. Zanje lahko štejemo tudi obstoječe ceste. Njihova velikost naj bo minimalno 500 m<sup>2</sup>.

#### **4.3.2.9 Prenosni ročni gasilni aparati**

V Uredbi za cestne predore (2005) je predpisano, da morajo biti v vseh predorih nameščeni prenosni ročni aparati za gašenje začetnih požarov. V vsaki niši za klic v sili ter na območju pred in za portalom morata biti nameščena dva prenosna ročna gasilna aparata s 6 EG. Sistem optičnega in zvočnega signala v kontrolnem centru za opravljanje predora se sproži z dvigom gasilnega aparata. Ob tem se mora aktivirati tudi kamera v predoru, ki je najbližja mestu dviga ročnega gasilnega aparata.

#### **4.3.2.10 Oskrba z vodo / hidrantna mreža**

Na območju dostopa do predora je glede na odredbe reševalnih služb potrebno zagotoviti zadostno količino vode za oskrbo predora v času nesreče. Hidranti morajo biti nameščeni na vseh portalih, prečnikih v glavni predorski cevi oziroma servisni cevi in na vsakih 150 m vzdolž predora. Cevi hidrantnega omrežja se položi na isto stran, kjer poteka evakuacijska pot. Tiste cevi, ki so položene v bližini portalov, je potrebno dodatno zaščititi proti zmrzovanju. Dolžina dodatne zaščite je odvisna od zemljepisnega kraja portala. Kapaciteta zadrževalnega sistema (vodohrana) naj bo vsaj 800 l/min za opravljanje gašenja v roku dveh ur, kapaciteta posameznega hidranta pa naj bo najmanj 100 m<sup>3</sup>. Vodni pritisk v hidrantu mora biti od 6 do 12 barov. Polnjenje vodohranov se običajno izvršuje z avtociisternami po dovoznih poteh. V primerih, ko so lege zbiralnikov na višjih točkah, je potrebno izvesti ukrepe za redukcijo tlaka, ki nastane v ceveh.

#### **4.3.2.11 Oskrba z električno energijo**

Pomemben sklop energijskega podsistema v železniških predorih je zagotovitev oskrbe z električno energijo. Sistem distribucije energije v predorih mora biti primeren za opremo reševalnih služb in njihovo nemoteno opravljanje reševanja v skladu z načrtom za ravnanje v izrednih razmerah v predoru.

Sistem napajanja z električno energijo mora biti v skladu z Odločbo Komisije 2008/163/ES izveden tako, da kljub izpadu posameznega vira oskrba ni onemogočena. Poleg te zahteve in zahteve za zaščito kablov, je določena vzpostavitev varnostne opreme predora na način, ki v primeru požara normalno obratuje še 90 minut. Izpad posameznih elementov, kot so razsvetljava, radijska oprema ali klic v sili, je sprejemljiv. Vendar to območje, ki za določen čas ni preskrbljeno z elektriko, ne sme presegati razdalje 100 m. V primeru izpada električne napetosti v transformacijski postaji naprava za



neprekinjeno napajanje z električno energijo poskrbi za premostitev, na katero je priklopljena vsa varnostna oprema razen ventilatorjev za zagotavljanje nadtlaka v evakuacijskih izhodih ali servisnih ceveh (v primeru njihove uporabe).

### **4.3.3 Reševanje v primeru izrednih dogodkov**

TSI v zvezi z varnostjo v predorih (UL L 64, 2007) opredeljuje vozni park, ki je projektiran in izdelan za obratovanje v vseh predorih vseevropskega železniškega omrežja, kot kategorijo B. Z vidika požarne odpornosti to pomeni, da so na takšnih vlakih predvidene požarne pregrade in pregradne stene. Te pregrade na gorečem vlaku zagotavljajo potnikom in vlakovnemu osebju še 15 minut zaščite pred učinki vročine in dima. S tem se vlakom omogoča, da 20 kilometrski predor zapustijo in dosežejo varno mesto ob predpostavki, da vlak nadaljuje z vožnjo s hitrostjo 80 km/h (ali 25 kilometrski predor prevozijo s 100 km/h). V nasprotnih primerih se uporabi vso razpoložljivo infrastrukturo.

#### **4.3.3.1 Obratovanje v primeru izrednega dogodka**

##### **Požar na vlaku**

V situaciji, ko na vlaku na progovnem odseku izbruhne požar, je potrebno obvezno upoštevati vodilo, da se vlak ne ustavi kjerkoli v predoru ali na viaduktu, ampak se mora zapeljati do prve reševalne postaje. Na podlagi tega so določena naslednja temeljna načela obratovanja:

- v primeru vžiga požara na potniških vlakih je potrebno preprečiti sprožitev zaviralne zavore, da lahko vlak vseeno pripotuje do mesta namenjenega evakuaciji (reševalne postaje, konec predora z reševalno ploščadjo) in
- v primeru vžiga požara na potniških vlakih morajo ti nadaljevati pot, kadar se nahajajo pred reševalno postajo in se na njej kasneje tudi ustavijo ali ko jo že prevozijo in nadaljujejo pot do izhoda iz predora.

##### **Preostali vlaki v predoru**

Lahko pride do primera, ko preostali vlaki sledijo vlaku z nezgodo v predoru. Takrat je potrebno poskrbeti, da na odsek, kjer je prišlo do nesreče, ne pripeljejo drugi vlaki in jih je zato potrebno čim prej ustaviti (povečati razdaljo med vlakoma).

Lahko se zgodi, da se pred vlakom z nezgodo vozi predhoden vlak. Ta mora nadaljevati z vožnjo do naslednjega mesta za ustavljanje. Hitrost skozi predor se za te vlake zmanjša toliko, da ne bi negativno vplivali na prezračevanje prizadetega predora.

Največkrat v enotirnih (lahko tudi dvotirnih) predorih lahko pride do situacije, ko v nasprotni smeri vlaka z nezgodo pelje drugi vlak. Ta mora čim prej ustaviti. Ravno tako je potrebna pozornost, da se zaradi nasprotnega vlaka ponesrečeni vlak ne ustavi v izogibališču (v primeru, ko je to predvideno).

### **Možnost iztirjenja**

Ko pride do minimalnih znakov iztirjenja, je naloga vlakovnega osebja, da takoj zaustavijo vlak, ne glede na mesto zaustavitve.

#### **4.3.3.2 Samoreševanje**

Ko pride do izrednega dogodka in se vlak ustavi, saj nadaljevanje vožnje ni mogoče, hkrati pa je življenje ljudi ogroženo, se v prvem koraku izvede postopek samoreševanja na varno mesto. To se prične in ves čas vodi po navodilih vlakovnega osebja. Potnike se napoti do varnih mest, med katere štejemo portale predora, preko prečnikov povezano sosednjo predorsko cev ali servisno cev ter navpične izhode.

Do takšnih scenarijev prihaja na vlakih, ki sledijo vlaku, na katerem se je sprožil požar. Zato se evakuacija izvrši le, ko obstaja nevarnost širjenja dima v smeri zaustavljenega vlaka ali ko se vlak z vzvratno vožnjo ne more umakniti iz predora.

#### **4.3.3.3 Odkrivanje požara / sistem detekcije**

Požarne detektorje se v dolgih predorih namešča v tehnične prostore z varnostno opremo. V načrtih elektroinstalacij se običajno naknadno določa razvrstitev posameznih detektorjev, način alarmiranja in prikaz odkritega požara.

Za sprožitev ukrepov pri podpori samoreševanja (vklop varnostne razsvetljave, označitev evakuacijskih poti in izhodov) in obratovanja nadtlachnega sistema v izhodih predorskih cevi se uporabljajo tehnični sistemi, ki so spodaj naštet (Varnostni koncept predorov, 2010).

- Sistem avtomatske zaščite vlaka: ta lahko pridobi informacije o lokaciji in smeri vožnje vlaka.
- Radijska oprema vlakov: komunikacijsko sredstvo med strojevodjem, vlakovnim osebjem in kontrolnim centrom.
- Sistem klica v sili v predorih: sredstvo za alarmiranje kontrolnega centra po ustavitvi vlaka s strani vlakovnega osebja ali potnikov.

- Tipke za vklop varnostne razsvetljave: predstavljajo del sistema varnostne razsvetljave in so nameščene v določenih presledkih.
- Kontakti na vratih: vrata zasilnih izhodov v prečnikih in evakuacijskih izhodih so nadzorovana. Ko se vrata odprejo, se vključijo tudi določene prezračevalne naprave.
- Sistem avtomatskega požarnega javljanja v tehničnih prostorih: namenjen je odkrivanju požara na tehnični opremi.
- Sistem ročnega javljanja požara: tipke so nameščene v prečnikih, evakuacijskih izhodih, na območju portalov in na objektih transformacijskih postaj.
- Sistem videonadzora: slika iz predora se prenaša v nadzorni center preko kamer, ki so nameščene v prečnikih, evakuacijskih izhodih, na območju portalov, reševalnih postaj in reševalnih območij.

#### **4.3.3.4 Pomoč reševalnih ekip**

V skladu s TSI v zvezi z varnostjo v predorih (UL L 64, 2007) velja, da je primarna skrb reševalnih ekip varovanje življenj potnikov in šele nato materialnih dobrin. Zato v principu njihovo reševanje poteka v naslednjem vrstnem redu:

- rešujejo ljudi, ki niso sposobni sami priti do varnega mesta,
- huje poškodovanim ljudem nudijo medicinsko pomoč,
- tekom reševanja ljudi gasijo še požar, za zaščito vseh prisotnih v predoru,
- vodijo evakuacijo ljudi z varnih območij v notranjosti predora na odprto in
- osvobajajo ujete osebe, predvsem v hladnih nezgodah.

Pri interveniranju reševalne skupine upoštevajo dejstvo, da je reševanje omejeno na tiste predele predora, ki omogočajo preživetje oseb, t. j. s temperaturami pod 120°C.

#### **4.3.3.5 Dostop za reševalne službe**

##### **Dostop skozi portal**

Reševalnim ekipam je dostop do nesreč v predoru omogočen skozi glavna vhoda v predor (portal) ali skozi ustrezne zasilne izhode. V primeru, ko je predviden dostop intervencijskih vozil po cesti, mora ta biti čim bližje načrtovanemu območju za reševanje. Vožnja je s cestnimi vozili v predoru omogočena le, ko je zgornji ustroj brez tirne grede, z betonsko podlago. Na območju portalov so obvezna portalna območja oziroma reševalne površine, kjer se nahajajo transportni vozički za dostopanje do kraja nesreče ter prevoz ponesrečencev in težkega reševalnega orodja. V primeru intervencijskih ukrepov se

uporabljajo tudi dvopotna vozila, ki pa imajo omejeno hitrost obratovanja 30 km/h. Njihova specifičnost je tudi vzratna smer vožnje do kraja nesreče za hitrejšo zapustitev predora, vendar je zato hitrost vožnje do kraja nesreče še počasnejša.

### **Dostop skozi evakuacijski navpični/poševni izhod**

Stranski evakuacijski izhodi omogočajo reševalnim službam pot do nesreče, krajšo od 500 m, ki jo lahko opravijo peš. Minimalne dimenzije teh poti so 2,25 m široke in 2,25 m visoke.

### **Dostop skozi servisne cevi**

V primerih predorov, ki imajo poleg ene ali dveh glavnih prevoznih cevi še servisno cev, se dostop do kraja nesreče izvaja preko nje. Na vhodu vanjo je zapornica za intervencijska vozila, velikost profila servisne cevi pa znaša 3,6 m x 4,0 m ali površinsko pribl. 20 m<sup>2</sup>. Poleg glavnih dvokrilnih vrat minimalne višine 3,5 m in širine 2 x 1,2 m, ki se odpirajo dvokrilno, je potrebno ob straneh namestiti dodatna vrata minimalne širine 1,0 m in višine 2,2 m. Na območju portalov servisne cevi je priporočljiva namestitev zračne zapore z dvema paroma zaporednih vrat dolžine, ki omogoča dovolj prostora dvema voziloma. S tem se vzdržuje nadtlak v servisni cevi glede na prometno cev. Zadošča že ena sama urejena pešpot ob strani servisne cevi s širino 1 m. Kjer so nameščeni prečniki, so predvidene tudi niše, namenjene parkiranju vozil ali njihovem srečanju. To omogoča obojestranski promet.

#### **4.3.3.6 Reševalna območja in portalna območja**

Reševalna in portalna območja so načrtovana pri vsakem portalu predora in zasilnem izhodu. Dostop do njih je preko cestnih dovozov. Njihova površina mora zadostovati velikosti za neovirano vodenje reševanja v primeru nesreč in obračanje intervencijskih vozil v primerih, ko pot do njih ne omogoča dovoza in izvoza hkrati. Ko terenske razmere ob portalu ne dopuščajo izgradnje reševalnih območij tik ob njih, je njuna medsebojna še dovoljena razdalja 200 m. Reševalna območja služijo kot zbirno mesto za udeležence nesreče in kot izhodiščna točka za intervencijske službe ter nudenje prve pomoči, preden se ponesrečence odpelje v bolnišnice. Nosilnost njihove površine mora prenesti pritisk vsaj 800 kN/m<sup>2</sup>. Dovozi, ki vodijo do njih, so omejeni z zapornicami, ki jih lahko odprejo le gasilci. Območja reševanja naj bodo poravnana z ravnijo gornjega roba tirnic. Če je le mogoče, se med reševalnim območjem in območjem tirnic namesti varovalno ograjo, da ne pride do nenamerne vožnje v nevarno območje tirov.

#### **Osnovna oprema reševalnih in portalnih območij (Varnostni koncept predorov, 2010):**

- oskrba z električnim tokom,
- razsvetljava,
- naprave za komunikacijo (radijska oprema in stebriček za klic v sili),
- oskrba z vodo preko hidrantov,
- video naprave ter
- sistem ozvočenja za pomiritev potnikov in preprečitev panike pred prihodom reševalcev.

#### **Dodatna oprema reševalnih in portalnih območij**

Med dodatno opremo uvrščamo ploščo za pristanek helikopterja. Ta se izvaja v primerih, ko imamo težko dostopne cestne povezave in glede na opremljenost bližnjih bolnišnic. Njihove minimalne dimenzije so 20 m x 20 m (Varnostni koncept predorov, 2010).

#### **4.3.3.7 Predhodni ukrepi za lažje reševanje**

##### **Razpoložljive informacije za potnike**

Potnikom morajo biti na voljo dostopne informacije, ki opisujejo infrastrukturo in opredeljujejo ravnanje v izrednih razmerah.

##### **Usposabljanje vlakovnega osebja**

Za posamezne predore in vlake je potrebna izvedba priročnika za usposabljanje vlakovnega osebja o ravnanju v izrednih razmerah.

##### **Redne vaje**

Najpomembnejše je izvajanje šolanja in vaj v komunikaciji med upravljavcem (nadzorni in kontrolni center) ter reševalnimi službami. Prav tako je potrebno redno izvajanje vaj s službami za ukrepanje v izrednih razmerah, usposabljanje in vaje za ravnanje v izrednih razmerah za vlakovno osebje ter poskusno alarmiranje.

#### **4.3.4 Odvodnjavanje**

Določitve Pravilnika o tehničnih normativih in pogojih za projektiranje in gradnjo železniških predorov (2003) so na področju odvodnjavanja vode, ki se pojavlja v predoru, naslednje:

- v primeru podzemnih vod, je te potrebno pravilno zbrati in odvesti na primerno mesto,

- v tunelu je potrebna izgradnja kanala za odvodnjavanje vode iz tunela, njegove dimenzije pa se določajo v odvisnosti od količine vode in nagiba kanala,
- nagib kanala praviloma ne sme biti manjši od 3‰ oziroma izjemoma 2‰,
- ko so količine vode večje od dimenzij kanala predvidenega za odvodnjavanje, je potrebna izgradnja posebnega sistema za odvodnjavanje,
- v enotirnih predorih se kanali za odvodnjevanje običajno postavljajo na nasprotno stran kanalov z električnimi vodi, v dvotirnih ali večtirnih pa se jih postavlja med tire,
- površinska voda z območja portala ne sme pritekati v kanal,
- nagib izravnalnega betona naj bo 2‰ zaradi pravilnejšega pritekanja vode pod površjem in
- kanali morajo biti nameščeni pod površjem ter pokriti z armiranobetonskimi ploščami.

#### 4.3.5 Prezračevalni sistem

Običajna posledica vžiga na vlaku v času njegove vožnje skozi predor, je požar. Zaradi delujočega sistema prezračevanja ima ogenj dovolj zraka za razširitev. Najprej porablja odvečen zrak v predoru, nato pa se bliža mestu dovoda svežega zraka. Pri tem nastaja dim, temperature v predoru pa se zvišujejo.

Ko poteka normalno obratovanje, v predoru prezračevalne naprave skrbijo samo za odvod odpadne toplote iz tehničnih prostorov. V primeru izrednega dogodka pa se naprave za vzdolžno prezračevanje z ventilatorji preklopijo na polno moč delovanja na način:

- vklop preko daljinskega upravljanja (kontrolni center vklopi prezračevalne naprave takoj, ko prejme alarmni signal o izrednem dogodku),
- vklop preko kontaktov na vratih (prezračevanje – nadtlak se samodejno vklopi ob odprtju vrat zasilnih izhodov) in
- vklop z mesta v prečniku.

Ko pride do požara na vlaku, ki se je ustavil v predoru, je zaradi batnega učinka vozečega vlaka zračni tok v daljšem predoru usmerjen v smeri vožnje vlaka. Vendar je širitev dima vsekakor odvisna od dolžine predora, količine sproščene energije in meteoroloških pogojev. Ob ugodnih robnih pogojih se predvideva, da bo v območju žarišča požara prišlo do stratifikacije dima. S tem, ko se dim oddaljuje od žarišča požara, prihaja do njegovega ohlajanja pod stropom, kar ima za posledico razslojevanje dima. V takšni situaciji bo predor poln dima in vidljivost bo s tem manjša.

V primeru izbruha požara pomenijo evakuacijski izhodi in vzporedna predorska cev ali servisna cev varna mesta. Zato je potrebno preprečiti prehod dima vanje. To se po predpisih izvrši z

prezračevalnimi napravami, ki v evakuacijskih izhodih in prečnikih ustvarijo nadtlak. Ko se vrata v te prostore odprejo, mora biti hitrost zračnega toka v smeri železniškega predora z nesrečo ravno tolikšna, da prepreči vstop dima vanje. Hitrost zraka, ki preprečuje vstop dima v sosednjo cev, je 2 m/s v smeri proti predorski cevi z nesrečo.

Med vzdrževalnimi deli, ki se opravljajo v glavni predorski cevi ali v stranskih ceveh (prečniki, servisna cev, zasilni izhodi), je na teh področjih potrebno delovanje ventilacijskega sistema za zagotovitev dodatnega zračnega kroženja v predoru.

V sklopu načrtovanja predora zahteva sistem prezračevanja poseben projekt za njegovo izvedbo.

#### **4.3.6 Nadzor objekta**

V tem poglavju so opisani različni centri za kontrolo in nadzor železniškega prometa, ki omogočajo brezhibno delovanje železniške mreže.

##### **4.3.6.1 Kontrolni in nadzorni center**

Priporoča se, da sta kontrolni in nadzorni center locirana na istem mestu, saj so se v praksi izkazale naslednje prednosti takšne variante:

- primer izrednega dogodka, ko se vse intervencije in komunikacije izvajajo iz enega centralnega mesta ter
- primer vzdrževalnih del, ko se opravi vse potrebne preklope iz enega centralnega mesta.

Poleg tega je potrebno opravljanje nadzora oskrbe z energijo za potrebe vozne mreže, t. j. centra za oskrbo z energijo. Prav tako je potrebno zagotoviti nadzorni center z daljinskim upravljanjem tehničnih naprav na načrtovanih progah.

##### **4.3.6.2 Nadzor hitrosti**

Sistem avtomatske zaščite vlakov se predvidi preko vzpostavitve interoperabilnega sistema signalnovarnostnih naprav ERTMS, ki prepreči nedovoljeno vožnjo na določenem delu proge in vožnjo s prekoračeno hitrostjo. V primeru odstopanj delovanja se vlak lahko samodejno ustavi ali pa

njegovo krmiljenje prevzame kontrolni center. Preko sistema v kontrolnem centru je mogoča pridobitev informacije o točni lokaciji in smeri vožnje vlaka z nesrečo.

#### **4.3.6.3 Nadzor osnih ležajev**

Detektorji, namenjeni zaznavanju pregretosti osnih ležajev in ploščatih koles ob progi ali oprema za napovedovanje, so na progovnih odsekih s predori nameščeni na strateških lokacijah. Te kontrolne točke zaznavajo odstopanja od običajnih obratovalnih vrednosti vlaka. S tem se še pred vstopom vlaka v predorsko cev odkrije pregretost ležajev in prepreči, da okvarjen vlak ostane pred predorom.

#### **4.3.6.4 Prekinitev vozne mreže in ozemljitev**

Ob nastali nezgodi se iz centra za oskrbo z energijo izvrši prekinitev vozne mreže v posamezni sekciji (velja za predore, daljše od 5 km). Naprave za ozemljitev so nameščene na ločenih mestih, ki morajo biti zadostno razsvetljena in opremljena z napravami za komunikacijo, t. j. s stebričkom za klic v sili.

#### **4.3.7 Vzdrževalna dela**

Lokacije železniških tehničnih naprav so predvidene izven predorov (v tehničnih objektih ob portalih) ali na območjih, ki niso namenjena obratovanju proge, t. j. prečni prehod med predoroma. Ko se v predoru vršijo redna vzdrževalna dela (čiščenje cevi za odvodnjavanje, brušenje tirnic,...) mora biti proga zaprta.

Da bi bile naprave vedno na voljo in v brezhibnem stanju, je potrebno opravljati nadzore:

- železniškega tira na vsake 3 tedne (vizualni nadzor celotne proge opravi progovni čuvaj),
- tehnične opreme neprekinjeno (nadzor nad opremo izvaja kontrolni center),
- predora in odvodnjavanja na vsakih 5 let.

### **4.4 Predor na obravnavani progi Divača-Ljubljana**

V tem poglavju sem najprej primerjala minimalne zahteve elementov za zagotavljanje varnosti v enotirnem dvocevnom predoru in dvotirnem enocevnom predoru, ki so bili opisani v poglavju 4.3 in na podlagi tega izbrala optimalno varianto predora za primer moje diplomske naloge.



#### 4.4.1 Primerjava enotirnega dvocevne predora in dvotirnega enocevne predora

Za železniške predore so se že od samega začetka njihove gradnje uporabljale različne variante izvedbe in oblike predorskih cevi. S temi načini so posledično povezani tudi razni parametri za projektiranje prometnic in ukrepi za zagotavljanje večje varnosti uporabnikov predora. Skozi leta so se zanje oblikovale in predpisale številne direktive in pravilniki. Ti se v splošnem nanašajo na visokozmogljivostne proge z dvema največkrat uporabljenima primeroma, in sicer enotirni dvocevni predor ter dvotirni enocevni predor. Na izbiro med tema dvema variantama vplivajo tako geološko-morfološki pogoji kakor reliefna razgibanost, okoljske naravovarstvene omejitve in zadosten prostor za izvedbo. Ne nazadnje pa morajo inženirji presoditi, kateri predorski potek je najprimernejši na podlagi podanih omejitev za vsak posamezen primer in jih uskladiti s predpisanimi ukrepi, ki so podani v spodnji preglednici z medsebojnimi razlikami.

Preglednica 13: Primerjava predorskih cevi (lasten vir)

	<b>1 - TIRNI, 2 - CEVNI PREDOR</b>	<b>2 - TIRNI, 1 - CEVNI PREDOR</b>
<b>Karakteristike prečnega profila</b>		
Površina prečnega profila A	75 m <sup>2</sup>	140 m <sup>2</sup>
Srednja višina prečnega preseka do središčne osi notranje obloge	8,50 m	10,30 m
Srednja širina prečnega preseka do središčne osi notranje obloge	6,90 m	11,40 m
Debelina predvidene notranje nearmirane obloge	60 cm	65 cm
Hitrost napredovanja izkopa sedimentnih kamnin po metodi NATM	4 m na 1 korak	4 m na 1 korak
Odpiranje čela izkopa	v enem celem preseku po celotni višini prečnega profila	v dveh delih na višini prečnega profila
<b>Ukrepi za zagotavljanje varnosti v predoru</b>		
Oštevilčevanje con vzdolž predora	oznake so na 1 strani predora, kjer poteka evakuacijska pot	oznake so na obeh straneh predora

se nadaljuje ...

... nadaljevanje Preglednice 13

	<b>1 - TIRNI, 2 - CEVNI PREDOR</b>	<b>2 - TIRNI, 1 - CEVNI PREDOR</b>
<b>Ukrepi za zagotavljanje varnosti v predoru</b>		
Zasilni izhodi na odprto	le na eni strani predora, na medsebojni razdalji 1000 m	obvezno na obeh straneh predora, na medsebojni razdalji 1000 m
Dimenzije zasilnih izhodov (višina x širina)	2,25 x 2,25 m	2,25 x 2,25 m
Dimenzije vrat zasilnih izhodov (višina x širina)	2,00 x 1,40 m	2,00 x 1,40 m
Prečni prehodi	na medsebojni razdalji 500 m v primeru sosednje predorske cevi ali vzporedne servisne cevi	X
Dimenzije prečnih prehodov (višina x širina)	2,25 x 2,25 m	X
Dimenzije vrat prečnih prehodov (višina x širina)	2,00 x 1,40 m	X
Evakuacijske poti	gradi se jih na tisti strani predora, kjer so prehodi na varna mesta	
	vsaj na eni strani predora	obvezno na obeh straneh predora
Dimenzije evakuacijske poti (višina x širina)	(min) 2,25 x 0,75 m	(min) 2,25 x 0,75 m
Razsvetljava evakuacijskih poti	le na strani, kjer poteka evakuacijska pot	obvezno na obeh straneh predora
Niše za klic v sili	min na medsebojni razdalji 150 m, vsaj na eni strani predora	min na medsebojni razdalji 150 m, obvezno na obeh straneh predora
Dimenzije niš za klic v sili (širina x dolžina x višini)	(min) 0,8 x 1,6 x 2,0 m	(min) 0,8 x 1,6 x 2,0 m
Oštevilčevanje con vzdolž predora	oznake so na 1 strani predora, kjer poteka evakuacijska pot	oznake so na obeh straneh predora
Zasilni izhodi na odprto	le na eni strani predora, na medsebojni razdalji 1000 m	obvezno na obeh straneh predora, na medsebojni razdalji 1000 m
Dimenzije zasilnih izhodov (višina x širina)	2,25 x 2,25 m	2,25 x 2,25 m
Dimenzije vrat zasilnih izhodov (višini x širina)	2,00 x 1,40 m	2,00 x 1,40 m
Prečni prehodi	na medsebojni razdalji 500 m v primeru sosednje predorske cevi ali vzporedne servisne cevi	X
Dimenzije prečnih prehodov (višina x širina)	2,25 x 2,25 m	X

se nadaljuje ...

... nadaljevanje Preglednice 13

	<b>1 - TIRNI, 2 - CEVNI PREDOR</b>	<b>2 - TIRNI, 1 - CEVNI PREDOR</b>
<b>Ukrepi za zagotavljanje varnosti v predoru</b>		
Prečni prehodi	na medsebojni razdalji 500 m v primeru sosednje predorske cevi ali vzporedne servisne cevi	X
Dimenzije prečnih prehodov (višina x širina)	2,25 x 2,25 m	X
Dimenzije vrat prečnih prehodov (višin x širina)	2,00 x 1,40 m	X
Evakuacijske poti	gradi se jih na tisti strani predora, kjer so prehodi na varna mesta	
	vsaj na eni strani predora	obvezno na obeh straneh predora
Dimenzije evakuacijske poti (višina x širina)	(min) 2,25 x 0,75 m	(min) 2,25 x 0,75 m
Razsvetljava evakuacijskih poti	le na strani, kjer poteka evakuacijska pot	obvezno na obeh straneh predora
Niše za klic v sili	min na medsebojni razdalji 150 m, vsaj na eni strani predora	min na medsebojni razdalji 150 m, obvezno na obeh straneh predora
Dimenzije niš za klic v sili (širina x dolžina x višin)	(min) 0,8 x 1,6 x 2,0 m	(min) 0,8 x 1,6 x 2,0 m
Reševalne postaje	na polovici predora, v primeru sosednje predorske cevi ali vzporedne servisne cevi	X
Dimenzije zasilnega perona na območju reševalne postaje (dolžina x širina)	400,0 x 3,0 m	X
Servisna cev	*vmes dveh glavnih predorskih cevi; *na eni strani predorske cevi v primeru enega 1 -tirnega predora	X
Dimenzije prečnega profila servisne cevi	20 m <sup>2</sup>	X
Portalna območja	na vstopnem in izstopnem portalu	na vstopnem in izstopnem portalu
Dostop reševalne službe	skozi: portal predora, zasilni izhod, servisno cev, sosednjo predorsko cev (prečnik)	skozi: portal predora, zasilni izhod
Hidrantna mreža - postavitve hidrantov	le na eni strani predora, na medsebojni razdalji 150 m	obvezno na obeh straneh predora, na medsebojni razdalji 150 m
Odvodnjavanje - postavitve kanalov	na nasprotni strani kanalov z električnimi vodi	med tiri

#### 4.4.2 Izbira optimalne variante predora

Pri odločanju o uporabi optimalne oblike predorske cevi sem se ozirala na različna dejstva in omejitve, ki so me vodile k zaključni izbiri. Ko sem primerjala nekaj osnovnih stvari, ki spremljajo najpogosteje uporabljeni obliki predorskih cevi z vidika večje zagotovljene varnosti, sem za enotirni dvocevni predor ugotovila naslednje:

- v primeru nezgode, ostaja goreče vozilo (lokomotiva, vagon) ali naprava le v eni predorski cevi, potniki pa se lahko umaknejo v sosednjo cev skozi prečnike ali na odprto skozi zasilne izhode,
- prav tako v primeru nezgode, ostaja goreče vozilo ali naprava le v eni predorski cevi, bližajoče se drugo vozilo pa se lahko umakne v sosednjo cev preko kretniške zveze, še preden pride do ponesrečenega vozila,
- potniki so lahko ujeti le na eni strani požara (razen če ne pride do vžiga v potniškem vagonu),
- z vzdolžnim pretokom zraka se lahko dim premakne stran od prisotnega vlaka v cevi in
- reševalne ekipe imajo več možnih dostopov do kraja nezgode in zato krajši intervencijski čas.

V primeru dvotirnega enocevne predora, sem ugotovila, da je za varnost vlakovnega osebja in potnikov v primeru nezgode veliko težje poskrbeti in zagotoviti čim manjše posledice, saj:

- v primeru nezgode ostaja goreče vozilo (lokomotiva, vagon) ali naprava v isti predorski cevi iz katere se lahko potniki umaknejo na varno mesto le skozi zasilne izhode,
- v primeru, ko promet iz nasprotne smeri še ni bil zaustavljen saj je bil obveščen tik pred nesrečo ter ko je nujna evakuacija tudi tega vlaka in onemogočena vzratna vožnja iz predora lahko pride do panike dodatnih potnikov in s tem do večjega števila ponesrečencev,
- ni očitne poti za usmeritev dima,
- potniki so lahko ujeti na obeh straneh požara (vlak iz nasprotne smeri) in
- reševalne ekipe imajo manj možnih dostopov do kraja nezgode in zato daljši intervencijski čas.

Glede na zgoraj omenjene prednosti enotirnih dvocevnih predorov in očitne pomanjkljivosti dvotirnih enocevne predorov ter ob upoštevanju razlik, predpisanih v tehničnih specifikacijah in pravilnikih, sem se odločila za uporabo enotirnega dvocevne predora s tirnimi zvezami, brez vmesne servisne cevi. To pomeni, da se v vsaki izmed predorskih cevi nahaja le en tir. Predora sta vzporedna in tečeta na medsebojni razdalji 25-30 m. Ta vrednost variira glede na geotehnične pogoje na trasi. V TSI v zvezi z varnostjo v predorih (UL L 64, 2007) je predor kategoriziran kot daljši predor, če je njegova dolžina večja od 1 km in je razdalja med dvema zaporednima predoroma na odprtem večja od 500 m. Torej sta na predvidenem progovnem odseku Divača-Ljubljana postavljena dva daljša predora. Prvi je

dolg 41,75 km, drugi pa je od svojega začetka pa do podzemne potniške postaje Ljubljana dolg 23,93 km. Med seboj sta povezana preko viadukta in vmesnih medtirnih. Za oba predora veljajo enaki elementi za izpolnjevanje varnostnih ukrepov in izbran karakterističen prečni prerez, prikazan v Prilogi G.

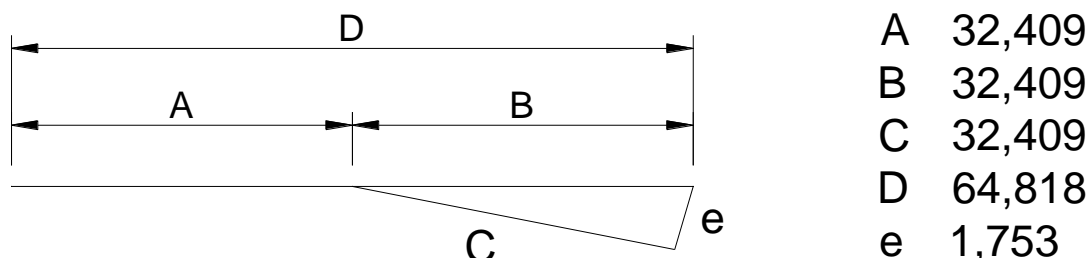
### Oštevilčevanje con

Celotna dolžina predorov je razdeljena na cone, ki so med seboj oddaljene 12,5 m. Meje med njimi so po predpisih označene le na eni strani predora, kjer poteka evakuacijska pot. Oštevilčene so v zaporedju naraščanja stacionaže, na višini 1,5 m nad pohodno površino, s pisavo v velikosti 160 mm.

### Namestitev kretnic

Na progi Divača-Ljubljana sem na odprtem predvidela le en kretniški razcep pri Divači. Te kretnice so nameščene na območju pred spustom trase v prvo predorsko cev in imajo velikost radija  $R = 760$  m, kar pomeni da dopuščajo največjo progovno hitrost 100 km/h.

Za zagotavljanje varnosti progovnega osebja in potnikov, so znotraj predorskih cevi nameščene dvojne tirne zveze s štirimi kretnicami oziroma t. i. kretniške zveze. Njihov namen uporabe je umik vlakov v drugo predorsko cev iz predora, kjer se je zgodila nesreča. Ker je predvidena betonska podlaga zgornjega ustroja, je po tej poti omogočen dostop tudi intervencijskim vozilom za hitrejši dostop do ponesrečencev in kraja nesreče. Območja kretniških zvez so postavljena v premah, približno na 10 km. Kretnice, ki so uporabljene, označujemo z 60 E-1200-1:18,5 L in 60 E-1200-1:18,5 D (Zgonc, 2012). To pomeni, da je radij posamezne kretnice  $R = 1200$  m, ki dopušča hitrosti vlakov do 100 km/h. Ker je med začetkoma dveh kretnic predvidena uporaba odklona tirov v isti smeri in ker imajo kretnice tangencialne ostrice, je vmesna prema opuščena (Pravilnik o zgornjem ustroju železniških prog, 2010). Dimenzije uporabljene kretnice so prikazane na naslednji sliki:



Slika 25: Skica kretnice 60 E-1200-1:18.5 L (lasten vir)

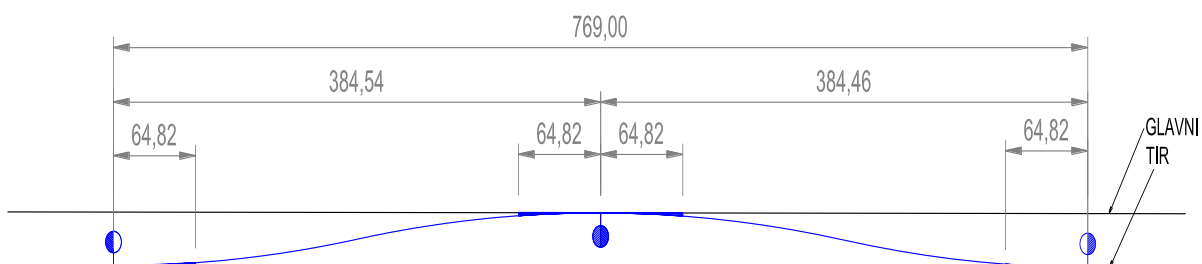
Območja kretniških zvez glede na stacionažo proge znotraj predora so zapisana v naslednji preglednici:

Preglednica 14: Območja kretniških zvez (KZ) znotraj predorskih cevi (lasten vir)

Zap. št. KZ	Območje KZ	Profil	Stacionaža postavitve KZ
1	* ZKR1 - ZKR4	P51 - P54	36+265,37 - 37+015,37
2	ZKR5 - ZKR8	P94 - P97	47+015,37 - 47+765,37
3	ZKR9 - ZKR12	P126 - P129	55+015,37 - 55+850,37
4	ZKR13 - ZKR16	P186 - P189	70+130,37 - 70+900,37
5	ZKR17 - ZKR20	P229 - P232	80+765,37 - 81+515,37

\*ZKR1 ... začetek kretnice številka 1

Predstavitev postavitve kretniških zvez je prikazana v Prilogi F ter na Prilogah H – L, kjer je prikazanih vseh pet posameznih območij. Skica ene kretniške zveze z dolžino 769 m je podana na naslednji sliki:



Slika 26: Skica posamezne kretniške zveze (lasten vir)

### Zahteve za požarno varnost konstrukcije

Predeli z nizkim nadkritjem, kjer se nahajajo zgradbe in objekti infrastrukture, zahtevajo višjo raven zaščite. Te ukrepe dimenzioniranja predora je za primer diplomske naloge potrebno izpeljati pod območjem RTP Divača in mesta Ljubljana.

Na območju samonosnih kamnin (npr. apnencev) ni potrebna dodatna požarna odpornost obloge predora, medtem ko pa je na območju portalov in fluvialnih nanosov potrebno zagotoviti požarno nosilnost konstrukcije REI 90. Za pregradne stene med prečniki in glavno predorsko cevjo ter med evakuacijskimi izhodi in glavno predorsko cevjo se izpolnjuje požarna odpornost EI 90. Enako velja za stene med tehničnimi prostori in evakuacijskimi izhodi ali prečniki. Protipožarna vrata med prečnikom ali evakuacijskim izhodom in glavno cevjo ravno tako izpolnjujejo požarno odpornost E90-C po SIST ENV 1627:2000.

Požarna varnost nameščenih kabelskih kanalov za vse električne inštalacije imajo požarno odpornost E90/FE 180 in so zaščiteni pred mehanskimi poškodbami.

#### Površine za samoreševanje, evakuacijo in reševanje v primeru nezgod

Ker TSI v zvezi z varnostjo v predorih (UL L 64, 2007) ne obravnava določenih področij tveganja (terorizem, nepooblaščen vstop v predor,..) in objektov izven predora, sem tudi koncept varnosti v predoru za diplomski primer aplicirala pretežno za požarno vrsto nezgode, ki se zgodi znotraj predorske cevi. Po vzorcu študije »Študija izvedljivosti nove železniške povezave Trst – Divača – Ljubljana – Budimpešta – ukrajinska meja« iz leta 2011 in ob upoštevanju dokumentov iz poglavja 4.2, sem tudi v obravnavanih predorih predvidela poglavitne ustrezne varnostne naprave za zagotavljanje evakuacije potnikov z vlakov. Med glavne varnostne ukrepe, ki zajemajo infrastrukturo in osnovno opremljenost predorov, sem vključila:

- vodo, ki omogoča reševalnim ekipam boj z ognjem in dimom v tunelih,
- pešpoti, opremljene z oprijemali za zagotovitev hitrega in varnega umika ljudi,
- zasilno tunelsko razsvetljavo, ki zagotavlja zadostno količino svetlobe za pobeg potnikov,
- električne doze za reševalne ekipe, ki so namenjene zanesljivemu in varnemu napajanju električnih naprav,
- sistem, namenjen radijskim komunikacijam znotraj predora za zagotovitev komunikacije med reševalnimi ekipami v notranjosti in površjem,
- telefon v sili oziroma javni obveščevalni sistem, namenjen komunikaciji znotraj predora med vlakovnim osebjem in potniki oziroma nadzornim centrom, prav tako pa je namenjen podajanju potrebnih navodil javnosti (v kolikor je to potrebno),
- delitev vozne mreže na tak način, da omogoča mobilnost vlakov, ki so pred ali za vlakom, ki je vpleten v nesrečo,
- signalizacijo v primeru nesreče, ki je urejena na tak način, da omogoča jasno identifikacijo nesreče in olajša umik ljudi,
- naprave za vzdrževanje normalnega zračnega pritiska ter naprave za zamenjavo zraka za prečnike, opremljene za reševanje z namenom zagotovitve višjega pritiska kot v ostalem delu tunela,
- ustrezne sisteme, ki zagotavljajo nadzorovan dostop ter
- portalna območja, ki se nahajajo na vhodih in izhodih predora, z reševalnimi ploščadmi določenimi za prvo pomoč in razvrščanje ljudi, ki so vpleteni v nesrečo. Ploščad z dimenzijami 25 x 25 m je namenjena tudi pristanku in vzletu helikopterja.

#### Niše za klic v sili

V glavnih predorskih ceveh, prečnih prehodih in na območju tirnih zvez (t. j. kretniško območje) so poleg navadnih stebričkov s telefoni določene tudi niše za klic v sili. Te se nahajajo na medsebojni

razdalji 150 m. Niše, v katerih sta shranjena tudi dva aparata, imajo dimenzije 0,8 x 1,6 x 2,0 m (širina x dolžina x višina).



Slika 27: Niša za klic v sili (Dars d. d., 2013)

#### Navpični zasilni izhodi na površje

Navpični zasilni izhodi na površje so predvideni na medsebojni razdalji 1000 m, kjer terenske razmere to tudi omogočajo glede na višino nadkritja in sicer so dostopni iz območja prečnikov, saj je evakuacijska pot namenjena le na tisti strani predora, ki omogoča prehod v drugo cev. Stranskih zasilnih izhodov torej ni mogoče narediti v tem primeru. Za izbrano progo so območja umestitve navpičnih evakuacijskih jaškov zapisana v spodnji preglednici ter prikazana v Prilogi F:

Preglednica 15: Območje postavitve navpičnih zasilnih izhodov (NZI) iz predorske cevi (lasten vir)

Zap. št. NZI	Profil	Območje NZI na površje	Višina jaška [m]
1	P12	pri Divači	23,6
2	P17	pri Divači	34,5
3	P21	pri Divači	37,3
4	P25	pri Divači	33,2
5	P29	pri Divači	26,6
6	P33	pri Divači	18,9
7	P37	pri Divači	10,2
8	P70	vzhodno od Razdrtega	65,9
9	P74	vzhodno od Razdrtega	86,8
10	P206	pri Horjulu	57,4

se nadaljuje ...

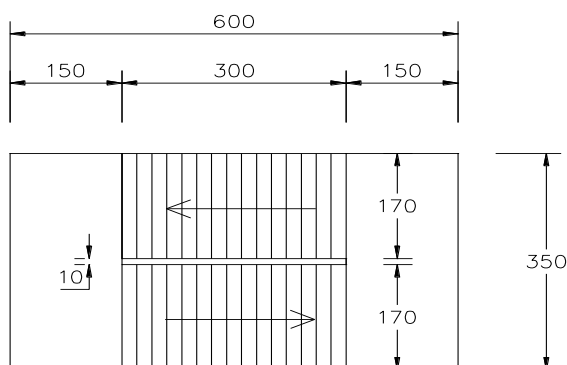


...nadaljevanje Preglednice 15

Zap. št. NZI	Profil	Območje NZI na površje	Višina jaška [m]
11	P243	pri Gabrju	54,0
12	P247	pri Stranski vasi	26,2
13	P251	pri Stranski vasi	17,7
14	P255	zahodno od Ljubljana-Brdo	15,6
15	P259	Rožnika	15,9
16	P263	Rožnika	16,2
17	P267	Rožnika	18,2
18	P271	ob Celovski cesti	20,5
19	P275	ob Tivolski cesti	22,7

Upoštevala sem naslednje dimenzije stopnišča, ki zadoščajo minimalnim zahtevam in so prikazane na spodnji sliki:

- 3,0 m višine;
- 1,7 m širine ene stopniščne rame;
- 1,5 m širine in 3,5 m dolžine obeh podestov.



Slika 28: Skica stopnišča v navpičnem zasilnem izhodu (lasten vir)

Vrata na vstopu in izstopu iz navpičnega zasilnega izhoda so predpisanih dimenzij 1,40 m x 2,00 m (širine x višine) in so glede na zahteve varnosti porinjena nazaj v območje zasilnega izhoda. V območju izhoda iz jaška stopnišča na površje so postavljeni stebrički za klic v sili in senzorji ob odprtju vrat iz notranje strani, s pomočjo katerih se lahko v nadzornem centru identificira pot evakuacije potnikov iz predorske cevi. Jaški dvigal niso predvideni v območju navpičnih zasilnih izhodov, da ne bi prišlo do zaustavitve dvigala s potniki na poti na površje.

Prečni prehodi v sosednjo predorsko cev

Prečne povezave v sosednjo cev so postavljene na medsebojni razdalji 500 m in urejene na tak način, da omogočajo uporabo vzporedne cevi, v kateri se ni zgodila nesreča, kot varno pot za izhod potnikov. Minimalne dimenzije teh prehodov so 2,25 m višine in 2,25 m širine. Dvokrilna avtomatska vrata je iz strani predorske cevi mogoče odpreti kadarkoli, iz strani prečnika pa le, ko je promet zaustavljen. Odprtine vrat imajo dimenzije 1,40 m širine x 2,00 m višine. Vrata so porinjena nazaj, 5 m v območje zasilnega izhoda, tako da nastane med predorom in nivojem vrat manjši prostor.

Evakuacijska pot

Predvidene so po celotni dolžini predora na strani, kjer so prehodi v drugo predorsko cev. Glede na zahtevane predpise je površina pešpoti ravna in hrapava, višina nad potjo je 2,25 m ter širina 0,75 m. Od gornje višine nenadvišanega tira je dvignjena 28 cm. Oprijemala so pritrjena na steno predora vzdolž evakuacijske poti, na višini 1,0 m. Označbe evakuacijskih poti so predvidene na stranskih stenah, na medsebojni oddaljenosti 25 m in prikazujejo smer reševanja ter oddaljenost varnega mesta.

Reševalna postaja

V daljših predorih, ki se gradijo v današnjem času, se kot dodatni ukrep vse pogosteje uporablja reševalne postaje. Te namreč predstavljajo dodatno varno mesto, s tem ko omogočajo hitrejšo in varnejšo evakuacijo potnikov v času požara. V praksi se je že izkazalo, da je njihova postavitve potrebna vsaj na sredini predora, po potrebi pa se jih gradi tudi na omočjih, kjer je evakuacija potnikov na površje onemogočena zaradi neugodnih terenskih razmer (previsoko nadkritje). Tako je v primeru izbranih predorov neizvedljiva postavitve navpičnih zasilnih izhodov, kjer so za pot evakuacije nameščene reševalne postaje. Te so zapisane v spodnji preglednici in prikazane v Prilogi F.

Preglednica 16: Območje reševalne postaje (RP) znotraj predorskih cevi (lasten vir)

Zap. št. RP	Profil	Kota nivelete	Kota terena
1	P42 - P46	419,723	621,610
2	P60 - P64	439,533	597,801
3	P82 - P86	465,600	836,106
4	P105 - P109	437,901	758,572
5	P115 - P119	416,301	713,526
6	P137 - P141	378,501	509,945
7	P149 - P153	356,901	484,994
8	P161 - P165	335,301	592,909
9	P195 - P199	320,775	473,911

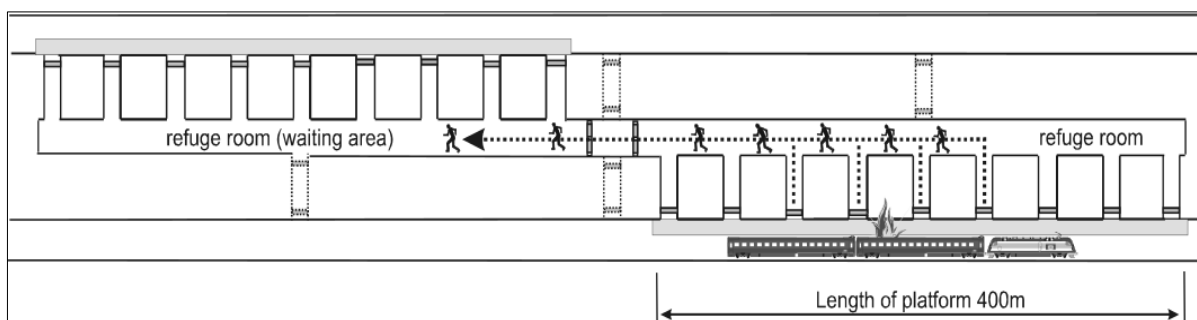
se nadaljuje ...

... nadaljevanje Preglednice 16

Zap. Št. RP	Profil	Kota nivelete	Kota terena
10	P216 – P220	347,025	496,872
11	P235 – P239	330,431	435,164

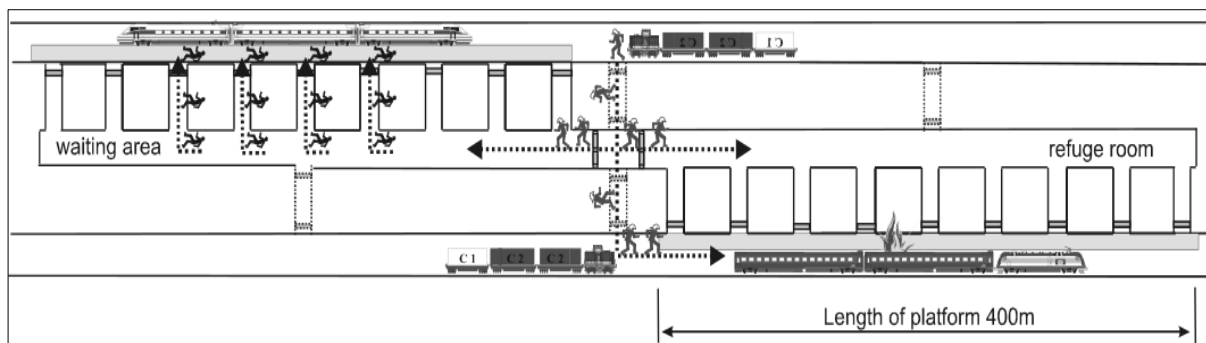
Predvidene reševalne postaje sestavljata platoja zasilnega perona, na katerega izstopajo potniki in zatočiščni prostor. Perona sta nameščena na tisti strani predora, ki omogoča prehod v drugo cev. Vsak meri v dolžino 400 m. Pešpot je na tem območju razširjena in dvignjena do 55 cm nad gornjim robom tirnic.

Na območju reševalne postaje je postavljen t. i. zatočiščni prostor (ang. Refuge room), ki je s peronom povezan preko krajših prečnikov na medsebojni razdalji 50 m. Skupna dolžina enakomerne razporeditve prečnikov ustreza celotni dolžini zatočiščnega prostora, ki znaša 1000 m. Zapornica (tesnilna vrata) deli sobo na dva enako velika dela. Zasilni izhodi so med peronom in prečnikom razdeljeni z vrati širine 2,0 m.



Slika 29: Shematski prikaz reševalne postaje (Koraln Tunnel, 2013)

Potniki, ki se zatečejo v reševalno postajo, se lahko sami rešijo na prosto ali počakajo na prihod reševalnih služb, saj so popolnoma izolirani od dogajanja zaradi nezgode. Tako naslednja slika prikazuje reševalno akcijo, kjer sta do reševalne postaje prišla tako evakuacijski vlak, ki odpelje potnike skozi drugo predorsko cev, kakor reševalni voziček z intervencijsko ekipo.



Slika 30: Reševalna postaja med evakuacijo potnikov (Koraln Tunnel, 2013)

Delovanje zračnega sistema je predvideno tako, da ustvarja zračni tlak na območju zasilnih evakuacijskih vrat za preprečitev vstopa dima v zatočiščni prostor. Takšen način tudi omogoča nadzorovano delovanje prezračevalnega sistema v drugem delu zatočiščnega prostora, t. j. v prostoru, namenjenemu za čakanje evakuacijskega vlaka (ang. Waiting area).

#### Odvodnjavanje

Za izpeljavo odvodnjevalnega sistema sem upoštevala določitev pravilnikov, ki zahtevajo, da je potrebno prisotne podzemne vode pravilno zbrati in odvesti na primernejše mesto. Za odvodnjo zaledne vode sta pod litoželeznim pokrovom v jašku na koti 1,16 m na obeh straneh talnega oboka predvideni drenažni cevi premera 25 cm. Od tod voda odteka po cevi enakega premera v naklonu 2% proti centralni cevi premera 40 cm, ki se nahaja na sredini med tirnicama na koti -1,7 m. Nagib cevi sledi vzdolžnemu nagibu proge in je zato vedno večji od 4%. Odpadna voda iz območja tirov znotraj predora se odvaja po centralni drenažni cevi, ki je nameščena v jašku na nasprotni strani jaška z električnimi vodi. Njena odvodnja poteka vse do portalov, od koder je speljana na prosto preko lovilca olj in primernih kinet. Med odpadno vodo se šteje:

- meteorno vodo, ki pride v predor z vlaki,
- umazano vodo, ki nastane pri čiščenju in vzdrževanju predora,
- vodo za gašenje, uporabljeno pri nezgodah in
- tekočine, ki iztečejo ob nesrečah (predvsem pri tovornih vlakih).

Kot ukrepe za nenadne eksplozije se uporabi tesne litoželezne pokrove jaškov, ki vzdržijo nastale obremenitve izgorovanja v drenažnem sistemu.

Predvidela sem tudi zbiralnike na reševalnih območjih, ob robu ali zunaj portalov. Delovali bodo tako, da bo pri normalnem obratovanju voda iz predora neprekinjeno odtekala, v primeru nezgod pa se bodo razlite količine zadržale v zbiralnih bazenih. Takrat je namreč predvidena največja poraba vode. Ker

mora predvidena velikost zbiralnikov zadostovati za dve uri gašenja pri črpanju 800 litrov na minuto, je njihova kapaciteta 100 m<sup>3</sup> (»Študija izvedljivosti nove...«, 2008).

Na območju profila P10 je proga na krajši razdalji konkavne oblike. Zato je povsem mogoče pričakovati zastoj podtalne vode v predoru. Za takšno problematično točko bi lahko med drugim izdelala manjši vodni predor, ki bi povezoval to mesto z lokacijo, kamor bi voda lahko po njemu sama odtekala. Vendar sem se za reševanje mojega primera odločila za izvedbo črpališča. Ta bo iz območja drenažne cevi, kjer bo zastajala voda ob večjih količinah padavin, prečrpaval vodo na primernejše območje za odtekanje iz predora. To obdobje se na območju trase pričakuje predvsem v jesenskem in spomladanskem času.

### Oskrba z električno energijo

TSI v zvezi z varnostjo v predorih (UL L 64, 2007) predpisuje, da mora biti sistem distribucije energije v predorih primeren za opremo reševalnih služb in njihovo nemoteno opravljanje reševanja v skladu z načrtom za ravnanje v izrednih razmerah v predoru. Zato bi oskrba z električno energijo za varnostne sisteme in naprave potekala preko treh neodvisnih omrežij (RTP Divača 110/20 kV, RTP Vrhnika 110/20 kV, RTP Ljubljana 110/20 kV). 20 kV kabel se napaja iz obeh strani in poteka vzdolž celotne nove železniške povezave. Zaradi daljših predorov so transformatorji razvrščeni na zunanjih straneh v območju portalov, v notranjosti na območju prečnikov in v transformacijskih postajah na izhodu iz evakuacijskih rovov. Napajanje električne vozne mreže se izvaja iz treh elektronapajalnih naprav (ENP Divača, ENP Logatec, ENP Dolgi most). Vleka vlakov se vrši z enosmernim (DC) sistemom napetosti 3kV.

### Prezračevalni sistem

Gibanje zraka znotraj predora se lahko povzroči na različne načine in sicer na naraven način z vetrom, s premikajočim se vlakom in ventilacijskimi mehanskimi napravami (ventilatorji). Po celotni dolžini predora je predviden sistem vzdolžnega prezračevanja, ki delovanje prilagaja situaciji in dogajanju v predoru. Vendar sistem prezračevanja zahteva posebno študijo in samostojen projekt za izvedbo, zato ni podrobneje opisan v tem diplomskem delu.

Za odvajanje nastale odpadne toplote na predelu tehničnih prostorov prečnikov med glavnima predoroma se namestijo lokalne prezračevalne naprave. Predvidela sem tri ventilatorje, ki ogreti zrak odvajajo iz tehničnih prostorov in ga preko cevovoda transportirajo v železniški predor. V cevovodih so nameščene dodatne zaporne lopute, ki se ob povečanju tlaka v predoru zaprejo, da preprečijo poškodovanje ventilatorjev zaradi prevelikega tlaka (»Študija izvedljivosti nove...«, 2011).

### Nadzor objekta

Na območju predvidene proge Divača-Ljubljana je potrebna izgradnja povsem novega kontrolnega centra za vodenje in nadzorovanje celotnega železniškega sistema. Poleg tega je potrebno tudi opravljanje nadzora oskrbe z energijo za potrebe vozne mreže, t. j. centra za oskrbo z energijo. Prav tako se mora zagotoviti nadzorni center z daljinskim upravljanjem tehničnih naprav na načrtovani progi.

### Ukrepi za lažje reševanje s strani služb za ukrepanje ob nesrečah

*»Načrt zaščite in reševanja ob železniški nesreči na območju Slovenskih železnic d.o.o. izdelava upravljavec infrastrukture. Načrt mora biti usklajen z državnim načrtom. Državni načrt zaščite in reševanja ob železniški nesreči izdelava Uprava Republike Slovenije za zaščito in reševanje v sodelovanju z ministrstvi in drugimi državnimi organi ter ustreznimi strokovnimi organizacijami. Načrt zaščite in reševanja obsega načrt in dodatke ter priloge k načrtu. Z načrtom se opredelijo (Varnostni koncept predorov, 2010):*

- nesreča, za katero je izdelan načrt,*
- obseg načrtovanja,*
- koncept zaščite, reševanja in pomoči ob nesreči, za katero je izdelan načrt,*
- potrebne sile in sredstva ter razpoložljivi viri,*
- organizacija in izvedba opazovanja, obveščanja in alarmiranja,*
- aktiviranje sil in sredstev,*
- upravljanje in vodenje,*
- ukrepi in naloge zaščite, reševanja in pomoči,*
- osebna in vzajemna zaščita ter*
- razlaga pojmov in okrajšav.«*

### Reševalne vaje

*»Pred odprtjem posameznega predora se opravi celovita vaja, ki zajema postopke evakuacije in reševanja, pri kateri sodelujejo vse kategorije osebja, določene v načrtu za zaščito in reševanje (skladno s TSI). V dodatku k načrtu, ki opredeljuje program usposabljanja, urjenja in vaj, se določijo vrste usposabljanja in urjenja izvajalcev nalog iz načrta, vrste in pogostost vaj ter način preverjanja usposobljenosti izvajalcev, vodenja evidence o izvedenih vajah in o usposobljenosti izvajalcev. Vaje za preverjanje načrta zaščite in reševanja ob nesrečah z nevarnimi snovmi se izvedejo najmanj vsaka tri leta (Varnostni koncept predorov, 2010).«*

## 4.5 Izgradnja predorske cevi

V tem poglavju sem zajela metode gradnje predorov, katerih se gradbena stroka danes največkrat poslužuje. Glede na ustreznost metode sem izbrala najprimernejšo za izgradnjo predorov med Divačo in Ljubljano ter podala oceno količine izkopa. Pred sklepom sem predstavila še strukturo prečnega prereza obravnavanega predora.

### 4.5.1 Poznane metode gradnje predorov in opis izbrane metode

Dandanes se za premagovanje reliefa gradi podzemne objekte v raznolikih geotehničnih pogojih. Torej strokovnjaki se srečujejo tako z nizkonosilnimi hribinami kakor z manj zahtevnimi materiali. Sodobna strojna tehnologija za izvrtavanje predorskih cevi omogoča premostitve tudi nekdanj nepremagljivih geotehničnih ovir. Vendar nas v takšnem primeru hitro dohitijo visoki stroški izgradnje. Predpisane smernice, ki jih je potrebno upoštevati, silijo h konstantnim napredkom gradnje in vnaprej določenim časom ter stroškov povezanih s tem. Zato je vselej potreben natančen premislek o izbiri najprimernejše metode gradnje predora.

#### Metode gradnje predorov

Glavne metode gradnje predorov so povzete po »Uredbi o tehničnih normativih in pogojih za projektiranje cestnih predorov v RS« iz leta 2005. Njihova izbira je odvisna od pogojev gradnje, definira pa obliko prečnega prereza predora.

Preglednica 17: Glavne metode gradnje predorov (lasten vir)

Metoda gradnje	Primer uporabe	Oblika prečnega prereza predora
v odprti gradbeni jami (pokriti vkop – cut & cover)	pri nizkem nadkritju in/ali v poseljenem okolju z velikim posegom v prostor in s težavami prisotnih voda	pogosto pravokotna, lahko tudi podkvasta
klasične metode (postopni izkop) – NATM	zaradi prilagodljivosti spremenljivim geotehničnim pogojem zelo široka uporaba	pogosto podkvasta ali krožna, lahko eliptična, v splošnem zelo prilagodljiva
izkop s strojem za vrtanje celotnega profila predora (TBM) – odprt sistem	dolgi predori v relativno homogenih geoloških pogojih	krožna
izkop s strojem za vrtanje celotnega profila predora (TBM) – zaprt sistem	dolgi predori v homogenih geoloških pogojih, mehka tla	krožna

se nadaljuje ...

... nadaljevanje Preglednice 17

<b>Metoda gradnje</b>	<b>Primer uporabe</b>	<b>Oblika prečnega prereza predora</b>
Potopljeni predor	pod vodotoki	pravokotna, krožna

Na izbiro metode vplivajo (Uredba o tehničnih..., 2005):

- geometrijski pogoji (dolžine in prečnega profila predora, višine nadkritja in oblike površja),
- geološke in geotehnične razmere na širšem območju načrtovane gradnje,
- drugi naravni pogoji (npr. predor pod vodotokom),
- načrtovane rabe prostora nad predorom ali že izrabljenega prostora povezanega z občutljivostjo morebitnih objektov na deformacije, ki bi nastale v času gradnje predora,
- rezultati ekonomske presoje gradnje ter
- ocene rizičnosti gradnje in drugih pogojev (občutljivost na miniranje, hrup, ...).

Standardno podpiranje tekom gradnje mora biti določeno za vsako hribinsko kategorijo, ki se jih definira v fazi projektiranja. Predviden podporni sistem pa je določen z:

- debelino obloge iz brizganega cementnega betona (armiran ali nearmiran),
- številom armaturnih mrež,
- debelino in razmaki med jeklenim podporjem,
- nosilnostjo in dolžino hribinskih sider,
- dolžino izkopnih korakov,
- pomožnimi podpornimi elementi in
- razdelitvijo izkopa na posamezne faze in zaporedje del.

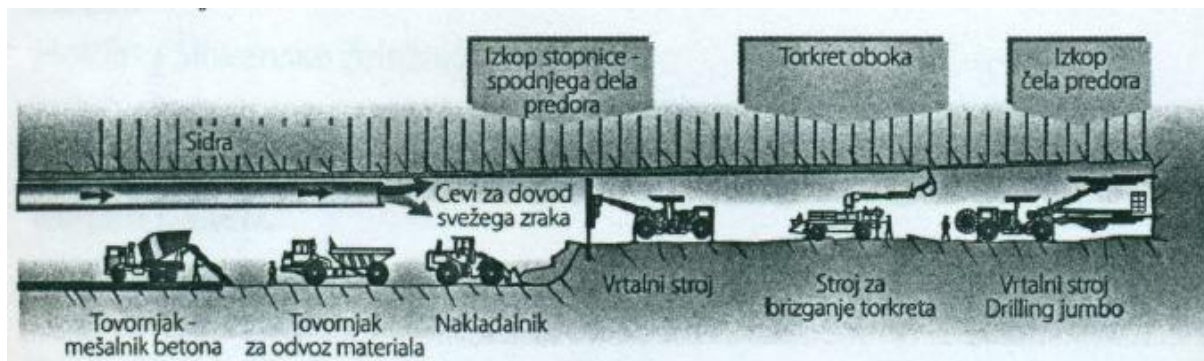
### **Izbrana metoda NATM**

Osrednji cilj te metode je doseganje stabilnega predorskega izkopa s sidranjem hribine, armiranim brizganim betonom in jeklenimi predorskimi loki. Metoda NATM se smatra kot »konvencionalna« metoda, saj se jo že zelo pogosto uporablja, brez kakršnih koli zadržkov. Zasnovana je na cikličnem delovnem procesu izvajanja ponavljajočih korakov izkopa. Za njeno izvajanje se uporablja povsem običajno mehanizacijo, s katero je čelo izkopa vedno dostopno. V situacijah, ko pride do nenadnih sprememb projekta ali strukturne analize, se izkaže za zelo prilagodljivo metodo. Tako se ob spreminjanju nosilnosti tal lahko povečuje ali zmanjšuje korak napredovanja ali pa izvede večfazni izkop profila.

NATM se izkaže za najprimernejšo metodo izkopa predora v primerih, ko imamo različne pogoje v tleh in spreminjajoč profil. Poleg tega omogoča tudi obvladovanje hribinske vode. Ko se z metodo na območju raznolike geološke podlage gradi predor v ločenih fazah, je izkop razdeljen na tri faze



(kalota, polica, talni obok), nato pa se zgradi še končna obloga po dokončanju glavnih podpornih del. Prečni profil vsebuje površino, ki se po potrebi minira skupaj s primarno oblogo in je narejena iz brizganega betona in sider.



Slika 31: Shematski prikaz klasičnega vrtnja (Sorč, 2006)

Odpiranje čela izkopa v enakomernem materialu se lahko vrši v enem delu, torej se cela površina prečnega profila minira v enem koraku. Predorski cevi se za primer diplomskega dela gradita sočasno, ampak z vzdolžnim zamikom 50 – 100 m, kar na koncu privede do zgodnejšega zaključka prvo začete predorske cevi.

Ko se zaključijo izkopna dela predora, se prične z vgradnjo hidroizolacije. Ta se izvaja po conah v velikosti 60 m/dan v vsaki cevi. Nadaljuje se z izvedbo notranje obloge po conah v velikosti 24 m/dan.

### Časovna izvedba predora

Po vzorcu študije »Študija izvedljivosti nove železniške povezave Trst – Divača – Ljubljana – Budimpešta – ukrajinska meja« iz leta 2011 sem čas napredovanja miniranja v enakomernih materialih predvidela v treh korakih na dan, t. j. s hitrostjo 12 m na dan. Aktivnosti, ki si pri gradnji enotirnega predora sledijo, so naslednje:

- pripravljalna dela,
- izkop portalov in vkopov na njihovem območju,
- izkop prve in druge predorske cevi od portala (t. j. 3 miniranja po 4 m oziroma 12 m/dan) – druga se prične z zamikom,
- izolacija obeh predorskih cevi (pribl. 60 m/dan),
- notranja obloga obeh predorskih cevi (pribl. 24 m/dan),
- postavitev drenažnih cevi, tirov in ostale opreme v obe predorski cevi ter
- zaključna dela.

## Portali

Portali predora morajo biti arhitekturno oblikovani skladno z značilnostmi urbane in krajinske podobe prostora, v katerega se postavlja. To bi pomenilo, da se čelne brežine oblaga z armirano zemljino ter izvaja ozelenitve odprtih brežin.

### 4.5.2 Ocena količine izkopa in stroški izgradnje

#### Groba ocena predvidene količine izkopanega materiala

Glede na to, da je predvidena uporaba dveh enotirnih predorov, z medtirno povezavo preko kretniške zveze bi bil izračun za predvideno količino izkopanega materiala naslednji:

- površina prečnega prereza enega predora in predora za medtirno zvezo  $A = 75 \text{ m}^2$ ;
- število predorov na trasi  $2 * i + 2 * j$ ;
- dolžina prvega predora  $i = 41750 \text{ m}$ ;
- dolžina drugega predora  $j = 2393 \text{ m}$ ;
- število kretniških zvez  $5 * k$ ;
- dolžina kretniške zveze  $k = 2 * 385,75 \text{ m} = 771,5 \text{ m}$ ;
- število vseh navpičnih zasilnih izhodov je 19;
- površina prečnega prereza enega navpičnega zasilnega izhoda;  
 $B = d * š = 4,5 * 3,5 = 15,75 \text{ m}^2$ ;
- skupna višina vseh navpičnih zasilnih izhodov  
 $v = 23,6 + 34,5 + 37,3 + 33,2 + 26,6 + 18,9 + 10,2 + 65,9 + 86,8 + 57,4 + 54,0 +$   
 $26,2 + 17,7 + 15,6 + 15,9 + 16,2 + 18,2 + 20,5 + 22,7 = 601,4 \text{ m}$
- izračun volumna izkopanega materiala  
 $V = 75 * 2 * 4175 + 2 * 2393 + 5 * 771,5 + 15,75 * 601,4 =$   
 $= 1274512,5 \text{ m}^3 + 9472,1 \text{ m}^3 =$   
 $= \underline{\underline{1283984,6 \text{ m}^3}}$

#### Strošek izvedbe gradbenih del

Na pretežnem delu odseka je pričakovati kraške pojave. Dodatne stroške in čas gradnje zaradi njihovega premoščanja je težko oceniti, saj so nepredvidljivi. Drži pa, da so čas in stroški, potrebni za

njihovo sanacijo na trasi predorov, veliko večji za gradnjo s TBM kot na klasičen način. Stroške povečujejo tudi prehodi med geološkimi formacijami, predvsem ob naletu na mehkejše in razpokane sloje, ter izvedba portalov. Definitivno je v primeru izvedbe enotirnega predora večji obseg del za dve predorski cevi, ki so posledica večjih obsegov odprtih in zato tudi večje porabe brizganega betona, sider, hidroizolacije ter betona za predorsko oblogo.

#### **4.5.3 Struktura predora – NK, HI, ZK oboka**

Policentričen notranji prerez, ki je primeren tudi za proge z največjo dovoljeno hitrostjo do 250 km/h, ima izkopni profil površine okoli 75 m<sup>2</sup> z velikostjo prometnega območja 43m<sup>2</sup>.

##### **Skelet predora**

Karakteristični prečni prerez v Prilogi G, ki je uporabljen za primer diplomske naloge, predstavlja glavno cev z bočnimi drenažami z betonom v talnem oboku in zaključnem delu zgornjega ustroja. Skelet predorske konstrukcije pa vsebuje naslednje plasti materialov različnih debelin.

##### Notranja (sekundarna) obloga predorske cevi

Predvidena je izvedba notranje obloge z betonom s polipropilenskimi vlakni, ki dokazano doprinesejo k požarni odpornosti betonskega prereza. Načrtovana je 30 cm debela obloga predorske cevi iz cementnega betona, ki se vgrajuje po dokončanju vseh izkopov in zavarovanju s primarno podgradnjo. Načeloma je nearmirana, vendar se jo po potrebi tudi armira na območju ustvarjanja napetosti, na mestih predvidenega pritrjevanja predorske opreme, izpostavljenemu področju podtalnice in mesta na površju. C25/30 je uporabljen trdnostni razred betona. Notranja obloga predorske cevi je namenjena zaščiti hidroizolacije, povečanju varnosti podpornega sistema predora in zagotavljanju estetskega videza notranjosti predora.

##### Hidroizolacija

Hidroizolacija je nameščena zato, da se prepreči dotok vode v predorsko cev in za zaščito notranje obloge pred negativnimi kemijskimi reakcijami. Zato je med notranjo in zunanjo primarno oblogo nameščena vodoneprepustna membrana. Ta je sestavljena iz dveh plasti in sicer iz zunanjega geotekstila in hidroizolacijske folije debeline 2 mm. Pred polaganjem geotekstila je potrebno celotno površino brizganega cementnega betona zgladiti z vsaj 2 cm debelo plastjo finega brizganega betona (agregat frakcije 0-8 mm). S tem se prekrije jeklene dele (sidra,..) in zagotovi gladko površino.

### Zunanja primarna obloga predorske cevi

Njena osnovna naloga je podpiranje predorske cevi. Sestavljajo jo cementni brizgani beton debeline 20-25 cm s trdnostnim razredom C20/25. Vanj so vgrajeni dve plasti armaturne mreže Q189 in jekleni segmenti TH21.

### **Spodnji ustroj proge**

Kakor je razvidno iz Priloge G, si sloji spodnjega ustroja v predoru od betonskih pragov navzdol sledijo:

- nosilna plošča tira,
- podlita plošča (armirani beton),
- armiranobetonska plošča C25/30,
- beton v talnem oboku C25/30 z zgornjim nagibom 2‰ in
- brizgani beton v talnem oboku C25/30.

## **4.6 Sklep – ustreznost izbranega predora z vidika varnosti**

Pri izbiri optimalne oblike predorske cevi sem se odločila za enotirni dvocevni predor. Ta odločitev je pretehtala, ko sem primerjala to varianto z dvotirnim enocevnim predorom, ki pa se je z vidika varnosti izkazala za slabšo varianto.

Za metodo gradnje predora sem se odločila za NATM. Ta metoda izkazuje prednosti pred ostalimi predvsem na območjih, kjer se vrtanje izvršuje v hribinah z različno geološko sestavo in kjer je potrebno premagovanje nepričakovanih kraških pojavov.

## 5 ZAKLJUČEK

Prometna pot med Ljubljano in obalnim zaledjem je imela veliko veljavo že od nekdaj. Zato je bila tudi na odseku Divača-Ljubljana zelo zgodaj vzpostavljena železniška povezava, v kasnejših letih pa še avtocestna povezava. Študije, ki so bile opravljene v zadnjih nekaj letih, kažejo na upad konkurenčnosti železniškega prometa v Sloveniji in posledično tudi na obravnavanem odseku. Med drugim je vzrok za nastalo situacijo dotrajana infrastruktura, ki ni bila deležna večjih vlaganj. Ker trasa med Divačo in Ljubljano predstavlja del Sredozemskega koridorja, ki je del omrežja TEN-T, so potrebna investicijska ukrepanja, saj smo k temu zavezani kot člani Evropske unije. Poleg nadgradnje obstoječega odseka je z uporabo finančnih Evropskih sredstev izvedljiva tudi izgradnja nove proge za visoke hitrosti na tej relaciji.

V diplomski nalogi sem zasnovala hitro progo Divača-Ljubljana. Ker se ta odsek uvršča med predvideno jedrno omrežje TEN-T, sem pri njegovem oblikovanju upoštevala tehnične specifikacije za interoperabilnost posameznih podsistemov, ki so bili izdelani na osnovi Direktive 2008/57/ES Evropskega parlamenta in sveta o interoperabilnosti železniškega sistema v Skupnosti. Proga, ki je dolga 69,8 km, je predvidena le za mednarodni potniški promet, pri katerem vlaki dosega hitrosti do 250 km/h in tovorni promet, kjer lahko vlaki vozijo s hitrostjo do 100 km/h. Za začetno točko nove proge sem upoštevala projekte, ki so bili narejeni v sklopu študije »Študija izvedljivosti nove železniške povezave Trst – Divača – Ljubljana – Budimpešta – ukrajinska meja« leta 2011 za pododsek Trst-Divača. Tako sem pri Divači priključila načrtovano progo in jo brez vmesnih postaj vodila proti Ljubljani, kjer se priključi na predvideno podzemno potniško postajo Ljubljana.

Za izvedbo praktičnega dela diplomske naloge, sem pri umeščanju trase v prostor uporabila računalniški program Ferrovial. Progo sem projektirala v skladu z določili slovenskega standarda SIST EN 13803-1:2010 in TSI za infrastrukturni podsistem (UL L 126, 2011), ki so sprejete v skladu z Direktivo 2008/57/ES. Ta določila zajemajo pogoje in mejne vrednosti elementov trase v narisu in tlorisu, ki so namenjeni za hitrosti do 250 km/h. V okviru preučevanja okoljskih omejitev za načrtovanje trase se je izkazalo, da sem bila pri izbiri optimalne variante uspešna, saj proga ne preči nikakršnega ranljivega območja.

V sklopu načrtovanja proge se je izkazalo, da 94% celotne obravnavane trase poteka v dveh predorih. Zato sem analizi predorov namenila poglavje 4.3, ki temelji na TSI v zvezi z varnostjo v železniških predorih v vseevropskem železniškem sistemu za konvencionalne in visoke hitrosti (UL L 64, 2007). Te specifikacije navajajo številne možne začetne dogodke in scenarije nezgod, katerih posledica je skoraj vedno požar. Ker ta v kombinaciji z dimom predstavlja največjo nevarnost za ljudi ujete v

predoru, so ukrepi v TSI v zvezi z varnostjo v predorih omejeni na zagotavljanje varnosti uporabnikov pri evakuaciji ob takšnem dogodku.

Poleg splošnega varnostnega koncepta, ki mora biti upoštevan v vseh novejših predorih, sem ta določila aplicirala na moj primer. Pri izbiri optimalne oblike predorske cevi sem se odločila za enotirni dvocevni predor, ker se je z vidika varnosti izkazala za boljšo varianto. In sicer v primeru nezgode ostaja goreče vozilo (lokomotiva, vagon) ali naprava v eni predorski cevi, potniki pa se lahko umaknejo v sosednjo cev skozi prečnike ali na odprto skozi zasilne izhode. Poleg tega se lahko z vzdolžnim pretokom zraka dim premakne v določeno smer, stran od stoječega vlaka v cevi. V primeru enotirnega dvocevne predora imajo reševalne ekipe več možnih dostopov do kraja nezgode in zato krajši intervencijski čas. Glede na geološke značilnosti terena, je opisana tudi sestava oboka predora po plasteh in velikost prečnega profila, ki za enotirni predor zadostuje površini 75 m<sup>2</sup>. Poglavje 4.5 zajema tudi uporabljeno tehnologijo gradnje predora za moj primer. Načrtovana proga Divača-Ljubljana je umeščena v območje, kjer se vrtanje izvršuje v hribinah z različno geološko sestavo in kjer je potrebno premagovanje nepričakovanih kraških pojavov. Zato predlagam uporabo metode NATM, ki na takšnih področjih izkazuje prednosti pred ostalimi metodami.

V diplomski nalogi sem prikazala zasnovo za novo progo in za pripadajoča predora predstavila ukrepe za zagotavljanje varnosti v času evakuacije udeleženih potnikov. Pri tem sem kot že rečeno upoštevala Direktivo 2008/57/ES in z njo določeno TSI za infrastrukturni podsistem (UL L 126, 2011) ter TSI v zvezi z varnostjo v železniških predorih (UL L 64, 2011). Če bi nekdanj prišlo do uresničitve zahtev Evropske unije o izgradnji dela omrežja TEN-T, ki poteka tudi čez naše ozemlje, bi bil projekt hitre proge Divača-Ljubljana eden prvih, v sklopu katerega bi bili tehnični specifikaciji na slovenski železniški infrastrukturi uporabljeni.

## VIRI

Analiza sedanjih razmer in razlogov za investicijski projekt. 2010. Visokozmogljivostna proga / hitra proga Divača – Ljubljana. Ljubljana, Prometni inštitut Ljubljana d. o. o..

Atlas Republike Slovenije za okolje. 2013.

<http://www.arso.gov.si/> (Pridobljeno 23. 2. 2013.)

Brilej, M. 1999. 150 let železnice: od Celja do Ljubljane : 1849 – 1999. Litija, Tiskarna Aco: str. 32-33, 64-65.

Chow, J., Lysaght, S., Carol, D., Harrison, J., Zuber, W. 2011. Network: A technical journal by Parsons Brinckerhoff employees and colleagues. Issue no. 73. New York, One Penn Plaza.

<http://www.pbworld.com/news/publications.aspx> (Pridobljeno 23. 11. 2012.)

Evropska komisija. 2010. Posvetovanje o prihodnji politiki vseevropskega prometnega omrežja; Delovni dokument komisije.

<http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2010:0212:FIN:SL:HTML>

(Pridobljeno 6. 5. 2013)

Godec, A., Pirnar, M. 2004. Akcijski program Evropske skupnosti za ožvitev železniškega prometa. V: Vilhar, M. (ur.). Zbornik referatov / 7. Slovenski kongres o cestah in prometu. Portorož, 20. - 22. oktober 2004. Ljubljana, Holding Slovenske železnice, d. o. o.: str. 490-491 in 496.

Godec, A., Jurše, L. 2010. Evropski prometni koridorji preko RS in nova železniška proga Divača-Koper. V: Vilhar, M. (ur.). Zbornik referatov / 10. Slovenski kongres o cestah in prometu. Portorož, 20. - 22. oktober 2010. Maribor, Direkcija RS za vodenje investicij v javno železniško infrastrukturo: str. 373-375.

Hidrografija Podlipske doline. 2013.

[http://gis.arso.gov.si/atlasokolja/profile.aspx?id=Atlas\\_Okolja\\_AXL@Arso](http://gis.arso.gov.si/atlasokolja/profile.aspx?id=Atlas_Okolja_AXL@Arso) (Pridobljeno 23. 2. 2013.)

Humar, G. 2004. Predori: iskanje svetlobe. Šempeter pri Gorici, Založništvo Pontis: 34 str.

IObčina. 2013.

<http://www.iobcina.si/iobcina2/> (Pridobljeno 23. 2. 2013.)

Koralm Tunnel – Development of tunnel system design and safety concept. 2013.

[http://www.ilf.com/fileadmin/user\\_upload/publikationen/39\\_Koralm\\_Tunnel\\_Development\\_of\\_Tunnel\\_System\\_Design\\_and\\_Safety\\_Concept.pdf](http://www.ilf.com/fileadmin/user_upload/publikationen/39_Koralm_Tunnel_Development_of_Tunnel_System_Design_and_Safety_Concept.pdf) (Pridobljeno 28. 1. 2013.)

Krajnc, R., Pipan, I. 2010. Tehnologija javnega potniškega prometa. Ljubljana, Tehniška založba Slovenije: 22 str.

Kraške jame. 2013.

[http://gis.arso.gov.si/atlasokolja/profile.aspx?id=Atlas\\_Okolja\\_AXL@Arso](http://gis.arso.gov.si/atlasokolja/profile.aspx?id=Atlas_Okolja_AXL@Arso) (Pridobljeno 23. 2. 2013.)

Letno poročilo 2011 – Slovenske Železnice. 2011.

[http://www.slo-zeleznice.si/uploads/pictures/gallery/file/LP11\\_A4\\_net.pdf](http://www.slo-zeleznice.si/uploads/pictures/gallery/file/LP11_A4_net.pdf) (Pridobljeno 4. 1. 2013.)

Niša za klic v sili. 2013. Dars d. d..

<http://www.dars.si> (Pridobljeno 2. 4. 2013.)

Območje Natura 2000. 2013.

[http://gis.arso.gov.si/atlasokolja/profile.aspx?id=Atlas\\_Okolja\\_AXL@Arso](http://gis.arso.gov.si/atlasokolja/profile.aspx?id=Atlas_Okolja_AXL@Arso) (Pridobljeno 23. 2. 2013.)

OECD Studies in Risk Management - Norway Tunnel safety. 2006.

<http://www.oecd.org/norway/36100776.pdf> (Pridobljeno 15. 3. 2013.)

Perko, D. 2001. Analiza površja Slovenije s stometriskim digitalnim modelom reliefa. Ljubljana, Založba ZRC: str. 55-67.

Potniški center Ljubljana. 2013.

<http://www.trigranit.hu/index.php?p=project&id=35> (Pridobljeno 10. 1. 2013.)

Predori. 2013.

<http://sl.wikipedia.org/wiki/Predor> (Pridobljeno 15. 3. 2013.)

Program omrežja – Slovenske Železnice, 2011.

[http://www.slo-zeleznice.si/uploads/sz/program\\_omrezja\\_2013/PO\\_2013\\_0.pdf](http://www.slo-zeleznice.si/uploads/sz/program_omrezja_2013/PO_2013_0.pdf) (Pridobljeno 20. 1. 2013.)

Promet v Sloveniji. 2013.

<http://egradiva.gis.si> (Pridobljeno 17. 1. 2013.)



Raba tal na območju Divače. 2013.

<http://www.geoprostor.net/piso/ewmap.asp?obcina=DIVACA> (Pridobljeno 23. 2. 2013.)

Sorč, E. 2006. Skrivnosti Bohinjskega predora. Ljubljana, Holding SŽ: 105 str.

Sredozemski in Baltsko-Jadranski koridor TEN-T omrežja. 2013.

<http://www.primorske.si/Primorska/Istra/Koper-ni-del--prometnega-koridorja-Baltik-Jadran.aspx>  
(Pridobljeno 26. 4. 2013.)

Statistični urad Republike Slovenije. 2013.

<http://pxweb.stat.si/pxweb/Database/Ekonomsko/Ekonomsko.asp#22> (Pridobljeno 13. 1. 2013.)

Strukturno – tektonska karta Slovenije 1 : 100 000. 2000. Mladinska knjiga tiskarna d. d., Ljubljana.

Študija izvedljivosti nove železniške povezave Trst – Divača – Ljubljana – Budimpešta – ukrajinska meja, Visoka varianta odseka (Trst) – državna meja – Sežana – Divača. 2011. SŽ – Projektivno podjetje Ljubljana, d. d.

TEN-T Executive Agency. 2013.

[http://tentea.ec.europa.eu/en/ten-t\\_projects/ten-t\\_projects\\_by\\_country/slovenia/2008-si-92400-s.htm](http://tentea.ec.europa.eu/en/ten-t_projects/ten-t_projects_by_country/slovenia/2008-si-92400-s.htm)  
(Pridobljeno 14. 1. 2013.)

The World's longest Railway Tunnels. 2012.

<http://www.lotsberg.net/data/rail.html> (Pridobljeno 15. 3. 2012.)

Študija izvedljivosti nove železniške povezave Trst – Divača (CROSS-5), INTERREG III/A; Transportna študija. 2008. Prometni inštitut Ljubljana, d. o. o.

Varnostni koncept predorov. 2010. Samostojni elaborat za odsek Divača-Koper. Dunaj, Gruner GmbH Ingenieure und Planer: loč. pag.

Zemljič, F., Jurkovič, D., Kosec, M. 2011. Predstavitev projekta modernizacije železniške proge Pragersko – Hodoš, železniške povezave po vseh evropskih standardih. Strokovni posvet Slovenija načrtuje moderno železniško infrastrukturo. Maribor, 27.10.2011. Maribor, Fakulteta za gradbeništvo: str. 33-34.

Zgodovina SŽ – Slovenske Železnice. 2012.

<http://www.slo-zeleznice.si/sl/podjetje/onas/zgodovina> (Pridobljeno 18. 12. 2012.)

Zgonc, B. 1996. Železnice I.: projektiranje, gradnja in vzdrževanje prog. Ljubljana, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: str. 63, 149, 155, 204, 209, 215, 219.

Zgonc, B. 2012. Železniška infrastruktura. Portorož, Fakulteta za pomorstvo in promet: str. 5-14, 55-102.

Žerak, L. 2011. Teze za Nacionalni program razvoja javne železniške infrastrukture. V: Hanžič, K. in Cesnik, S. (ur.). Strokovni posvet Slovenija načrtuje moderno železniško infrastrukturo. Maribor, 27.10.2011. Maribor, Fakulteta za gradbeništvo: str. 12-13.

### **Zakoni, pravilniki in direktive**

UL L 64. 2007. Odločba Komisije 2008/163/ES z dne 21. decembra 2007 o tehnični specifikaciji za interoperabilnost v zvezi z varnostjo v železniških predorih v vseevropskem železniškem sistemu za konvencionalne in visoke hitrosti (notificirano pod dokumentarno številko C(2007) 6450) Besedilo velja za EGP).

<http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2008:064:0001:0071:SL:PDF>

(Pridobljeno 17. 10. 2012.)

UL L 126. 2011. Sklep Komisije 2011/275/ES z dne 26. aprila 2011 o tehnični specifikaciji za interoperabilnost v zvezi z infrastrukturnim podsistemom vseevropskega železniškega sistema za konvencionalne hitrosti (notificirano pod dokumentarno številko C(2011) 2741) Besedilo velja za EGP).

<http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2011:126:0053:0120:SL:PDF>

(Pridobljeno 17. 10. 2012.)

UL L 164. 2004. Direktiva Evropskega parlamenta in sveta 2004/50/EC z dne 29. aprila 2004 o spremembi Direktive Sveta 96/48/ES o interoperabilnosti vseevropskega železniškega sistema za visoke hitrosti in Direktive Evropskega parlamenta in Sveta 2001/16/ES o interoperabilnosti vseevropskega železniškega sistema za konvencionalne hitrosti.

<http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2004:164:0114:0163:EN:PDF>

(Pridobljeno 17. 10. 2012.)

UL L 191/1. 2008. Direktiva 2008/57/ES Evropskega parlamenta in sveta z dne 17. junija 2008 o interoperabilnosti železniškega sistema v Skupnosti.

<http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2008:191:0001:0045:SL:PDF>

(Pridobljeno 17. 10. 2012.)

Pravilnik o projektiranju cest. Uradni list RS št. 91/2005, z dne 14.10.2005.

<http://www.uradni-list.si/1/objava.jsp?urlid=200591&stevilka=3896> (Pridobljeno 17. 10. 2012.)

Pravilnik o tehničkim i drugim uslovima za projektovanje i gradenje železničkih pruga postrojenja, uređaja i objekata na magistralnim prugama. Službeni glasnik RS, br. 056/2011, od 29.7.2011.

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

<http://www.uradni-list.si/1/objava.jsp?urlid=201092&stevilka=4867> (Pridobljeno 17. 10. 2012.)

Pravilnik o pogojih za projektiranje, gradnjo in vzdrževanje spodnjega ustroja železniških prog. Verzija 0.10L.3. Osnutek z dne 1.6.2003.

Richtlinie 853; Eisenbahntunnel planen, bauen und instand halten, gültig ab 1.6.2002. Vorbereitet: Deutsche Bahn Gruppe.

Slovenski standard SIST EN 13803-1:2010, v veljavi od 1.9.2010. Pripravil: Evropski Tehnični komite CEN/TC 256, sekretariat za »železniške naprave«.

Slovenski standard SIST EN 1992-1-2:2005. Evrokod 2: Projektiranje betonskih konstrukcij – 1-2. del: Splošna pravila – Projektiranje požarnovarnih konstrukcij. Ljubljana, Slovenski inštitut za standardizacijo.

Slovenski standard SIST ENV 1627:2000. Okna, vrata in polkna – Protivlomna odpornost – Zahteve in klasifikacija.

Uredba o kategorizaciji prog. Uradni list RS št. 343-13/2002-1.

<http://www.uradni-list.si/1/objava.jsp?urlid=200222&stevilka=964> (Pridobljeno 17. 10. 2012.)

Uredba o tehničnih normativih in pogojih za projektiranje cestnih predorov v RS. Uradni list RS št. 48/2006 z dne 11.5.2006.

<http://www.uradni-list.si/1/objava.jsp?urlid=200648&stevilka=2084#> (Pridobljeno 17. 10. 2012.)

## **KAZALO PRILOG**

**Priloga A:** Pregledna situacija, merilo 1 : 100 000

**Priloga B:** Situacija proge od km 23+765.37 do km 37+265.37, merilo 1 : 30 000

**Priloga C:** Situacija proge od km 35+265.37 do km 56+265.37, merilo 1 : 30 000

**Priloga D:** Situacija proge od km 54+765.37 do km 75+015.37, merilo 1 : 30 000

**Priloga E:** Situacija proge od km 72+015.73 do km 93+572.73, merilo 1 : 30 000

**Priloga F:** Vzdolžni prerez, merilo 1 : 100 000 / 10 000

**Priloga G:** Karakteristični prečni prerez enotirnega predora, merilo 1 : 75

**Priloga H:** Situacija kretniške zveze ZKR1 – ZKR4, merilo 1 : 20 000

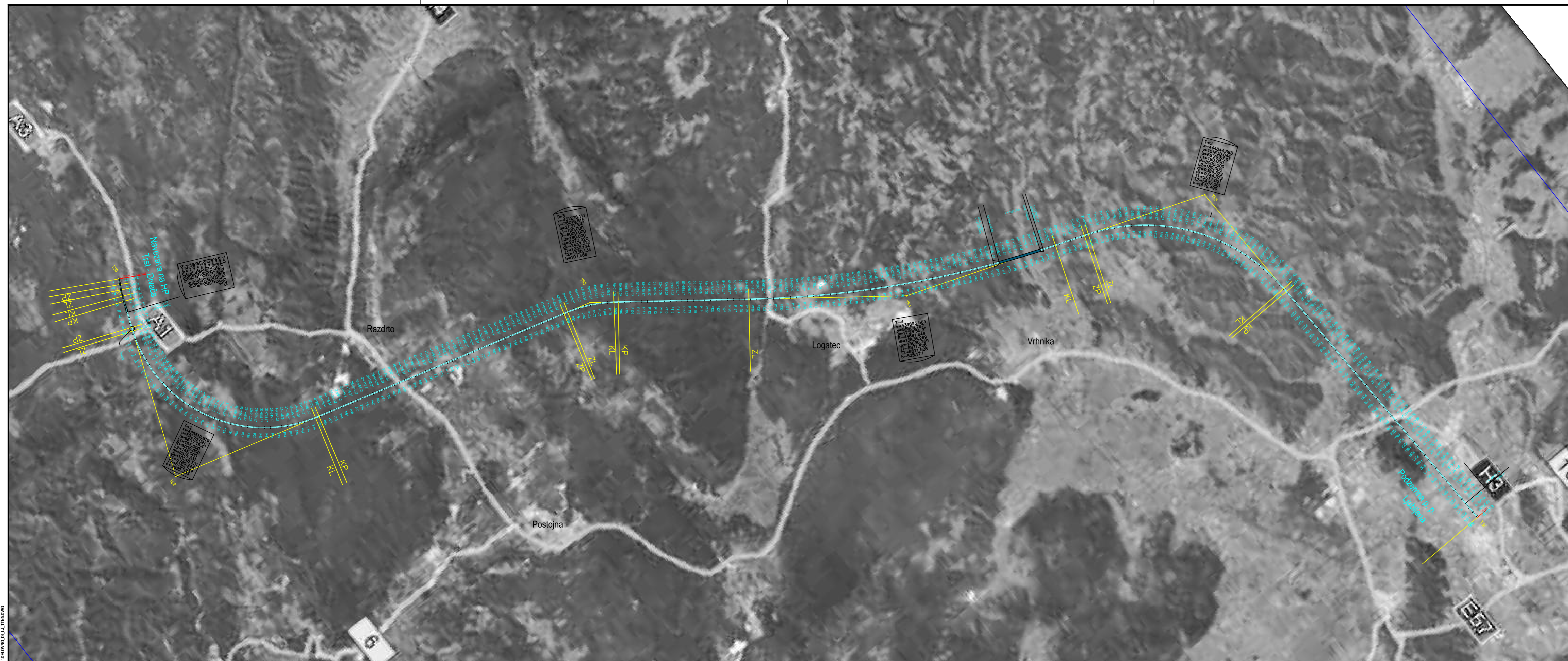
**Priloga I:** Situacija kretniške zveze ZKR5 – ZKR8, merilo 1 : 20 000

**Priloga J:** Situacija kretniške zveze ZKR9 – ZKR12, merilo 1 : 20 000

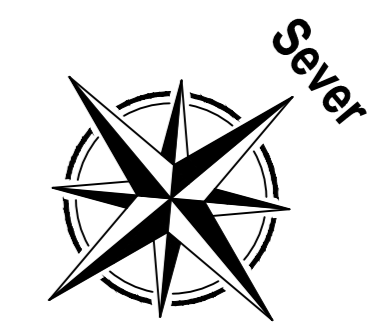
**Priloga K:** Situacija kretniške zveze ZKR13 – ZKR16, merilo 1 : 20 000

**Priloga L:** Situacija kretniške zveze ZKR17 – ZKR20, merilo 1 : 20 000

**Priloga M:** Karakteristični prečni prerez dvotirne proge v nasipu

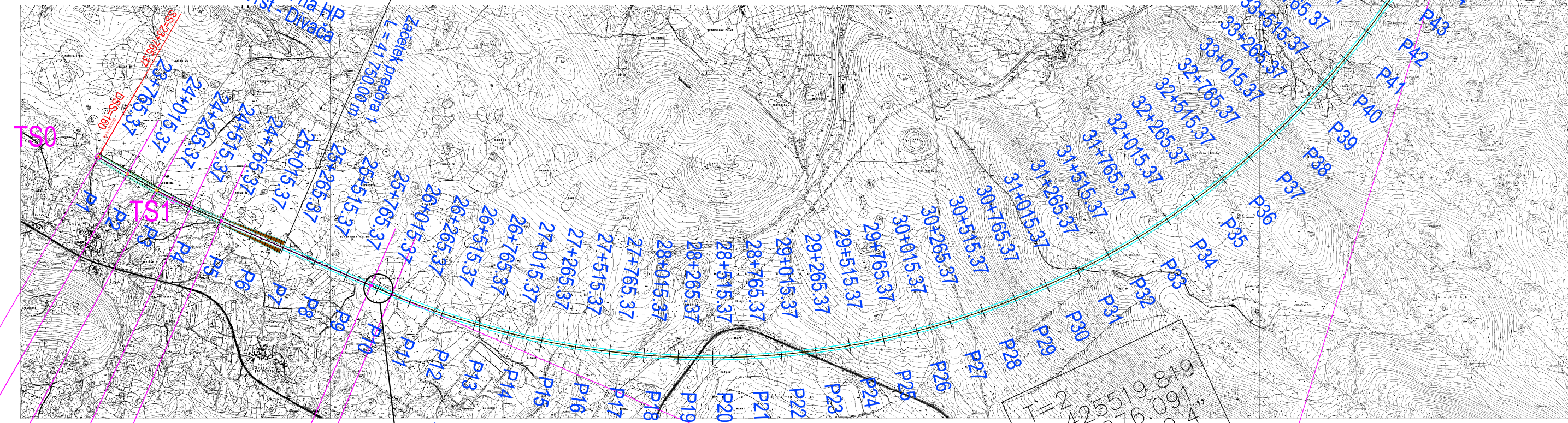


**Pregledna situacija**  
1:100000

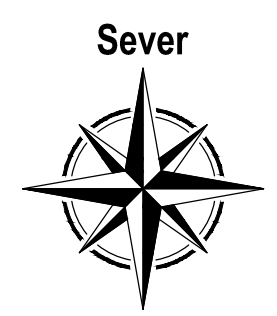


 UNIVERZA V LJUBLJANI FAKULTETA ZA GRADBENIŠTVO IN GEODEZIJO	
STUDIJSKI PROGRAM:	
UNIVERZITETNI PROGRAM GRADBENIŠTVA	
SMER:	
PROMETNA SMER	
DIPLOMSKA NALOGA:	
ZASNOVA HITRE PROGE DIVAČA- LJUBLJANA IN KONCEPT VARNOSTI V PREDORIH	
KANDIDAT:	
NATAŠA LAZAREVIČ	
RISBA:	
PREGLEDNA SITUACIJA	
DATUM:	
MAJ 2013	
MERILO:	PRILOGA:
1:100000	A

$T=1$   
 $x=417858.025$   
 $y=62586.732$   
 $q=6.3730.0$   
 $R_L=240.000$   
 $L_2=4500.000$   
 $d_l=240.000$   
 $dk=280.326$   
 $T_1=760.326$   
 $T_2=380.481$   
 $b=8.065$



Situacija proge od km 23+765.37 do km 37+265.37  
1:30000



$T=2$   
 $x=592.1719.4$   
 $y=96.165.000$   
 $q=165.000$   
 $R=6000.000$   
 $L_2=165.331$   
 $d_l=9918.331$   
 $dk=10248.244$   
 $T_1=6780.244$   
 $T_2=6780.244$   
 $b=2992.333$

KP  
 KL  
 ZP  
 ZL  
 ZR

Navezava na HP  
Trst-Divača

Crpališče

UNIVERZA V LJUBLJANI  
 FAKULTETA ZA GRADBENIŠTVO IN GEODEZIJO

---

STUDIJSKI PROGRAM:  
 UNIVERZITETNI PROGRAM GRADBENIŠTVA

SMER:  
 PROMETNA SMER

---

DIPLOMSKA NALOGA:  
 ZASNOVA HITRE PROGE DIVAČA - LJUBLJANA IN  
 KONCEPT VARNOSTI V PREDORIH

KANDIDAT:  
 NATAŠA LAZAREVIČ

---

RISSA:  
 SITUACIJA PROGE OD KM 23+765.37 DO KM 37+265.37

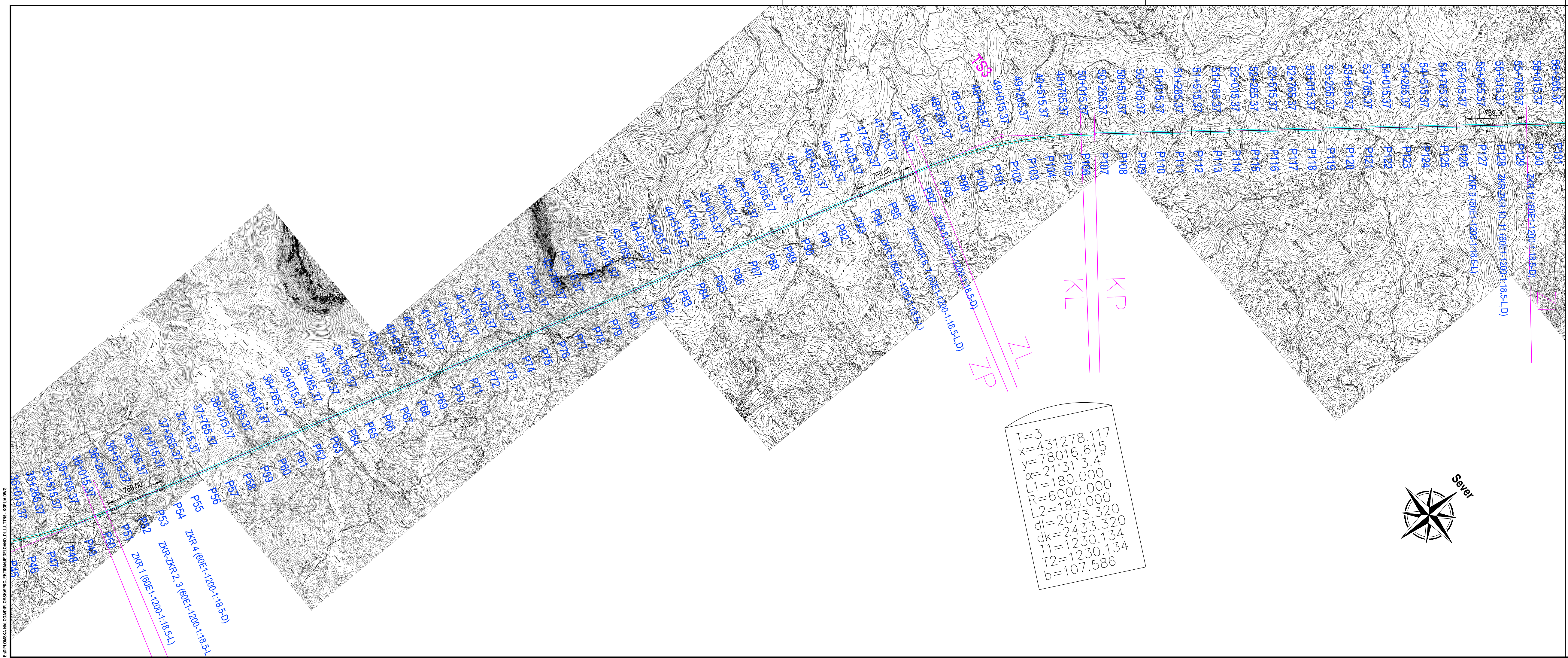
DATUM:  
 MAJ 2013

---

MERILO:  
 1:30000

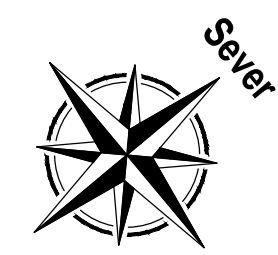
PRILOGA:  
 B

E:\DIPLOMSKA NALOGA\PROJEKTI\PROJEKTIRANJE\DELNO\_DI\_LJ\_T13\_KOPJAW.DWG



Sitacija proge od km 35+265.37 do km 56+265.37  
1:30000

T=3
x=431278.117
y=78016.615
α=21°31'3.4"
L1=180.000
R=6000.000
L2=180.000
dl=2073.320
dk=2433.320
T1=1230.134
T2=1230.134
b=107.586



UNIVERZA V LJUBLJANI  
FAKULTETA ZA GRADBENIŠTVO IN GEODEZIJO

---

STUDIJSKI PROGRAM:  
UNIVERZITETNI PROGRAM GRADBENIŠTVA

SMER:  
PROMETNA SMER

---

DIPLOMSKA NALOGA:  
ZASNOVA HITRE PROGE DIVAČA - LJUBLJANA IN  
KONCEPT VARNOSTI V PREDORIH

KANDIDAT:  
NATAŠA LAZAREVIČ

---

RISBA:  
SITUACIJA PROGE OD KM 35+265.37 DO KM 56+265.37

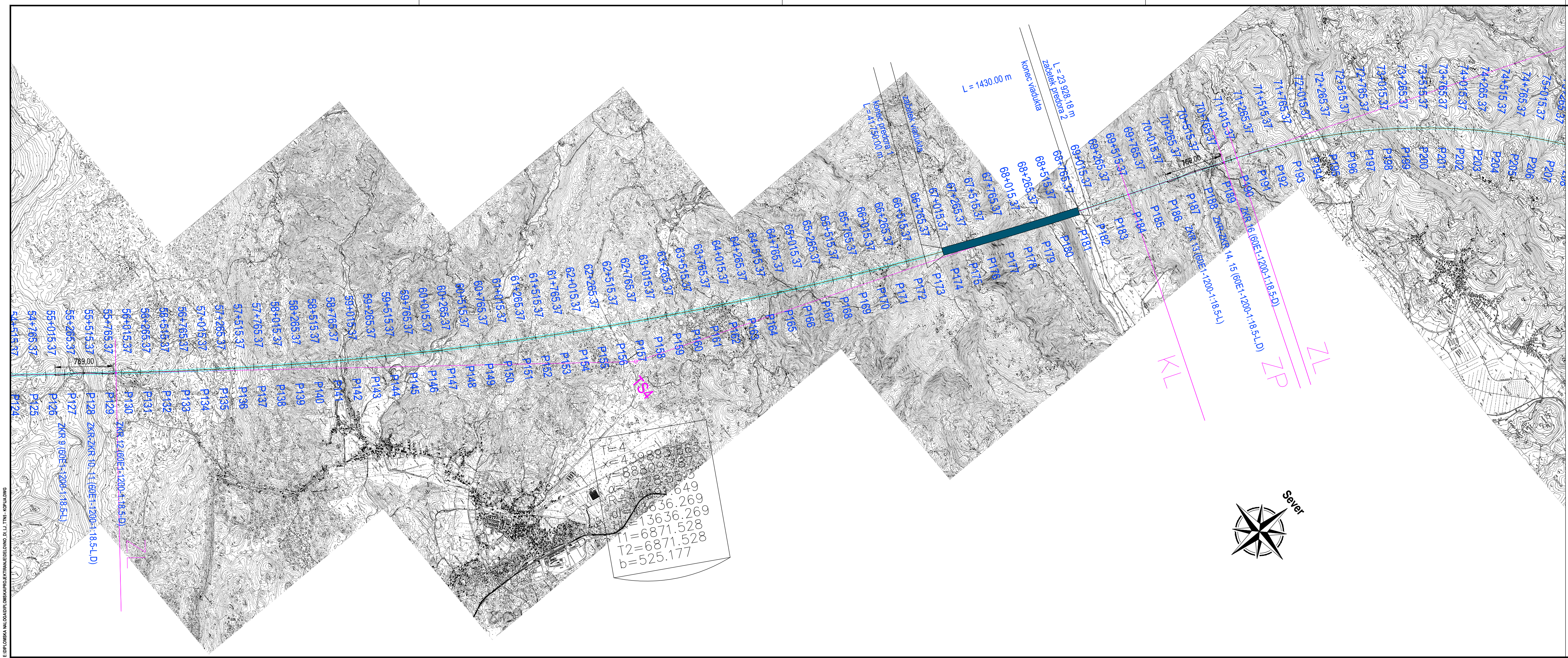
DATUM:  
MAJ 2013

---

MERILO:  
1:30000

FRILOGA:  
C

E: DIPLOMSKA NALOGA HITRE PROJE DIVAČA - LJUBLJANA



Situacija proge od km 54+765.37 do km 75+015.37  
1:30000

UNIVERZA V LJUBLJANI  
FAKULTETA ZA GRADBENIŠTVO IN GEODEZIJO

STUDIJSKI PROGRAM:  
UNIVERZITETNI PROGRAM GRADBENIŠTVA  
SMER:  
PROMETNA SMER

DIPLOMSKA NALOGA:  
ZASNOVA HITRE PROGE DIVAČA - LJUBLJANA IN  
KONCEPT VARNOSTI V PREDORIH  
KANDIDAT:  
NATAŠA LAZAREVIČ

RISBA:  
SITUACIJA PROGE OD KM 54+765.37 DO KM 75+015.37  
DATUM:  
MAJ 2013

MERILO:  
1:30000  
PRILOGA:  
D

E: DIPLOMSKA NALOGA, ONSKIPROJEKTIVANJE, D. J. TINS - KOPARSKA



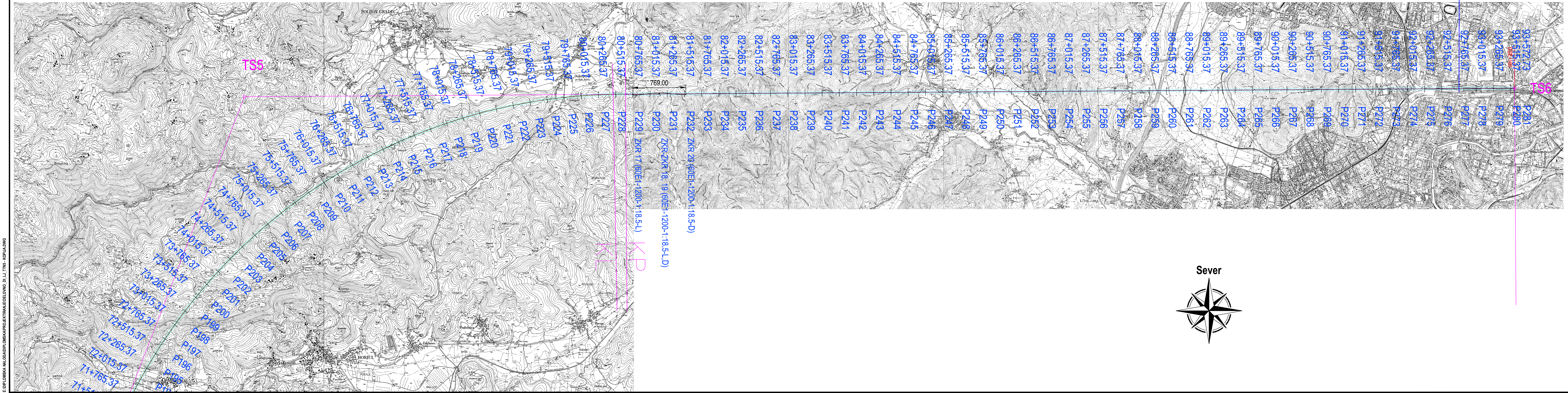
$T=5$   
 $x=444844.583$   
 $y=101630.044$   
 $\alpha=68^{\circ}29'57.9''$   
 $L_1=180.000$   
 $L_2=800.000$   
 $dI=9384.3222$   
 $dK=9744.3222$   
 $dT=5537.061$   
 $T_2=5537.061$   
 $b=1678.490$

# Situacija proge od km 72+015.37 do km 93+572.73

1:30000

navezna  
 L = 23 928,18 m

Podzemna p. p.  
 Ljubljana



UNIVERZA V LJUBLJANI  
 FAKULTETA ZA GRADBENIŠTVO IN GEODEZIJO

---

STUDJSKI PROGRAM:  
 UNIVERZITETNI PROGRAM GRADBENIŠTVA

---

SMER:  
 PROMETNA SMER

---

DIPLOMSKA NALOGA:  
 ZASNOVA HITRE PROGE DIVAČA - LJUBLJANA IN  
 KONCEPT VARNOSTI V PREDORIH

---

KANDIDAT:  
 NATAŠA LAZAREVIČ

---

RISSA:  
 SITUACIJA PROGE OD KM 72+015.37 DO KM 93+572.73

---

DATUM:  
 MAJ 2013

---

MERILO:  
 1:30000

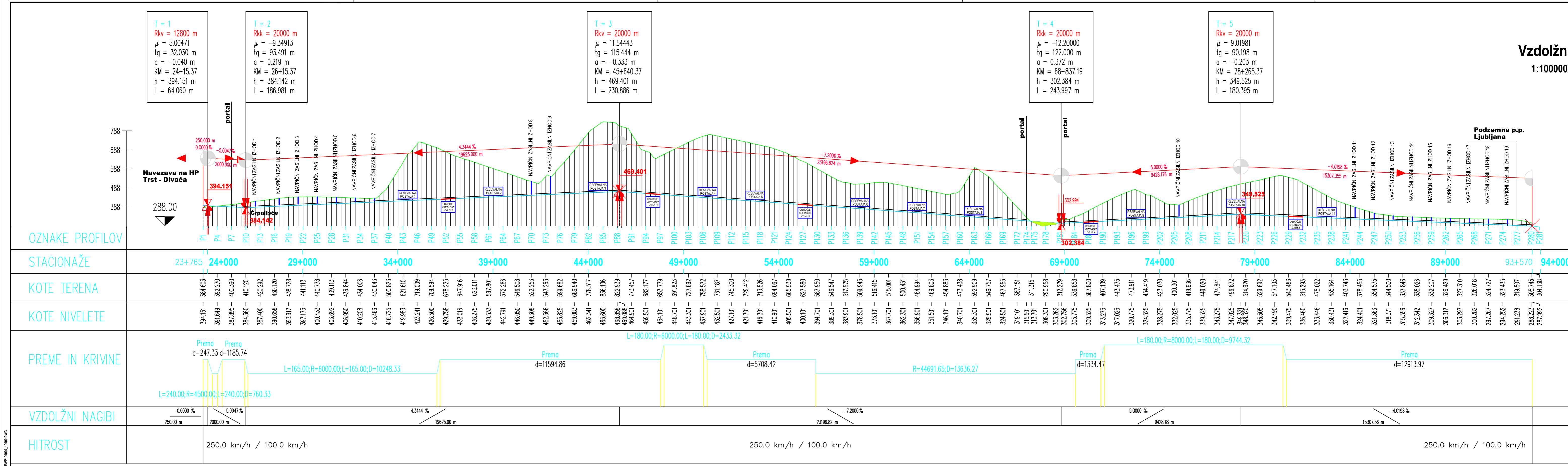
---

FRILOGA:  
 E

E: DIPLOMSKA NALOGA, ONSKIPROJEKTAN, EDELOVNO, DI, LIT, KOPJA DWG

# Vzdolžni profil

1:100000/10000



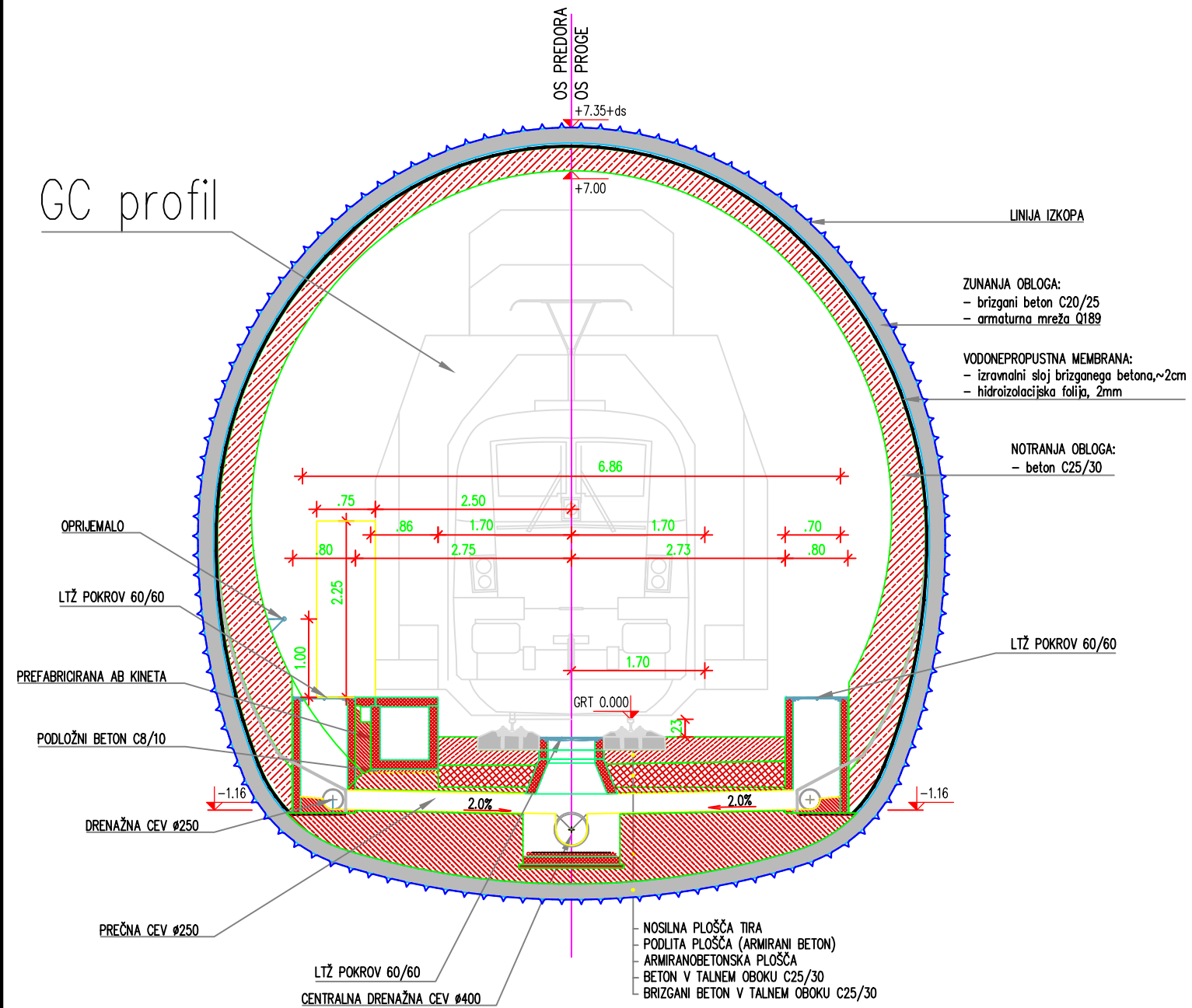
DIPLOMSKA NALOGA/DIPLOMSKI PROJEKT/ANALIZA/OPREMA/10000.DWG

<p>UNIVERZA V LJUBLJANI FAKULTETA ZA GRADBEŠTVO IN GEODEZIJO</p>	<p>DIPLOMSKA NALOGA: ZASNOVA HITRE PROGE DIVAČA - LJUBLJANA IN KONCEPT VARNOSTI V PREDORIH</p>	
	<p>STUDIJSKI PROGRAM: UNIVERZITETNI PROGRAM GRADBEŠTVA</p>	<p>RISBA: VZDOLŽNI PREREZ</p>
	<p>SIMER: PROMETNA SMER</p>	<p>DATUM: MAJ 2013</p>
	<p>KANDIDAT: NATAŠA LAZAREVIČ</p>	<p>MERILO: 1:100000/10000</p> <p style="text-align: right;">PRELOGA: F</p>

# Karakteristični prečni prerez enotirnega predora

Merilo 1:75

## PREČNI PREREZ GLAVNE CEVI Z BOČNIMI DRENAŽAMI BRIZGANI BETON V TALNEM OBOKU



UNIVERZA V LJUBLJANI

FAKULTETA ZA GRADBENIŠTVO IN GEODEZIJO

ŠTUDIJSKI PROGRAM:

UNIVERZITETNI PROGRAM GRADBENIŠTVA

SMER:

PROMETNA SMER

DIPLOMSKA NALOGA:

ZASNOVA HITRE PROGE DIVAČA- LJUBLJANA IN  
KONCEPT VARNOSTI V PREDORIH

KANDIDAT:

NATAŠA LAZAREVIČ

RISBA:

KARAKTERISTIČNI PREČNI PREREZ ENOTIRNEGA  
PREDORA

DATUM:

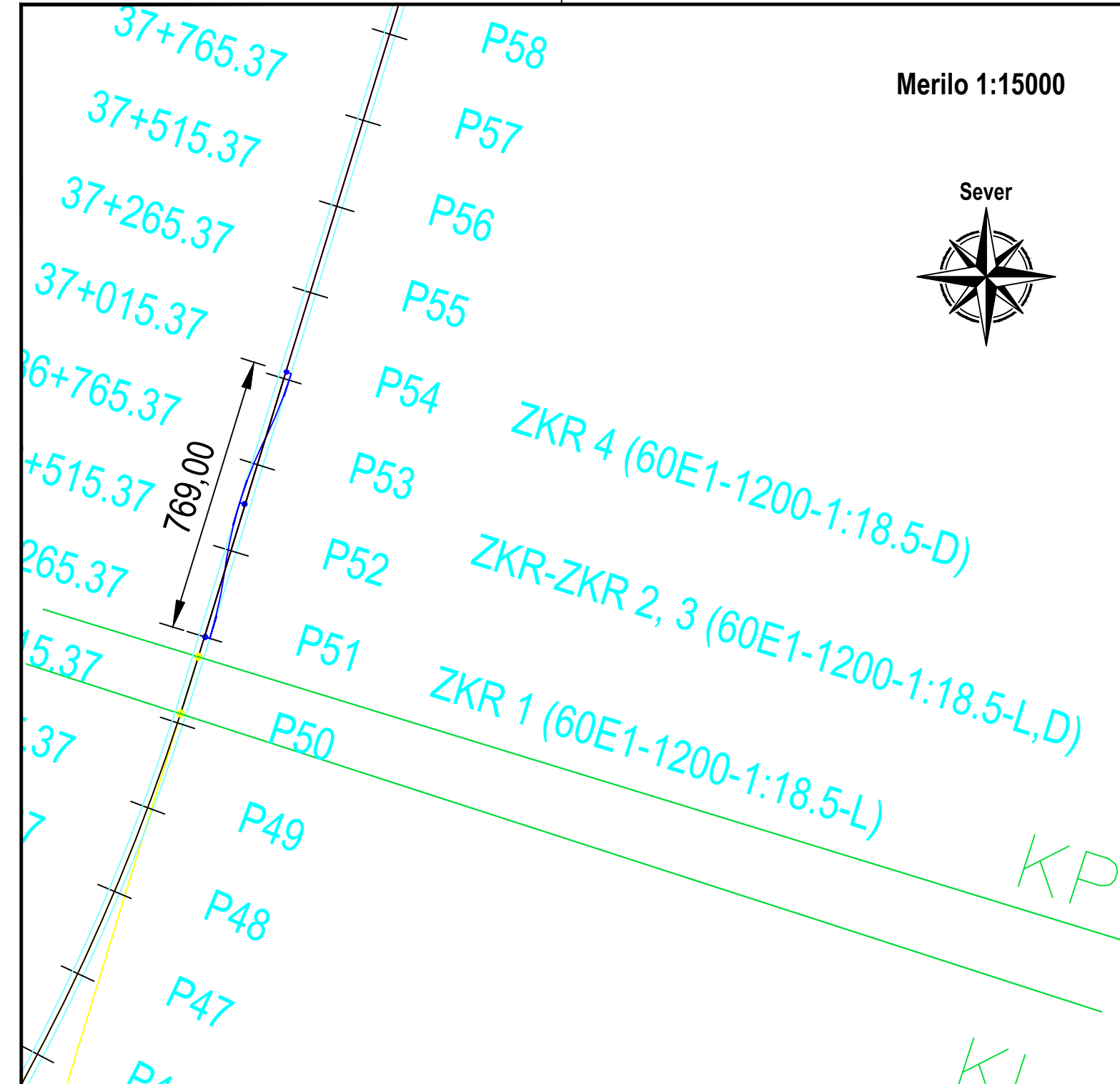
MAJ 2013

MERILO:


1:75

PRILOGA:

G



## Situacija kretniške zveze ZKR1 - ZKR4



UNIVERZA V LJUBLJANI  
 FAKULTETA ZA GRADBENIŠTVO IN GEODEZIJO

---

ŠTUDIJSKI PROGRAM:  
 UNIVERZITETNI PROGRAM GRADBENIŠTVA

SMER:  
 PROMETNA SMER

---

DIPLOMSKA NALOGA:  
 ZASNOVA HITRE PROGE DIVAČA - LJUBLJANA IN  
 KONCEPT VARNOSTI V PREDORIH

KANDIDAT:  
 NATAŠA LAZAREVIČ

---

RISBA:  
 SITUACIJA KRETNISKE ZVEZE ZKR1-ZKR4

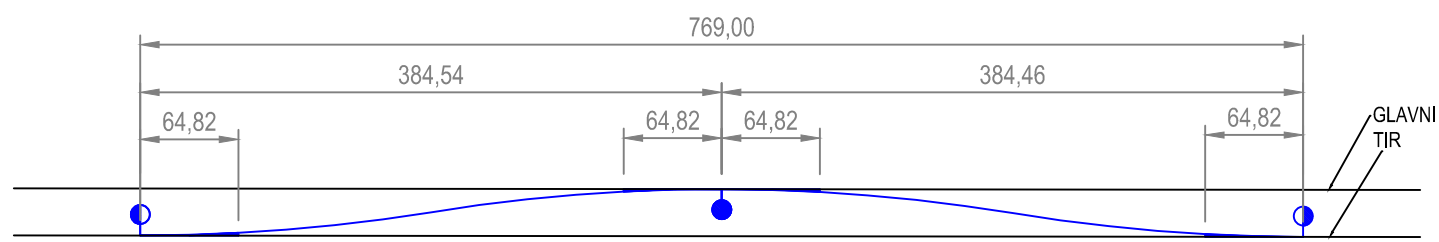
DATUM:  
 MAJ 2013

---

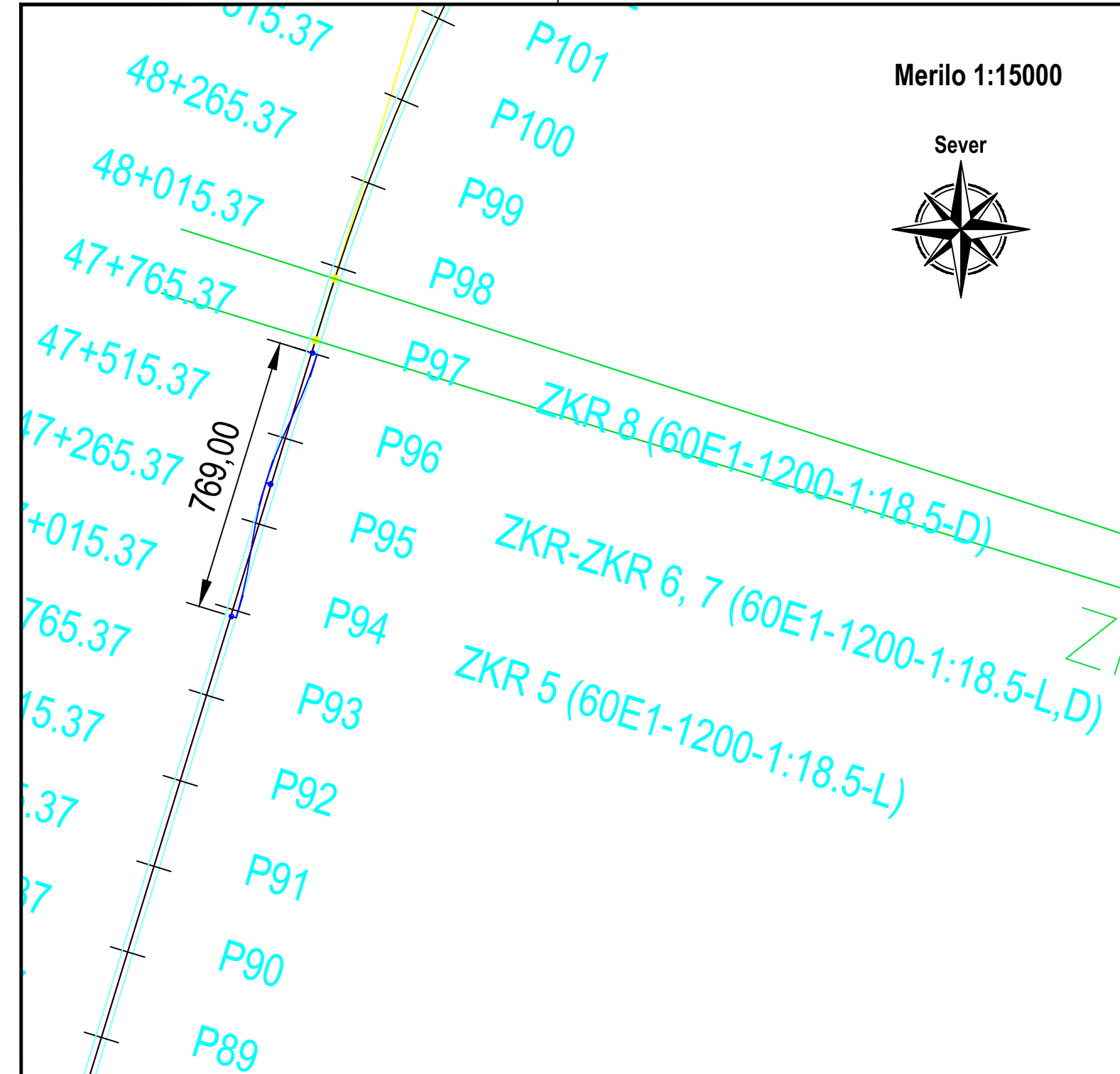
MERILO: 1:15000, 1:5000

PRILOGA: H

**Območje kretniške zveze**  
 Merilo 1:5000

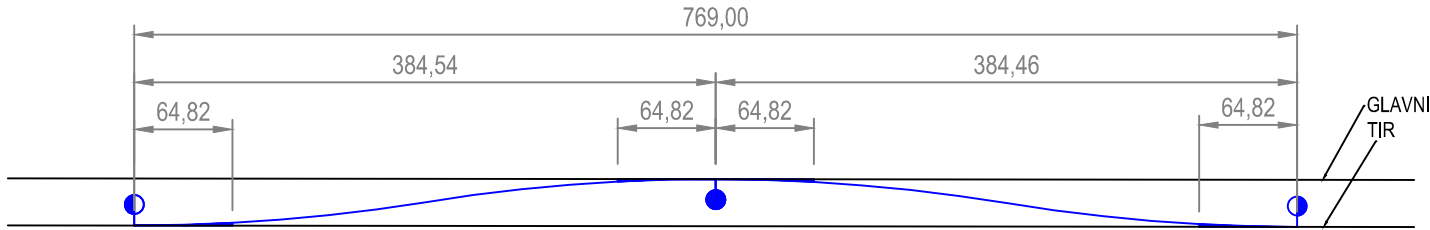


G:\DIPLOMSKA NALOGA\DIPLOMSKA\PROJEKTIRANJE\DELOVNO\_D\1\_L1\_TTN6 - KRETNICE.DWG



# Situacija kretniške zveze ZKR5 - ZKR8

**Območje kretniške zveze**  
Merilo 1:5000



UNIVERZA V LJUBLJANI  
FAKULTETA ZA GRADBENIŠTVO IN GEODEZIJO

ŠTUDIJSKI PROGRAM:  
UNIVERZITETNI PROGRAM GRADBENIŠTVA  
SMER:  
PROMETNA SMER

DIPLOMSKA NALOGA:  
ZASNOVA HITRE PROGE DIVAČA - LJUBLJANA IN  
KONCEPT VARNOSTI V PREDORIH

KANDIDAT:  
NATAŠA LAZAREVIĆ

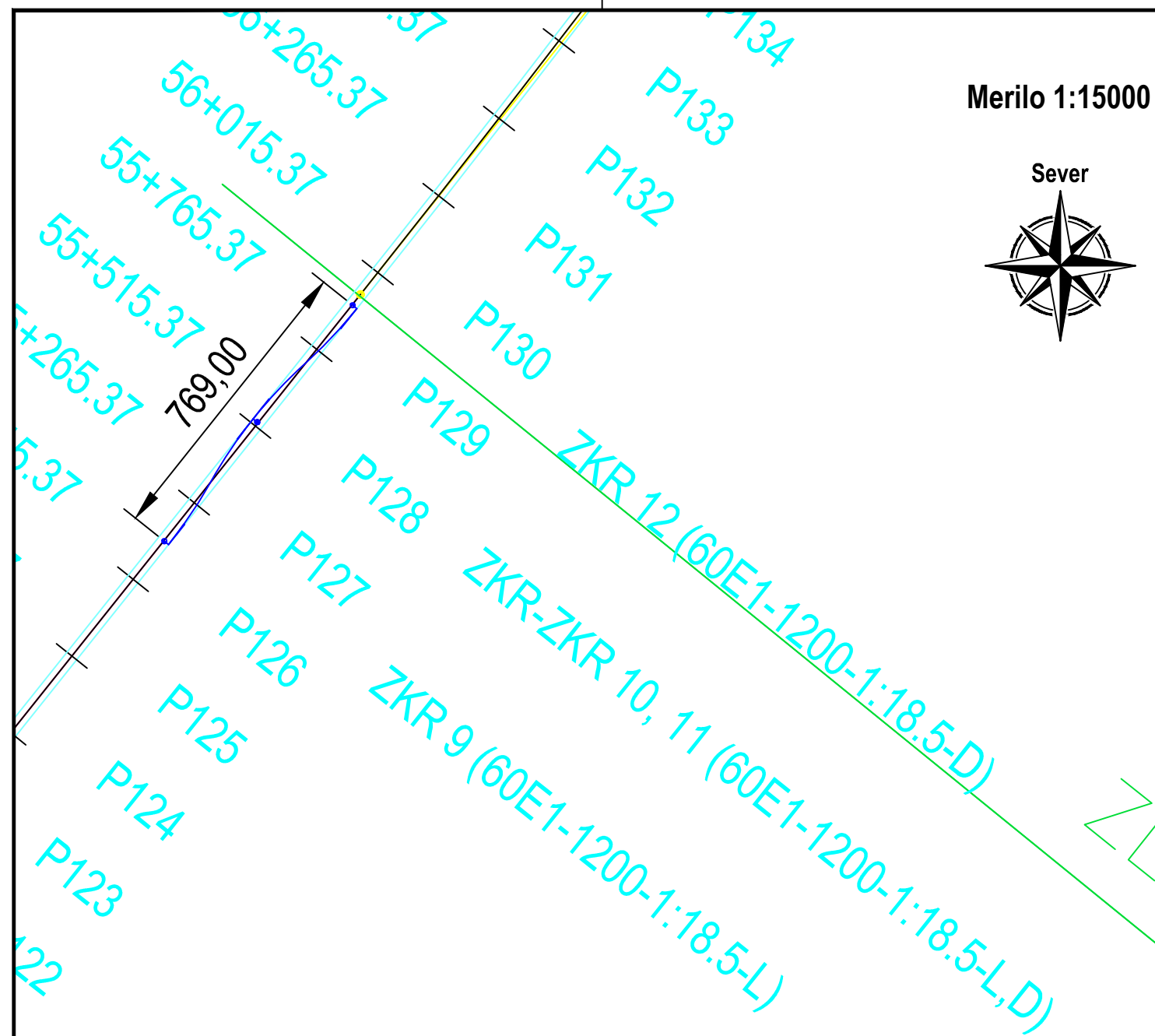
RISBA:  
SITUACIJA KRETNIŠKE ZVEZE ZKR5-ZKR8  
DATUM:  
MAJ 2013

MERILO:  
1:15000, 1:5000

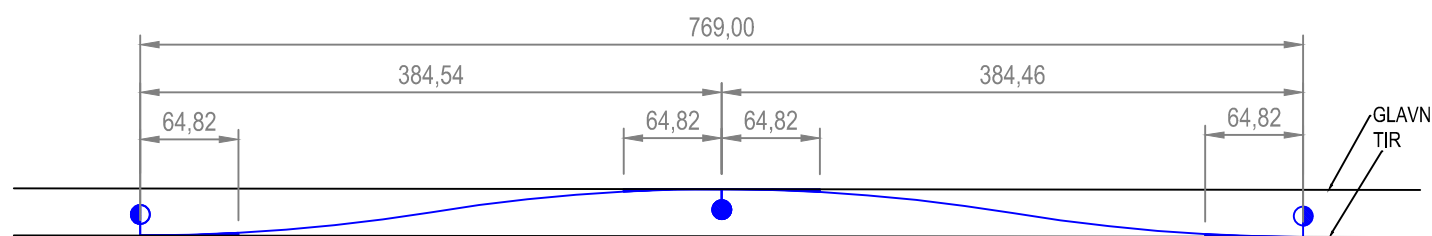
PRILOGA:  
I

# Situacija kretniške zveze ZKR9 - ZKR12

Merilo 1:15000



## Območje kretniške zveze Merilo 1:5000



UNIVERZA V LJUBLJANI

FAKULTETA ZA GRADBENIŠTVO IN GEODEZIJO

ŠTUDIJSKI PROGRAM:

UNIVERZITETNI PROGRAM GRADBENIŠTVA

SMER:

PROMETNA SMER

DIPLOMSKA NALOGA:

ZASNOVA HITRE PROGE DIVAČA - LJUBLJANA IN  
KONCEPT VARNOSTI V PREDORIH

KANDIDAT:

NATAŠA LAZAREVIČ

RISBA:

SITUACIJA KRETNIŠKE ZVEZE ZKR9-ZKR12

DATUM:

MAJ 2013

MERILO:

1:15000, 1:5000

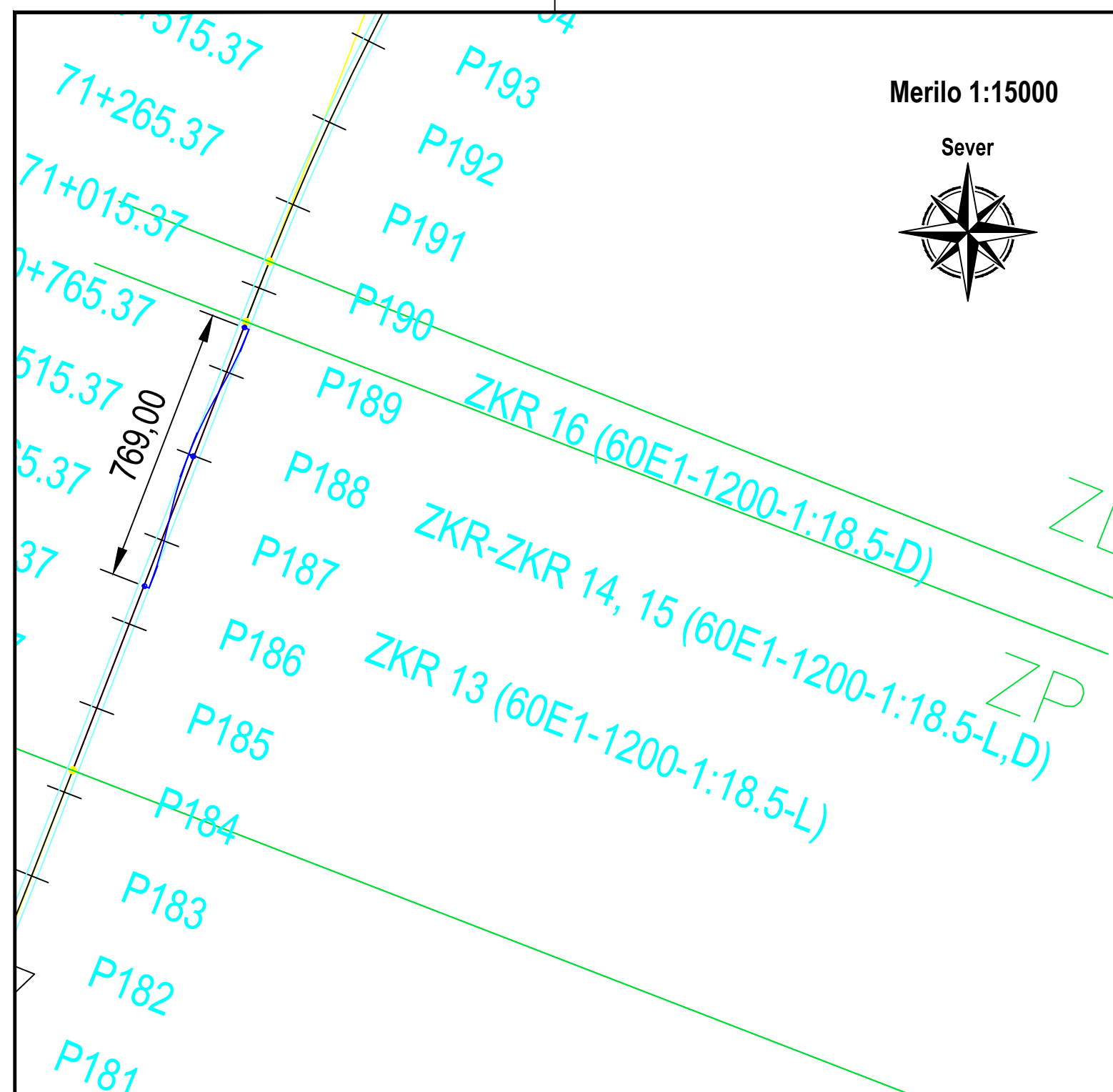
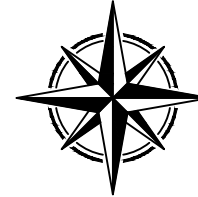
PRILOGA:

J

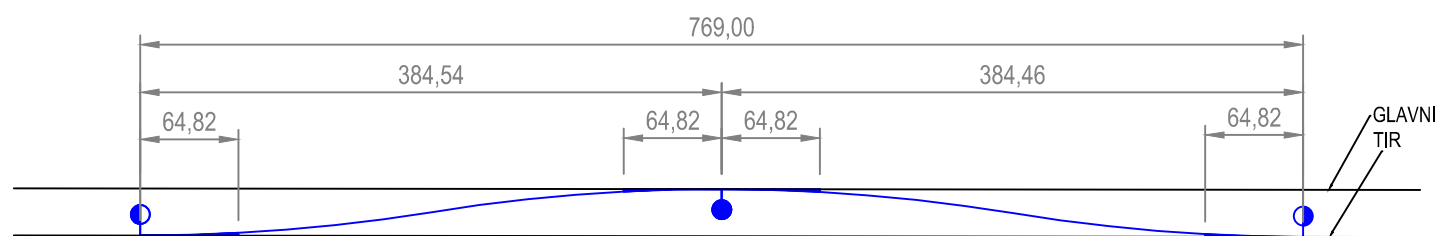
# Situacija kretniške zveze ZKR13 - ZKR16

Merilo 1:15000

Sever



**Območje kretniške zveze**  
Merilo 1:5000



UNIVERZA V LJUBLJANI

FAKULTETA ZA GRADBENIŠTVO IN GEODEZIJO

ŠTUDIJSKI PROGRAM:

UNIVERZITETNI PROGRAM GRADBENIŠTVA

SMER:

PROMETNA SMER

DIPLOMSKA NALOGA:

ZASNOVA HITRE PROGE DIVAČA - LJUBLJANA IN  
KONCEPT VARNOSTI V PREDORIH

KANDIDAT:

NATAŠA LAZAREVIČ

RISBA:

SITUACIJA KRETNISKE ZVEZE ZKR13-ZKR16

DATUM:

MAJ 2013

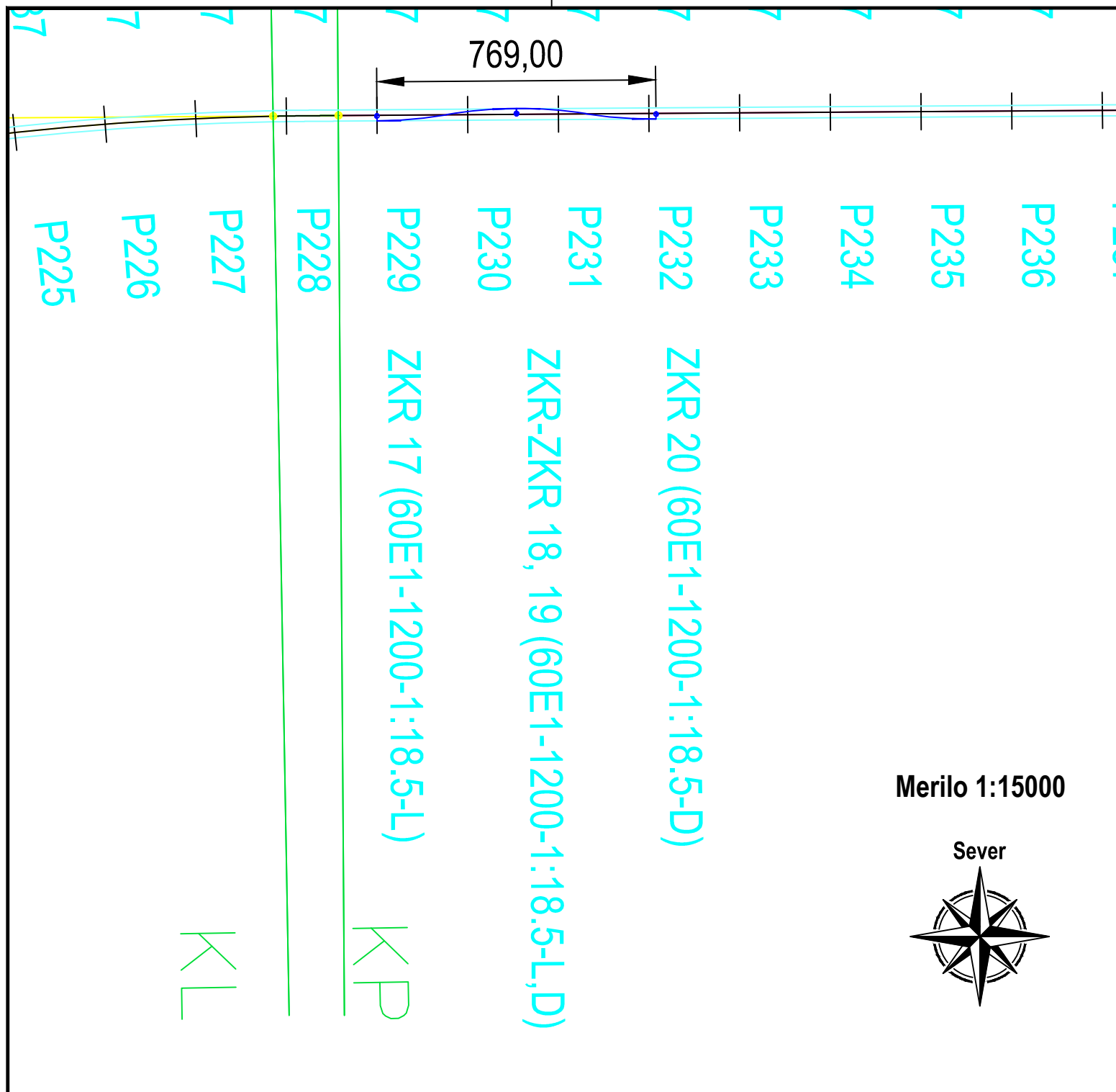
MERILO:

1:15000, 1:5000

PRILOGA:

K

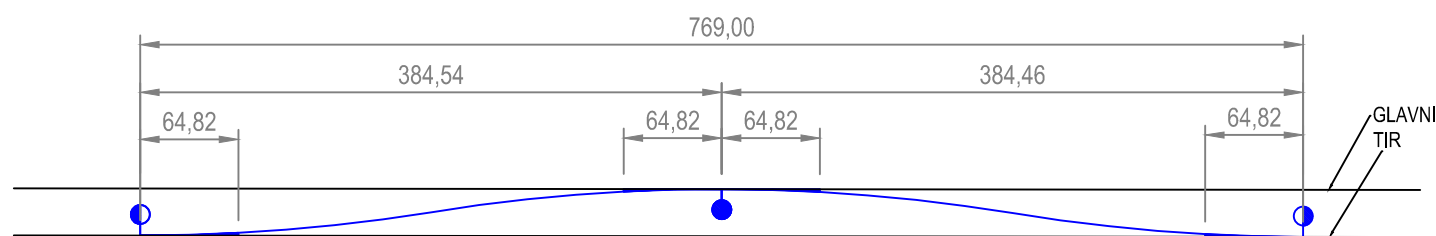
# Situacija kretniške zveze ZKR17 - ZKR20



Merilo 1:15000



## Območje kretniške zveze Merilo 1:5000



UNIVERZA V LJUBLJANI

FAKULTETA ZA GRADBENIŠTVO IN GEODEZIJO

ŠTUDIJSKI PROGRAM:

UNIVERZITETNI PROGRAM GRADBENIŠTVA

SMER:

PROMETNA SMER

DIPLOMSKA NALOGA:

ZASNOVA HITRE PROGE DIVAČA - LJUBLJANA IN  
KONCEPT VARNOSTI V PREDORIH

KANDIDAT:

NATAŠA LAZAREVIČ

RISBA:

SITUACIJA KRETNISKE ZVEZE ZKR17-ZKR20

DATUM:

MAJ 2013

MERILO:

1:15000, 1:5000

PRILOGA:

L



## PRILOGA M

### Karakteristični prečni prerez dvotirne proge v nasipu

