

Univerza
v Ljubljani

Fakulteta
*za gradbeništvo
in geodezijo*



MAGISTRSKO DELO

MAGISTRSKI ŠTUDIJSKI PROGRAM DRUGE STOPNJE GRADBENIŠTVO

Ljubljana, 2021

Univerza
v Ljubljani

*Fakulteta za
gradbeništvo in
geodezijo*



Kandidat/-ka:

Magistrsko delo št.:

Master thesis No.:

Mentor/-ica:

Predsednik komisije:

Somentor/-ica:

Član komisije:

Ljubljana, _____

STRAN ZA POPRAVKE

Stran z napako

Vrstica z napako

Namesto

Naj bo

»Ta stran je namenoma prazna«

BIBLIOGRAFSKO-DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK

UDK:	625.1(497.4Ljubljana: Celje)(043.3)
Avtor:	Jernej Prevolnik
Mentor:	doc. dr. Tomaž Maher
Somentor:	asist. dr. Darja Šemrov
Naslov:	Idejna zasnova železniške povezave med Ljubljano in Celjem skozi Tuhinjsko dolino
Tip dokumenta:	Magistrsko delo
Obseg in oprema:	84 str., 14 pregl., 8 graf., 60 sl., 28 pril.
Ključne besede:	Zasnova dvotirne železniške povezave, Kamnik Graben–Vransko–Breg pri Polzeli, Tuhinjska dolina, Ljubljana–Celje, trajnostna mobilnost, interoperabilnost, TEN-T, VIA, King.Prostor

Izvleček

V zadnjih desetletjih je konkurenčna povezava glavnih mest vedno bolj pomembna za celostni razvoj in trajnostno mobilnost regij. Ker v Sloveniji primanjkuje konkurenčnih povezav, je v magistrskem delu obravnavana idejna zasnova nove železniške povezave med Ljubljano in Celjem skozi Tuhinjsko dolino. V nalogi so predstavljena izhodišča in razvoj omrežja TEN-T na območju Slovenije in v EU, pomembnost uporabe trajnostne mobilnosti in interoperabilnost železniškega sistema. V nadaljevanju so opisani robni pogoji, tehnične zahteve, kot izhodišča pri projektiranju nove dvotirne elektrificirane železniške povezave *Kamnik Graben–Vransko–Breg pri Polzeli*, in opisana vsa uporabljena programska orodja ter podloge. Zasnovanih pet različnih variant železniške povezave je ustrezno grafično predstavljenih, opisanih in umeščenih v prostor. Na osnovi izbrane metode vrednotenja variant je izbrana najprimernejša, ki je v nadaljevanju podrobneje predstavljena, in nato tudi optimizirana. Slednja predstavlja 20 minutni prihranek časa v primerjavi z obstoječo progo Ljubljana–Zidani Most–Celje. Končna zasnova izbrane variante predstavlja osnovo za nadaljnje podrobnejše raziskave, pri katerih je nujno potrebno sodelovanje različnih strok, da se zagotovi interdisciplinarni pristop, ki bi omogočal morebitno izvedbo projekta.

BIBLIOGRAPHIC-DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT

UDC:	625.1(497.4Ljubljana:Celje)(043.3)
Author:	Jernej Prevolnik
Supervisor:	assoc. prof. Tomaž Maher, Ph.D.
Cosupervisor:	assist. Darja Šemrov, Ph.D.
Title:	Conceptual design of the railway connection between Ljubljana and Celje through the Tuhinj valley
Document type:	M. Thesis
Scope and tools:	84 p., 14 tab., 8 graph., 60 fig., 28 ann.
Keywords:	Design of a double-track railway connection, Kamnik Graben–Vransko–Breg pri Polzeli, Tuhinj Valley, Ljubljana–Celje, sustainable mobility, interoperability, TEN-T, VIA, King.Prostor

Abstract

In recent decades, the competitive connection of cities has become increasingly important for the integrated development and sustainable mobility of regions. As there is a lack of competitive connections in Slovenia, this master thesis develops and discusses the conceptual design of a new railway connection between Ljubljana and Celje through the Tuhinj Valley. The paper presents the founding and development of the TEN-T network in Slovenia and the EU, the importance of using sustainable mobility and the interoperability of the railway system. Following, the boundary conditions of a new double-track electrified railway route from *Kamnik Graben–Vransko–Breg pri Polzeli*, as well as the necessary software tools and technical requirements are described. The latter functions as a basis of rule for five possible design variants of the railway line. These are graphically illustrated and, based on the method of evaluating variants, the most suitable case is selected, described and optimized. In total, it provides a 20-minute faster option in comparison to the existing line from Ljubljana–Zidani Most–Celje. The final design invites further research in regard to other professions, to ensure an interdisciplinary approach to the project.

ZAHVALA

Zahvaljujem se mentorju doc. dr. Tomažu Maherju in somentorici asist. dr. Darji Šemrov za vodenje, pomoč, nasvete, ideje ter uporabljeno literaturo pri nastajanju magistrskega dela. Zahvala gre tudi podjetju SL-King, ki mi je nudilo pomoč in koristne nasvete pri uporabi njihove programske opreme.

Zahvalil bi se tudi Sari Prevolnik, mag. prof. slovenskega jezika in književnosti, za posvečen čas in vložen trud pri urejanju magistrskega dela.

Posebna zahvala gre družini, ki mi je tekom študija ves čas stala ob strani, mi ob najtežjih trenutkih svetovala in me podpirala.

»Ta stran je namenoma prazna«

KAZALO VSEBINE

BIBLIOGRAFSKO – DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK	III
BIBLIOGRAPHIC – DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT.....	IV
ZAHVALA.....	V
KAZALO PREGLEDNIC.....	X
KAZALO GRAFIKONOV.....	XI
KAZALO SLIK.....	XII
LIST OF TABLES.....	XIV
LIST OF GRAPHS.....	XV
LIST OF FIGURES.....	XVI
SEZNAM PRILOG.....	XVIII
1 UVOD	1
2 ŽELEZNICA.....	3
2.1 Vseevropsko prometno omrežje (TEN-T).....	3
2.2 Trajnostna mobilnost.....	8
2.3 Interoperabilnost.....	10
3 ROBNI POGOJI.....	15
3.1 Obravnavano območje.....	15
3.2 Geološko-morfološke značilnosti.....	16
3.3 Hidrološke značilnosti.....	18
3.4 Namenska raba prostora	20
3.5 Naravne vrednote in Natura 2000	21
3.6 Naravna in kulturna dediščina.....	22
3.7 Prometna infrastruktura.....	24
3.8 Gospodarska javna infrastruktura.....	26
3.8.1 Komunalna infrastruktura	26
3.8.2 Energetska infrastruktura	27
4 PROGRAMSKA ORODJA IN PODLOGE.....	29

4.1	Programska orodja.....	29
4.2	Ortofoto posnetki.....	29
5	TEHNIČNE ZAHTEVE PRI PROJEKTIRANJU ŽELEZNICE.....	31
5.1	Tirna širina.....	31
5.2	Najmanjši polmer horizontalnega krožnega loka	32
5.3	Najmanjši polmer vertikalnega krožnega loka	32
5.4	Nadvišanje	32
5.5	Bočni pospešek.....	33
5.6	Prehodna klančina in prehodnica.....	33
5.7	Največji nagib nivelete	34
5.8	Tirni pragovi.....	34
5.9	Tirnice.....	34
5.10	Medtirna razdalja.....	35
5.11	Svetli profil.....	35
6	PREDSTAVITEV VARIANT – UMESTITEV V PROSTOR.....	37
6.1	Podrobnejši opis variant	38
6.1.1	Varianta V1	38
6.1.2	Varianta V2	41
6.1.3	Varianta V3	44
6.1.4	Varianta V4	46
6.1.5	Varianta V5	48
7	VREDNOTENJE VARIANT IN IZBIRA NAJPRIMERNEJŠE.....	51
7.1	Funkcionalni vidik.....	51
7.2	Prostorsko-urbanistični vidik.....	54
7.3	Varstveni vidik	56
7.4	Ekonomski vidik.....	57
7.5	Sintezno vrednotenje	58
8	TEHNIČNI PODATKI O IZBRANI VARIANTI	60

8.1	Navezava na obstoječo železniško progo Ljubljana Šiška–Kamnik Graben	60
8.2	Navezava na obstoječo železniško progo Celje–Velenje	60
8.3	Tehnični elementi trase	61
8.3.1	Polmeri horizontalnih krožnih lokov, hitrosti, nadvišanja, bočni pospeški in prehodne klančine.....	61
8.3.2	Vzdolžni nagibi nivelete in vertikalni krožni loki.....	63
8.4	Križanja železnice z naravnimi ovirami, cestno in drugo infrastrukturo	65
8.4.1	Križanja železnice z naravnimi ovirami.....	65
8.4.2	Križanja železnice s cestno infrastrukturo.....	66
8.4.3	Križanja železnice z drugo infrastrukturo	67
8.5	Železniško postajališče.....	70
8.6	Hitrosti vlakov.....	71
8.6.1	Izračun za tovorni vlak.....	71
8.6.2	Izračun za potniški vlak.....	73
9	ZAKLJUČEK.....	76
	VIRI.....	78

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Kategorije prog za potniški promet [22].....	13
Preglednica 2: Kategorije prog za tovorni promet [22].....	13
Preglednica 3: Podatki standardnih tirnic [44]	35
Preglednica 4: Podatki o variantah (dolžina trase, gradbeni objekti, nivojska in izvennivojska križanja)	53
Preglednica 5: Metoda – Sistem razredov primernosti.....	59
Preglednica 6: Polmeri krožnih lokov, hitrosti, nadvišanja, bočni pospeški in prehodne klančine.....	62
Preglednica 7: Vertikalni krožni loki in nagibi nivelete.....	64
Preglednica 8: Gradbeno inženirski objekti.....	65
Preglednica 9: Nivojska in izvennivojska križanja.....	67
Preglednica 10: Prestavitev prostozračnih daljnovodov (NN – nizko napetostni, SN – srednje napetostni in VN – visoko napetostni).....	68
Preglednica 11: Rezultati izračuna tovornega vlaka pri hitrosti do 100 km/h.....	72
Preglednica 12: Rezultati izračuna tovornega vlaka pri hitrosti do 90 km/h.....	73
Preglednica 13: Rezultati izračuna potniškega vlaka pri hitrosti do 120 km/h	74
Preglednica 14: Rezultati izračuna potniškega vlaka pri hitrosti do 110 km/h	75

KAZALO GRAFIKONOV

Grafikon 1: Letno prepeljan tovor v Sloveniji [9,10].....	3
Grafikon 2: Letno prepeljano število ljudi v Sloveniji [11]	4
Grafikon 3: Število prvič registriranih vozil po letih v Sloveniji [12]	4
Grafikon 4: Sintezno vrednotenje	59
Grafikon 5: Hitrosti tovornega vlaka pred optimizacijo	72
Grafikon 6: Hitrosti tovornega vlaka po optimizaciji	73
Grafikon 7: Hitrosti potniškega vlaka pred optimizacijo	74
Grafikon 8: Hitrosti potniškega vlaka po optimizaciji	75

KAZALO SLIK

Slika 1: Devet koridorjev osrednjega TEN-T omrežja [14]	6
Slika 2: Koridorja osrednjega TEN-T omrežja v Sloveniji [13].....	7
Slika 3: Sredozemski koridor in kraka Baltsko–jadranskega koridorja [15]	7
Slika 4: Parkiraj in se pelji (P+R) Dolgi most [21]	9
Slika 5: Tirne širine v evropskem prostoru [22].....	11
Slika 6: Sistemi elektrifikacije v Evropi [22]	11
Slika 7: Sistemi vodenja in zavarovanja vlakov [22]	12
Slika 8: Prikaz obravnavanega območja koridorja (1. del) [27].....	16
Slika 9: Prikaz obravnavanega območja koridorja (2. del) [27].....	16
Slika 10: Geološka karta obravnavanega območja [30]	18
Slika 11: Hidrološke razmere na območju koridorja (1. del) [31].....	19
Slika 12: Hidrološke razmere na območju koridorja (2. del) [31].....	20
Slika 13: Namenska raba prostora na območju koridorja (1. del) [31].....	21
Slika 14: Namenska raba prostora na območju koridorja (2. del) [31].....	21
Slika 15: Naravne vrednote in Natura 2000 na območju koridorja (1. del) [31].....	22
Slika 16: Naravne vrednote in Natura 2000 na območju koridorja (2. del) [31].....	22
Slika 17: Kulturna dediščina na območju koridorja (1. del) [31]	23
Slika 18: Kulturna dediščina na območju koridorja (2. del) [31]	23
Slika 19: Prometna infrastruktura na območju nove železniške proge Ljubljana–Celje odsek Ljubljana Šiška–Kamnik Graben [39]	25
Slika 20: Prometna infrastruktura na območju nove železniške proge Ljubljana–Celje odsek Kamnik Graben–Vransko–Breg pri Polzeli [39].....	25
Slika 21: Prometna infrastruktura na območju nove železniške proge Ljubljana–Celje odsek Breg pri Polzeli–Celje [39].....	26
Slika 22: Komunalna infrastruktura na območju koridorja (1. del) [31].....	26
Slika 23: Komunalna infrastruktura na območju koridorja (2. del) [31].....	27
Slika 24: Energetska infrastruktura na območju koridorja (1. del) [31].....	27
Slika 25: Energetska infrastruktura na območju koridorja (2. del) [31].....	28
Slika 26: Normalna tirna širina [44]	31
Slika 27: Dimenzije standardnih tirnic [44]	34
Slika 28: Svetli profil GC za novogradnje in nadgradnje prog [43].....	36
Slika 29: Potek različnih variant železniške povezave (1. del).....	37
Slika 30: Potek različnih variant železniške povezave (2. del).....	38
Slika 31: Potek variante V1 (1. del)	39
Slika 32: Potek variante V1 (2. del)	40

Slika 33: Vzdolžni profil variante V1 (1. del).....	41
Slika 34: Vzdolžni profil variante V1 (2. del).....	41
Slika 35: Potek variante V2 (1. del)	42
Slika 36: Potek variante V2 (2. del)	42
Slika 37: Vzdolžni profil variante V2 (1. del).....	43
Slika 38: Vzdolžni profil variante V2 (2. del).....	43
Slika 39: Potek variante V3 (1. del)	45
Slika 40: Potek variante V3 (2. del)	45
Slika 41: Vzdolžni profil variante V3 (1. del).....	46
Slika 42: Vzdolžni profil variante V3 (2. del).....	46
Slika 43: Potek variante V4 (1. del)	47
Slika 44: Potek variante V4 (2. del)	47
Slika 45: Vzdolžni profil variante V4 (1. del).....	48
Slika 46: Vzdolžni profil variante V4 (2. del).....	48
Slika 47: Potek variante V5 (1. del)	49
Slika 48: Potek variante V5 (2. del)	49
Slika 49: Vzdolžni profil variante V5 (1. del).....	50
Slika 50: Vzdolžni profil variante V5 (2. del).....	50
Slika 51: Odseka a1 in a2 na območjih različnega poteka variant	51
Slika 52: Odseka b1 in b2 na območjih različnega poteka variant.....	51
Slika 53: Navezava nove železniške povezave na obstoječo progo Ljubljana Šiška–Kamnik Graben.	60
Slika 54: Navezava nove železniške povezave na obstoječo progo Celje–Velenje	61
Slika 55: Križanja z energetske vodami (plinovod rumena, kablovod in daljnovod rdeča barva) 1. del	68
Slika 56: Križanja z energetske vodami (plinovod rumena, kablovod in daljnovod rdeča barva) 2. del	68
Slika 57: Križanja s komunalno infrastrukturo (vodovod modra, kanalizacija rjava barva) 1. del.....	69
Slika 58: Križanja s komunalno infrastrukturo (vodovod modra, kanalizacija rjava barva) 2. del.....	70
Slika 59: Shema postajališča Vransko	71
Slika 60: Prečni prerez postajališča Vransko	71

LIST OF TABLES

Table 1: Categories of railway lines for passenger services [22]	13
Table 2: Categories of railway lines for freight services [22]	13
Table 3: Technical properties of standard rails [44]	35
Table 4: Data about variants (track length, facilities, level and off-level crossings).....	53
Table 5: Method – Suitability class system	59
Table 6: Radius of circular arcs, velocities, cants, lateral accelerations and transition ramps	62
Table 7: Vertical circular arcs and level inclinations	64
Table 8: Civil engineering facilities	65
Table 9: Level and off-level crossings	67
Table 10: Relocation of overhead power lines (LV – low voltage, MV – medium voltage, HV – high voltage).....	68
Table 11: Results of calculation of freight train at speeds up to 100 km/h	72
Table 12: Results of calculation of freight train at speeds up to 90 km/h	73
Table 13: Results of the calculation of a passenger train at speeds up to 120 km/h.....	74
Table 14: Results of the calculation of a passenger train at speeds up to 110 km/h.....	75

LIST OF GRAPHS

Graph 1: Annually transported cargo in Slovenia [9,10]	3
Graph 2: Annually transported number of people in Slovenia [11]	4
Graph 3: Number of vehicles registered for the first time by years in Slovenia [12]	4
Graph 4: Synthetic evaluation	59
Graph 5: Freight train speeds before optimization	72
Graph 6: Freight train speeds after optimization	73
Graph 7: Passenger train speeds before optimization	74
Graph 8: Passenger train speeds after optimization	75

LIST OF FIGURES

Figure 1: Nine corridors of the central TEN-T network [14]	6
Figure 2: The two central TEN-T network corridors in Slovenia [13].....	7
Figure 3: The Mediterranean corridor and two branches of the Baltic–adriatic corridor [15]	7
Figure 4: Park and ride (P + R) Dolgi most [21]	9
Figure 5: Track widths in Europe [22]	11
Figure 6: European electrification systems [22].....	11
Figure 7: Train control and insurance systems [22]	12
Figure 8: Overview of the considered corridor area (Part 1) [27]	16
Figure 9: Overview of the considered corridor area (Part 2) [27]	16
Figure 10: Geological map of the considered area [30]	18
Figure 11: Hydrological conditions in the corridor area (Part 1) [31].....	19
Figure 12: Hydrological conditions in the corridor area (Part 2) [31].....	20
Figure 13: Intended use of space in the corridor area (Part 1) [31]	21
Figure 14: Intended use of space in the corridor area (Part 2) [31]	21
Figure 15: Natural values and Natura 2000 in the corridor area (Part 1) [31].....	22
Figure 16: Natural values and Natura 2000 in the corridor area (Part 2) [31].....	22
Figure 17: Cultural heritage in the corridor area (Part 1) [31]	23
Figure 18: Cultural heritage in the corridor area (Part 2) [31]	23
Figure 19: Transport infrastructure in the area of the new railway line Ljubljana–Celje; section Ljubljana Šiška–Kamnik Graben [39]	25
Figure 20: Transport infrastructure in the area of the new railway line Ljubljana–Celje; section Kamnik Graben–Vransko–Breg pri Polzeli [39].....	25
Figure 21: Transport infrastructure in the area of the new railway line Ljubljana–Celje; section Breg pri Polzeli–Celje [39].....	26
Figure 22: Communal infrastructure in the corridor area (Part 1) [31]	26
Figure 23: Communal infrastructure in the corridor area (Part 2) [31]	27
Figure 24: Energy infrastructure in the corridor area (Part 1) [31]	27
Figure 25: Energy infrastructure in the corridor area (Part 2) [31]	28
Figure 26: Normal track width [44].....	31
Figure 27: Dimensions of standard rails [44]	34
Figure 28: GC profile for new tracks and track upgrades [43].....	36
Figure 29: The course of different variants of the railway connection (Part 1).....	37
Figure 30: The course of different variants of the railway connection (Part 2).....	38
Figure 31: The course of variant V1 (Part 1).....	39
Figure 32: The course of variant V1 (Part 2).....	40

Figure 33: Longitudinal profile of variant V1 (Part 1).....	41
Figure 34: Longitudinal profile of variant V1 (Part 2).....	41
Figure 35: The course of variant V2 (Part 1)	42
Figure 36: The course of variant V2 (Part 2)	42
Figure 37: Longitudinal profile of variant V2 (Part 1).....	43
Figure 38: Longitudinal profile of variant V2 (Part 2).....	43
Figure 39: The course of variant V3 (Part 1)	45
Figure 40: The course of variant V3 (Part 2)	45
Figure 41: Longitudinal profile of variant V3 (Part 1).....	46
Figure 42: Longitudinal profile of variant V3 (Part 2).....	46
Figure 43: The course of variant V4 (Part 1)	47
Figure 44: The course of variant V4 (Part 2)	47
Figure 45: Longitudinal profile of variant V4 (Part 1).....	48
Figure 46: Longitudinal profile of variant V4 (Part 2).....	48
Figure 47: The course of variant V5 (Part 1)	49
Figure 48: The course of variant V5 (Part 2)	49
Figure 49: Longitudinal profile of variant V5 (Part 1).....	50
Figure 50: Longitudinal profile of variant V5 (Part 2).....	50
Figure 51: Sections a1 and a2 in areas of different course variants	51
Figure 52: Sections b1 and b2 in areas of different course variants.....	51
Figure 53: Connection of the new railway to the existing track Ljubljana Šiška–Kamnik Graben	60
Figure 54: Connection of the new railway to the existing track Celje-Velenje	61
Figure 55: Intersections with power lines (gas pipeline in yellow, cable line and power line in red) Part 1	68
Figure 56: Intersections with power lines (gas pipeline in yellow, cable line and power line in red) Part 2.....	68
Figure 57: Intersections with communal infrastructure (water supply system in blue, sewerage in brown) Part 1	69
Figure 58: Intersections with communal infrastructure (water supply system in blue, sewerage in brown) Part 2	70
Figure 59: Scheme of the Vransko stop	71
Figure 60: Cross section of the Vransko stop.....	71

SEZNAM PRILOG

»Priloge se nahajajo na strani 83.«

1 UVOD

Železnica predstavlja eno izmed najstarejših oblik prometa ter transporta tako v Sloveniji kot tudi v svetu. Prvi zapisi o uporabi segajo v leto 1515 na področje Avstrije, kjer so za potrebe transporta dobrin utrdbi Hohensalzburg uporabljali tirno vzpenjačo. Izdelana je bila iz lesenih tirnic, vrvi in bila upravljana s pomočjo živali ali ljudi [1]. Znano je, da so že v petdesetih letih 16. stoletja uporabljali vagone na lesenih tirnicah s konjsko vprego za lažji transport rude iz rudnikov do nakladališč [2]. Zaradi iznajdbe parnega stroja v letu 1750 je v poznih šestdesetih letih 18. stoletja prišlo do izdelave številnih variant železnih tirnic, s katerimi so zagotovili večjo odpornost in nosilnost. Na začetku 19. stoletja so izdelali prve parne lokomotive, kar je spodbudilo k izgradnji mnogih železniških prog. Parne lokomotive so po svetu prevladoval več kot stoletje, vse do razvoja dizelske lokomotive, ki je v uporabi še danes [3]. Poleg omenjene lokomotive so se pozneje razvile in izpopolnile tudi električne lokomotive, ki se v današnjih časih uporabljajo za pogon tovornih in potniških vlakov ter tako zmanjšujejo škodljive vplive na okolje.

Dogodek, s katerim povezujemo začetek železniškega prometa v Sloveniji, zaznamuje odprtje železniške proge Gradec–Celje leta 1846. Enajst let pozneje je bila zgrajena proga Dunaj–Trst, imenovana tudi Južna železnica. Kmalu po odprtju proge Dunaj–Trst se je slovensko ozemlje železniško zelo razvejalo. Danes je v Sloveniji 1207,7 km prog, od katerih je 333,5 km dvotirnih, ostalih pa enotirnih [4].

Železniški promet poleg cestnega predstavlja učinkovit način prevoza blaga in potnikov. V nekaterih pogledih železniški promet izstopa napram cestnemu, predvsem zaradi nižje cene prevoza blaga in potnikov na srednje in velike razdalje. Prav tako je varnejši, naenkrat lahko prepelje velike količine blaga, velikokrat je hitrejši zaradi zastojev na cesti, hkrati pa manj obremenjuje okolje z izpusti [5].

Železnica je v preteklosti omogočala in tudi danes omogoča pretok tovara ter potnikov do posameznih krajev, mest, občin ali regij. Ima pozitiven vpliv na gospodarski in logistični razvoj, prispeva k razvoju industrije, kmetijstva, pridelovalnih sektorjev, hkrati pa predstavlja nove prometne povezave, povezanost regij in možnosti povečanja železniškega potniškega prometa.

Z gradnjo železniške infrastrukture se povečujejo prihodki prometnih in logističnih operaterjev, omogoča se selitev tovarnega in potniškega prometa s cest na železnico ter posledično zmanjšanje emisije na okolje in obstoječo prometno omrežje. Izgradnja železnice lahko predstavlja nov način potovanja uporabnikov ter zagotavlja nova delovna mesta v fazi gradnje in obratovanja [6].

Po podatkih Statističnega urada Republike Slovenije se iz leta v leto število prebivalcev in podjetij v osrednjeslovenski in v savinjski regiji povečuje, kar z vidika dnevnih migracij in tovarnega prometa predstavlja logistični problem. V prihodnosti lahko tako pričakujemo še povečanje prometnih obremenitev na infrastrukturo in slabšanje prometnih razmer [7].

Izgradnja nove železniške povezave med Ljubljano in Celjem skozi Tuhinjsko dolino z navezavo na obstoječi progi Ljubljana Šiška–Kamnik Graben in Celje–Velenje bi lahko predstavljala alternativno rešitev, s katero bi razbremenili cestne povezave med Ljubljano in Celjem ter železniški tovorni promet, ki poteka na zelo obremenjeni progi Ljubljana–Zidani Most–Celje. Skozi Slovenijo potekata Sredozemski in Baltsko–jadranski koridor, zato je še tako bolj pomembno, da je pretočnost železniške infrastrukture na najvišjem nivoju.

V magistrskem delu so obravnavane različne možnosti izvedbe nove dvotirne elektrificirane železniške povezave Kamnik Graben–Vransko–Breg pri Polzeli preko Tuhinjske doline z navezavo na že obstoječo železniško infrastrukturo. Nova proga med Ljubljano in Celjem bi tako potekala od Ljubljane do Kamnika po obstoječem tiru, se nadaljevala po novi zasnovani povezavi skozi Tuhinjsko dolino preko Vranskega po severni strani avtoceste A1 vse do Brega pri Polzeli, kjer bi se proga ponovno navezala na obstoječi tir in se zaključila v Celju. Z izvedbo bi zagotovili razvoj in boljšo povezanost regij ter večjih mest, kot so Ljubljana, Celje in Maribor, hkrati pa bi povezava predstavljala popolnoma novo železniško vejo med osrednjeslovensko in savinjsko regijo.

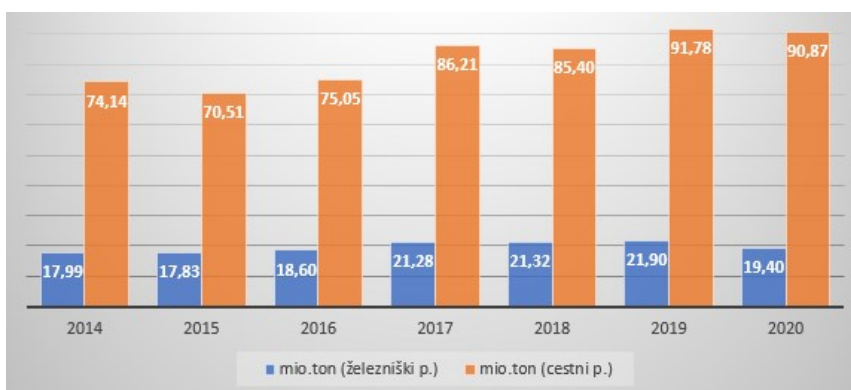
2 ŽELEZNICA

2.1 Vseevropsko prometno omrežje (TEN-T)

Promet ima na področju Evrope enega od ključnih pomenov za gospodarstvo. Z dobrimi prometnimi povezavami skrbimo za evropsko rast in napredek ter povezanost držav. Evropska infrastrukturna politika želi vzpostaviti dobro prometno omrežje, ki zajema cestno in železniško omrežje, plovne poti, pristanišča ter letališča v 27 državah članicah, s čimer želi spodbuditi rast in konkurenčnost ter ustvariti nova delovna mesta. Prometno omrežje bo povežalo vzhod in zahod ter nadomestilo trenutno »zakrpano« omrežje. Novo omrežje bo sestavljeno iz osrednjega in celovitega omrežja. Osrednje omrežje bo predstavljalo glavno povezavo za prevoz na enotnem trgu. S pomočjo takšnega omrežja je mogoče pričakovati odstranitev ozkih grl, poenostavitev čezmejnega prevoza potnikov in tovora po vsej Evropski uniji ter nadgraditev in izboljšavo infrastrukture. Izvedba tega bo spodbudila vzpostavitev devetih glavnih prometnih koridorjev. Primarni cilj predstavlja vzpostavitev osrednjega omrežja do leta 2030, sekundarni cilj pa dokončanje celovitega omrežja do leta 2050 in posledično vzpostavitev dobre povezave med evropskimi mesti. V enakem obdobju je prav tako cilj zagotoviti dostopnost do celovitega omrežja s potovalnimi časi, krajšimi od 30 minut [8].

Novo prometno omrežje bo zagotavljalo manj obremenjena, varnejša, lažja in hitrejša potovanja. Evropska infrastrukturna politika napoveduje, da naj bi se do leta 2050 tovorni in potniški promet povečala, slednji za več kot 50 %, prvi pa celo za 80 %. Kot že omenjeno, je promet ključnega pomena za učinkovito evropsko gospodarstvo [8].

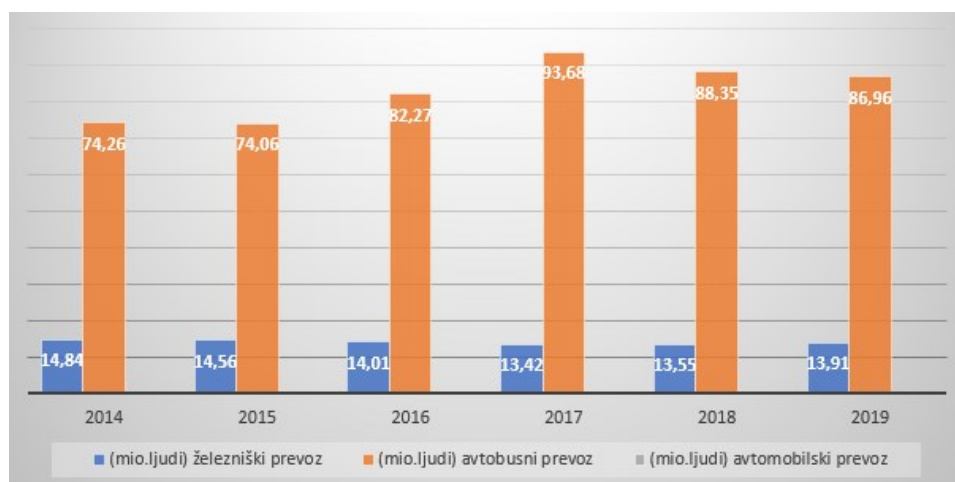
Podatki Statističnega urada Republike Slovenije za obdobje 2014–2020 ravno tako kažejo na povečanje prepeljanega tovora s cestnim in železniškim tovornim prometom, kar nakazuje na pozitiven trend v bližnji prihodnosti. Od leta 2014 do leta 2019 se je železniški tovorni promet povečal za 21,7 %, cestni pa za 23,8 %. V letu 2020 je pri obeh oblikah prometa mogoče zaslediti padec prepeljanega tovora, ki je posledica svetovne pandemije COVID-19 [9,10]. Omenjeni podatki so prikazani na grafikonu 1.



Grafikon 1: Letno prepeljan tovor v Sloveniji [9,10]

Graph 1: Annually transported cargo in Slovenia [9,10]

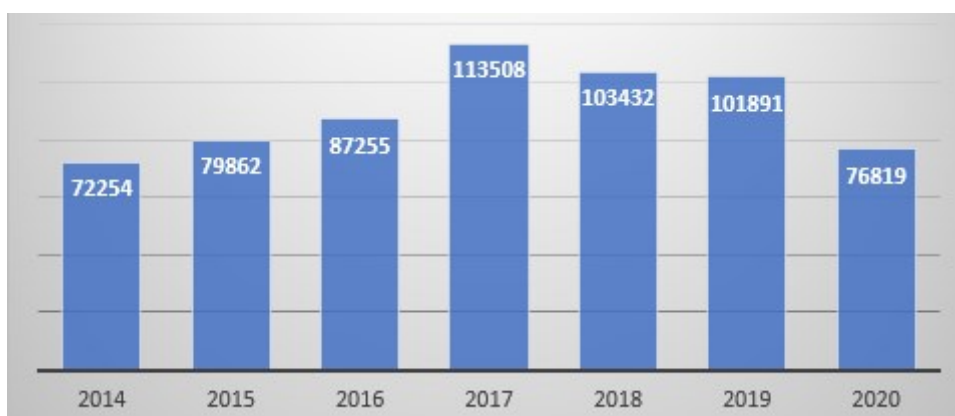
Na podlagi razpoložljivih podatkov za obdobje 2014–2019 opazimo, da se je železniški prevoz v omenjenem obdobju nekoliko znižal in se v letu 2019 ponovno povečal (Grafikon 2). Najnovejši podatki Statističnega urada Republike Slovenije govorijo v prid ponovne rasti uporabe železniškega prevoza. Avtobusni prevoz je od leta 2014 do leta 2017 narastel za 26,15 % in istega leta dosegel vrh, nato pa upadel. Tudi tukaj je v zadnjem letu zaznati pozitiven trend povečanja uporabe avtobusnih storitev 11.



Grafikon 2: Letno prepeljano število ljudi v Sloveniji [11]

Graph 2: Annually transported number of people in Slovenia [11]

Informacij o številu prepeljanih ljudi z uporabo lastnega avtomobila v zbirki Statističnega urada ni bilo na voljo, zato so se za grobo oceno uporabili podatki o številu prvič registriranih vozil v Sloveniji (Grafikon 3). Število teh se je od leta 2014 do leta 2017 povečevalo za 57 % in se v naslednjih dveh letih znižalo za približno 10 %. V letu 2020 pa je mogoče opaziti nenaden upad registracij, kar lahko pripišemo svetovni pandemiji COVID-19 [12].



Grafikon 3: Število prvič registriranih vozil po letih v Sloveniji [12]

Graph 3: Number of vehicles registered for the first time by years in Slovenia [12]

Kljub nekaterim padcem števila prvič registriranih vozil je mogoče trditi, da je število uporabnikov osebnih vozil v Sloveniji zelo veliko. Z dodatnimi vlaganji v javni potniški promet, predvsem v železniški, je treba poskrbeti, da uporabnikom železniški potniški promet postane privlačnejši in uporabnejši.

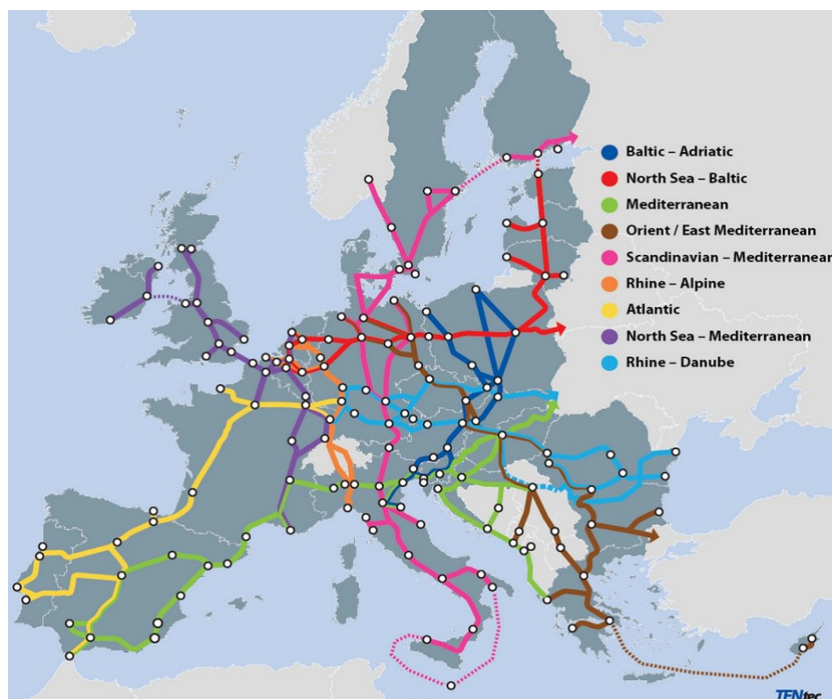
Plan osrednjega omrežja je povezati 94 glavnih evropskih pristanišč z železniškimi tiri in cestno infrastrukturo, 38 pomembnejših letališč z železniško povezavo do glavnih mest, nadgraditi 15.000 km železniških prog v hitre proge in izpeljati 35 čezmejnih projektov za zmanjšanje ozkih grl [8]. V ta namen so bili na ravni EU predstavljeni naložbeni mehanizmi TEN-T in Connecting Europe Facility (CEF) for Transport. CEF Transport se osredotoča na čezmejne projekte in projekte, katerih cilj je odprava ozkih grl in premostitev manjkajočih povezav na različnih odsekih osrednjega in celovitega omrežja. Hkrati se osredotoča na prednostne naloge, kot so sistemi za upravljanje prometa in podpiranje inovacij v prometnem sistemu, da se izboljša uporabnost, zmanjša vpliv prometa na okolje in poveča varnost ter energetska učinkovitost [13].

V Evropi se v prometni infrastrukturi spopadamo s petimi glavnimi problemi [8]:

- Manjkajoče povezave, zlasti na odsekih, ki potekajo čezmejno, predstavljajo veliko oviro za zagotovitev neprekinjenega prometa.
- Izboljšanje povezave med vzhodom in zahodom z izgradnjo nove infrastrukture, sanacijo in nadgradnjo obstoječe infrastrukture za odpravo ozkih grl.
- Razdrobljena prometna infrastruktura med različnimi načini prevoza.
- Vlaganja v prometno infrastrukturo bi morala prispevati k znižanju toplogrednih plinov za 60 % do leta 2050.
- Nekaterе države članice se še vedno poslužujejo različnih operativnih pravil, zlasti na področju interoperabilnosti, kar dodatno povečuje ovire in nastajanje ozkih grl.

Devet koridorjev osrednjega omrežja (Slika 1) predstavljajo [8]:

1. koridor Severno morje–Baltik,
2. koridor Baltik–Jadran,
3. Sredozemski koridor,
4. koridor Ren–Alpe,
5. Vzhodnosredozemski koridor,
6. koridor Ren–Donava,
7. koridor Skandinavija–Sredozemlje,
8. koridor Severno morje–Sredozemlje,
9. Atlantski koridor.



Slika 1: Devet koridorjev osrednjega TEN-T omrežja [14]

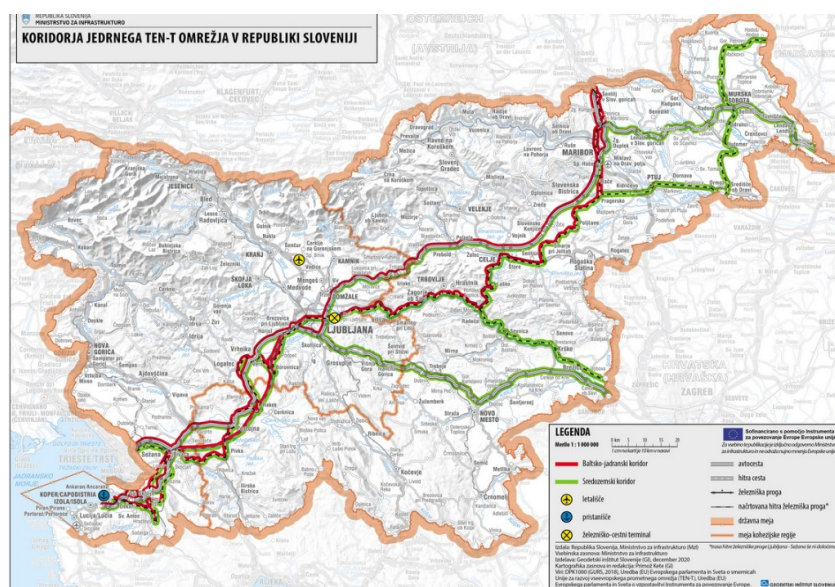
Figure 1: Nine corridors of the central TEN-T network [14]

V preteklosti je bila Slovenija vključena v 5. in 10. panevropski koridor, ki pa se v novejših evropskih dokumentih po reviziji smernic iz leta 2012 le redko kdaj omenja. Sedaj skozi Slovenijo potekata Sredozemski in Baltsko-jadranski koridor (Slika 2). Sredozemski koridor, dolžine 3000 km, je glavna os zahod-vzhod južno od Alp v omrežju TEN-T. Prične se na Iberskem polotoku, sledi obalam Španije in Francije, prečka Alpe na vzhodu, poteka preko Italije, Slovenije in Hrvaške ter se zaključi na madžarsko-ukrajinski meji. Baltsko-jadranski koridor s svojo lego predstavlja enega izmed najpomembnejših vseevropskih cestnih in železniških osi, zagotavlja dostop do morja in povezavo med severom in jugom. Poteka od baltskih morskih pristanišč Gdansk, Gdynia, Szczecin in Świnoujście do jadranskih pristanišč Koper, Trst, Benetke in Ravenna. Preden se razteza čez Češko, Slovaško in avstrijsko-slovensko mejo proti jugu v Slovenijo in Italijo, koridor vključuje industrijska območja osrednje in južne Poljske [13].

Kljub temu da se po reviziji iz leta 2012 navidezno za Slovenijo ni veliko spremenilo, je skrb vzbujajoče dejstvo, da se Baltsko-jadranski koridor pri Sloveniji razcepi na dva kraka, kjer se severni italijansko-avstrijski krak popolnoma ogne Sloveniji in tako direktno poveže Italijo z Avstrijo (Slika 3). Na tem kraku se poleg že zgrajene Pontebške železnice gradi Koralpska železnica in Semerinški bazni tunel. Oba bosta predvidoma zaključena v tem desetletju. [15]

Tako kot druge članice EU na območju obeh koridorjev se Slovenija sooča s problematiko ozkih grl, ki omejujejo njihovo kapaciteto in zmogljivost. Z naložbami TEN-T in CEF so se v Sloveniji na območju

omenjenih koridorjev odvili in se še odvijajo nekateri projekti. Med večje železniške projekte štejemo izgradnjo drugega tira Divača–Koper, nadgradnjo proge Maribor–Šentilj in Poljčane–Slovenska Bistrica, posodobitev proge Celje–Zidani Most z posodobitvijo treh železniških postaj (Rimske Toplice, Laško in Celje) in nadgradnjo vozlišča Pragersko. V okviru cestnega prometa pa je prišlo do vzpostavitve e-cestninjenja za tovorni promet [16].



Slika 2: Koridorja osrednjega TEN-T omrežja v Sloveniji [13]

Figure 2: The two central TEN-T network corridors in Slovenia [13]



Slika 3: Sredozemski koridor in kraka Baltsko-jadranskega koridorja [15]

Figure 3: The Mediterranean corridor and two branches of the Baltic-adriatic corridor [15]

V Sloveniji gre povprečno 68 % blaga po cestah in le 32 % po železnici. Medtem ko je rast cestnega in železniškega blagovnega prometa v EU sorazmerna, je bila v Sloveniji (2003 – 2007) v razmerju 24 : 0,9 v korist cestnega prometa, kar pomeni, da bi ob nespremenjenem trendu in nespremenjeni prometni politiki cestni promet prevzel več kot 80 % blaga. Koprsko tovarno pristanišče je največje intermodalno vozlišče pri nas, ki povezuje morski prometni koridor z Baltsko–jadranskim in Sredozemskim koridorjem in generira veliko tovara, ki nadaljuje pot po slovenskih avtocestah. Avtocestni tovorni promet je presegel svoje osnovne zmogljivosti (tako z vidika obremenitev, kot z vidika onesnaževanja), zato je izgradnja konkurenčne železniške infrastrukture na koridorjih nujno potrebna. Tako se bo razbremenil cestni tovorni promet in odpravilo ozko grlo, kar je osnovni pogoj za nadaljnji razvoj pristanišča. Poleg tega pa bo Slovenija v skladu s svojo zavezo zakorakala v nizko ogljično družbo. Nova železniška povezava Ljubljana–Celje, obravnavana v magistrski nalogi, bi lahko služila kot nova prometna žila Baltskega in Sredozemskega koridorja skozi Slovenijo, ki zaobide ozko grlo na progi Ljubljana–Zidani Most–Celje. Vsekakor bi omogočala večjo konkurenčnost Slovenije napram italijansko-avstrijskemu severnemu kraku, ki je del Baltsko-jadranskega koridorja, kar je nedvomno v interesu države Slovenije. Z razbremenitvijo prometa, povečano kapaciteto in zmogljivostjo slovenskega kraka Baltsko–jadranskega koridorja bi lahko ta prevzel pomen severnega kraka. Ravno zato je pomembno, da se pripravi in sledi skupni in enotni prometni politiki na eni strani, in hkrati, da se poveča prepustnost železniške infrastrukture, da bo omogočala povečanje pretovora blaga in povečanja števila potnikov.

2.2 Trajnostna mobilnost

Besedo trajnostna mobilnost prvič zasledimo v 80. letih 20. stoletja, ko so se zaradi povečanja števila osebnih vozil razmere v mestih zelo poslabšale. Kmalu je nastopila želja po učinkovitejšem in manj škodljivem načinu transporta, ki bi večjemu številu prebivalstva zagotovil dostop do prometnih storitev [17].

Pojem predstavlja potovanje na trajnosten način, kamor štejemo hojo, kolesarjenje, uporabo avtobusnega in železniškega prometa in njim podobne načine transporta. Predstavlja zmanjševanje uporabe lastnih motornih prevoznih sredstev, porabe energije in vzpodbuja trajnostne načine potovanja ter hkrati označuje zagotovitev učinkovite in enakopravne dostopnosti za vse uporabnike [18].

Z drugimi besedami je namen trajnostne mobilnosti poskrbeti za potrebe po mobilnosti uporabnikov in zmanjšanje oblik prometa, ki s toplogrednimi plini onesnažuje okolje.

Pojem lahko dopolnimo s tremi kontradiktornimi vidiki [17]:

- Okoljski vidik želi zmanjšati negativne vplive na okolje, kamor štejemo toplogredne pline, hrup in vibracije.

- Ekonomski vidik si prizadeva za ustvarjanje novih delovnih mest, dobička in razvoja. Njen glavni namen je učinkovita raba infrastrukture in sredstev s čim nižjimi proizvodnimi stroški.
- Družbeni vidik stremi k temu, da imajo vsi uporabniki učinkovit dostop do prometnih storitev, promet mora zagotavljati ustrezno varnost in ne sme vplivati na človekovo zdravje.

Trajnostna mobilnost mora tako poiskati ustrezno sorazmerje med zgoraj omenjenimi prometnimi vidiki. Navadno pa se to rešuje z upoštevanjem mednarodnih, nacionalnih in lokalnih zakonov [17].

Na podlagi evropske infrastrukturne politike, ki želi vzpostaviti dobro prometno omrežje, lahko železnica predstavljala osnovo trajnostnega prometnega omrežja. Uporaba avtobusnih storitev in osebnih avtomobilov, varnih parkirišč in primernih dostopov za kolesarje ter pešce pa bi predstavljala ustrezne dopolnitve prometnega omrežja. Tako bi delno lahko omejili uporabo avtomobilov oziroma lastnih prevoznih sredstev, zmanjšali škodljive vplive na okolje in zmanjšali količino vozil [19].

Sistem parkiraj in se pelji (P+R) predstavlja enega od učinkovitejših dejavnikov trajnostne mobilnosti. Z njim spodbujamo koriščenje javnega potniškega prometa, zmanjšanje števila avtomobilov in prevoznih stroškov. Pri sistemu P+R gre za kombinirano uporabo različnih prevoznih sredstev, med katere štejemo avtobus, kolo, vlak in osebno vozilo.

Uporabnik se lahko do parkirišča, ki predstavlja nekakšno povezovalno točko, pripelje z lastnim prevoznim sredstvom, kjer ga parkira na za to ustrezno označenem mestu, od tam pa svojo pot nadaljuje z drugim prevoznim sredstvom bodisi z javnim prevozom bodisi s skupinskim prevozom [20].

Predhodno omenjen sistem P+R bi lahko uporabili na novi železniški progi med Ljubljano in Celjem. S tem bi pripomogli k zmanjšanju dnevnih migracij osebnih vozil v mesta in regije ter zmanjšali obremenitve na zelo obremenjeno cestno infrastrukturo. Seveda pa je za učinkovito delovanje sistema treba uskladiti povezavo z javnim prevozom. Slika 4 prikazuje primer sistema P+R, ki je vzpostavljen v Ljubljani na Dolgem mostu.



Slika 4: Parkiraj in se pelji (P+R) Dolgi most [21]

Figure 4: Park and ride (P + R) Dolgi most [21]

Kot že omenjeno v poglavju 2.1, je namen evropske prometne politike zagotoviti ustrezne povezave med pristanišči z železniško in cestno infrastrukturo, povezati letališča z železnico do glavnih mest, nadgraditi železniške proge v hitre proge ter izvesti čezmejne projekte. Dolgoročni cilj predstavlja znižanje toplogrednih plinov do leta 2050 za 60 % [8].

Nova železniška povezava med Ljubljano in Celjem s potekom skozi Tuhinjsko dolino bi tako povezovala Ljubljano in Celje ter obenem osrednjeslovensko in savinjsko regijo, nenazadnje pa tudi Ljubljano in Maribor. Z novo povezavo bi poskrbeli za dodatno železniško žilo med vzhodom in zahodom, vplivali na razvoj gospodarske rasti, razbremenili cestni promet med Ljubljano in Celjem, zmanjšali obremenitve na železniški tovorni promet, ki trenutno poteka na relaciji Ljubljana–Zidani Most–Celje, ter posledično zmanjšali nastajajoča ozka grla v prometu. S prestitvitvijo tovarnega prometa na železnico bi poskrbeli za zmanjšanje vplivov na okolje, z vidika trajnostne mobilnosti pa bi poskrbeli za nov udoben način potovanja, znižanje emisij, vplivov na okolje in stroškov potniškega prevoza ter izboljšali prometno varnost.

2.3 Interoperabilnost

Leta 2008 je Evropska unija sprejela direktivo o interoperabilnosti železniškega sistema z namenom vzpostavitve homogenega prometnega sistema. Države članice morajo v okviru različnih gradbenih aktivnosti natančno upoštevati njene zahteve in določila [22].

Interoperabilnost predstavlja zmožnost železniškega sistema, da ob ustrezni izkoriščenosti in zmogljivosti zagotovi varen in nenehen promet vlakov. Interoperabilnost je odvisna od številnih pogojev, ki jih morajo železniški sistemi in podsistemi upoštevati, da izpolnijo osnovne zahteve. Te se nanašajo na varnost, zdravje, zanesljivost, varstvo okolja, razpoložljivost, dostopnost in tehnično kompatibilnost. Namen interoperabilnost je odstranitev vsakršnih ovir in omejitev, ki nastajajo pri mednarodnem prometu, v želji zagotovitve nemotenega prehajanja iz enega omrežja v drugega [22].

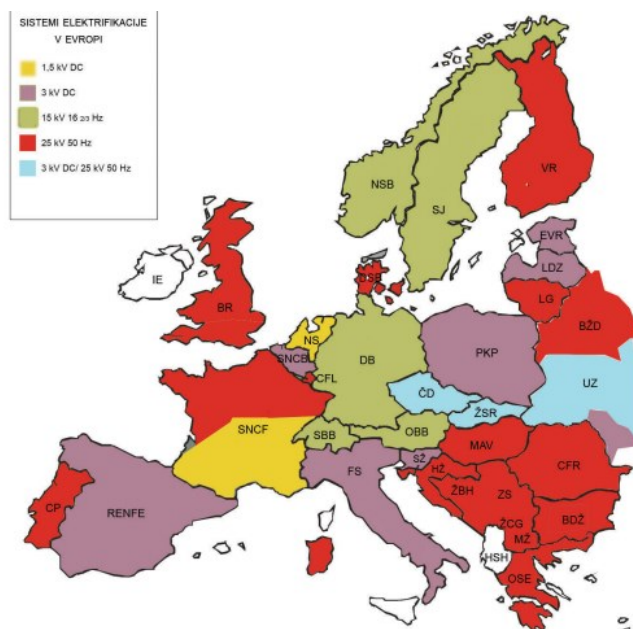
Za vzpostavitev konkurenčne železnice in zagotovitev homogenega evropskega prometnega sistema je treba odpraviti tehnične raznolikosti sistemov, ki predstavljajo eno od glavnih preprek. Tukaj predvsem mislimo na različne sisteme elektrifikacije, uporabo različnih sistemov signalnovarnostnih naprav in upravljanje prometa. Leta 1887 so se v ožjem evropskem prostoru s podpisom dokumenta o enotni tirni širini, nakladalnem in svetlem profilu poenotile železnice, kar je zagotovilo vzpostavitev čezmejnega odvijanja prometa. Na območju Evropske unije se je uveljavila tako imenovana normalna tirna širina 1.435 mm (Slika 5), z izjemo držav Iberskega polotoka, baltskih držav ter Finske. Španija in Portugalska rešujeta prehode iz tirne širine 1.668 mm na normalno tirno širino z uporabo vlakov, ki se s pomočjo posebnih kolesnih dvojic prilagajajo širini in so tako zmožni obratovanja po obeh vrstah tirov. Problemi pri pretoku blaga ostajajo na mejah z baltskimi državami, Finsko, Ukrajino, Rusijo ter preostalimi državami nekdanje Sovjetske zveze. Tirna širina tako ponekod ostaja 1.524 mm, zato je treba tovor

prekladati ali pa opravljati menjave kolesne dvojice. Z vidika evropske infrastrukturne politike to ne predstavlja optimalnega delovanja, saj nastajajo ozka grla v železniškem sistemu. Za reševanje raznolikih sistemov elektrifikacije (Slika 6) se uporabljajo večsistemske lokomotive [22].



Slika 5: Tirne širine v evropskem prostoru [22]

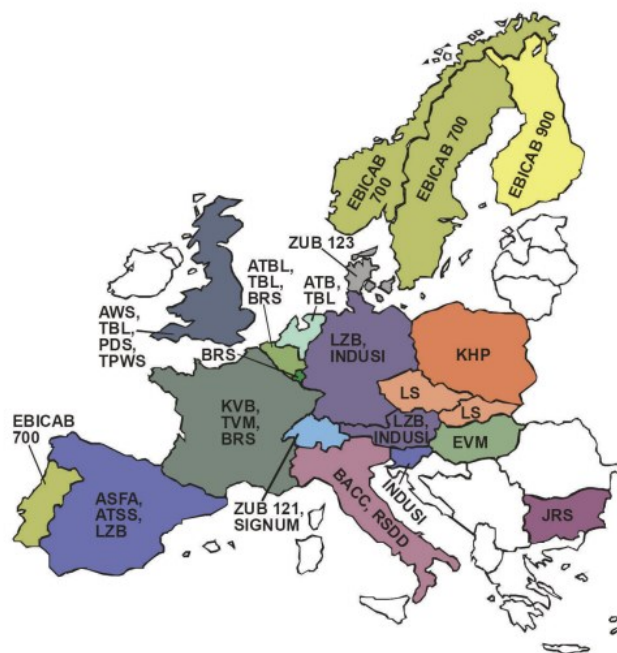
Figure 5: Track widths in Europe [22]



Slika 6: Sistemi elektrifikacije v Evropi [22]

Figure 6: European electrification systems [22]

Največjo oviro predstavljajo nekompatibilne signalnovarnostne naprave v lokomotivah in na progah v čezmejnem prometu, kar je posledica uporabe različnih proizvajalcev opreme (Slika 7). Slednja onemogoča povezavo med napravami, kar vpliva na varnost železniškega prometa. Problemi se rešujejo z menjavo lokomotiv in osebja, ki poznajo lokalno omrežje, kar povzroča dodatne zastoje v prometu [22].



Slika 7: Sistemi vodenja in zavarovanja vlakov [22]

Figure 7: Train control and insurance systems [22]

Na večanje neusklajenosti evropskega prometnega sistema vplivajo tudi različni nacionalni tehnični predpisi in zakonodaja. Ena od nalog je zato izdelati homogene tehnične predpise, ki bi veljali v vseh državah članicah Evropske unije [22].

Omenjene tehnične predpise imenujemo Tehnične specifikacije za interoperabilnost (TSI). Po TSI razvrščamo proge za potniški promet v šest kategorij z oznakami od P1 do P6 (Preglednica 1) in proge za tovorni promet v štiri kategorije z oznakami od F1 do F4 (Preglednica 2). Parametri, od katerih je odvisno, v katero kategorijo spada proga, so naslednji [22]:

- svetli profil,
- osna obremenitev,
- progovna hitrost,
- uporabna dolžina perona,
- dolžina vlaka.

Svetli profil in osna obremenitev sta t. i. »čvrsta parametra«, ki določata, kateri vlaki lahko vozijo po progi. Progovna hitrost, dolžina vlaka in uporabna dolžina perona predstavljajo »mehke parametre«, saj ne določajo fiksnih mej za parametre [22].

Preglednica 1: Kategorije prog za potniški promet [22]

Table 1: Categories of railway lines for passenger services [22]

ZMOGLJIVOSTNI PARAMETRI ZA POTNIŠKI PROMET				
Prometna koda	Svetli profil	Oсна obremenitev (t)	Progovna hitrost (km/h)	Uporabna dolžina perona (m)
P1	GC	17 (*)	250-300	400
P2	GB	20 (*)	200-250	200-400
P3	DE3	22,5 (**)	120-200	200-400
P4	GB	22,5 (**)	120-200	200-400
P5	GA	20 (**)	80-120	50-200
P6	G1	12 (**)	n. r.	n. r.

Preglednica 2: Kategorije prog za tovorni promet [22]

Table 2: Categories of railway lines for freight services [22]

ZMOGLJIVOSTNI PARAMETRI ZA TOVORNI PROMET				
Prometna koda	Svetli profil	Oсна obremenitev (t)	Progovna hitrost (km/h)	Dolžina vlaka (m)
F1	GC	22,5 (*)	100-120	740-1.050
F2	GB	22,5 (*)	100-120	600-1.050
F3	GA	20 (*)	60-100	500-1.050
F4	GB	18 (*)	n. r.	n. r.

V Sloveniji se z vidika interoperabilnosti soočamo s kar nekaj težavami. Prvo težavo predstavlja neusklajenost med nacionalnimi in evropskimi tehničnimi predpisi, drugo pa odnosi med udeleženci projekta (investitor, izvajalec, odgovorni nadzornik in priglašen organ). Odgovornosti in pristojnosti se pri udeležencih projekta delno prekrivajo, niso ustrezno definirane oziroma ločene in ni popolnoma specificirano, katere so skupne točke udeležencev projekta. Pri vpeljevanju interoperabilnosti je potrebna še dodatna pazljivost pri uskladitvi nacionalnih in evropskih tehničnih predpisov, saj njihova nedorečenost lahko potencialno vpliva na varnost železniškega prometa [22].

V naslednjem poglavju magistrskega dela so za potrebe možnosti izvedbe takšne železniške trase predstavljeni robni pogoji, kjer so analizirane geološke in hidrološke značilnosti obravnavanega

območja, namenska raba prostora, naravne vrednote in Natura 2000, naravna in kulturna dediščina, obstoječa prometna ter gospodarska javna infrastruktura. Robni pogoji so bili odločilnega pomena pri umeščanju proge v prostor.

3 ROBNİ POGOJI

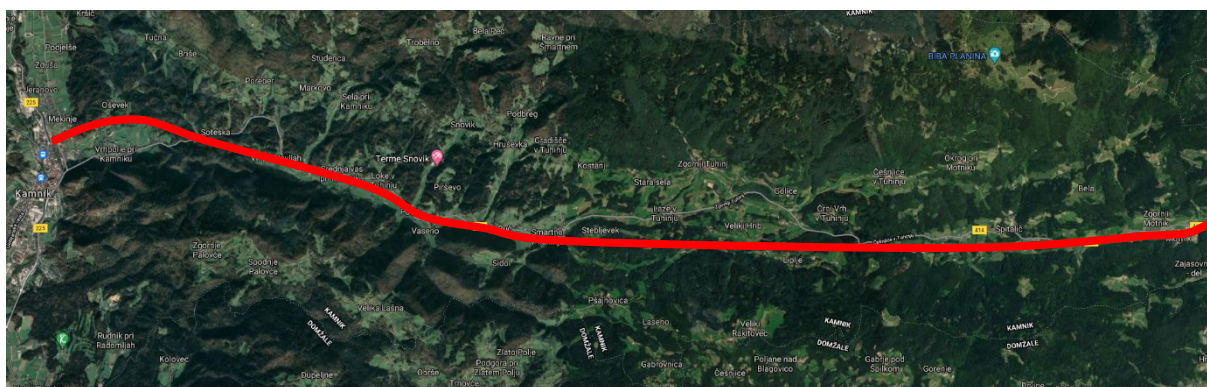
3.1 Obravnavano območje

Magistrska naloga obsega različne variante izvedbe nove elektrificirane dvotirne železniške povezave Kamnik Graben–Vransko–Breg pri Polzeli, ki potekajo skozi Tuhinjsko dolino z navezavo na že obstoječo železniško infrastrukturo. Nova proga med Ljubljano in Celjem na odseku Ljubljana Šiška–Kamnik Graben poteka po obstoječem tiru, pri Kamniku se nadaljuje po novi zasnovani povezavi skozi Tuhinjsko dolino preko Vranskega po severni strani avtoceste A1 vse do Brega pri Polzeli, kjer se naveže na obstoječo progo Celje–Velenje in zaključi v Celju.

Obravnavani koridor, kjer se variante umeščajo v prostor, se razprostira od Kamnika Graben, mimo krajev Vrhpolje pri Kamniku, Podhruška, Loke v Tuhinju, Vaseno, Buč, Šmartno v Tuhinju in Laze v Tuhinju. Od tu poteka pod cestnim prelazom Kozjak vse do kraja Špitalič, se nadaljuje mimo krajev Bela, Motnik, Bistrica in Osredek do Ločice pri Vranskem. Območje koridorja je v nadaljevanju definirano z regionalno cesto R2-447 vse do Vranskega, lociranega ob avtocesti A1. Ta se od kraja Brode odvija po severni strani avtoceste mimo Stopnika, bivše cestninske postaje Vransko in Šmatevža. Kasneje koridor zaobide Zakl in Orlo vas, prečka reko Savinjo in se pri Bregu pri Polzeli zaključi na obstoječi progi Celje–Velenje. Območje koridorja prikazujeta sliki 8 in 9.

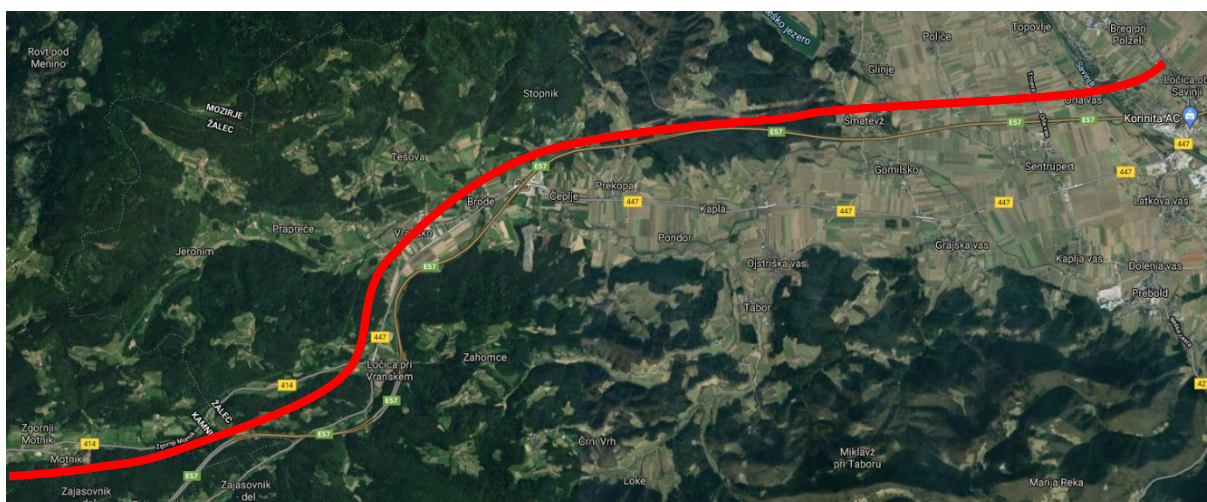
Edini zgodovinski zapisi namere po izgradnji železniške povezave na obravnavanem območju segajo v daljni leti 1842 in 1843, kjer so omenjene tri možnosti poteka proge med Celjem in Ljubljano. Ena izmed takrat omenjenih variant, ki zajema magistrsko idejno zasnovo, je bila proga s potekom Celje–Spodnja Savinjska dolina–Vransko–Tuhinjska dolina–Kamnik–Domžale–Ljubljana [23, 24].

Po pregledu občinskih (OPN) in državnih prostorskih načrtov (DPN) dandanes ni mogoče zaslediti nikakršnih namer o izgradnji železniške povezave na obravnavanem območju. Za obstoječo progo Ljubljana Šiška–Kamnik Graben je v pripravi DPN, ki obravnava nadgradnjo omenjene železniške proge. Slednja zajema nadgradnjo obstoječega tira, gradnjo vzporednega tira, preureditev postaj in postajališč ter elektrifikacijo proge. Nadgradnja predvideva vožnjo vlakov s hitrostmi do 100 km/h, znižanje potovalnih časov in izboljšanje vozno-tehničnih elementov, povečanje količine tovora, izboljšanje mobilnosti in dostopnosti uporabnikov, povečanje zmogljivosti proge, preureditev cestnega omrežja in gradnjo izvennivojskih prehodov [25]. Prav tako se v OPN-ju občine Polzela predvideva elektrifikacija proge Celje–Velenje, gradnja postajališča in posodobitev obstoječih križanj [26].



Slika 8: Prikaz obravnavanega območja koridorja (1. del) [27]

Figure 8: Overview of the considered corridor area (Part 1) [27]



Slika 9: Prikaz obravnavanega območja koridorja (2. del) [27]

Figure 9: Overview of the considered corridor area (Part 2) [27]

3.2 Geološko-morfološke značilnosti

Tuhinjska dolina obsega severozahodni del Posavskega hribovja in poteka v smeri od vzhoda proti zahodu. Predstavlja nesimetrično sinklinalno dolino, locirano južno od planine Menine, hriba Vovar, Tomanove planine in Grebena, ki sestavljajo razvodje med reko Nevljico in potokom Črna. Na jugu je dolina omejena z razvodnim grebenom, ki poteka od vzhoda proti zahodu preko Šipka, hriba Polhovec, se nadaljuje v smeri severa od hriba Rakitovec in Lipe, kjer preko Golega vrha in Kremena preide na Tolsto goro. Območje Tuhinjske doline zajema celotno povodje Nevljice in Motnišnice [28].

Današnja oblika Tuhinjske doline je posledica gubanja, ki je nastajalo med obdobjem krede in eocena. Zaradi pomikov Posavskih gub proti severu in Savinjskih Alp proti jugu je prišlo do dodatnega zožanja vmesnega območja in narinjenja čez psevdosiljske sklade (glinasti skrilavec). V tem obdobju sta se zgodili še dve gubanji. Prvo med obdobjem oligocena in miocena, drugo pa v času med sarmatom in

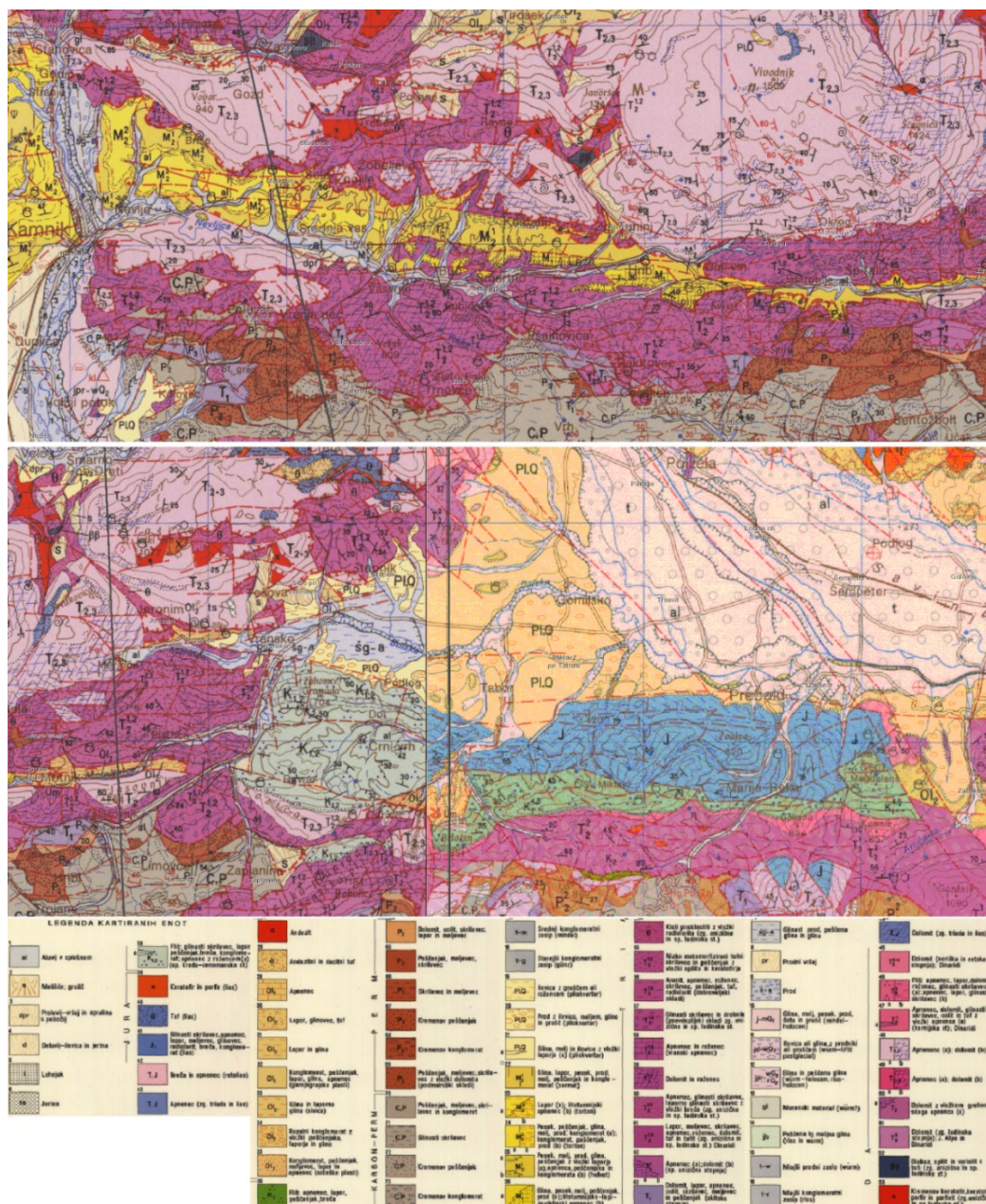
panonom, ki je pomaknilo Savinjske Alpe nad sloje iz obdobja miocena. Zaradi visokih pritiskov v smeri od vzhoda na zahod je prišlo do prevračanja starejših slojev iz miocenske dobe na mlajše. Tuhinjska dolina je na zahodu večinoma nedotaknjena in širša, kar dokazujejo mlajši sarmatski sloji, ki so locirani na sredini, starejši pa na robovih terciarnega področja [28].

V kasnejših obdobjih je prišlo do izrazitih dvigovanj na severnem delu, kar je povzročilo prestavitev reke Nevljice južno med terciarne in triadne kamnine. Zaradi teh premikov ima dolina asimetrično obliko. Omenjena dvigovanja so reko, ki je tekla v smeri proti vzhodu, razdelila na dva dela. Na vzhodu od prelaza Kozjak teče Motnišnica, na zahodu pa Nevljica. Na Menini je govora o panonskem površju, ki je izoblikovano v apniških kamninah, v nižje ležečih delih pod Menino pa o pliocenskih nivojih, urezanih v apnenec, ki v smeri zahoda preidejo v kamnine tršega porfirja in mehkejše skrilavce, pozneje pa ponovno v apnenec. V zgornjem delu porečja Motnišnice so pobočja sestavljena iz dolomitov, dno pa iz mehkejših terciarnih kamnin. Pokrajinska podoba je posledica različnih rezistenc kamnin, zaradi česar so na tem območju prisotne raznolike morfološke oblike. V zgornjem delu prihaja do zakrasevanja, v osrednjem delu do slabo ohranjenih ozkih teras, v nižjem delu pa do zelo razrezanega terena. Pri naselju Ravne je mogoče opaziti manjšo razrezanost in boljšo ohranjenost porfirskih teras v primerjavi s tistimi, ki se nahajajo na kamninah iz laporja. Na podlagi izjemno razgibanega terena lahko zapišemo, da je v Tuhinjski dolini večinoma prisoten gričevnat in hribovit teren z izjemo nekaterih področij med Nevljami in Vrhpoljem, Podhruško in Lokami ter na območju Motnika, kjer teren preide v ravnino [28].

Raznoliko geološko sestavo prikazuje geološka karta (Slika 10) za obravnavano dolino, kjer je mogoče za nižje ležeče predele razbrati prisotnost proda, aluvijalnih nanosov, gline, melja, grušča, peščenjaka in konglomerata, v višje ležečih predelih pa prisotnost apnenca, laporja, dolomita in rozenca ter glinastega skrilavca.

Območje med Vranskim in Polzelo predstavlja nazoren primer povezanosti reliefa in litološke sestave. Slemenca, ki potekajo od zahoda proti vzhodu, so sestavljena iz vranskega apnenca, ki je erozijsko zelo odporen. Tak primer predstavljajo Jasovnik, Kozica in Škrabarjev vrh. Doline med grebeni sestavlja pretežno glinasti skrilavec, ki je spodvržen k hitrejšemu preperevanju, kar povzroča nastajanje depresij. Prečno na depresije so nastale doline, preko katerih teče voda v smeri proti Savinji [29].

Na podlagi geološke karte (Slika 10) je mogoče za ravninsko področje Vranskega razbrati, da na tem delu prevladujeta pretežno glinast prod in peščena glina, v višje ležečih predelih pa apnenec, lapor in dolomit. Na ravninskem območju Braslovč in Polzele se nahajajo terasasti rečni sedimenti in aluvijalni nanosi reke Savinje.



Slika 10: Geološka karta obravnavanega območja [30]

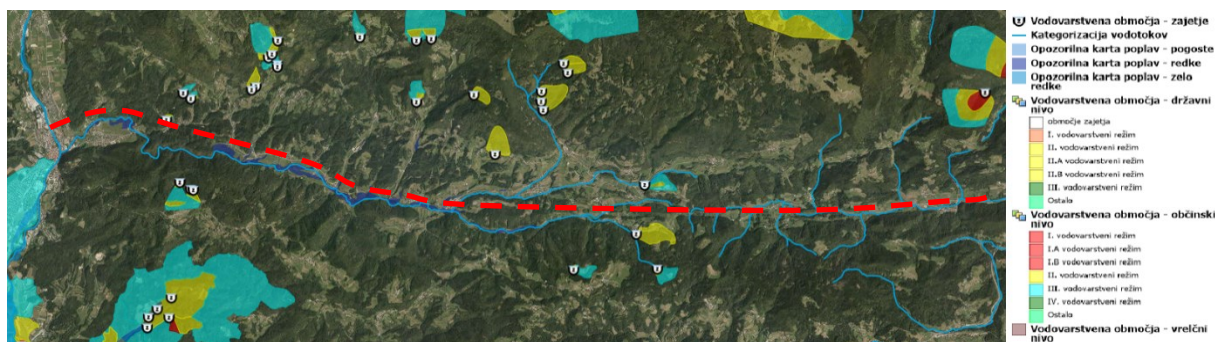
Figure 10: Geological map of the considered area [30]

3.3 Hidrološke značilnosti

Na območju Tuhinjske doline so hidrološki pogoji ugodni. V smeri zahoda od prelaza Kozjak teče Nevljica, ki je pritok Kamniške Bistrice in se zliva v Savo, na zahod pa teče Motnišnica, ki tvori pritok Bolske, slednja pa povodje Savinje. Prepustne apniške kamnine na apniških pobočjih so glavni razlog, da severni deli doline nimajo konstantnih potokov, zato voda teče po površju le ob deževnih dobah. Mnogi manjši potoki, ki izvirajo med poroznimi in neporoznimi plastmi ter napajajo Nevljico, tečejo po globokih grapah. Čejnjsica s svojim izvorom pod planino Menino predstavlja največji pritok reke

Nevljice. Češnjica teče vzporedno z Nevljico vse do Šmartnega, kjer se vanjo steka in nato kot Nevljica teče do Kamnika, kjer se zliva v Kamniško Bistrico. Zaradi ugodne porazdelitve celoletnih padavin ima Nevljica enakomeren vodostaj, z izjemo jesenskega obdobja, ko so prisotne večje količine padavin. Spomladi posledice nižjih količin padavin nadomesti taljenje snega v višjih predelih. Ob zelo intenzivnih padavinah potoki prestopijo svoje struge in nastanejo poplave [28].

Na sliki 11 so za območje Tuhinjske doline prikazane hidrološke razmere, ki ponazarjajo omenjene reke in potoke, vodovarstvena območja z zajetji in območja redkih poplav. Predviden koridor ne poteka po vodovarstvenem območju in ne prečka nobenega vodnega zajetja. Ker je izgradnja predvidena na območju redkih poplav, je treba na mestu nasipov izdelati ustrezno velike prepuste za pretakanje vode, saj tako v primeru obilnejših poplav zmanjšamo možnost nastanka zajezev. Pomembno je poudariti, da je pri načrtovanju trase nujno sodelovanje s hidrologi. Prav tako je treba na mestu vkopov, nasipov in mešanih profilov zagotoviti primerno odvodnjavanje padavinske in površinske vode. V ta namen se izdelajo ustrezne kanalete, jarki, prepusti, zadrževalniki in drenaže. V sklopu izgradnje železniške proge je na mestih večkratnih poplav, in kjer projekt to predvideva, treba izvesti ustrezno regulacijo, prestavitve, razširitve, poglobitve in obložitev struge ter tako poskrbeti za večjo poplavno varnost.



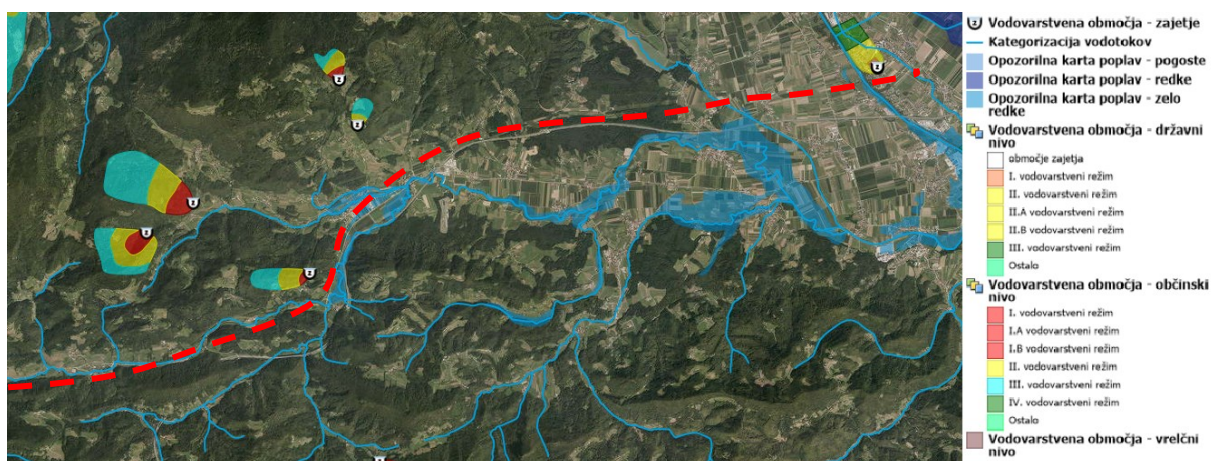
Slika 11: Hidrološke razmere na območju koridorja (1. del) [31]

Figure 11: Hydrological conditions in the corridor area (Part 1) [31]

Glavni vodni telesi na območju med Vranskim in Polzelo predstavljata hudourniška reka Bolska in reka Savinja. Izvir Bolske se nahaja severno od Trojan na severnem območju Posavskega hribovja. Prvi pritok predstavlja Zaplaninščica pri Zajasovniku, od koder reka nadaljuje svojo pot po ozki dolini do Ločice pri Vranskem, kjer se na robu Tuhinjske doline vanj zliva Motnišnica. V nadaljevanju reka teče skozi kratko sotesko do Vranskega, kjer se ji kot levi pritok priključi Merinščica. V Brodah prečka avtocesto A1 in od tam ves čas s številnimi zavoji teče po široki ravninski dolini, kjer se ji pridružita Kučnica in Konjščica, pred samim izlivom v reko Savinjo pa še potok Reka [32].

Bolska lahko zavoljo svoje hudourniške narave v času močnih poletnih in jesenskih padavin hitro naraste ter prestopi svojo strugo, zaradi česar je morebiti na nekaterih delih opaziti poplavne ravnice. V sušnih poletnih mesecih pa je njen vodostaj nizek. Slika 12 zajema omenjeno območje, prikazuje hidrološke

razmere, omenjena vodna telesa in pritoke, vodovarstvena območja z zajetji in ponazarja območja zelo redkih poplav. Območje koridorja ne poteka po vodovarstvenem območju in ne prečka nobenega vodnega zajetja, obsega pa območja zelo redkih poplav. Ravno tako je treba na mestu nasipov poskrbeti za ustrezne prepuste, naprave za odvodnjavanje in izvesti ustrezno razširitev za povečanje poplavne varnosti, poglobitev ter ureditev struge.



Slika 12: Hidrološke razmere na območju koridorja (2. del) [31]

Figure 12: Hydrological conditions in the corridor area (Part 2) [31]

3.4 Namenska raba prostora

Namenske rabe zemljišč, po katerih poteka koridor predvidenih tras, so zlasti kmetijska (travniki, pašniki in njive) in gozdna zemljišča. S spodnjih slik 13 in 14 je razvidno, da večina kmetijskih zemljišč spada v I. in II. kategorijo.

V začetku koridorja, predvidene trase potekajo po območjih namenjenih za stanovanjsko rabo, urbane površine, centralne dejavnosti, površinske vode, proizvodne dejavnosti in gozdne površine. Kmetijske površine I. kategorije se razprostirajo od Podhruške do Vasena, kjer prehajajo v II. in ponovno v I. kategorijo. Od naselja Buč preko Špitaliča in Motnika do Vranskega se trase umeščajo na gozdne in kmetijske površine I. in II. kategorije. Na Vranskem se ponekod pojavljajo površine, namenjene stanovanjski rabi ter centralni dejavnosti. Vsi zgoraj naštetimi tipi namenske rabe prostora so prav tako locirani med krajema Vransko in Šmatevž. Od slednjega do Brega pri Polzeli, kjer se koridor zaključuje, trase prečkajo večje območje kmetijskih zemljišč kategorije I in območje reke Savinje.



Slika 13: Namenska raba prostora na območju koridorja (1. del) [31]

Figure 13: Intended use of space in the corridor area (Part 1) [31]

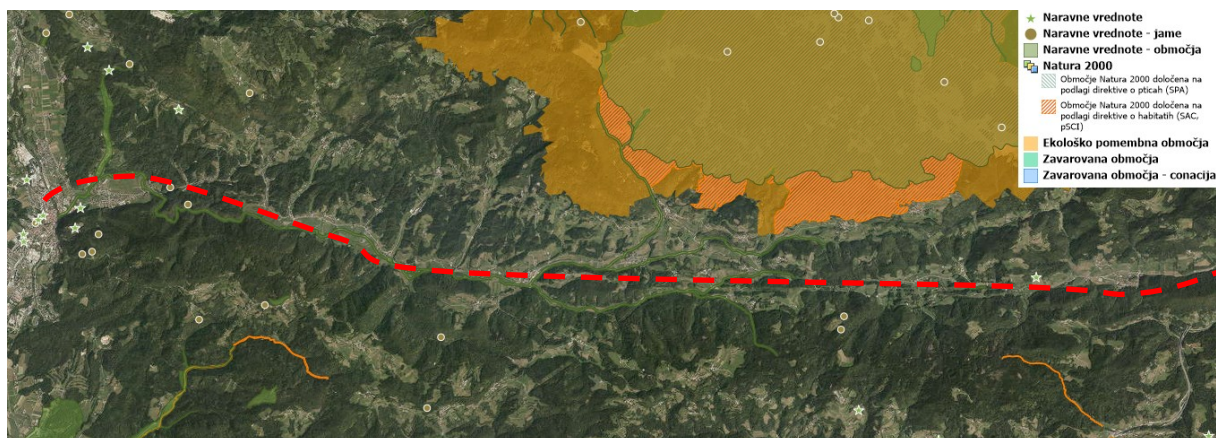


Slika 14: Namenska raba prostora na območju koridorja (2. del) [31]

Figure 14: Intended use of space in the corridor area (Part 2) [31]

3.5 Naravne vrednote in Natura 2000

Predviden koridor poteka od Kamnika do Špitaliča po ali ob območju reke Nevljice, ki predstavlja naravno vrednoto. Pri Špitaliču obide nahajališče fosilov in se nadaljuje skozi Tuhinjsko dolino, Vransko, Stopnik do kraja Šmatevž, kjer se po južni strani izogne naravni vrednoti Trnavica in pri Orli vasi preko mostu prečka Naturo 2000 ter njene naravne vrednote reke Savinje. Tako se z namenom ohranjanja naravnih vrednot in bogastev izogne številnim naravnim danostim, kot so jame, različne rastlinske vrste, območje Žovneškega jezera in druge. Sliki 15 in 16 predstavljata lokacije naravnih vrednot in Natura 2000 na območju predvidenega koridorja.



Slika 15: Naravne vrednote in Natura 2000 na območju koridorja (1. del) [31]

Figure 15: Natural values and Natura 2000 in the corridor area (Part 1) [31]



Slika 16: Naravne vrednote in Natura 2000 na območju koridorja (2. del) [31]

Figure 16: Natural values and Natura 2000 in the corridor area (Part 2) [31]

3.6 Naravna in kulturna dediščina

Območje nove železniške povezave Kamnik Graben–Vransko–Breg pri Polzeli tvori naravno in kulturno dediščino. V Kamniku se v starem mestnem jedru nahaja frančiškanski samostan s knjižnico in cerkev svetega Jakoba iz 15. stoletja, spomenik generala Rudolfa Maistra in v njegovi bližini park Evropa, kjer so številne sprehajalne poti in spomenik revoluciji in padlim. Grad Zaprice, ki leži na pobočju nad mestom, predstavlja eno od pomembnejših kulturnozgodovinskih znamenitosti. Grad je bil zgrajen v 16. stoletju in stoji na ruševinah dveh starejših gradov, v 18. stoletju pa so ga prezidali in razširili. V njem je svoja vrata leta 1961 odprl medobčinski muzej Kamnik [33].

Prav tako je v Tuhinjski dolini mogoče odkriti kar nekaj znamenitosti, ki pričajo o pestrosti zgodovine in kulture na tem področju. V Nevljah pri Kamniku se nahaja cerkev svetega Jurija iz 12. stoletja in

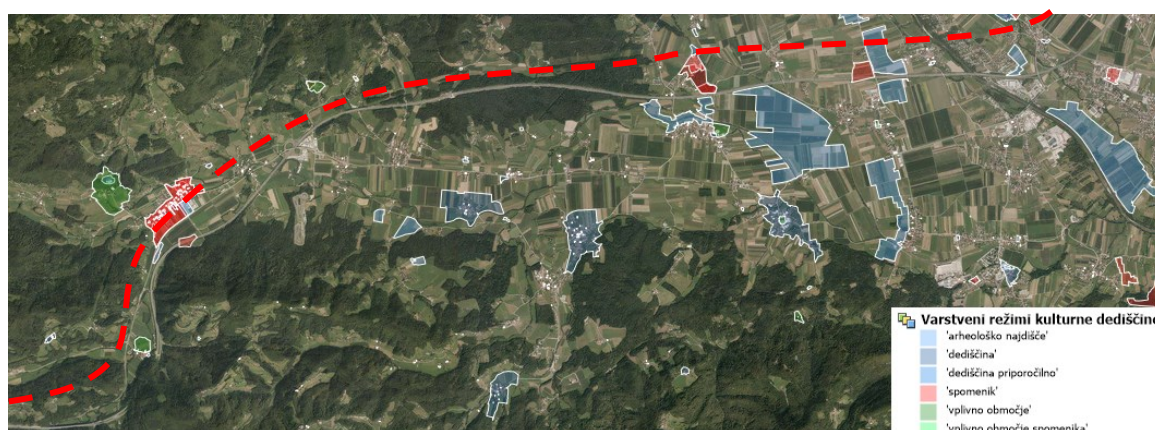
nahajališča rimskih ter srednjeveških ostankov [34]. V Lokah pri Tuhinju naletimo na cerkev svetega Tomaža, ki stoji na temeljih nekdanje cerkve iz obdobja srednjega veka, v Šmartnem v Tuhinju pa na cerkev svetega Martina, sezidano v 13. stoletju, in v letih 1742 ter 1944 porušeno. Današnja cerkev je bila zgrajena leta 1960 [35]. Špitalič se nahaja na vzhodni strani prelaza Kozjak in je bil osnovan že leta 1228. Tam se nahaja cerkev svetega Antona Puščavnika, opisana v Valvasorjevih delih, iz 17. stoletja [36]. Zadnji večji pomembni kraj Tuhinjske doline je Motnik, kjer se nad vasjo nahajajo ostanki istoimenskega gradu iz prve polovice 13. stoletja. Slednji je leta 1755 pogorel, bil prenovljen in leta 1771 popolnoma porušen. Nad Motnikom sta postavljeni dve cerkvici, prva iz 13. stoletja, ki se imenuje cerkev svete Magdalene, druga pa cerkev svetega Jurija iz leta 1684. V bližini se nahaja rudnik rjavega premoga, ki je obratoval med letoma 1831 in 1951 [35, 37, 38].

Od Vranskega do Polzele je mogoče v neposredni bližini opaziti dvorec Avžek iz konca 15. stoletja, muzej starodobnih motociklov, Schwentnerjevo hišo znanega založnika pisateljev in pesnikov slovenske moderne, cerkev svetega Mihaela iz leta 1123, grad Hekenberg iz 12. stoletja, cerkev svetega Matevža ter park in dvorec Štrovsenek, zgrajen v 15. stoletju za časa Celjskih grofov [33]. Kulturno dediščino prikazujeta sliki 17 in 18.



Slika 17: Kulturna dediščina na območju koridorja (1. del) [31]

Figure 17: Cultural heritage in the corridor area (Part 1) [31]



Slika 18: Kulturna dediščina na območju koridorja (2. del) [31]

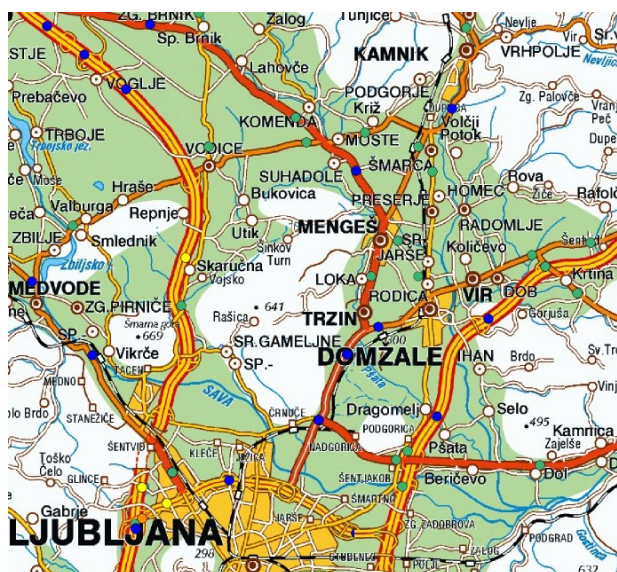
Figure 18: Cultural heritage in the corridor area (Part 2) [31]

3.7 Prometna infrastruktura

Nova proga med Ljubljano in Celjem na odseku Ljubljana Šiška–Kamnik Graben sprva poteka ob Dunajski cesti, ki velja za eno od glavnih ljubljanskih vpadnic in najbolj obremenjenih cest, vse do industrijske cone Črnuče. V nadaljevanju železniška proga do postaje Domžale sledi glavni cesti G2-104, kjer se prične odvijati ob regionalni cesti R3-644 do Šmarce, od tam pa ob regionalni cesti R1-225 do postaje Kamnik Graben. Na relaciji Ljubljana–Domžale, v njeni neposredni bližini, poteka tudi avtocesta A1. Od Kamnika Graben preko Tuhinjske doline vse do Ločice pri Vranskem se predvidene variante prog odvijajo ob regionalni cesti R2-414, v nadaljevanju pa ob regionalni cesti R2-447 vse do avtocestnega priključka Vransko. Tu se oddaljijo in zatem potekajo v bližini avtoceste A1 do Brega pri Polzeli, kjer se navežejo na obstoječo železniško progo Celje–Velenje. Obstoječi železniški odsek Breg pri Polzeli–Celje se odvija v neposredni bližini regionalne ceste R2-447. Predvidene trase variant, ki povezujejo obstoječo železniško infrastrukturo, prečkajo nekatere regionalne in lokalne ceste, javne in makadamske poti, s čimer se zagotovi lažja dostopnost pri izgradnji.

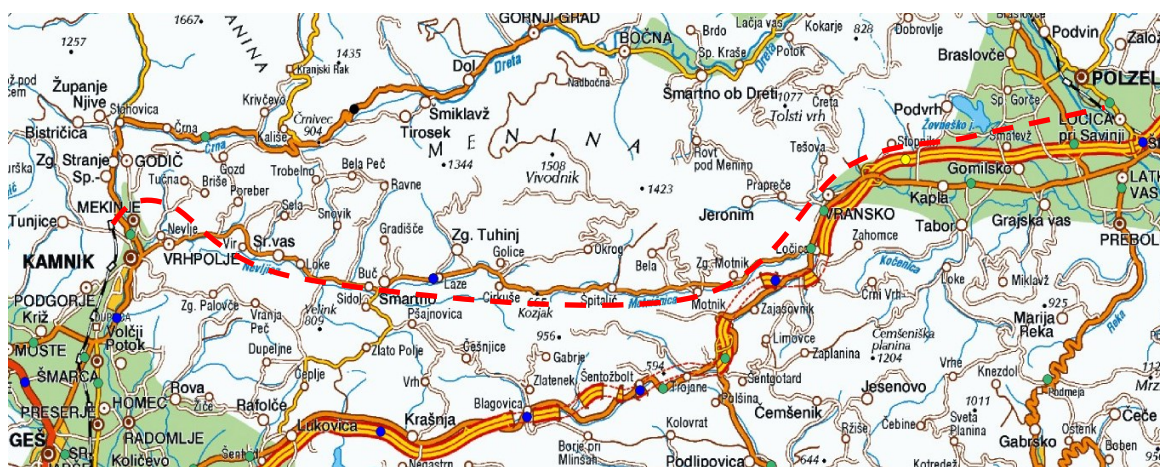
Poleg omenjenih cestnih povezav je v bližnji prihodnosti v okviru tretje razvojne osi, ki bo povezala severni in jugovzhodni del Slovenije, predvidena izgradnja avtoceste od priključka Šentrupert do priključka Slovenj Gradec jug.

V magistrski nalogi je bilo v iskanju rešitve nove povezave Kamnik Graben–Vransko–Breg pri Polzeli zasnovanih več variant, z namenom da se s svojim potekom v čim večji meri izognejo prvovrstnim kmetijskim in gozdnim zemljiščem in je tako drobljenje teh kar se da majhno. Prav tako se v iskanju rešitve umeščanja nove povezave v čim večji meri izognemo stanovanjskim in gospodarskim objektom. Pri obravnavanih variantah so v okviru projekta, predvideni različni gradbeno inženirski objekti, nadvozi, nove cestne povezave, deviacije oziroma prestavitve cest ter nivojska križanja. Slike 19, 20 in 21 prikazujejo prometno infrastrukturo na območju nove železniške proge Ljubljana–Celje.



Slika 19: Prometna infrastruktura na območju nove železniške proge Ljubljana–Celje odsek Ljubljana Šiška–Kamnik Graben [39]

Figure 19: Transport infrastructure in the area of the new railway line Ljubljana–Celje; section Ljubljana Šiška–Kamnik Graben [39]



Slika 20: Prometna infrastruktura na območju nove železniške proge Ljubljana–Celje odsek Kamnik Graben–Vransko–Breg pri Polzeli [39]

Figure 20: Transport infrastructure in the area of the new railway line Ljubljana–Celje; section Kamnik Graben–Vransko–Breg pri Polzeli [39]



Slika 21: Prometna infrastruktura na območju nove železniške proge Ljubljana–Celje odsek Breg pri Polzeli–Celje [39]

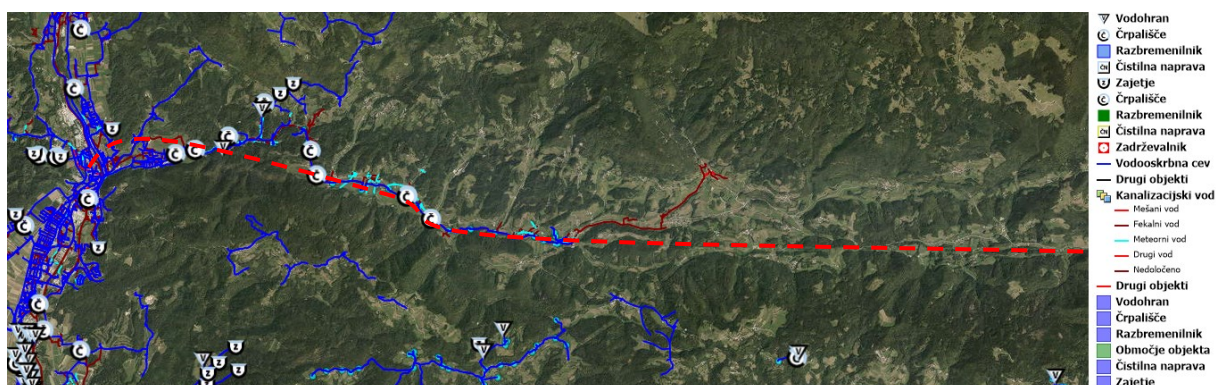
Figure 21: Transport infrastructure in the area of the new railway line Ljubljana–Celje; section Breg pri Polzeli–Celje [39]

3.8 Gospodarska javna infrastruktura

Pri gradnji železniške proge se poskuša obstoječo gospodarsko javno infrastrukturo v čim večji meri ohraniti. Predvideni so ukrepi za prestavitev in zaščito nekaterih vodov. Pri vseh posegih v prostor je treba upoštevati trase obstoječih vodov in predhodno pridobiti soglasje upravljalca k projektnim rešitvam.

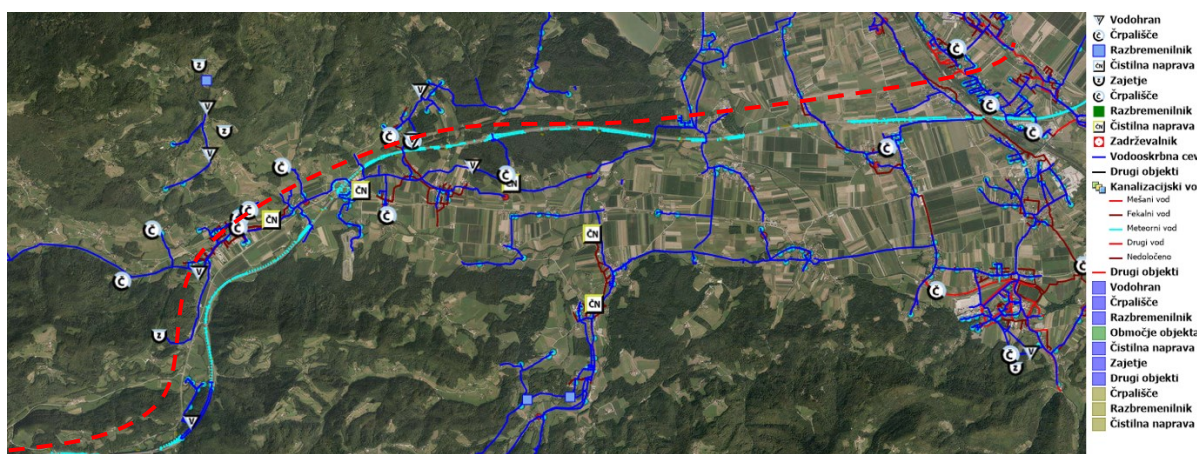
3.8.1 Komunalna infrastruktura

Spodnji sliki 22 in 23 prikazujeta lokacijo komunalne infrastrukture na območju koridorja. Ta nekajkrat prečka vodovod, meteorno kanalizacijo in fekalni vod. Največ križanj je pričakovati na začetku in koncu zaradi bližine urbanih središč. Večino križanj je predvidenih prečnih, nekaj pa tudi vzdolžnih. Na križanjih je treba izvesti ustrezno zaščito ali pa premestitev omenjenih vodov. Spodnji sliki prikazujeta komunalno infrastrukturo obravnavanega območja, kjer modra barva označuje vodovod, rdeča mešani vod, rjava fekalni vod in svetlo modra meteorni vod.



Slika 22: Komunalna infrastruktura na območju koridorja (1. del) [31]

Figure 22: Communal infrastructure in the corridor area (Part 1) [31]

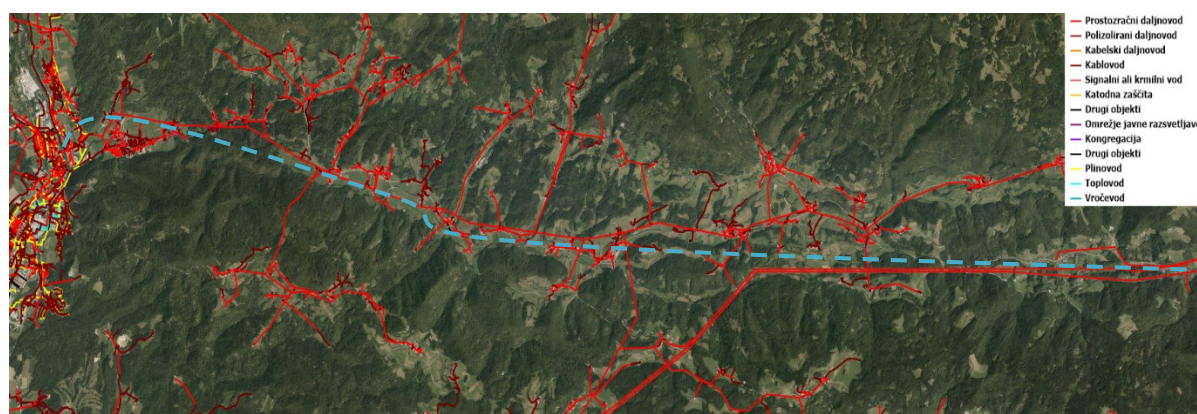


Slika 23: Komunalna infrastruktura na območju koridorja (2. del) [31]

Figure 23: Communal infrastructure in the corridor area (Part 2) [31]

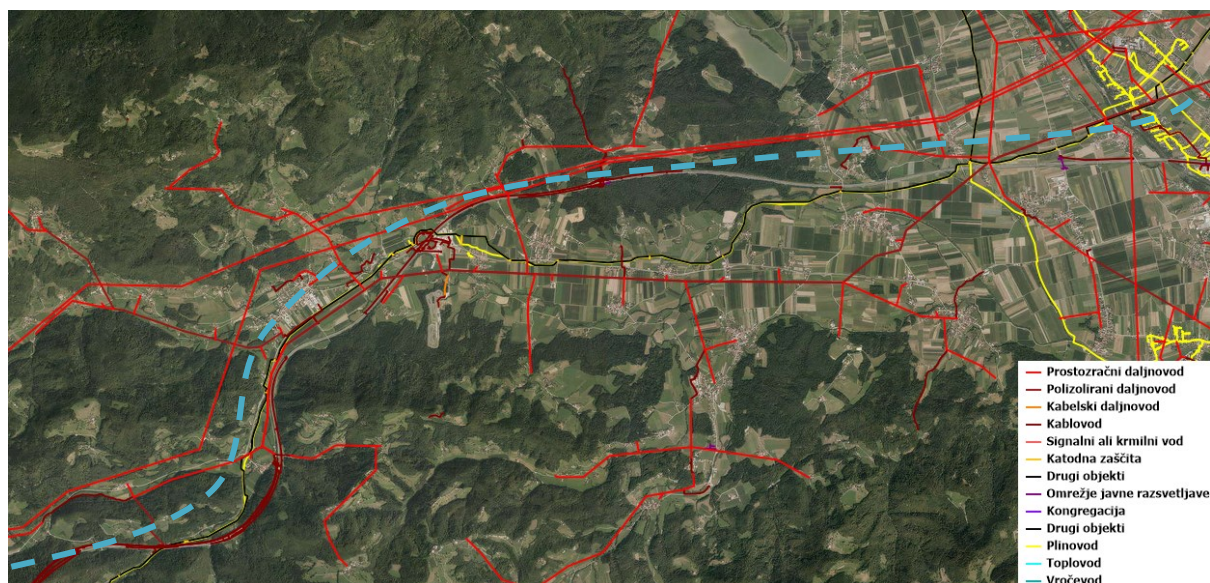
3.8.2 Energetska infrastruktura

Železniški koridor poteka po območju, kjer se nahajajo energetski vodi. Vodi nižjih napetosti so speljani ob naseljih pod cestno infrastrukturo, medtem ko se visokonapetostni vodi nahajajo izven naselja. Trase na začetku večkrat prečkajo kablovod, omrežje javne razsvetljave, plinovod in v nadaljevanju prostozračni daljnovod. V območju naselij je treba vzdolžna križanja s kablovodi in plinovodi ustrezno zaščititi oziroma jih prestaviti na drugo lokacijo. Za območja križanj se izvedejo preveritve ustreznosti križanja in zagotavljanja pogojev ter smernic upravljalca. Križanja z energetskimi vodi se najpogosteje pojavljajo na območju mest in vasi, kjer je večja zgoščenost. Trase ponekod potekajo tudi pod daljnovodi višjih napetosti, ki jih je prav tako treba prestaviti na ustrežnejšo lokacijo. Na slikah 24 in 25 je prikazana energetska infrastruktura, kjer temno rdeča barva predstavlja lokacijo kablovoda, svetlo rdeča prostozračni daljnovod in rumena omrežje plinovoda.



Slika 24: Energetska infrastruktura na območju koridorja (1. del) [31]

Figure 24: Energy infrastructure in the corridor area (Part 1) [31]



Slika 25: Energetska infrastruktura na območju koridorja (2. del) [31]

Figure 25: Energy infrastructure in the corridor area (Part 2) [31]

4 PROGRAMSKA ORODJA IN PODLOGE

4.1 Programska orodja

V okviru izdelave idejne zasnove nove železniške povezave sta bili uporabljeni dve programski orodji oziroma vmesnika, ki delujeta na podlagi programa Autodesk Civil 3D 2019. Gre za programa King.Prostor in VIA, ki sta delo slovenskega podjetja SL-King.

Slednji se uporablja za izdelavo različnih vrst projektov in predstavlja programsko rešitev od idejne zasnove do izvedbe. VIA se lahko uporablja za načrtovanje in vzdrževanje železnic, cest in tudi vodotokov in predstavlja osnovno orodje, uporabljeno pri magistrskem delu za prostorsko umeščanje osi, izdelavo dvotirne proge, urejanje vzdolžnih in prečnih profilov.

Programsko orodje King.Prostor omogoča uporabo in prikaz velikega števila podatkov, pridobljenih neposredno in brez uvažanja iz javnih evidenc, kamor štejemo ortofoto posnetke, gospodarsko javno infrastrukturo, zemljiški kataster, kataster stavb, prostorske akte, register prostorskih enot, rabo zemljišč, kulturno dediščino, gozdove, naravo, vodni kataster in okolje. Program omogoča izris ARSO Lidar podatkov v obliki plastnic terena s poljubno ekvidistanco oziroma višinskih točk v državnem koordinatnem sistemu D96 ali D48. Program King.Prostor je predstavljal osnovo za pripravo digitalnega modela reliefa, uvoz ortofoto posnetkov, karto hidroloških razmer, namenske rabe prostora, območja Nature 2000, kulturne dediščine ter prometne in gospodarske infrastrukture.

V predprojektivnem času je bilo za potrebe raziskovanja terena in lažjega umeščanja osi v prostor uporabljen geografski informacijski sistem (GIS) iObčina, ki ponuja pregledovanje podatkov, omogoča geometrijske in lokalizacijske analize (kontrola višin, merjenje razdalj in površin itd.), možnost prostorskega poizvedovanja, hkrati pa ponuja dober pregled občinskih, regijskih in državnih javnih prostorskih informacij.

4.2 Ortofoto posnetki

Osnovno podlogo za izris poteka proge in kasnejšo obdelavo so predstavljali digitalni ortofoto posnetki in višinske točke, ki so v osnovi ARSO Lidar podatki, pridobljeni preko programskega orodja King.Prostor.

Napake v višinskih točkah se navadno pojavljajo na mestih velikih višinskih razlik ali na lokaciji gozdov, kjer je težko odpraviti anomalije, nastale pri zajemu posnetka.

Ortofoto je pravzaprav zračni posnetek terena, ki je na podlagi podatkov o reliefu in orientacije posnetkov spremenjen iz centralne v ortogonalno projekcijo, in je podoben linijskemu načrtu. Pri zajemu posnetkov nastanejo nepravilnosti, ki se z obdelavo odstranijo. Datoteke imajo enako delitev kot temeljni topografski načrti z merilom 1:5000 in so izdelani v koordinatnem sistemu D96. Slovenija je bila leta 2001 prvič v celoti posneta v črno-beli izvedbi ortofoto posnetkov, pet let pozneje pa še barvno.

V preteklosti je bila osnova za ortofoto posnetke Gauss-Kruegerjeva projekcija v koordinatnem sistemu D48, od leta 2009 pa Mercatorjeva projekcija v koordinatnem sistemu D96 s transformacijo v D48. Ortofoto posnetki se uporabljajo predvsem v aplikacijah GIS, kot osnova pri prostorskem planiranju in pri geodetskih delih na terenu in kot dopolnitev informacij topografskim načrtom itd. [40].

5 TEHNIČNE ZAHTEVE PRI PROJEKTIRANJU ŽELEZNICE

Kot je že predhodno omenjeno, je leta 2008 Evropska unija sprejela direktivo o interoperabilnosti železniškega sistema v želji vzpostavitve konkurenčnega, enotnega in nemotenega prometnega sistema. Države članice morajo v okviru različnih gradbenih aktivnosti upoštevati ustrezna določila in predpisane direktive. Eden od glavnih ciljev Evropske unije je izdelati homogene tehnične predpise, ki bi veljali v vseh članicah EU [22].

V ta namen so bile poleg ostalih TSI-jev z uredbo komisije EU leta 2014 sprejete tehnične specifikacije za interoperabilnost (TSI) v zvezi s podsistemom »infrastruktura« železniškega sistema v Evropski uniji, leta 2016 pa še direktiva EU o interoperabilnosti železniškega sistema v Evropski uniji [41, 42].

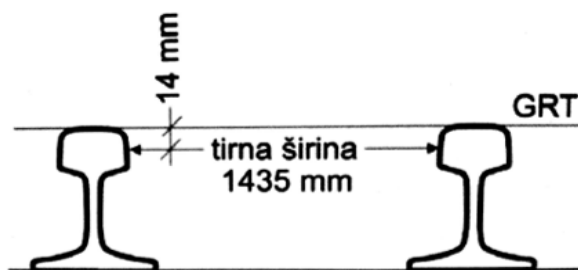
Slednja predstavljata pomembno povezavo med različnimi železniškimi sistemi, ki se pojavljajo v državah Evropske unije. Pri projektiranju železniških prog je tako treba upoštevati predpise oziroma priporočila tehničnih specifikacij za interoperabilnost Evropske unije in nacionalne predpise, s katerimi dopolnimo manjkajoče vrzeli, ki jih TSI morda ni obravnaval ali omenjal.

Pri izdelavi idejnega projekta, ki ga zajema magistrsko delo, se je poleg omenjenih TSI-jev za potrebe projektiranja uporabil Pravilnik o zgornjem ustroju železniških prog in njegove spremembe [43].

5.1 Tirna širina

Tirna širina predstavlja najkrajšo razdaljo med notranjima deloma tirničnih glav, merjeno od 0 mm do 14 mm pod vrhom tirnice. Poleg normalne tirne širine, ki je v uporabi predvsem v Evropi, poznamo še širokotirne proge dimenzij 1524 mm, 1600 mm, 1668 mm in 1676 mm, ki jih najdemo na področju nekdanje Sovjetske zveze, Iberskega polotoka, Irske in Indije, ter ozkotirne proge v Afriki in Argentini dimenzij 1067 mm in 1000 mm [44].

V tehničnih specifikacijah je v prvi točki poglavja 4.2.4.1 zapisana uporabljena standardna evropska tirna širina, ki znaša 1435 mm [41]. Prav tako jo zasledimo v Pravilniku o zgornjem ustroju železniških prog v drugi točki 8. člena [43]. Slednja je prikazana na spodnji sliki 26.



Slika 26: Normalna tirna širina [44]

Figure 26: Normal track width [44]

5.2 Najmanjši polmer horizontalnega krožnega loka

TSI infrastruktura v poglavju 4.2.3.4 omenja najmanjši konstrukcijski polmer horizontalnega krožnega loka, ki se ga določi na podlagi lokalne hitrosti. V prvi in drugi točki tega poglavja je zapisano, da na novih progah znaša absolutni najmanjši krožni lok 150 m, na novih progah v S-krivinah pa od 150 do 300 m, da se vozila ne zagozdijo med seboj [41].

Pravilnik o zgornjem ustroju železniških prog v točki štiri 10. člena navaja, da je pri gradnjah in nadgradnjah prog minimalni radij krožnega loka 300 m, na glavnih prevoznih tirih postaj pa 500 m. Kadar pri nadgradnji iz ekonomskega vidika ni mogoče zagotoviti slednjega pogoja, se lahko upravljalec odloči drugače [43].

V idejni zasnovi minimalni radij znaša 300 m, največji pa 2000 m.

5.3 Najmanjši polmer vertikalnega krožnega loka

Vrednosti polmerov vertikalnih krožnih lokov po TSI infrastruktura v poglavju 4.2.3.5 znašajo pri konveksnih zaokrožitvah najmanj 500 m, pri konkavnih pa 900 m [41].

Po Pravilniku o zgornjem ustroju železniških prog se mora na podlagi pete točke 25. člena izvesti vertikalna zaokrožitev, kadar je razlika med dvema nagiboma nivelete pri novogradnjah večja od 1 ‰. Polmer vertikalnega krožnega loka se določi na podlagi spodnjih enačb, ki so zapisane v šesti točki istega člena [43]:

- normalne vrednosti od $Rv = 0,50 \times V_{max}^2$ do $Rv = V_{max}^2$,
- minimalne vrednosti $Rv = 0,25 \times V_{max}^2 > 2000$ m.

Vrednost minimalnega polmera je na obravnavani železniški povezavi 5000 m, največjega pa 15000 m.

5.4 Nadvišanje

Maksimalno nadvišanje za tire s tirno gredo pri mešanem prometu znaša po določitvah poglavja 4.2.4.2 v TSI infrastruktura 160 mm, pri potniškem prometu pa 180 mm. Na območjih tirov ob postajnih peronih znaša največje nadvišanje, ki se ga lahko še izvede, 110 mm. Pri vseh novogradnjah, kjer znaša sprememba nadvišanja več kot 1 mm/m in meri polmer horizontalnega krožnega loka manj kot 305 m, se nadvišanje v želji preprečitve iztirjenja določi na podlagi sledečega pogoja [41]:

$$h \leq (R - 50)/1,5$$

kjer h predstavlja nadvišanje v milimetrih in R polmer krožnega loka v metrih.

V prvi točki 15. člena Pravilnika o zgornjem ustroju železniških prog ima največje dovoljeno nadvišanje na tirih s tirno gredo enako vrednost, kot jo navaja TSI infrastruktura. Pravilnik omenja tudi nadvišanje na območju perona, ki ne sme presegati vrednosti 110 mm [43].

Najmanjše nadvišanje, ki je uporabljeno na območju nove dvotirne železniške povezave, znaša 50 mm, največje pa 150 mm.

5.5 Bočni pospešek

Bočni pospešek je v TSI infrastruktura opisan v poglavju 4.2.4.3 kot vrednost za največji primanjkljaj nadvišanja za hitrostno območje manjše od 160 km/h. Primanjkljaj nadvišanja, ki določa pozitivni bočni pospešek za potniške vlake, znaša 153 mm, ki je ekvivalenten bočnemu pospešku 1 m/s^2 . Za tovrne vlake velja, da je primanjkljaj nadvišanja lahko do 130 mm, kar je ekvivalentno bočnemu pospešku $0,85 \text{ m/s}^2$ [41].

Dopustne vrednosti bočnih pospeškov in primanjkljaji nadvišanj so podani v drugi točki 14. člena Pravilnika o zgornjem ustroju železniških prog. Za vlake brez nagibne tehnike pri primanjkljaju nadvišanja 100 mm znaša maksimalna vrednost bočnega pospeška na šibkih mestih $0,65 \text{ m/s}^2$ in pri 130 mm znaša izjemna vrednost $0,85 \text{ m/s}^2$. Maksimalne vrednosti bočnega pospeška na šibkih mestih za vlake z nagibno tehniko znašajo pri 150 mm primanjkljaja nadvišanja 1 m/s^2 , pri 270 mm pa $1,8 \text{ m/s}^2$ kot maksimalna vrednost [43].

Prav tako so v Pravilniku o zgornjem ustroju železniških prog eksplicitno za vlake brez nagibne tehnike določene vrednosti negativnih bočnih pospeškov do 120 km/h. Normalna vrednost pospeška znaša $-0,33 \text{ m/s}^2$ za 50 mm in izjemna $-0,59 \text{ m/s}^2$ za 90 mm presežka nadvišanja. Dopustne vrednosti bočnih pospeškov niso odvisne od vrste vlaka [43].

Največji pozitivni bočni pospešek, ki se pojavlja v projektu za mešani železniški promet, doseže vrednost $0,59 \text{ m/s}^2$, največji negativni bočni pospešek pa $-0,16 \text{ m/s}^2$.

5.6 Prehodna klančina in prehodnica

TSI infrastruktura v svojih poglavjih ne omenja nagibov in dolžine prehodne klančine, zato se upoštevajo predpisi iz 18. in 19. člena Pravilnika o zgornjem ustroju železniških prog. Prehodna klančina omogoča prehod iz preme v nadvišan krožni lok ali prehod med dvema krožnima lokoma z različnim nadvišanjem. Absolutno največji nagib prehodne klančine, ki se lahko izvede pri gradnjah, nadgradnjah in obnovah je 1:600, pri vzdrževanju obstoječih prog 1:400 in 1:500 kot utemeljena izjema za hitrosti nižje od 75 km/h z dovoljenjem upravljalca. Najblažji nagib, ki se ga lahko izvede, znaša 1:2000, z dovoljenjem upravljalca pa 1:3000. Normalni nagib prehodne klančine se pri gradnjah in nadgradnjah določi na podlagi enačb zapisanih v členih 18 in 19 [43].

Dolžino prehodne klančine določajo enačbe, ki so navedene v 19. členu. Minimalna dolžina posameznega elementa proge ne sme biti krajša od $0,4 \cdot V_{\max}$, oziroma najmanj 20 m. Izračunane dolžine klančin se zaokrožijo navzgor na 5 m [43]. Vrednosti teh so predstavljene v poglavju 8.

5.7 Največji nagib nivelete

Na podlagi poglavja 4.2.3.3 v TSI infrastruktura sme največji nagib nivelete pri novogradnjah prog za potniški promet doseči vrednost 35 mm/m, če je povprečna vrednost nagiba manjša ali enaka 25 mm/m na odseku daljšem od 10 km in če največja dolžina trase ne preseže 6 km s stalnim nagibom 35 mm/m. Največji nagib tirov ob peronih pri novogradnjah, kjer se pogosto izvaja zapenjanje in odpenjanje vagonov, ne sme prekoračiti vrednosti 2,5 mm/m [41].

Pri novogradnjah, namenjenih mešanemu prometu, znaša največji vzdolžni nagib nivelete 12,5 ‰, v težjih terenskih razmerah pa 17,5 ‰. Pravilnik o zgornjem ustroju železniških prog v tretji točki 25. člena navaja, da lahko največji nagib nivelete na postajnih tirih v premi doseže vrednost 1 ‰, v krivinah pa 2,5 ‰. S slednjima preprečimo premikanje nepripravljenih vagonov. Pri vseh predorih krajših od 1 km mora biti nagib nivelete večji ali enak 2 ‰ in pri predorih daljših od 1 km vsaj 4 ‰ [43].

Pri projektiranju so bili upoštevani zgoraj opisani kriteriji. Največji nagib nivelete znaša 15,9 ‰.

5.8 Tirni pragovi

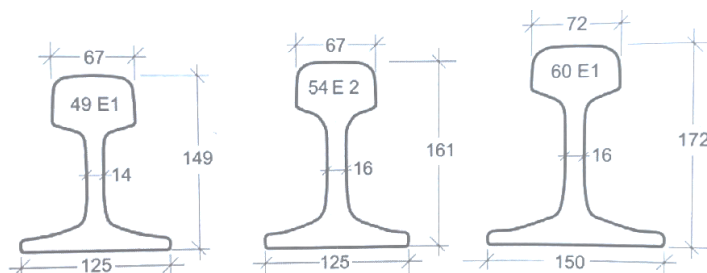
Po tehničnih specifikacijah za interoperabilnost podsistema infrastruktura so tirni pragovi, ki se uporabljajo pri standardni zasnovi tira s tirno gredo, betonski ali leseni [41].

Prva točka 46. člena Pravilnika o zgornjem ustroju železniških prog pa določa, da se na glavnih progah vgrajujejo betonski ali impregnirani leseni pragovi dolžine 260 cm v medsebojnem razmaku 60 cm [43].

5.9 Tirnice

V poglavju 5.3.1 TSI infrastruktura so zapisane specifikacije tirnic, kjer je določen profil glave tirnice in jeklo tirnice ter pogoji, ki jih mora ta izpolnjevati [41].

Po 39. členu nacionalnega pravilnika se za novogradnje, nadgradnje in obnove glavnih prog na odprtih delih in območjih glavnih postajnih tirov vgrajujejo tirnice oblike 60 E ali 54 E, tirnice z oznako 49 E pa na stranskih postajnih tirih. Tirnice morajo vsebovati ustrezno kakovost jekla z ustrezno natezno trdnostjo in biti po potrebi toplotno obdelane. Dimenzije in podatki standardnih tirnic so predstavljeni na sliki 27 in v preglednici 3 [43].



Slika 27: Dimenzije standardnih tirnic [44]

Figure 27: Dimensions of standard rails [44]

Preglednica 3: Podatki standardnih tirnic [44]

Table 3: Technical properties of standard rails [44]

STANDARDNE TIRNICE				
Oblika tirnice	Teža [kg/m]	Prerez [cm ²]	I _x [cm ⁴]	W _x [cm ³]
60 E1 (UIC 60)*	60,34	76,86	3055	335,5
54 E2 (UIC 54E)*	53,81	68,55	2308	276,4
49 E1 (S 49)*	49,43	62,97	1819	240,0

Na celotni trasi novogradnje in na mestu priključevanja na obstoječo progo Celje–Velenje s pomočjo krenic se uporabijo tirnice z oznako 60 E.

5.10 Medtirna razdalja

Medtirna razdalja je določena kot horizontalna razdalja med osema dveh sosednjih tirov in ne sme biti manjša od vrednosti, ki jo določa 33. člen Pravilnika o zgornjem ustroju železniških prog. Minimalna medtirna razdalja pri obnovi in nadgradnji obstoječih prog znaša na dvotirni progi 3500 mm, normalna pa 4000 mm. Za novogradnje dvotirnih prog je vrednost večja in znaša minimalno 4200 mm [43].

Na novi dvotirni progi Kamnik Graben–Vransko–Breg pri Polzeli znaša medtirna razdalja 4750 mm.

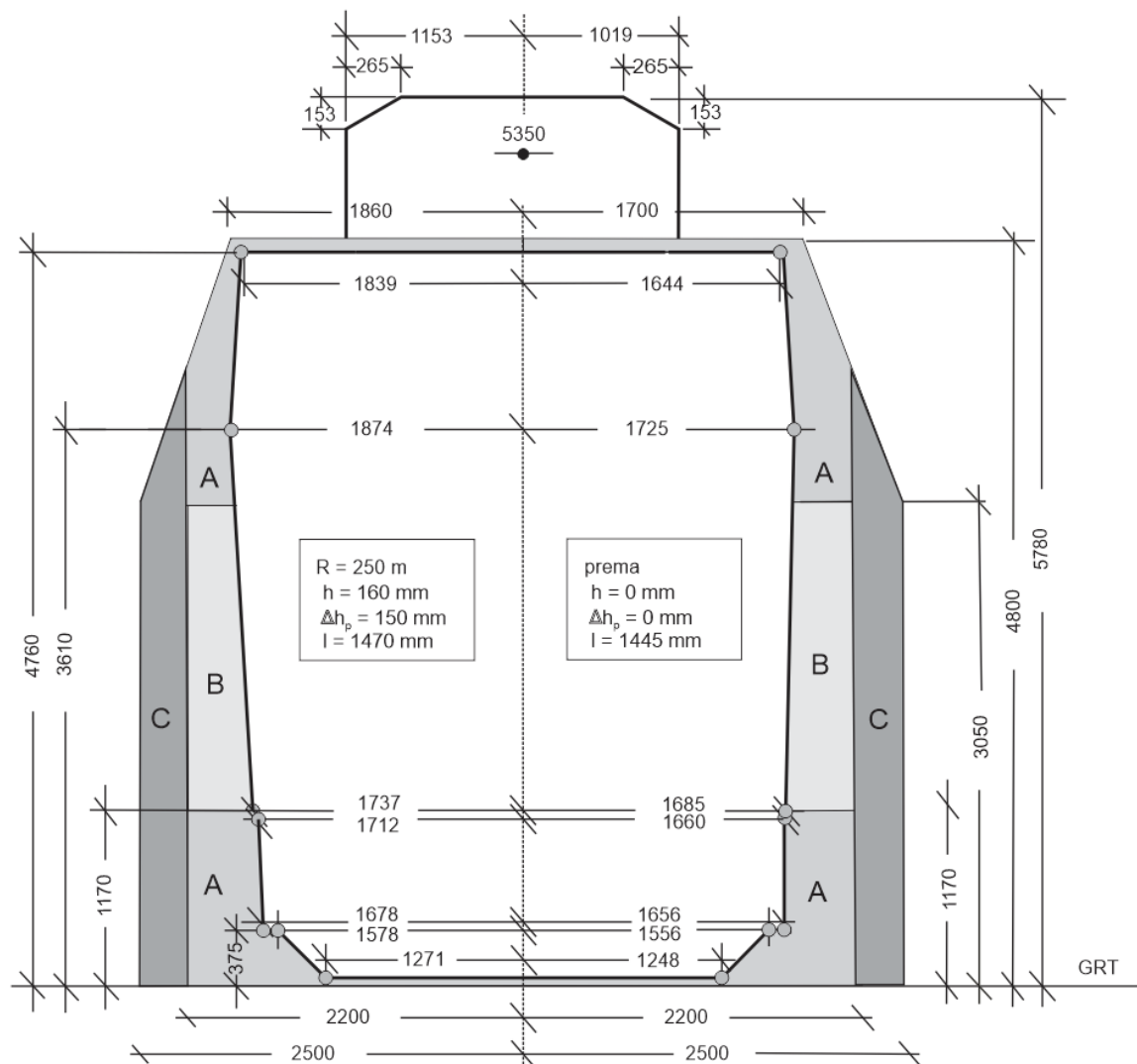
5.11 Svetli profil

Po definiciji Pravilnika o zgornjem ustroju železniških prog predstavlja svetli profil pravokotno ravnino na tir, ki jo omejujejo robne točke. Ravnino predstavlja območje nad zgornjim delom tirnic. V svetlem profilu se ne smejo pojavljati objekti, signali, oznake na progi, deponirani materiali in ostali predmeti [43].

TSI infrastruktura v poglavju 4.2.1 razvršča proge za potniški promet v šest kategorij z oznakami od P1 do P6 in proge za tovorni promet v štiri kategorije z oznakami od F1 do F4. Kategorije določajo različni parametri. Svetli profil in osna obremenitev predstavljata čvrsta parametra, mehkejše parametre, kjer meje niso fiksno določene, pa progovna hitrost, uporabna dolžina perona in dolžina vlaka [41].

Ob predpostavki, da gre za glavno progo z mešanim prometom, kjer bodo potniški vlaki brez nagibne tehnike dosegali hitrosti do 120 km/h (z nagibno pa več) pri osni obremenitvi 22,5 t in tovorni vlaki hitrosti do 100 km/h pri 20 t osne obremenitve, lahko ob upoštevanju dveh preostalih mehkejših parametrov določimo kodo P4 – F3. Slednja nam določa, da je potrebno na progi zagotoviti vsaj svetli profil GB [41].

V 30. členu Pravilnika o zgornjem ustroju železniških prog je določeno, da je za novogradnje, nadgradnje elektrificiranih in za to predvidenih prog, treba zagotoviti svetli profil GC (Slika 28). Slednji se uporabi na novi dvotirni elektrificirani železniški povezavi.



Slika 28: Svetli profil GC za novogradnje in nadgradnje prog [43]

Figure 28: GC profile for new tracks and track upgrades [43]

6 PREDSTAVITEV VARIANT – UMESTITEV V PROSTOR

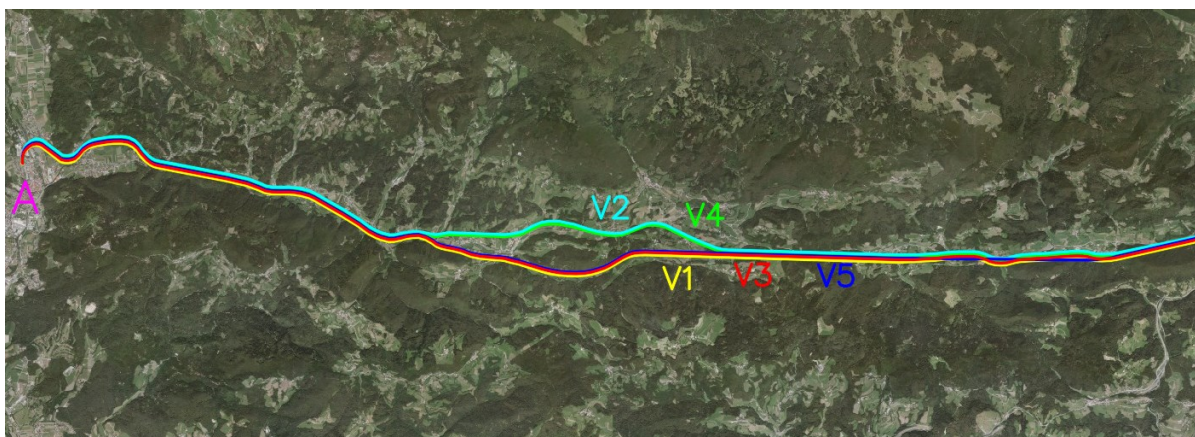
Izgradnja nove dvotirne železniške povezave Kamnik Graben–Vransko–Breg pri Polzeli skozi Tuhinjsko dolino bi zagotavljala boljšo povezanost, razbremenitev cestnega omrežja in zmanjšanje onesnaževanja okolja ter hitrejši razvoj regij in večjih mest, kot sta Ljubljana in Celje in nenazadnje Maribor. Proga bi predstavljala novo železniško povezavo med osrednjeslovensko in savinjsko regijo in bi znatno pripomogla k razvoju in širitvi obeh koridorjev osrednjega TEN-T omrežja.

V nadaljevanju je obravnavanih in v prostor umeščenih pet variant dvotirne elektrificirane železniške povezave z navezavo na obstoječo železniško infrastrukturo. Slednje je predstavljalo osnovo za izvedbo metodologije vrednotenja in medsebojne primerjave variant ter izbiro najustrežnejše.

Nova proga med Ljubljano in Celjem se prične v Ljubljani Šiška in poteka do Kamnika Graben, kjer se obravnavane variante priključijo na obstoječa tira ter potekajo skozi Tuhinjsko dolino preko Vranskega ob severni strani avtoceste A1 vse do Brega pri Polzeli. Tam se variante zaključijo in navežejo na progo Celje–Velenje. Slednja predstavlja obstoječo železniško infrastrukturo, kjer je lociran zaključek nove proge.

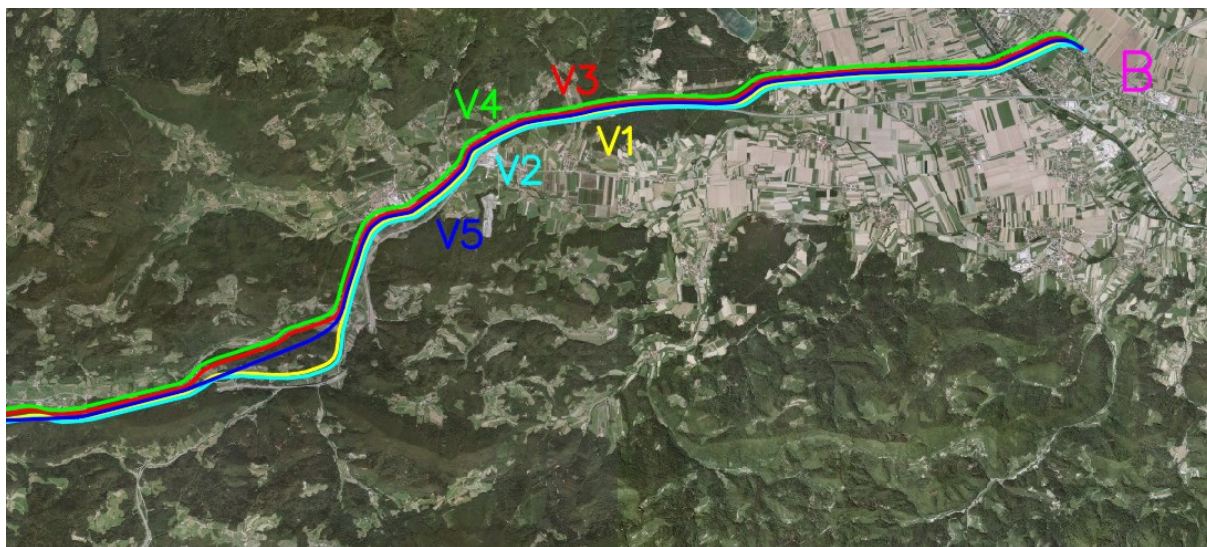
Vse variante potekajo večinoma po kmetijskih površinah I. in II. kategorije, gozdnih zemljiščih in na območju večjih naselij po površinah, namenjenih stanovanjski rabi, centralnim in proizvodnim dejavnostim. Na ravninskih delih, kjer se trase odvijajo po nasipih, se pojavljajo območja redkih in zelo redkih poplav. Nobena izmed variant ne posega v območje Nature 2000, z izjemo prečkanje reke Savinje.

Variante so podrobneje opisane in grafično predstavljene v naslednjih točkah tega poglavja. Spodnji sliki 29 in 30 prikazujeta potek predvidenih variant.



Slika 29: Potek različnih variant železniške povezave (1. del)

Figure 29: The course of different variants of the railway connection (Part 1)



Slika 30: Potek različnih variant železniške povezave (2. del)

Figure 30: The course of different variants of the railway connection (Part 2)

6.1 Podrobnejši opis variant

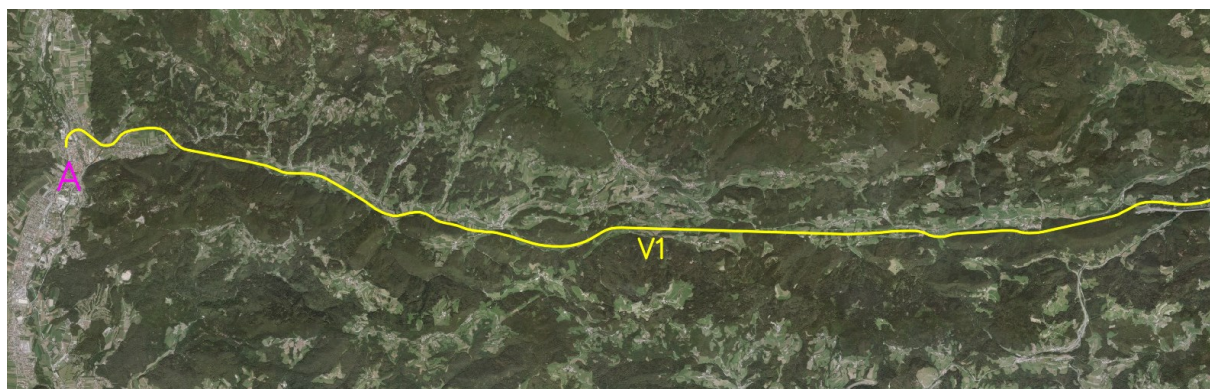
Vse variante dvotirne povezave se pričnejo z navezavo na obstoječo železniško infrastrukturo pri železniški postaji Kamnik Graben, od koder preko desnega krožnega loka prečkajo regionalno cesto R1-225, lokalno cesto in Kamniško Bistrico ter preidejo v prvi predor dolžine 380 m. V nadaljevanju nekajkrat prečkajo in obidejo reko Nevljico, se odvijajo ob naselju Nevlje in Vrhpolje pri Kamniku, kjer gredo skozi dva krajša predora in preko železniškega nadvoza potekajo čez regionalno cesto R2-414. V km 3+043 preidejo v prvega izmed daljših dvotirnih predorov, zapustijo Vrhpolje pri Kamniku in potekajo pod površjem vse do km 4+520, kjer vstopijo v Tuhinjsko dolino ter po južni strani obidejo Podhruško, Srednjo vas pri Kamniku in Vaseno. Na tem ravninskem delu trase tečejo po nasipu in večkrat prečkajo reko Nevljico ter se vzporedno z njo vijejo vse do kraja Buč v km 8+800. Od tu dalje ima vseh pet variant drugačno umestitev v prostor. Tako je za vsako posebej potek predstavljen v nadaljevanju, podrobnejša grafična predstavitev pa se nahaja v prilogah.

6.1.1 Varianta V1

V nadaljevanju se varianta V1 po južni strani izogne kraju Buč in se po spodnji strani doline nadaljuje v krajšem predoru, pokritem vkopu, galeriji in na mostu vse do stacionaže km 12+480, ko preide v drugi in hkrati najdaljši dvotirni predor, potekajoč v premi, pod cestnim prelazom Kozjak in Črnim Vrhom v Tuhinju. Slednji se zaključi v stacionaži km 18+880 pri kraju Špitalič, kjer trasa nekajkrat prečka Motnišnico, in ob Beli vzporedno z regionalno cesto R2-414 prehaja iz različnih gradbenih objektov, vkopov, nasipov in mešanih profilov v tri krajše predore na južni strani Motnika. V km 22+700 proga

vstopi v tretji daljši dvotirni predor in poteka vzporedno z avtocestnim predorom Jasovnik vse do km 23+910, kjer se trasa nadaljuje po površju v dolгих vkopih in mešanih profilih. Od stacionaže km 24+800 do km 26+000 se proga odvija v zadnjem daljšem predoru, južno od kraja Osredek, kjer nato ob regionalni cesti in neposredni bližini avtoceste A1 poteka od km 27+200 do km 27+600 po mostu mimo Ločice pri Vranskem. Ko gre proga mimo omenjenega kraja, ta zapusti Tuhinjsko dolino in nemudoma preide v jugozahodni del Savinjske doline in s tem še zadnjič prečka Motnišnico.

Proga se vzporedno z regionalno cesto R2-447 preko zadnjih dveh kratkih predorov nadaljuje vse do Vranskega, kjer z železniškim nadvozom v S-krivini prečka omenjeno cesto, in v km 30+165 prispe do predvidenega železniškega postajališča postavljenega v premi. Tu pozneje preide iz nasipa na most in prvič prečka reko Bolsko. V nadaljevanju po kratkem vkopu in nasipu znova preide na daljši most, s pomočjo katerega ponovno prečka Bolsko in omenjeno regionalno cesto, ter se pozneje na velikih nasipih in v dolгих vkopih odvija neposredno ob severni strani avtoceste A1 mimo bivše cestninske postaje Vransko. Tak potek ima trasa, vse dokler v km 34+560 ne prečka viadukta dolžine 240 m in se začne v levem krožnem loku postopoma oddaljevati od avtoceste. Kmalu zatem v km 36+700 preko viadukta dolžine 675 m obide po severni strani vas Šmatevž. Trasa se spušča in zaobide Zakl, prečka regionalno cesto R1-225 in se odvija mimo Orle vasi, kjer poteka čez Savinjo, ter se pri Bregu pri Polzeli v km 41+223 s kretnicama naveže in zaključi na obstoječi progi Celje–Velenje. Na slikah 31 in 32 je prikazan potek variante V1.



Slika 31: Potek variante V1 (1. del)

Figure 31: The course of variant V1 (Part 1)

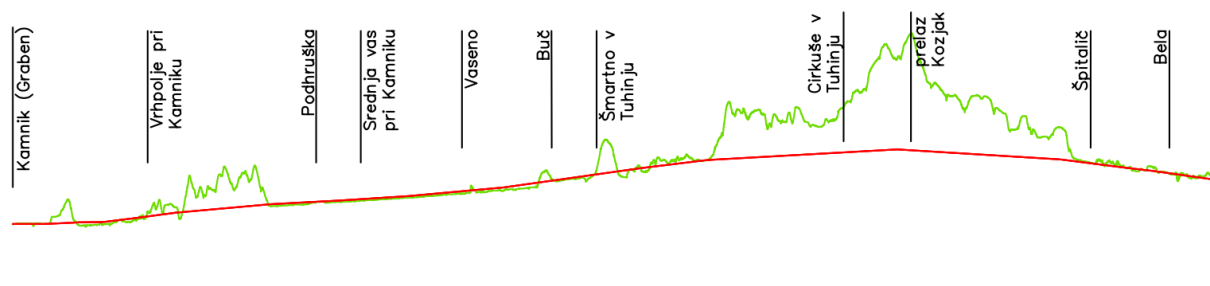


Slika 32: Potek variante V1 (2. del)

Figure 32: The course of variant V1 (Part 2)

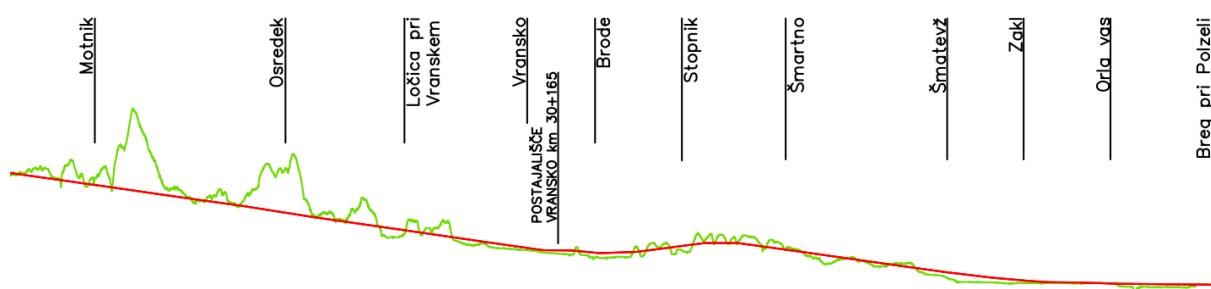
V nadaljevanju je predstavljen višinski potek trase variante V1. Obstoječa železniška infrastruktura na nadmorski višini 384 m ponazarja njen začetek. V prvem desnem krožnem loku ima niveleta do stacionaže km 0+560 nagib 0,0 ‰, nato se vzpenja s 5,0 ‰. Po prvem krajšem predoru se nagib poveča na 13,0 ‰ in v nadaljevanju malenkost zmanjša ter ostaja skozi celoten prvi daljši predor do Podhruške nespremenjen. Ravninski del, ki se nahaja na nadmorski višini 420 m in ima nagib nivelete 6,0 ‰, prehaja v bolj strm teren. Od Vasena se nagib povečuje in doseže v bližini Šmartna v Tuhinju vrednost 14,0 ‰. V km 12+480 se odvija v najdaljšem predoru s 5,6 ‰ do km 15+750, ko na nadmorski višini 517 m doseže najvišjo točko. V nadaljevanju se spušča z nagibom 6,2 ‰ vse do km 18+880, ko pri Špitaliču pride na površje (Slika 33).

Od Špitaliča do Vranskega se niveleta proge enakomerno spušča z vzdolžnim nagibom do 15,8 ‰. Na omenjenem odseku poteka skozi dva daljša predora, večji most ter ostale gradbene objekte. V km 30+165 se na nadmorski višini 339,75 m nahaja železniško postajališče, kjer znaša nagib nivelete 1,0 ‰. Niveleta se v nadaljevanju ponovno vzpne do nadmorske višine 352 m z vzdolžnim nagibom 13,1 ‰ in se kmalu zatem prične spuščati s 13,9 ‰, vse dokler ne zaobide Zakla in se približa skoraj ničelni vrednosti nagiba. Proga na nadmorski višini 284 m obide Orlo vas in z negativnim nagibom 1,2 ‰ prečka reko Savinjo. Omenjena vrednost vztraja vse do zaključka v km 41+223, ko se trasa priključi na obstoječi tir (Slika 34).



Slika 33: Vzdolžni profil variante V1 (1. del)

Figure 33: Longitudinal profile of variant V1 (Part 1)



Slika 34: Vzdolžni profil variante V1 (2. del)

Figure 34: Longitudinal profile of variant V1 (Part 2)

6.1.2 Varianta V2

Varianta V2 se za razliko od variant V1 in V3 nadaljuje z nivojskim križanjem regionalne ceste R2-414 in drugim daljšim dvotirnim predorom od km 9+300 do km 10+400 po severni strani Buča in Šmartna v Tuhinju. Ko trasa preide na površje, zavije levo in poteka vzporedno z regionalno cesto vse do Laz pri Tuhinju, kjer je ponovno nivojsko križanje ceste in železnice. V stacionaži km 12+600 trasa južno od Laz pri Tuhinju prehaja iz galerije v tretji in najdaljši dvotirni predor z začetkom v km 12+800. Slednji poteka v krožnem loku pod Cirkušami v Tuhinju in v premi pod prelazom Kozjak vse do Špitaliča v km 18+900. Od Špitaliča do Bele večkrat prečka Motnišnico in prehaja iz različnih gradbenih objektov, vkopov, nasipov in mešanih profilov v tri krajše predore, ki se nahajajo na južni strani Motnika. V km 22+720 proga vstopi v četrti daljši dvotirni predor in poteka vzporedno z avtocestnim predorom Jasovnik do km 23+930, kjer pride trasa na površje in se ponovno odvija v dolgih vkopih in mešanih profilih. Južno od kraja Osrednek, od stacionaže km 24+800 do km 26+000, poteka trasa v zadnjem daljšem predoru in se nato ob regionalni cesti ter neposredni bližini avtoceste A1 vije po 400 m dolgem mostu mimo Ločice pri Vranskem. Trasa tako še zadnjič prečka Motnišnico in zapusti Tuhinjsko dolino ter vstopi v jugozahodni del Savinjske doline.

Od Ločice pri Vranskem do Vranskega poteka skozi zadnja dva kratka predora in vzporedno z regionalno cesto R2-447. Na Vranskem trasa prečka omenjeno cesto v S-krivini z železniškim

nadvozom, pozneje pa v km 30+185 prispe do predvidenega železniškega postajališča, postavljenega v premi. Tu preide iz nasipa na most in prvič preči reko Bolsko. Po kratkem vkopu in nasipu trasa znova preide na daljši most, s pomočjo katerega ponovno prečka Bolsko in omenjeno regionalno cesto, kjer se v nadaljevanju na velikih nasipih in v dolгих vkopih odvija neposredno ob severni strani avtoceste ter bivše cestninske postaje Vransko. Tako poteka, dokler v km 34+570 ne prečka viadukta dolžine 240 m in se začne v levem krožnem loku oddaljevati od avtoceste. Kmalu zatem v km 36+720 obide po zgornji strani vas Šmatevž preko viadukta dolžine 675 m. Trasa se pozneje enakomerno spušča in gre v nasipu mimo Zakla, prečka regionalno cesto R1-225, obide Orlo vas ter v krožnem loku prečka reko Savinjo. Pri Bregu pri Polzeli se varianta s kretnicama naveže in v km 41+237 zaključi na obstoječi progi Celje–Velenje. Potek omenjene variante prikazujeta sliki 35 in 36.



Slika 35: Potek variante V2 (1. del)

Figure 35: The course of variant V2 (Part 1)



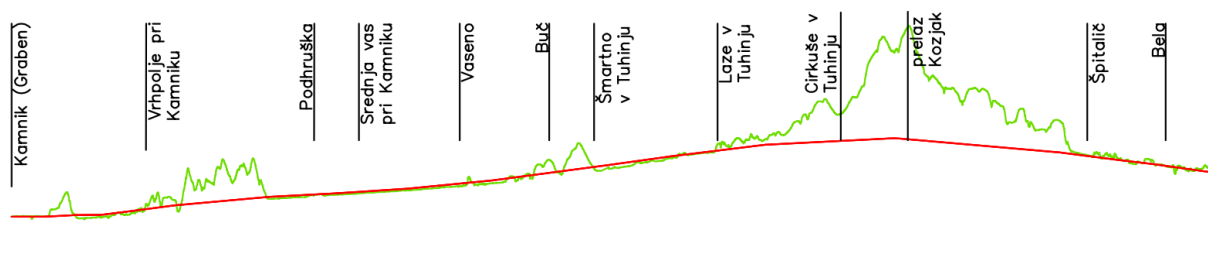
Slika 36: Potek variante V2 (2. del)

Figure 36: The course of variant V2 (Part 2)

V nadaljevanju je predstavljen višinski potek trase variante V2. Ta se prične na nadmorski višini 384 m kot navezava na obstoječo železniško infrastrukturo. V prvem desnem krožnem loku, ko prečka Kamniško Bistrico, ima niveleta do stacionaže km 0+560 vzdolžni nagib 0,0 %, nato se vzpenja s 5,0 %.

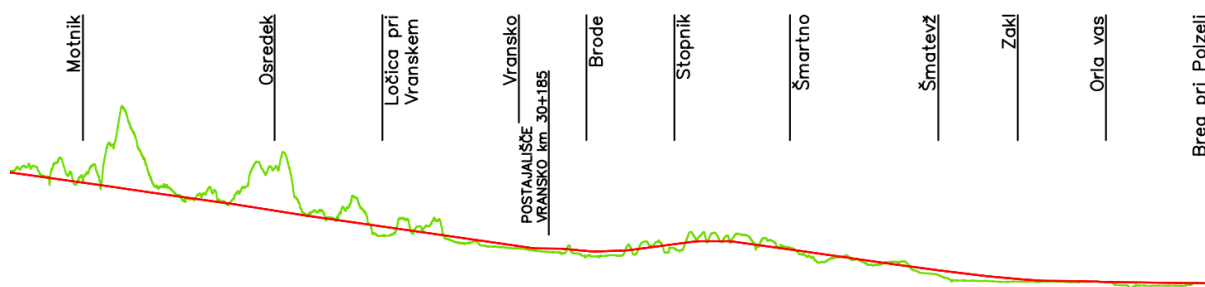
Po prvem krajšem predoru se nagib poveča na 13,0 ‰ in v nadaljevanju malenkost zmanjša na 9,0 ‰ ter ostaja skozi celoten prvi daljši predor do Podhruške nespremenjen. Ravninski del, ki poteka do Vasena in ima nagib nivelete 6,3 ‰, prehaja v strmejši teren. Od Buča do Šmartna v Tuhinju poteka trasa v drugem daljšem predoru z nagibom 13,8 ‰. Pri Lazah v Tuhinju v stacionaži km 12+800 se prične trasa odvijati v najdaljšem predoru z nagibom 5,1 ‰ do km 15+775, ko na nadmorski višini 524 m doseže najvišjo točko. V nadaljevanju se spušča z nagibom 8,6 ‰ vse do km 18+900, ko pri Špitaliču pride na površje (Slika 37).

Od Špitaliča do Vranskega se niveleta proge postopoma spušča z vzdolžnim nagibom do 15,8 ‰. Na omenjenem odseku poteka trasa skozi dva daljša predora, večji most ter ostale gradbene objekte. V km 30+185 se na nadmorski višini 339,75 m nahaja železniško postajališče, kjer znaša nagib nivelete 1,0 ‰. V nadaljevanju se niveleta znova povzpne do nadmorske višine 352 m z vzdolžnim nagibom 13,1 ‰ in se nato s približno 14 ‰ prične spuščati, vse dokler ne zaobide Zakla in se postopoma približa zelo majhni vrednosti nagiba. Trasa na nadmorski višini 284 m obide Orlo vas in v levem krožnem loku z negativnim nagibom 1,2 ‰ prečka reko Savinjo. Vzdolžni nagib nivelete vztraja vse do zaključka v km 41+237, ko se trasa priključi na obstoječo progo Celje–Velenje (Slika 38).



Slika 37: Vzdolžni profil variante V2 (1. del)

Figure 37: Longitudinal profile of variant V2 (Part 1)



Slika 38: Vzdolžni profil variante V2 (2. del)

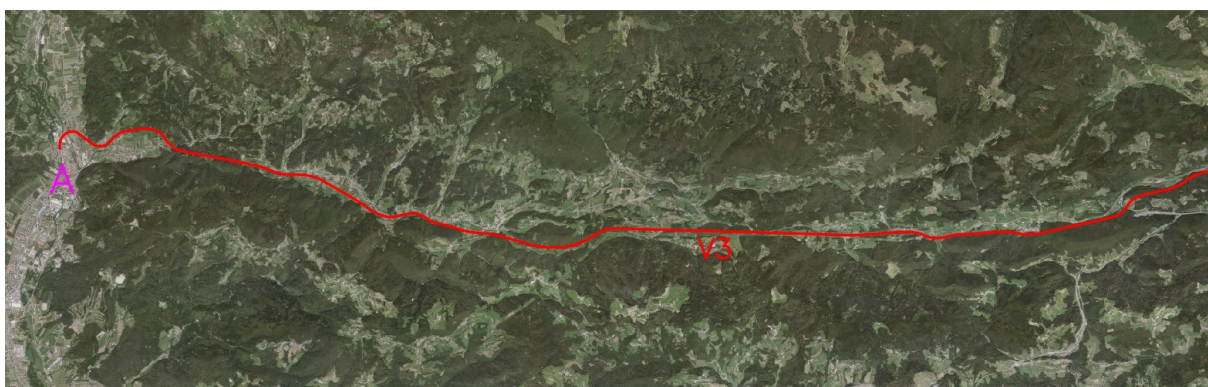
Figure 38: Longitudinal profile of variant V2 (Part 2)

6.1.3 Varianta V3

Tako kot varianta V1, tudi varianta V3 v nadaljevanju zaobide kraj Buč po južni strani in se nadaljuje skozi krajši predor, pokriti vkop, galerijo in čez most vse do stacionaže km 12+480, ko preide v drugi in hkrati najdaljši dvotirni predor, potekajoč v premi, pod cestnim prelazom Kozjak in Črnim Vrhom v Tuhinju. Slednji se zaključi v Špitaliču v stacionaži km 18+880, kjer nekajkrat prečka Motnišnico, in ob kraju Bela vzporedno z regionalno cesto R2-414 prehaja iz različnih gradbenih objektov, številnih vkopov, nasipov ter mešanih profilov v tri krajše predore, locirane na južni strani Motnika. V km 22+700 trasa vstopi v tretji daljši dvotirni predor in poteka vzporedno z avtocestnim predorom Jasovnik vse do km 23+910, kjer se začne proga ponovno odvijati po površju v dolgih vkopih in mešanih profilih.

Po južni strani Bistrice poteka proga v dvotirnem predoru, ki ima začetek v km 24+780 in zaključek v km 25+620. Nato v vkopih, mešanih profilih in po kratkem predoru preide na most dolžine 440 m ter napreduje mimo Ločice pri Vranskem. Tu proga zadnjič prečka Motnišnico in zapusti Tuhinjsko dolino ter vstopi v jugozahodni del Savinjske doline.

Proga se nadaljuje v vkopih in mešanih profilih, poteka vzporedno z regionalno cesto R2-447 preko zadnjih treh kratkih predorov vse do Vranskega, kjer v S-krivini z železniškim nadvozom prečka omenjeno cesto ter v km 29+705 v premi prispe do predvidenega železniškega postajališča. Ko zapusti postajališče, preide iz nasipa na most in prvič prečka reko Bolsko. V nadaljevanju po kratkem vkopu in nasipu znova preide na daljši most, preko katerega drugič prečka reko Bolsko in omenjeno regionalno cesto, ter se na velikih nasipih in v dolgih vkopih po severni strani odvija v neposredni bližini avtoceste A1. Trasa poteka vzporedno z avtocesto mimo bivše cestninske postaje Vransko, vse dokler v km 34+120 ne prečka viadukta dolžine 240 m in se prične v levem krožnem loku postopoma oddaljevati od avtoceste. Kmalu zatem v km 36+250 preko viadukta dolžine 675 m obide po zgornji strani vas Šmatevž. Trasa se pozneje enakomerno spušča in na nasipu zaobide Zakl, prečka regionalno cesto R1-225 in obide Orlo vas, kjer poteka čez reko Savinjo, ter se pri Bregu pri Polzeli z navezavo s kretnicama zaključi na obstoječi progi Celje–Velenje v končni stacionaži km 40+763. Poleg zgoraj omenjenih gradbenih objektov so na trasi prisotni še nekateri krajši mostovi, predori, galerije, nadvozi in nivojska prehoda. Potek trase variante V3 je prikazan na slikah 39 in 40.



Slika 39: Potek variante V3 (1. del)

Figure 39: The course of variant V3 (Part 1)



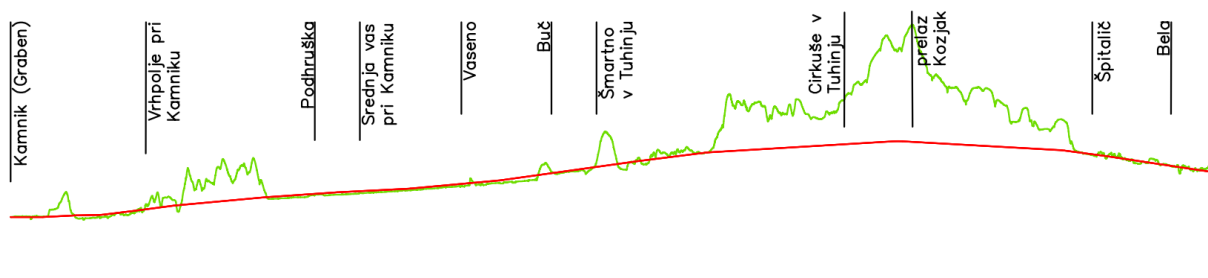
Slika 40: Potek variante V3 (2. del)

Figure 40: The course of variant V3 (Part 2)

V nadaljevanju je predstavljen višinski potek trase variante V3. Prične se na nadmorski višini 384 m kot navezava na obstoječo železniško infrastrukturo. V prvem desnem krožnem loku, ko prečka Kamniško Bistrico, ima niveleta do stacionaže km 0+560 vzdolžni nagib 0,0 %, nato se vzpenja s 5,0 %. Po prvem krajšem predoru se nagib poveča na 12,8 % in v nadaljevanju malenkost zmanjša ter ostaja skozi celoten prvi daljši predor do Podhruške nespremenjen. Ravninski del, ki se nahaja na nadmorski višini 420 m in ima nagib nivelete 6,7 %, prehaja v bolj strm teren. Od Vasena se nagib povečuje in doseže v bližini Šmartna v Tuhinju vrednost 14,0 %. V km 12+480 se odvija v najdaljšem predoru s 5,9 % do km 15+750, ko na nadmorski višini 518 m doseže najvišjo točko. V nadaljevanju se spušča z nagibom 5,5 % vse do km 18+880, ko pri Špitaliču pride na površje (Slika 41).

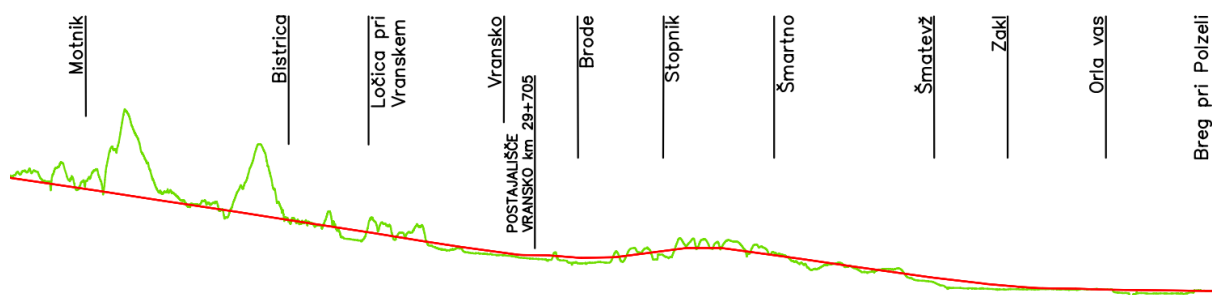
Od Špitaliča do Vranskega se niveleta proge enakomerno spušča z vzdolžnim nagibom do 15,9 %. Na omenjenem odseku poteka skozi daljši predor, večji most ter ostale gradbene objekte. V km 29+705 se na nadmorski višini 340,20 m nahaja železniško postajališče, kjer znaša nagib nivelete 1,0 %. Slednja

se v nadaljevanju znova vzpne do nadmorske višine 352 m z vzdolžnim nagibom 13,1 ‰ in se nato prične spuščati s približno enako vrednostjo, vse dokler ne zaobide Zakla in se približa skoraj ničelni vrednosti nagiba. Proga na nadmorski višini 284 m obide Orlo vas in z negativnim nagibom 1,2 ‰ prečka reko Savinjo. Omenjena vrednost vztraja vse do zaključka v km 40+763, ko se trasa priključi na obstoječi tir (Slika 42).



Slika 41: Vzdolžni profil variante V3 (1. del)

Figure 41: Longitudinal profile of variant V3 (Part 1)



Slika 42: Vzdolžni profil variante V3 (2. del)

Figure 42: Longitudinal profile of variant V3 (Part 2)

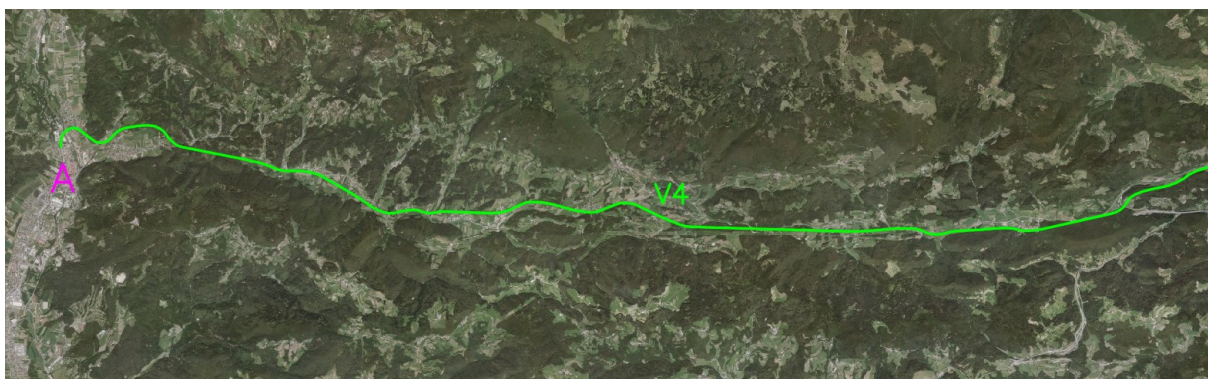
6.1.4 Varianta V4

Trasa variante V4 poteka od kraja Buč do Bistrice po istem severnem odseku kot varianta V2.

Proga poteka po južni strani Bistrice v dvotirnem predoru z začetkom v km 24+800 in zaključkom v km 25+640. Trasa se pozneje odvija v vkopih, mešanih profilih, v kratkem predoru in na mostu dolžine 440 m. V nadaljevanju po levi strani obide Ločico pri Vranskem in s tem zapusti Tuhinjsko dolino, kjer še zadnjič prečka Motnišnico pred vstopom v jugozahodni del Savinjske doline (Slika 43).

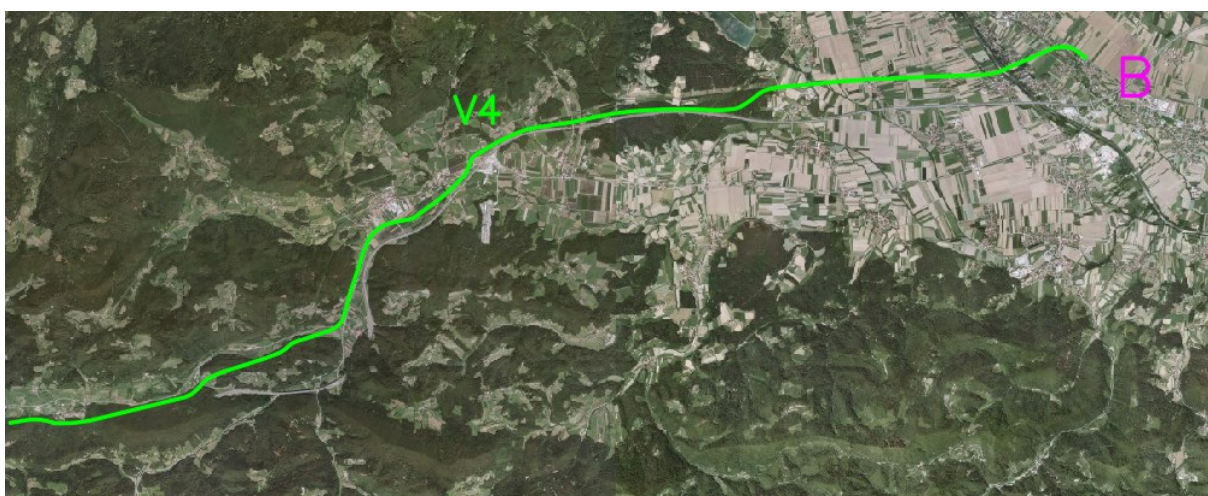
Od tu se proga odvija vzporedno z regionalno cesto R2-447 preko zadnjih treh kratkih predorov vse do Vranskega, kjer z železniškim nadvozom v S-krivini prečka omenjeno cesto, in v km 29+720 prispe v premi do predvidenega postajališča. Pozneje proga preide iz nasipa na most in prvič prečka reko Bolsko. V nadaljevanju po kratkem vkopu in nasipu znova preide na daljši most, preko katerega še enkrat prečka reko Bolsko in omenjeno regionalno cesto, ter se na velikih nasipih in v dolgih vkopih odvija neposredno

ob severni strani avtoceste A1 mimo bivše cestninske postaje Vransko. V stacionaži km 34+140 prečka viadukt dolžine 240 m in se začne v levem krožnem loku enakomerno oddaljevati od avtoceste. V km 36+270 preide na viadukt dolžine 675 m in obide vas Šmatevž po severni strani. Kasneje se trasa postopoma spušča in na nasipu zaobide Zakl, prečka regionalno cesto R1-225, se v nadaljevanju ogne Orli vasi, kjer prečka reko Savinjo, ter se pri Bregu pri Polzeli naveže na obstoječo progo Celje–Velenje. Stacionaža km 40+777 predstavlja zaključek obravnavane variante (Slika 44).



Slika 43: Potek variante V4 (1. del)

Figure 43: The course of variant V4 (Part 1)



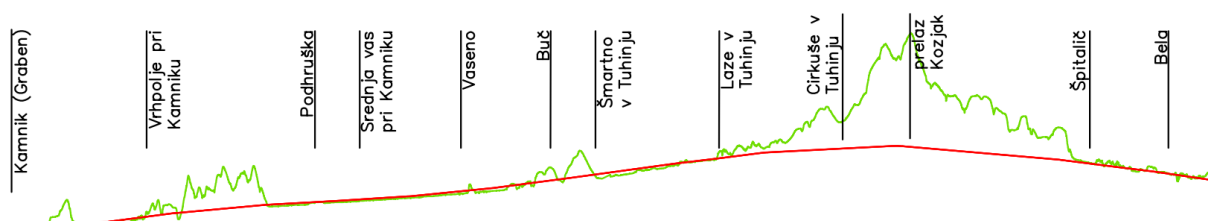
Slika 44: Potek variante V4 (2. del)

Figure 44: The course of variant V4 (Part 2)

V nadaljevanju je predstavljen višinski potek trase variante V4. Slednja se prične na nadmorski višini 384 m kot navezava na obstoječo železniško infrastrukturo. V prvem desnem krožnem loku ima niveleta do stacionaže km 0+560 vzdolžni nagib 0,0 ‰, nato se vzpenja s 5,0 ‰. Po prvem krajšem predoru se nagib poveča na 13,0 ‰ in v nadaljevanju zmanjša na 9,0 ‰ ter ostaja skozi celoten prvi daljši predor do Podhruške nespremenjen. Ravninski del, ki se odvija do Vasena s 6,3 ‰, preide na odsek, ki ima nagib 9,9 ‰. Od Buča do Šmartna v Tuhinju poteka trasa v drugem daljšem predoru z nagibom 13,8 ‰.

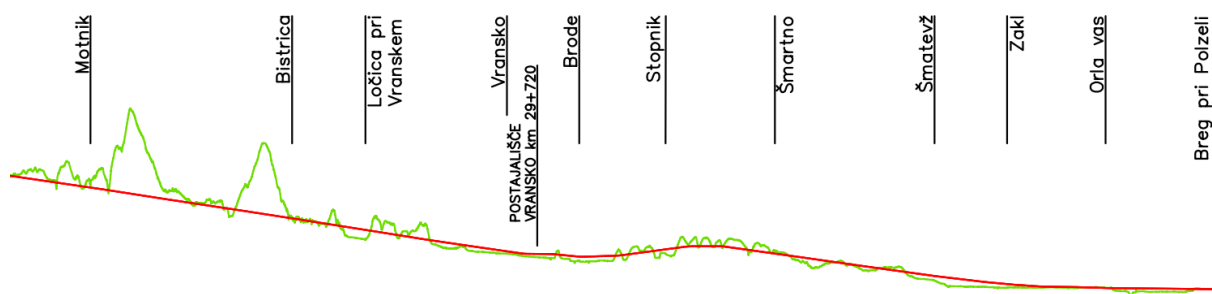
Pri Lazah v Tuhinju v stacionaži km 12+800 se prične trasa odvijati v najdaljšem predoru s 5,1 ‰ do km 15+775, ko na nadmorski višini 524 m doseže najvišjo točko. Kasneje se spušča z nagibom 8,6 ‰ vse do km 18+900, ko pri Špitaliču preide na površje (Slika 45).

Niveleta se od Špitaliča do Vranskega spušča z vzdolžnim nagibom do 15,9 ‰. Na omenjenem odseku poteka skozi daljši predor, most ter nekatere druge gradbene objekte. V km 29+720 se na nadmorski višini 339,75 m nahaja železniško postajališče, kjer znaša vzdolžni nagib 1,0 ‰. Niveleta se v nadaljevanju znova vzpne do nadmorske višine 352 m z vzdolžnim nagibom 13,1 ‰ in se v nadaljevanju prične spuščati s približno enako vrednostjo, vse dokler ne zaobide Zakla, kjer se vrednost nagiba postopoma zmanjša na 1,3 ‰. Proga na nadmorski višini 284 m obide Orlo vas in z negativnim nagibom 1,2 ‰ prečka reko Savinjo. Takšen nagib nivelete se nadaljuje vse do zaključka v km 40+777, ko se trasa preko kretnic naveže na obstoječo infrastrukturo (Slika 46).



Slika 45: Vzdolžni profil variante V4 (1. del)

Figure 45: Longitudinal profile of variant V4 (Part 1)



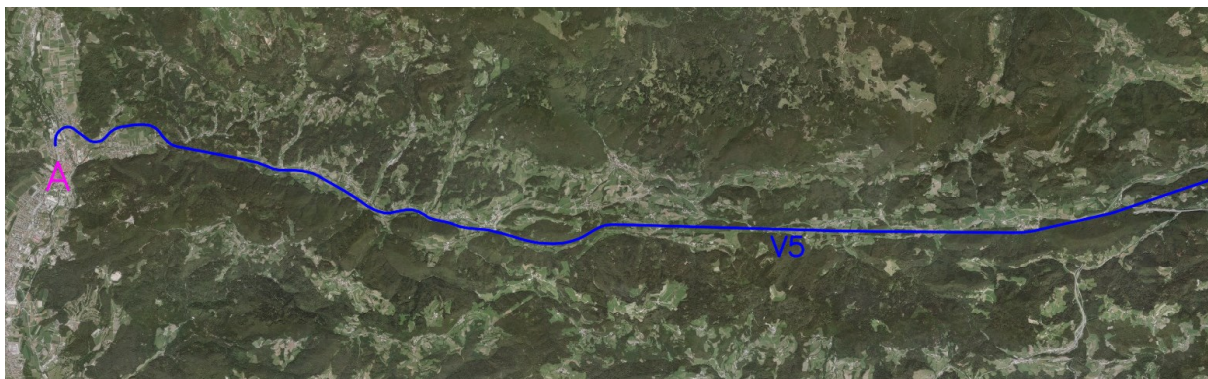
Slika 46: Vzdolžni profil variante V4 (2. del)

Figure 46: Longitudinal profile of variant V4 (Part 2)

6.1.5 Varianta V5

Zadnja od možnih potekov tras je varianta V5, ki od kraja Buč vse do začetka najdaljšega predora v km 12+480 poteka po istem odseku kot že zgoraj opisani varianti V1 in V3. Od tu naprej trasa poteka v premi in v predoru do km 22+400, kjer se usmeri proti severovzhodu in se odvija do stacionaže km 26+600. Za razliko od ostalih variant obravnavana trasa poteka med Bistrico in Osredkom. Železnica v nadaljevanju zavije proti severu in se vije do km 28+200, kjer je zaključek 15,7 km dolgega predora.

Na Vranskem v km 29+840 se nahaja predvideno železniško postajališče, od koder se odvija železniška povezava enako kot ostale opisane variante do zaključka v km 40+896. Potek variante V5 je prikazan na slikah 47 in 48.



Slika 47: Potek variante V5 (1. del)

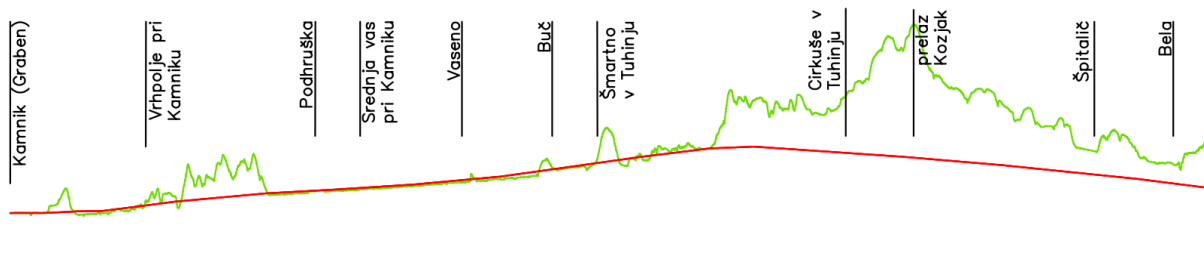
Figure 47: The course of variant V5 (Part 1)



Slika 48: Potek variante V5 (2. del)

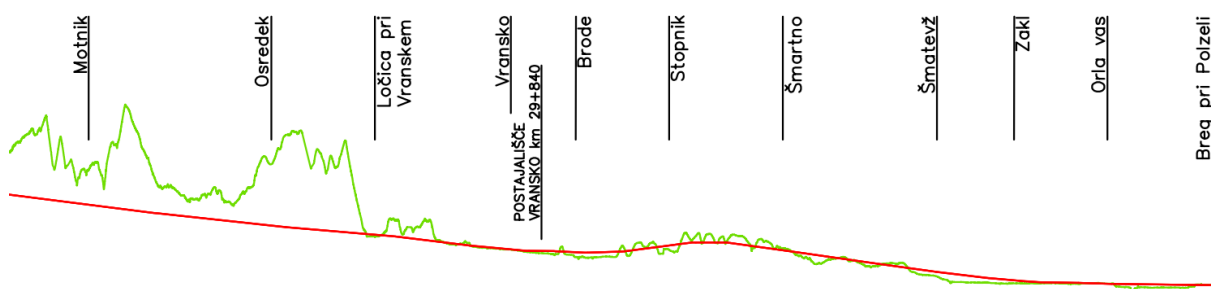
Figure 48: The course of variant V5 (Part 2)

Varianta V5 ima od začetka pa do km 12+480 podoben vzdolžni profil kot varianti V1 in V3. Nato z nagibom 4,4 ‰ preide v najdaljši predor in na nadmorski višini 501,5 m v km 13+160 doseže najvišjo točko. V nadaljevanju se z vzdolžnimi nagibi do 12,6 ‰ niveleta ves čas spušča do km 28+070, ko se pri Vranskem predorska cev dolžine 15,7 km zaključi. Temu sledi postajališče Vransko, v km 29+840 na nadmorski višini 337,80 m, kjer znaša nagib nivelete 1 ‰. Vzdolžni potek trase je od tu in do samega zaključka v km 40+896 podoben preostalim. Potek nivelete prikazujeta sliki 49 in 50.



Slika 49: Vzdolžni profil variante V5 (1. del)

Figure 49: Longitudinal profile of variant V5 (Part 1)



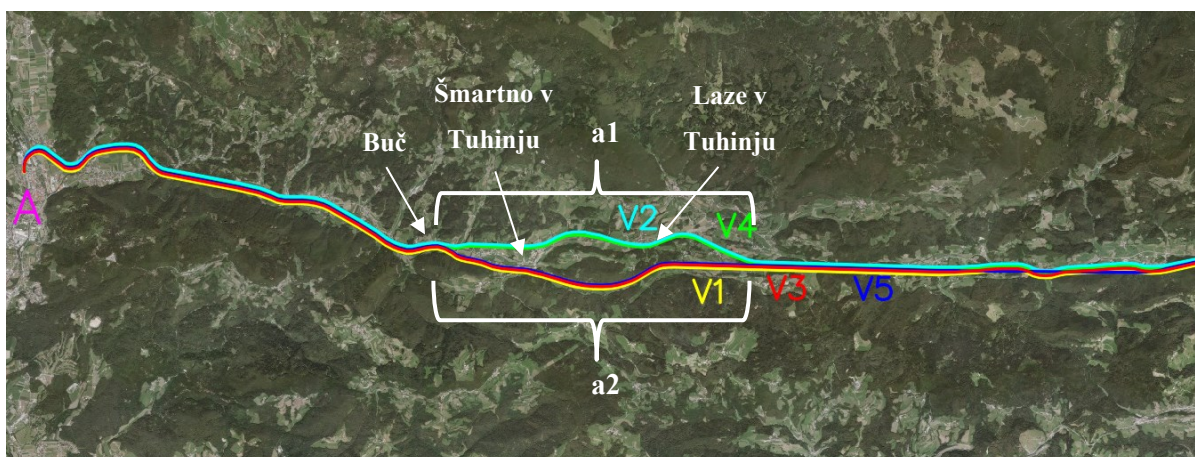
Slika 50: Vzdolžni profil variante V5 (2. del)

Figure 50: Longitudinal profile of variant V5 (Part 2)

7 VREDNOTENJE VARIANT IN IZBIRA NAJPRIMERNEJŠE

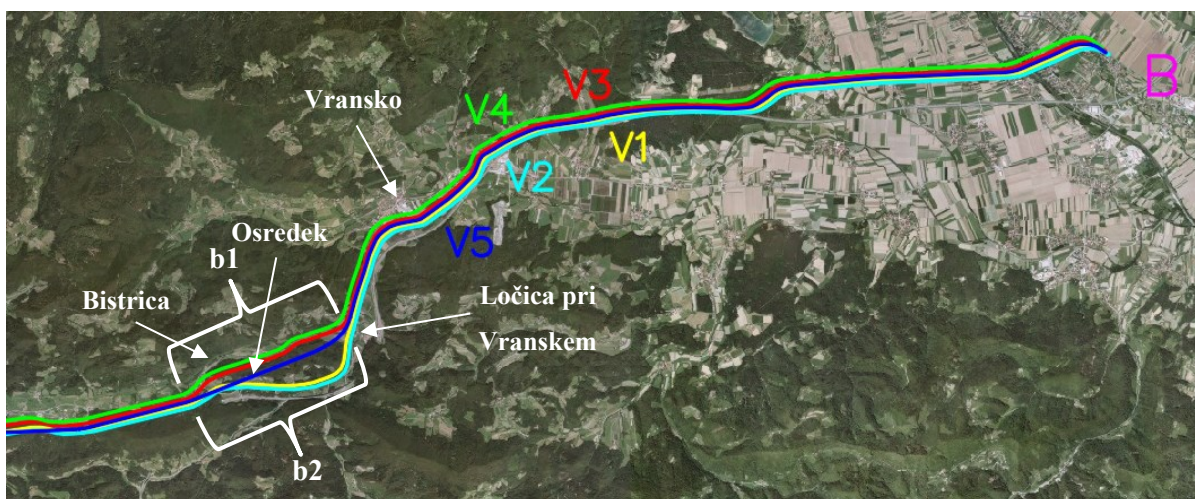
V tem poglavju je podano vrednotenje variant z metodologijo vrednotenja in medsebojnih primerjav, s pomočjo katerih je bila ena od petih variant izbrana kot najprimernejša.

Za potrebe lažjega vrednotenja in značilnosti so variante na območjih različnega poteka razdeljene na odseke a1, a2, b1 in b2, kot jih prikazujeta sliki 51 in 52.



Slika 51: Odseka a1 in a2 na območjih različnega poteka variant

Figure 51: Sections a1 and a2 in areas of different course variants



Slika 52: Odseka b1 in b2 na območjih različnega poteka variant

Figure 52: Sections b1 and b2 in areas of different course variants

7.1 Funkcionalni vidik

Funkcionalni vidik v svojem opisu zajema reliefne značilnosti, dolžino proge in gradbene objekte, ki se nahajajo na novi projektirani železniški povezavi [45].

Za vse variante lahko rečemo, da je na podlagi reliefno izjemno razgibanega in zahtevnega terena v Tuhinjski dolini večinoma prisoten gričevnat in hribovit teren z izjemo nekaterih področij med Nevljami in Vrhpoljem, Podhruško in Lokami ter na območju Motnika, kjer teren preide v ravnino. Med Vranskim in Polzelo se večinoma pojavlja ravninski, na nekaterih predelih ob avtocesti pa tudi gričevnat teren.

Prve razlike med variantami nastajajo na odseku a1 in a2 (Slika 51). Variante V1, V3 in V5 imajo na odseku a2, med krajem Buč in vstopom v najdaljši predor Kozjak, zelo razgiban teren, saj se trase pri vseh variantah iz ravnine povzpnejo na gričevnato področje, prečkajo ozko dolino in se nato vijejo ob hribu in dnu doline vse do najdaljšega predora Kozjak z začetkom v km 12+480. V nasprotju varianti V2 in V4, potekajoči severno od kraja Buč (odsek a1), ne prehajata na gričevnato področje, ampak preko daljšega predora obideta Šmartno v Tuhinju in od tam po relativno ravnem terenu mimo Laz v Tuhinju prehajata v najdaljši predor Kozjak v km 12+800.

Druge razlike se pojavljajo na odseku b1 in b2 od avtocestnega predora Jasovnik do Ločice pri Vranskem, ko trase potekajo po reliefno zahtevnem območju (Slika 52). Varianti V3 in V4 potekata na odseku b1 v predoru južno od Bistrice, po hribovitem terenu in preko doline do Ločice pri Vranskem. Južno od Osredka (odsek b2) se varianti V1 in V2 zaradi strmega terena odvijata v daljšem predoru in kasneje ob vznožju hriba ter regionalni cesti R2-447 do Ločice pri Vranskem. Za razliko od ostalih varianta V5 na območju med Osredkom in Bistrico še vedno poteka v najdaljšem predoru Kozjak do km 28+070. Predori, mostovi, viadukti, galerije, pokriti vkopi, cestni in železniški nadvozi ter nivojska križanja so zbrani v preglednici 4.

Najkrajša izmed vseh variant je V3, dolga 40.763 m, najdaljša pa V2 dolga 41.237 m. Med ostalimi variantami ima le V4 primerljivo dolžino z V3.

Najkrajšo predvideno skupno dolžino predorov, in sicer 12.840 m, ima varianta V3, najdaljšo pa V5 z 18.514 m. Skupne dolžine predorov za vse variante so zbrane v preglednici 4. Na podlagi Uredbe komisije (EU) o TSI v zvezi z »varnostjo v železniških predorih« železniškega sistema Evropske unije iz leta 2014 je po poglavju 4.2.1.5 za predore, daljše od 1 km, potrebno zagotoviti vodoravne ali navpične izhode v sili vsaj vsakih 1.000 m, v primeru izvedbe prehodov med sosednjimi neodvisnimi predori pa na vsaj vsakih 500 m [46]. Pri vseh variantah so ob predvidenih enocevni dvotirnih predorih, daljših od 1 km, predvidene ustrezne servisne cevi za potrebe zagotavljanja varnosti in reševanja ter vzdrževanja predorov. Najkrajša skupna dolžina servisnih cevi, ki znaša 8.661 m, je predvidena pri V3, najdaljša pa pri V5 s 17.189 m. Glede na skupno dolžino predorov in servisnih cevi, ki predstavljata pomembna kriterija, se varianta V3 izkaže za najprimernejšo izbiro.

Pri vseh variantah so za potrebe prečkanja površinskih voda predvideni ustrezni premostitveni objekti (mostovi), ki so v idejni zasnovi razdeljeni v kategorije, kot jih prikazuje preglednica 4. Najkrajša

skupna dolžina mostov je pri V5 in znaša 1.126 m ter najdaljša pri V3, kjer znaša 1.632 m. Na podlagi dolžin mostov, ki jih prikazuje preglednica 4, je V5 najprimernejša izbira.

Število viaduktov in njihova skupna dolžina je pri vseh variantah enaka, zato ta kazalnik ni upoštevan pri izbiri končne variante.

Poleg omenjenih objektov so pri vseh variantah predvidene tudi galerije in pokriti vkopi. Najkrajša skupna dolžina galerij znaša 100 m in je predvidena pri V5 ter najdaljša pri V2 in V4 s 456 m. Slednji imata najkrajšo skupno dolžino pokritih vkopov, ki znaša 120 m, najdaljša pa se pojavlja pri V1 in V3 in znaša 272 m. Skupna dolžina pokritih vkopov v V5 je 152 m, kar je nekoliko več kot pri V2 in V4. Zaradi majhnih razlik dolžin predvidenih galerij in pokritih vkopov ta kazalnik nima vpliva na izbiro najprimernejše variante.

Po podatkih iz preglednice 4 je razvidno, da pri številu cestnih in železniških nadvozojov ni velikih odstopanj med posameznimi variantami. Razlike nastajajo le pri nivojskih križanjih, saj sta pri V1 in V3 predvideni dve, pri V5 tri ter pri V2 in V4 štiri. Število nivojskih in izvennivojskih križanj je v vseh variantah primerljivo, zato ta kazalnik bistveno ne vpliva na kočno izbiro najprimernejše variante.

Pri funkcionalnem vidiku je tako najprimernejša izbira varianta V3, saj tvori najboljšo kombinacijo dolžine trase, skupne dolžine predorov in dolžine servisnih cevi ter preostalih omenjenih kriterijev. Najmanj primerna izmed vseh je V5. Preostali podatki so prikazani v preglednici 4.

Preglednica 4: Podatki o variantah (dolžina trase, gradbeni objekti, nivojska in izvennivojska križanja)

Table 4: Data about variants (track length, facilities, level and off-level crossings)

	V1	V2	V3	V4	V5
Dolžina trase [m]	41.223	41.237	40.763	40.777	40.896
Predori					
Dolgi ($\geq 1000m$)	4	5	3	4	2
Srednji ($\geq 500m$)	0	0	1	1	0
Kratki ($< 500m$)	12	10	12	10	5
Skupna dolžina predorov [m]	13.630	13.893	12.840	13.103	18.514
Skupna dolžina servisnih cevi [m]	9.761	10.601	8.661	9.501	17.189
Mostovi					
Dolgi ($\geq 400m$)	1	1	1	1	0
Srednji ($\geq 100m$)	5	3	5	3	5
Kratki ($< 100m$)	7	6	7	6	6
Skupna dolžina [m]	1.593	1.170	1.632	1.209	1.126
Viadukti					
Daljši	1	1	1	1	1
Krajši	1	1	1	1	1
Skupna dolžina [m]	915	915	915	915	915
Galerije					
Število	3	3	3	3	1
Skupna dolžina [m]	356	456	356	456	100

se nadaljuje...

... nadaljevanje Preglednice 4

Pokriti vkopi					
Število	3	1	3	1	2
Skupna dolžina [m]	272	120	272	120	152
Cestni nadvozi					
Število	13	15	13	15	13
Železniški nadvozi					
Število	17	16	17	16	17
Nivojska križanja					
Število	2	4	2	4	3

7.2 Prostorsko-urbanistični vidik

Prostorsko-urbanistični vidik v svojem opisu zajema navezovanje in povezovanje krajev, kakovost bivalnega okolja in primarno gospodarsko rabo [45].

Obravnavane variante s svojim potekom zagotavljajo gospodarski in ekonomski razvoj, novo železniško povezavo med osrednjeslovensko, savinjsko in podravsko regijo oziroma povezanost večjih krajev, kot so Ljubljana, Celje in Maribor. Vse variante se na začetku in na koncu navezujejo na obstoječo železniško infrastrukturo, ki se v DPN-ju omenja z izboljšavo in nadgradnjo železniške proge med Ljubljano in Kamnikom ter v OPN-ju Polzele s posodobitvijo. V vseh variantah je na območju Vranskega predvideno železniško postajališče, ki omogoča prebivalcem trajnejši način potovanja, znižanje stroškov prevoza, znižanje negativnih vplivov na okolje ter izboljšanje prometne varnosti. Vse trase pretežno potekajo po kmetijskih in gozdnih površinah, na območju večjih krajev pa zaradi omejenosti s prostorom po površinah namenjenih stanovanjski rabi, urbanim površinam in centralnim dejavnostim. V vseh variantah je bil zasledovan cilj, da se trase železniške proge umestijo v prostor na takšen način, da se kljub pomanjkanju prostora izognejo urbanim površinam in zaobidejo naselja in vasi ter tako omogočajo urbanistično urejanje krajev. Nobena od variant ne poteka po območju Nature 2000, z izjemo prečkanja reke Savinje. V nadaljevanju poglavja so za območja, kjer imajo proge različen potek, predstavljene značilnosti posameznih variant, ki jih določa obravnavani vidik.

Na odseku a2, od kraja Buč do začetka predora Kozjak, se varianti V1 in V3 odvijata po južni strani hribovitega dela Tuhinjske doline in potekata po kmetijskih ter deloma gozdnih površinah. S prečkanjem ozke doline in reke Nevljice se začneta odvijati ob vznožju hriba po gozdnem predelu in v nadaljevanju po kmetijskih zemljiščih na dnu ozke doline vse do omenjenega predora. Potek obeh je zasnovan tako, da se v čim večji meri ohranja celovitost kmetijskih in gozdnih površin in da se ne drobijo na manjše enote. Varianti se izogneta naseljem in vasem, torej ne posegata v območja poselitve, kar omogoča urbanistično urejanje in ohranjanje krajev. Varianti V1 in V3 s svojo oddaljenostjo minimalno povzročata škodljive vplive, kot so hrup, vibracije in slabšanje kakovosti zraka okoliških krajev. Varianti sta z vidika vpliva na lokalno prebivalstvo primerni, saj ne vplivata na ambient, razgled, varnost

in prometno ureditev v lokalnih urbanih naseljih ter ne kazita izgleda okoliških krajev. Slabost variant V1 in V3 je, da posegata v naravo, kmetijske in gozdne površine ter potencialna območja za rekreacijo.

Varianti V2 in V4 se na odseku a1 odvijata po severni strani Tuhinjske doline, kjer prečkata Šmartno v Tuhinju, se dotakneta Laz v Tuhinju in dvakrat z nivojskim križanjem prečkata regionalno cesto R2-414, kar vpliva na prometno ureditev. Na obravnavanem območju potekata tako po kmetijskih in gozdnih površinah kot tudi po urbanih površinah in območjih, predvidenih za stanovanjsko gradnjo. Trasi se s takšnim potekom ne izogneta urbanim območjem in posegata v območja poselitve, kar vpliva na varovanje krajev in možnost njihovega urbanističnega urejanja ter razvoja. Železnica na območjih poselitve povzroča negativne vplive na prebivalstvo in okolje, saj onesnažuje okoliški zrak, povzroča vibracije in hrup, kar vpliva na kakovost bivanja in posledično znižuje vrednost zemljišč. Prednost variant V2 in V4 je v tem, da manj posegata v naravne danosti, gozdne in kmetijske površine in na potencialna rekreacijska območja.

Na odseku b1, od zaključka železniške predorske cevi pri avtocestnem predoru Jasovnik do Ločice pri Vranskem, se varianti V3 in V4 sprva odvijata po severni strani hriba in potekata mimo kraja Bistrica po površinah, namenjenih za kmetijsko rabo, in pretežno po gozdnih območjih. V nadaljevanju s prečkanjem Motnišnice in regionalne ceste R2-414 trasi preideta iz Tuhinjske doline v jugozahodni del Savinjske doline, kjer prečkata Ločico pri Vranskem. Varianti tu s svojim potekom ne vplivata na prometno ureditev in ne posegata v poselitveno območje, zato je na okoliške kraje in prebivalstvo vpliv vibracij, hrupa in slabšanja kakovosti zraka manjši. Pri obeh premostitveni objekt (most) potencialno slabša izgled naravne podobe.

Varianti V1 in V2 se na odseku b2 odvijata po južni strani hriba in potekata mimo Osredka ter v neposredni bližini regionalne ceste R2-447, kjer se vijeta po gozdnih in kmetijskih površinah in vzporedno sledita omenjeni cesti ter reki Bolski vse do mostu pri Ločici pri Vranskem. Tam zadnjič prečkata Motnišnico ter regionalno cesto R2-414, preden zapustita Tuhinjsko dolino in vstopita v skrajni jugozahodni del Savinjske doline. Varianti V1 in V2 tu ne posegata v območja poselitve in imata minimalne škodljive vplive na okoliške kraje in prebivalstvo. Slabost variant je ta, da pri obeh premostitveni objekt potencialno slabša izgled naravne podobe.

Na podlagi opisanih razlogov ugotovimo, da je varianta V3 iz prostorsko-urbanističnega vidika najprimernejša od zgoraj omenjenih variant.

Varianta V5, ki večino časa poteka v zelo dolgem predoru Kozjak in se tako izogne številnim krajem, naravnim vrednotam in danostim, omenjenim površinam, potencialno negativnim vplivom na okolje in prebivalstvo ter preostalim možnim negativnim vplivom, lahko pri prostorsko-urbanističnem vidiku predstavlja alternativno izbiro varianti V3. Slabost variante V5 je ta, da pri izvedbi nastajajo zelo velike količine izkopanega materiala, ki ga je treba ustrezno deponirati, kar lahko vpliva na podobo krajine.

7.3 Varstveni vidik

Varstveni vidik v svojem opisu zajema površinske in podzemne vode, poplavna območja, vplive na okolje (hrup, vibracije, kakovost zraka), kmetijske in gozdne površine, območje Nature 2000 in kulturno dediščino [45].

Kot že omenjeno, potekajo vse variante pretežno po kmetijskih in gozdnih površinah, ki se v čim večji meri ohranjajo in se ne drobijo na manjše enote, na območju večjih krajev pa zaradi omejenosti s prostorom po površinah, namenjenim stanovanjski rabi, urbanim površinam in centralnim dejavnostim. Ponekod se trase, kljub pomanjkanju prostora, le izognejo urbanim površinam in ne posegajo v naselja in vasi, kar vpliva na ohranitev kulturne dediščine in same podobe krajev. Vse variante prečkajo in potekajo ob površinskih vodotokih, med katere štejemo Kamniško Bistrico, Nevljico, Motnišnico, Bolsko in reko Savinjo. Na ravninskih predelih se odvijajo po poplavnih območjih reke Nevljice in Motnišnice, kjer so redke in zelo redke poplave. Z namenom izboljšanja poplavne varnosti se na ogroženih delih tras izvedejo ustrezni ukrepi za zaščito proti poplavam. Nobena od variant ne poteka po vodovarstvenem območju, ne prečka vodnega zajetja in ne posega na naravovarstveno območje Nature 2000, z izjemo prečkanja reke Savinje. Razlike med variantami nastajajo na območjih, kjer imajo variante različne poteke. Te bodo predstavljene v nadaljevanju.

Na odseku a2, od kraja Buč do začetka predora Kozjak, se varianti V1 in V3 odvijata po južnem delu Tuhinjske doline po kmetijskih in gozdnih površinah in potekata ob reki Nevljici. Kot že omenjeno v poglavju 7.2, je potek zasnovan tako, da kmetijska in gozdna območja čim bolj ohranjajo svojo celovitost in se ne drobijo na manjše dele. Na območju se nahaja poplavna ravnic, zaradi katere se predvideva ustrezna poglobitev, razširitev, prestavitev struge in tako izboljša poplavna varnost. Trasi variant V1 in V3 sta odmaknjeni od okoliških krajev in poselitvenih površin, kar pozitivno vpliva na ohranjanje podobe krajev in kulturne dediščine. Prav tako so negativni vplivi na bližnja poselitvena območja in okoliške kraje zanemarljivo majhni. Slabost variant V1 in V3 je v tem, da posegata v naravo, kmetijske in gozdne površine, potencialna območja, ki so namenjena rekreaciji, ter v rastlinski in živalski habitat.

Na že predstavljenem odseku a1 varianti V2 in V4 potekata po severni strani Tuhinjske doline, kjer se odvijata po območjih, namenjenim za gospodarsko rabo, stanovanjsko gradnjo in urbane površine. Zaradi neposredne bližine poselitvenim območjem so negativni vplivi na okoliške kraje večji kot pri variantah V1 in V3. Poteka tras se ne izogneta naseljem, kar negativno vpliva na ohranjanje kulturne dediščine in podobe krajev. Prednost variant V2 in V4 je v tem, da manj posegata v naravne vrednote, gozdna in kmetijska posestva, površine namenjene rekreaciji, ter rastlinski in živalski habitat. Tako kot pri variantah V1 in V3 se tudi na tem odseku pojavljajo poplavna območja, zaradi katerih se predvideva ustrezna ureditev struge in tako zagotovi večja poplavna varnost.

Varianti V3 in V4 se na odseku b1, od zaključka železniške predorske cevi ob neposredni bližini avtocestnega predora Jasovnik, odvijata po severni strani hriba do Ločice pri Vranskem po površinah namenjenim za kmetijsko rabo in po gozdnih območjih. Na tem odseku zadnjikrat prečkata Motnišnico, regionalno cesto R2-414 in Ločico pri Vranskem ter preideta v jugozahodni del Savinjske doline. Omenjeni varianti zaradi oddaljenosti ne povzročata hrupa, vibracij in onesnaženosti zraka na okoliške kraje ter območja poselitve. Slabost omenjenih variant je ta, da s takšnim potekom posegata v naravo, gozdna območja in kmetijska zemljišča.

Kot omenjeno v poglavju 7.2, se varianti V1 in V2 na odseku b2 med predorom Jasovnik in Ločico pri Vranskem odvijata tako po gozdnih in kmetijskih površinah ter v neposredni bližini regionalne ceste R2-447. S premostitvenim objektom, mostom pri Ločici pri Vranskem, prečkata kmetijske površine, Motnišnico in regionalno cesto R2-414, preden zapustita Tuhinjsko dolino. Progi na omenjenem delu ne posegata v območja poselitve in ne povzročata škodljivih vplivov na okoliške kraje. Slabost variant je, da posegata v območje narave, kmetijske in gozdne površine.

Varianta V5 se od ostalih razlikuje po zelo dolgem poteku v predoru Kozjak, zaradi česar se izogne številnim kmetijskim, gozdnim, urbanim površinam, območjem stanovanjske gradnje, površinskim vodotokom in kulturni dediščini. S takšnim potekom se napram ostalim bolj ohranja življenjski prostor živali in rastlin, podoba krajev in kulturna dediščina. Prav tako je negativni vpliv na okoliške kraje, območja poselitve in prebivalstvo manjši, zaradi česar je kakovost življenjskega prostora boljša. Ker se varianta V5 dolgo časa odvija v predoru, je negativni psihološki vpliv na potnike velik.

Pri varstvenem vidiku lahko predstavlja primerno izbiro varianta V3. Alternativo slednji pa V5, ki je z vidika okolja še primernejša.

7.4 Ekonomski vidik

Ekonomski vidik zajema ocenjevanje finančnih, ekonomskih, družbenih, okoljskih vplivov in vseh tistih, ki se lahko finančno ovrednotijo. Investicijski stroški in koristi investicije tvorita ključna elementa ekonomskega vidika [45].

Variante zagotavljajo novo železniško vejo med osrednjeslovensko in savinjsko regijo, s katerimi se spodbudi gospodarski, ekonomski razvoj regij in države, vzpostavi povezanost ter boljša dostopnost med večjimi kraji, kot so Ljubljana, Celje in Maribor, kar razbremeni prometno infrastrukturo in predstavlja nove možnosti zaposlovanja. Vse variante imajo predvideno železniško postajališče, ki z vidika potniškega prometa pomeni nov način potovanja, znižanje stroškov prevoza in negativnih vplivov na okolje ter dvig nivoja prometne varnosti. Predvideni stroški, povezani z variantami, so predstavljeni v nadaljevanju.

Izmed vseh obravnavanih možnosti ima varianta V2 najdaljšo dolžino trase, najkrajšo pa V3. Varianta V4 je le za malenkost daljša od slednje. Sledita ji varianti V5 in V1. Najkrajšo skupno dolžino predorov

ima V3, nato sledijo variante V4, V1 in V2 ter na koncu V5, ki je po dolžini predorov najdaljša. V istem zaporedju si variante sledijo tudi po dolžini servisnih cevi. Pri premostitvenih objektih je situacija ravno obratna. Najkrajša skupna dolžina mostov se pojavlja pri V5, nato ji sledijo V2, V4 in V1 ter na koncu V3. Dolžine viaduktov so pri vseh variantah enake in ne vplivajo na končno izbiro. Skupna dolžina galerij, ki se pojavlja pri varianti V5, predstavlja najmanjšo vrednost. Sledita ji V1 in V3, v zaključku pa V2 in V4. Skupna dolžina pokritih vkopov je najdaljša pri variantah V1 in V3 ter najkrajša pri V2 in V4. Število nivojskih in izvennivojskih križanj se približno povsod pojavlja v enakem številu (Preglednica 4). Strošek, povezan z izgradnjo in vzdrževanjem tras, predvidenih gradbenih objektov in izvennivojskih ter nivojskih križanj, je najnižji pri V3 in najvišji pri V5.

Odkupi zemljišč, rušitve objektov in nadomestna gradnja se pojavljajo pri vseh variantah železniške povezave. Slednjih je zaradi potekanja po urbanih površinah in območjih, ki so namenjena za stanovanjsko gradnjo, največ pri V2 in V4. Posledično je strošek tu največji, najmanjši pa pri ostalih.

Negativni vplivi, omenjeni v poglavju 7.3, se pojavljajo predvsem pri variantah V2 in V4, kar vpliva na okoliške kraje. Slednje se odraža tudi v upadanju cen zemljišč (razvrednotenje). Prav tako je zaradi omenjenih vplivov treba izvesti ustrezno zaščito proti hrupu, kar še dodatno poveča stroške investicij.

Strošek predstavljajo tudi stroški deponije izkopanega materiala, ki nastanejo pri izgradnji. Največjo količina izkopanega materiala ima varianta V5 zaradi dolžine predorskih in servisnih cevi, najmanjšo pa varianta V3. Dodaten strošek lahko pomenijo tudi nepredvidena dela, ki so največkrat povezana z nepričakovanimi dogodki, posebnostmi terena in geološko sestavo tal.

Groba ekonomska ocena investicije je ob upoštevanju zgornjih kriterijev najnižja pri varianti V3, sledita ji V4 in V1, nato V2 in na koncu V5 z najvišjimi stroški. Ker je magistrsko delo le idejna študija, kjer so pripravljena izhodišča, je za natančnejšo ovrednotenje in preveritev koristi posameznih variant nujno potreben interdisciplinaren pristop različnih strok.

7.5 Sintezno vrednotenje

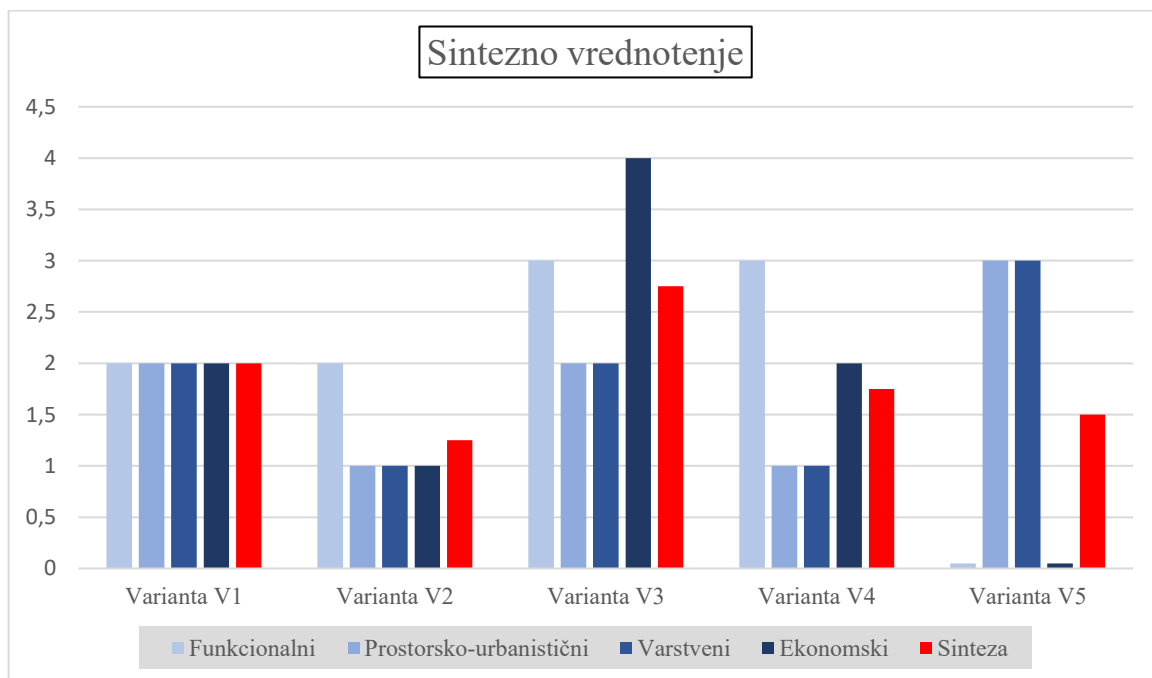
Izbira najustreznejše variante temelji na sinteznem vrednotenju z metodologijo združevanja rezultatov večkriterijske analize in analize stroškov in koristi. Uporabljena je bila metoda – Sistem razredov primernosti, kjer je večkriterijska analiza osnova, v katero se vključuje analiza stroškov in koristi [45].

Na osnovi predstavljenih vidikov in njihovih kriterijev je bila kot najprimernejša železniška povezava Kamnik Graben–Vransko–Breg pri Polzeli izbrana varianta V3. Slednja predstavlja najprimernejšo kombinacijo med dolžino proge in gradbeno inženirskih objektov, posegi na kmetijske, gozdne in urbane površine ter poplavna območja, onesnaževanjem okolja s hrupom, vibracijami in škodljivimi emisijami, negativnimi vplivi na kulturno dediščino ter stroškom investicije. Rezultati sinteznega vrednotenja so prikazani v preglednici 5 in na grafu 4.

Preglednica 5: Metoda – Sistem razredov primernosti

Table 5: Method – Suitability class system

Vidiki/Variante	V1	V2	V3	V4	V5		
Funkcionalni	O	O	+	+	--	++ (4 točke)	Najbolj primerno
Prostorsko-urbanistični	O	-	O	-	+	+	Bolj primerno
Varstveni	O	-	O	-	+	O (2 točke)	Primerno
Ekonomski	O	-	++	O	--	- (1 točke)	Manj primerno
						-- (0 točke)	Najmanj primerno



Grafikon 4: Sintezno vrednotenje

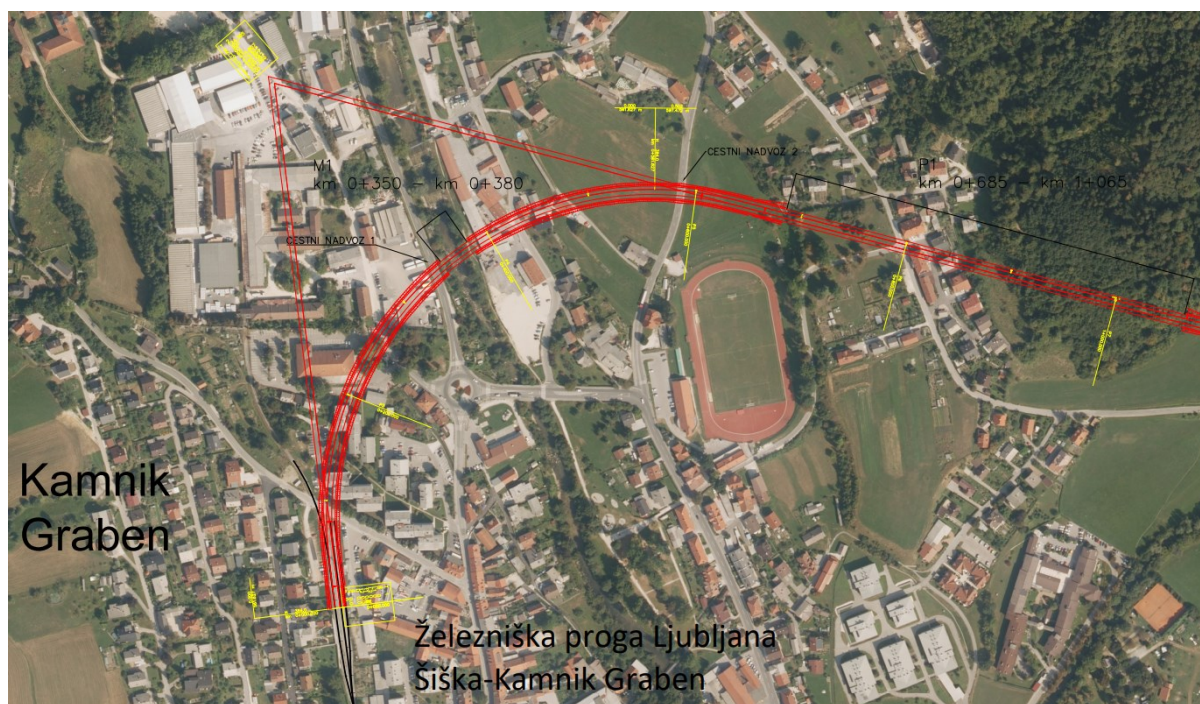
Graph 4: Synthetic evaluation

8 TEHNIČNI PODATKI O IZBRANI VARIANTI

Za železniško povezavo Kamnik Graben–Vransko–Breg pri Polzeli je bila na podlagi sinteznega vrednotenja kot končna varianta izbrana varianta V3. Naslednje točke tega poglavja prikazujejo tehnične podatke o izbrani trasi. V prilogah je prikazan natančnejši potek celotne proge.

8.1 Navezava na obstoječo železniško progo Ljubljana Šiška–Kamnik Graben

Omenjena dvotirna elektrificirana povezava se prične s priključitvijo na obstoječa tira na nadmorski višini 384 m pri postaji Kamnik Graben, ki predstavlja zaključek železniške proge Ljubljana Šiška–Kamnik Graben, kot je prikazano na sliki 53. V desnem krožnem loku z radijem 300 m poteka po območjih poselitve in urbanih površinah, prečka Kamniško Bistrico in nato v km 0+685 preide v predor dolžine 380 m. Na tem delu so predvideni odkupi zemljišč, nekatere rušitve objektov ter izgradnja dveh cestnih nadvozo, ki zagotavljata ustrezno križanje regionalne ceste R1-225 in lokalne ceste z železnico.

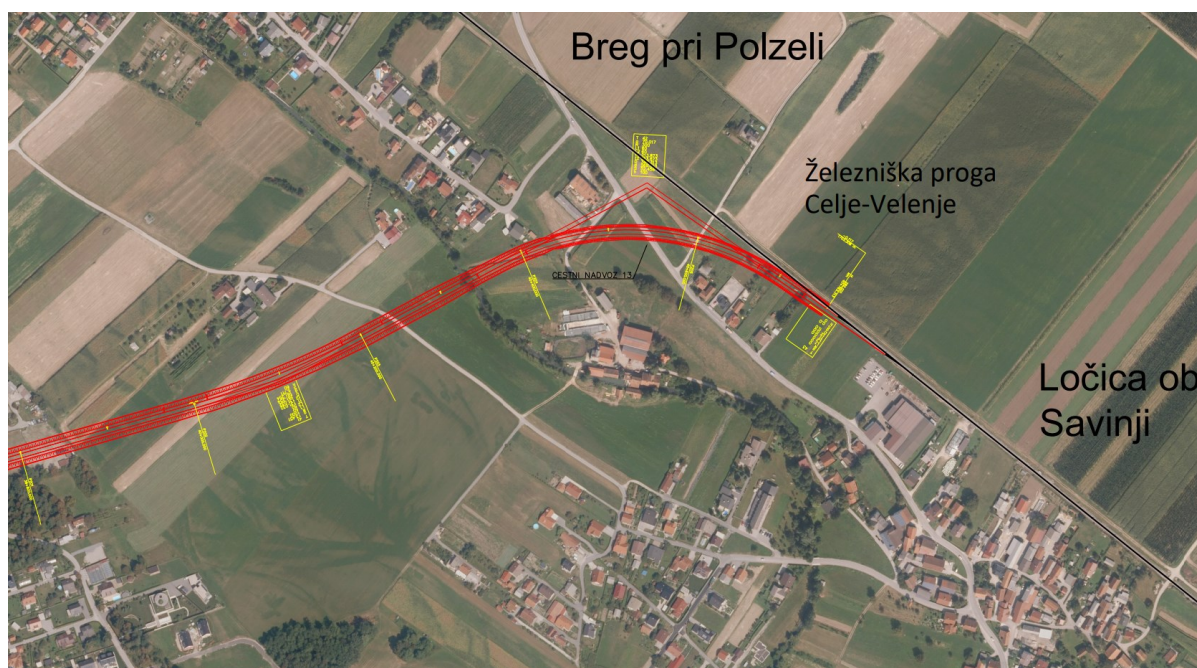


Slika 53: Navezava nove železniške povezave na obstoječo progo Ljubljana Šiška–Kamnik Graben

Figure 53: Connection of the new railway to the existing track Ljubljana Šiška–Kamnik Graben

8.2 Navezava na obstoječo železniško progo Celje–Velenje

Železniška povezava se z desnim krožnim lokom polmera 300 m pri Bregu pri Polzeli v km 40+763 zaključi z navezavo na obstoječo železniško progo Celje–Velenje preko kretnic 60E-300-1:14 na nadmorski višini 282 m (Slika 54). V neposredni bližini priključevanja je kot rešitev križanja ceste in železnice predvidena izvedba cestnega nadvoza.



Slika 54: Navezava nove železniške povezave na obstoječo progo Celje–Velenje

Figure 54: Connection of the new railway to the existing track Celje–Velenje

Za obstoječo progo Ljubljana Šiška–Kamnik Graben je v pripravi DPN, ki predvideva nadgradnjo železniške infrastrukture, gradnjo vzporednega tira, preureditev postaj in postajališč ter elektrifikacijo proge. Tudi v OPN-ju občine Polzela je v načrtu elektrifikacija proge Celje–Velenje, gradnja postajališča in posodobitev obstoječih križanj. Realizacija nove povezave in nadgradnja obstoječih prog v skladu z DPN-jem in OPN-jem bi omogočala učinkovito železniško povezavo med Ljubljano in Celjem oziroma Ljubljano in Mariborom.

8.3 Tehnični elementi trase

8.3.1 Polmeri horizontalnih krožnih lokov, hitrosti, nadvišanja, bočni pospeški in prehodne klančine

Na obravnavani trasi znaša največja projektna hitrost za potniški vlak 110 km/h in 90 km/h za tovorni vlak, nižja hitrost 50 km/h pa na območju priključevanja na obstoječi progi. Horizontalni in vertikalni elementi trase so skladni z določili TSI infrastruktura [41] in Pravilnika o zgornjem ustroju železniških prog [43]. Največji polmer krožnega loka znaša 2000 m, najmanjši pa 300 m. Na železniški povezavi je predviden mešani promet, zato so nadvišanja v krožnih lokih določena tako, da so ustrezna za hitrejšje potniške vlake in počasnejše tovarne vlake oziroma da so ustrezno veliki pozitivni in negativni bočni pospeški, ki se pojavijo pri vožnji v krožnem loku. Izbrano nadvišanje v posameznem loku v odvisnosti od hitrosti potniških in tovornih vlakov, primanjkljaj oziroma presežek nadvišanja in s tem povezan pozitivni in negativni bočni pospešek so podani v preglednici 6.

Preglednica 6: Polmeri krožnih lokov, hitrosti, nadvišanja, bočni pospeški in prehodne klančine

Table 6: Radius of circular arcs, velocities, cants, lateral accelerations and transition ramps

R [m]	$V_{tov. vlak}$ [km/h]	$V_{pot. vlak}$ [km/h]	$h_{izb.}$ [mm]	Δh_v [mm]	Δh_p [mm]	Negativni b [m/s ²]	Pozitivni b [m/s ²]	$L1$ [m]	$L2$ [m]	Nagib prehodne klančine
300	50	50	100	0	0	0,00	0,00	60	60	600
300	50	50	100	0	0	0,00	0,00	60	60	600
450	60	60	95	0	0	0,00	0,00	60	60	632
900	60	60	50	0	0	0,00	0,00	40	40	800
450	60	60	95	0	0	0,00	0,00	60	60	632
450	60	60	95	0	0	0,00	0,00	60	60	632
1200	80	100	80	-15	20	-0,10	0,13	100	100	1250
1000	90	110	120	-20	25	-0,13	0,16	145	145	1208
1000	90	110	120	-20	25	-0,13	0,16	145	145	1208
800	90	110	140	-20	40	-0,13	0,26	155	155	1107
800	90	110	140	-20	40	-0,13	0,26	155	155	1107
1000	90	110	120	-20	25	-0,13	0,16	145	145	1208
1200	90	110	100	-20	20	-0,13	0,13	145	145	1450
1200	90	110	100	-20	20	-0,13	0,13	145	145	1450
1000	90	110	120	-20	25	-0,13	0,16	145	145	1208
1000	90	110	120	-20	25	-0,13	0,16	145	145	1208
1000	90	110	120	-20	25	-0,13	0,16	145	145	1208
1500	90	110	80	-15	15	-0,10	0,10	120	120	1500
800	90	110	140	-20	40	-0,13	0,26	155	155	1107
800	90	110	140	-20	40	-0,13	0,26	155	155	1107
1500	90	110	80	-15	15	-0,10	0,10	120	120	1500
1500	90	110	80	-15	15	-0,10	0,10	120	120	1500
1000	90	110	120	-20	25	-0,13	0,16	145	145	1208
800	90	110	140	-20	40	-0,13	0,26	155	155	1107
800	90	110	140	-20	40	-0,13	0,26	155	155	1107
700	80	100	130	-20	40	-0,13	0,26	130	130	1000
700	80	100	130	-20	40	-0,13	0,26	130	130	1000
500	80	100	150	5	90	0,03	0,59	90	90	600
500	80	100	150	5	90	0,03	0,59	90	90	600
500	80	100	150	5	90	0,03	0,59	90	90	600
600	80	100	150	-20	50	-0,13	0,33	120	120	800
750	80	100	130	-25	30	-0,16	0,20	150	150	1154
1200	80	100	80	-15	20	-0,10	0,13	145	145	1813
1200	80	100	80	-15	20	-0,10	0,13	145	145	1813
1500	80	100	60	-10	20	-0,07	0,13	120	120	2000
1000	80	100	100	-20	20	-0,13	0,13	145	145	1450
1000	80	100	100	-20	20	-0,13	0,13	145	145	1450
2000	80	100	50	-10	10	-0,07	0,07	90	90	1800

se nadaljuje...

... nadaljevanje Preglednice 6

1000	80	90	80	0	20	0,00	0,13	100	100	1250
1000	70	70	60	0	0	0,00	0,00	50	50	833
300	50	50	100	0	0	0,00	0,00	60	60	600

8.3.2 Vzdolžni nagibi nivelete in vertikalni krožni loki

Izbrana varianta se prične na nadmorski višini 384 m kot navezava na obstoječo železniško progo Ljubljana Šiška–Kamnik Graben. Do konca prvega krožnega loka je vrednost vzdolžnega nagiba 0,0 ‰, nato pa se od km 0+561 vzpenja z nagibom 5,0 ‰. Po koncu predora, od km 1+603, se nagib poveča na 12,8 ‰ in v nadaljevanju nekoliko zmanjša (9,0 ‰) ter ostane nespremenjen do Podhruške. Ravninski predel, ki se prične na nadmorski višini 420 m v km 4+685 in ima nagib nivelete 6,7 ‰, začne v km 8+717, v bližini kraja Vaseno, prehajati v bolj strm teren z nagibom do 14 ‰ vse do km 12+480. Od tu se odvija v najdaljšem predoru 7 (Kozjak) z nagibom 5,9 ‰ do km 15+752, ko na nadmorski višini 518 m niveleta doseže najvišjo točko. V nadaljevanju se trasa v predoru spušča z nagibom 5,5 ‰, vse dokler v km 18+880 ne pride na površje pri Špitaliču. Od tu do km 29+471, v bližini Vranskega, se niveleta proge enakomerno spušča z vzdolžnim nagibom do 15,9 ‰. Na omenjenem odseku poteka skozi daljši predor, čez večji most ter ostale gradbene objekte. V km 29+705 se na nadmorski višini 340,20 m nahaja železniško postajališče, kjer znaša nagib nivelete 1,0 ‰. Ta se v nadaljevanju znova vzpenja od km 31+028 z vzdolžnim nagibom 13,1 ‰ do km 32+175 na nadmorski višini 352 m. Kmalu zatem se spušča do km 36+174 z nagibom do 14,3 ‰, vse dokler ne zaobide kraja Zakl in v km 37+935 doseže vrednost vzdolžnega nagiba 1,3 ‰. Od km 39+060 na nadmorski višini 284 m proga z negativnim nagibom 1,2 ‰ obide Orlo vas in prečka reko Savinjo. Omenjena vrednost vztraja do zaključka pri Bregu pri Polzeli v km 40+763, kjer se trasa priključi na obstoječo progo Celje–Velenje.

Vsi vzdolžni nagibi ustrezajo zahtevam, predstavljenim v poglavju 5.7, ki jih določata TSI infrastruktura [41] in Pravilnik o zgornjem ustroju železniških prog [43]. Enako velja za vertikalne krožne loke, ki so predstavljeni v poglavju 5.3. Najmanjša vrednost polmera vertikalnega krožnega loka znaša 5000 m, največja pa 15000 m. Vse vrednosti nagibov nivelete in polmerov vertikalnih krožnih lokov so zbrane v preglednici 7.

Preglednica 7: Vertikalni krožni loki in nagibi nivelete

Table 7: Vertical circular arcs and level inclinations

Številka	Teme stacionaza	Teme višina [m]	Radij [m]	Sledeči nagib nivelete [‰]
1	km 0+000.000	384	5000	0,0
2	km 0+561.627	384	5000	5,0
3	km 1+159.099	387	6000	1,1
4	km 1+603.883	387,5	6000	12,8
5	km 2+188.879	395	6000	13,0
6	km 2+882.743	404	6000	9,0
7	km 4+564.683	419,2	10000	6,7
8	km 5+802.191	427,5	14000	5,1
9	km 7+074.979	434	12000	9,1
10	km 8+717.619	449	12000	14,0
11	km 11+142.877	483	14000	12,3
12	km 12+363.427	498	12000	5,9
13	km 15+752.392	518	14000	-5,5
14	km 18+661.173	502	12000	-13,4
15	km 19+446.330	491,5	14000	-15,0
16	km 20+876.990	470	12000	-14,6
17	km 22+621.150	444,5	12000	-15,4
18	km 23+630.162	429	12000	-14,9
19	km 24+872.203	410,5	12000	-15,7
20	km 25+780.792	396,25	10000	-15,6
21	km 27+048.081	376,5	10000	-15,9
22	km 27+898.766	363	10000	-15,2
23	km 28+508.849	353,75	15000	-13,8
24	km 29+471.642	340,45	6000	-1,0
25	km 29+924.615	340	6000	-7,9
26	km 30+433.000	336	7000	1,7
27	km 31+028.714	337	6000	13,1
28	km 32+175.351	352	10000	0,0
29	km 32+742.128	352	10000	-13,9
30	km 34+037.171	334	12000	-14,3
31	km 34+874.694	322	12000	-13,8
32	km 35+418.961	314,5	12000	-13,9
33	km 36+174.804	304	12000	-12,0
34	km 37+030.970	293,75	12000	-8,9
35	km 37+562.954	289	12000	-6,7
36	km 37+935.482	286,5	12000	-1,3
37	km 38+510.704	285,75	12000	-3,2

se nadaljuje...

... nadaljevanje Preglednice 7

38	km 39+060.005	284	12000	-1,2
39	km 40+763.313	282	5000	0,0

8.4 Križanja železnice z naravnimi ovirami, cestno in drugo infrastrukturo

Na trasi izbrane variante so za potrebe premagovanja razgibanega terena poleg nasipov, mešanih profilov in večjih vkopov (predvideni ukrepi: pilotne stene, AB plošče s sidri, oporni in podporni zidovi ter terasasti vkopi) načrtovani različni gradbeno inženirski objekti, kot so predori in pripadajoče servisne cevi, mostovi, viadukti, galerije, pokriti vkopi in nadvozi. Poleg omenjenih objektov se pojavljajo tudi številna križanja med železnico in gospodarsko javno infrastrukturo. Dolžine in lokacije inženirskih objektov ter križanja so predstavljena v nadaljevanju tega poglavja.

8.4.1 Križanja železnice z naravnimi ovirami

Za potrebe magistrske naloge so bili predori, mostovi in viadukti razdeljeni v podkategorije dolžin, kot jih prikazuje preglednica 4 v poglavju 7.1.

Na celotni progi je predvidenih 12 kratkih, 3 daljši in 1 srednji predor. Za predore daljše od 1000 m so skladno s TSI predori [46] predvidene servisne cevi. Na nekaterih predelih so zaradi specifičnosti terena namesto predorov predvidene 3 galerije in 3 pokriti vkopi. Za premoščanje dolin in prečkanje površinskih voda je predvidenih 7 kratkih, 5 srednjih in 1 dolgi most. Prav tako sta na trasi načrtovana 2 viadukta. Vsi gradbeno inženirski objekti z dolžinami so zbrani v preglednici 8.

Preglednica 8: Gradbeno inženirski objekti

Table 8: Civil engineering facilities

Objekt	Začetna stacionaža	Končna stacionaža	Dolžina [m]
Predor 1	km 0+685	km 1+065	380
Predor 2	km 2+470	km 2+645	175
Predor 3	km 2+690	km 2+915	225
Predor 4	km 3+043	km 4+520	1477
Predor 5	km 9+388	km 9+570	182
Predor 6	km 10+400	km 10+755	355
Predor 7	km 12+480	km 18+880	6400
Predor 8	km 21+350	km 21+645	295
Predor 9	km 21+845	km 22+200	355
Predor 10	km 22+394	km 22+665	271
Predor 11	km 22+698	km 23+910	1212
Predor 12	km 24+781	km 25+619	838
Predor 13	km 26+290	km 26+405	115
Predor 14	km 26+995	km 27+142	147

se nadaljuje...

... nadaljevanje Preglednice 8

Predor 15	km 27+176	km 27+370	194
Predor 16	km 27+701	km 27+920	219
Servisna cev 1	km 3+047	km 4+516	1469
Servisna cev 2	km 12+480	km 18+840	6360
Servisna cev 3	km 22+698	km 23+530	832
Most 1	km 0+350	km 0+380	30
Most 2	km 1+269	km 1+320	51
Most 3	km 1+708	km 1+743	35
Most 4	km 7+950	km 8+100	150
Most 5	km 8+252	km 8+279	27
Most 6	km 8+936	km 8+985	49
Most 7	km 9+176	km 9+360	184
Most 8	km 10+790	km 10+980	190
Most 9	km 20+728	km 20+795	67
Most 10	km 26+530	km 26+969	439
Most 11	km 29+895	km 29+955	60
Most 12	km 30+280	km 30+480	200
Most 13	km 39+350	km 39+500	150
Viadukt 1	km 34+120	km 34+360	240
Viadukt 2	km 36+250	km 36+925	675
Pokriti vkop 1	km 11+467	km 11+540	73
Pokriti vkop 2	km 12+000	km 12+079	79
Pokriti vkop 3	km 24+280	km 24+400	120
Galerija 1	km 11+900	km 12+000	100
Galerija 2	km 19+489	km 19+620	131
Galerija 3	km 20+800	km 20+925	125

8.4.2 Križanja železnice s cestno infrastrukturo

Za reševanje križanj železniške in cestne infrastrukture je predvidenih 13 cestnih in 17 železniških nadvozo. V bližnji prihodnosti je v okviru tretje razvojne osi, ki bo povezala severni in jugovzhodni del Slovenije, predvidena izgradnja avtoceste od priključka Šentrupert do priključka Slovenj Gradec jug. Pri načrtovanju železniške trase je bil upoštevan predviden potek tretje razvojne osi, zato je na mestu križanja med predvideno železniško traso in regionalno cesto, ki poteka v bližini priključka Šentrupert, načrtovano izvennivojsko križanje v obliki železniškega nadvoza. Poleg izvennivojskih križanj sta predvidena ustrezno zavarovana nivojska prehoda. Ponekod je ob izvedbi križanj treba izvesti deviacije, ukinitve ter prestavitve cest. Predvidena križanja so zbrana v preglednici 9.

Preglednica 9: Nivojska in izvennivojska križanja

Table 9: Level and off-level crossings

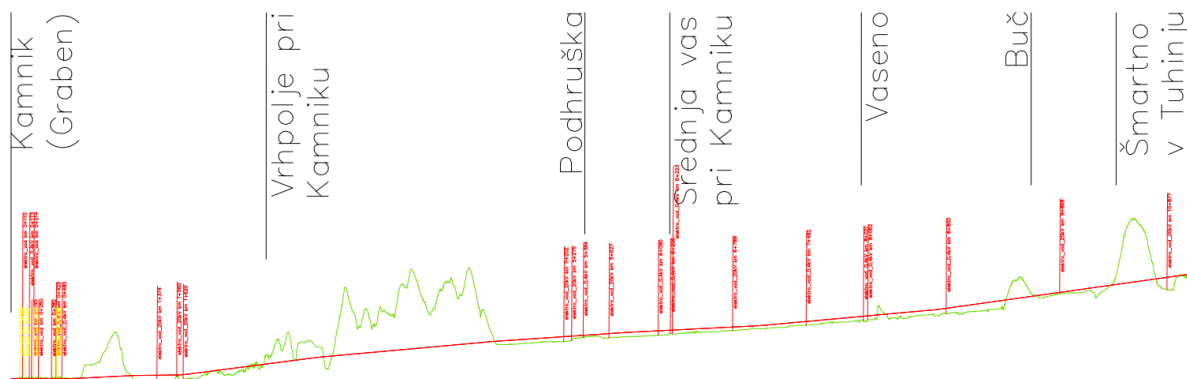
Tip	Stacionaža
Cestni nadvoz 1	km 0+339
Cestni nadvoz 2	km 0+586
Cestni nadvoz 3	km 4+685
Cestni nadvoz 4	km 5+535
Cestni nadvoz 5	km 7+625
Cestni nadvoz 6	km 12+435
Cestni nadvoz 7	km 20+473
Cestni nadvoz 8	km 23+645
Cestni nadvoz 9	km 31+010
Cestni nadvoz 10	km 32+448
Cestni nadvoz 11	km 32+830
Cestni nadvoz 12	km 33+077
Cestni nadvoz 13	km 40+543
Železniški nadvoz 1	km 1+180
Železniški nadvoz 2	km 1+513
Železniški nadvoz 3	km 2+978
Železniški nadvoz 4	km 10+218
Železniški nadvoz 5	km 24+700
Železniški nadvoz 6	km 28+385
Železniški nadvoz 7	km 28+983
Železniški nadvoz 8	km 30+090
Železniški nadvoz 9	km 30+555
Železniški nadvoz 10	km 30+663
Železniški nadvoz 11	km 30+847
Železniški nadvoz 12	km 31+162
Železniški nadvoz 13	km 31+738
Železniški nadvoz 14	km 35+835
Železniški nadvoz 15	km 37+345
Železniški nadvoz 16	km 39+647
Železniški nadvoz 17	km 38+567
Nivojski prehod 1	km 6+180
Nivojski prehod 2	km 39+095

8.4.3 Križanja železnice z drugo infrastrukturo

Ob izgradnji železniške proge prihaja do številnih križanj z obstoječo gospodarsko javno infrastrukturo. Pri vseh posegih v prostor je treba upoštevati trase obstoječih vodov in predhodno pridobiti soglasje upravljavca k projektnim rešitvam.

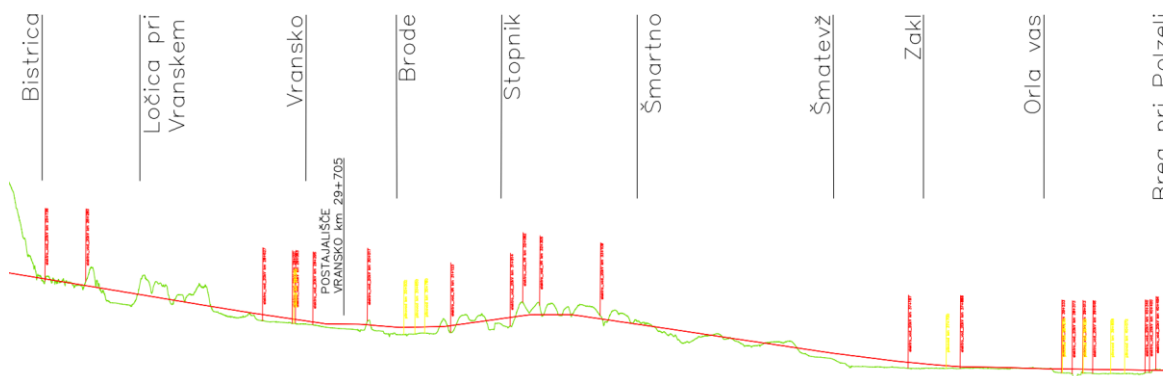
Predvidena železniška trasa križa energetske vode, ti so pogostejši na območju mest, naselij in vasi, kjer je večje število objektov. Ponekod poteka trasa ob neposredni bližini ali pod daljnovodi različnih

napetosti, zaradi česar je treba te prestaviti na primernejšo lokacijo. Križanja z omrežjem plinovoda, kablovodi in prostozračnimi daljnovodi nižjih napetosti 0,4 kV, srednjih napetosti 20 kV in visokih napetosti od 110 kV do 400 kV prikazujeta sliki 55 in 56. V preglednici 10 so zbrani tisti prostozračni daljnovodi, za katere je predvidena prestavitev.



Slika 55: Križanja z energetskimi vodi (plinovod rumena, kablovod in daljnovod rdeča barva) 1. del

Figure 55: Intersections with power lines (gas pipeline in yellow, cable line and power line in red) Part 1



Slika 56: Križanja z energetskimi vodi (plinovod rumena, kablovod in daljnovod rdeča barva) 2. del

Figure 56: Intersections with power lines (gas pipeline in yellow, cable line and power line in red) Part 2

Preglednica 10: Prestavitev prostozračnih daljnovodov (NN – nizko napetostni, SN – srednje napetostni in VN – visoko napetostni)

Table 10: Relocation of overhead power lines (LV – low voltage, MV – medium voltage, HV – high voltage)

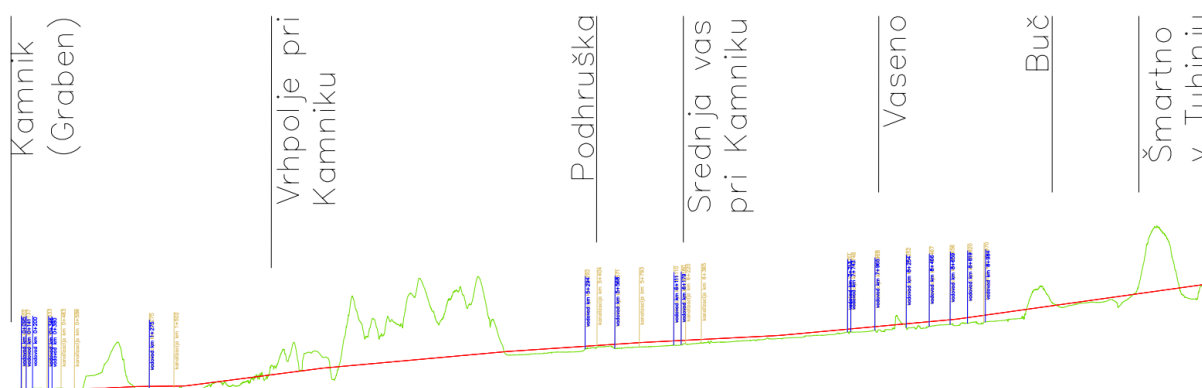
Vrsta daljnovoda	Stacionaža
Daljnovod SN (20 kV)	km 1+620
Daljnovod SN (20 kV)	km 5+202

se nadaljuje...

... nadaljevanje Preglednice 10

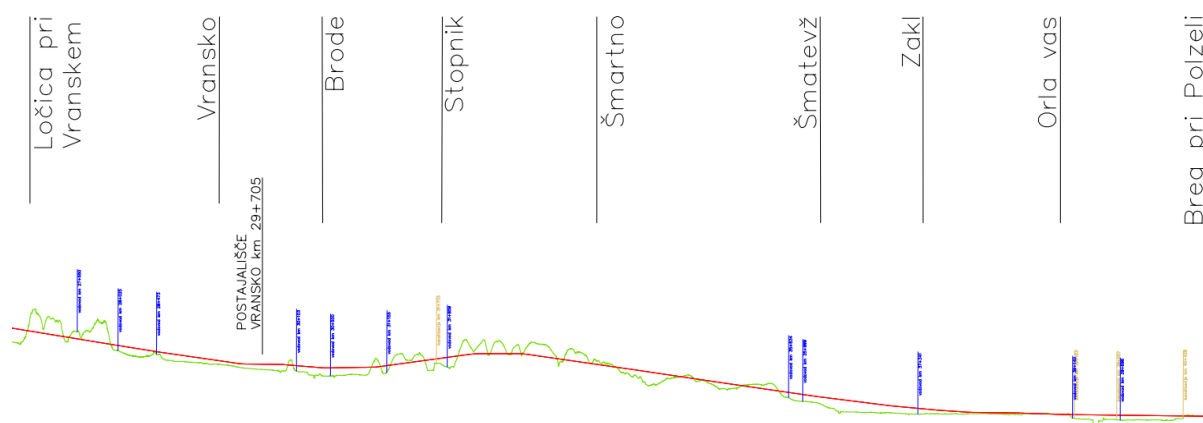
Daljnovid SN (20 kV)	km 5+275
Daljnovid SN (20 kV)	km 5+627
Daljnovid NN (0,4 kV)	km 6+090
Daljnovid NN (0,4 kV)	km 6+205
Daljnovid SN (20 kV)	km 6+789
Daljnovid NN (0,4 kV)	km 7+482
Daljnovid VN (od 110 do 400 kV)	km 19+885
Daljnovid SN (20 kV)	km 20+428
Daljnovid SN (20 kV)	km 28+627
Skupina daljnovodov SN (20 kV)	od km 29+295 do km 30+017
Daljnovid VN (od 110 do 400 kV)	km 32+082
Daljnovid SN (20 kV)	km 37+197
Daljnovid SN (20 kV)	km 37+888
Daljnovid SN (20 kV)	km 39+513
Daljnovid SN (20 kV)	km 40+400

Poleg križanj z energetskimi vodi se pojavljajo tudi križanja s komunalno infrastrukturo. Sliki 57 in 58 prikazujeta lokacije križanj komunalne infrastrukture s predvideno železniško povezavo. Slednja nekajkrat prečka vodovod in kanalizacijski vod. Večina križanj je prečnih, nekaj pa tudi vzdolžnih in se pojavljajo na začetku in koncu trase ter na območju večjih krajev. Na mestu križanj je treba izvesti ustrezne zaščite oziroma prestavitve omenjenih vodov.



Slika 57: Križanja s komunalno infrastrukturo (vodovod modra, kanalizacija rjava barva) 1. del

Figure 57: Intersections with communal infrastructure (water supply system in blue, sewerage in brown) Part 1



Slika 58: Križanja s komunalno infrastrukturo (vodovod modra, kanalizacija rjava barva) 2. del

Figure 58: Intersections with communal infrastructure (water supply system in blue, sewerage in brown) Part 2

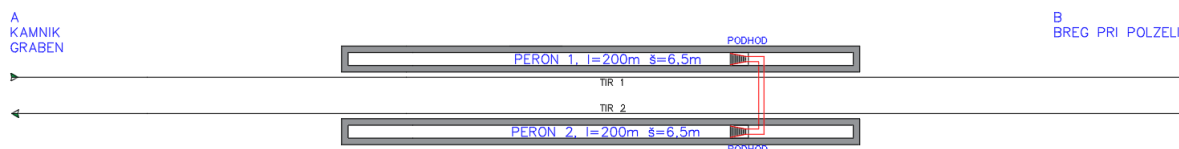
8.5 Železniško postajališče

Na železniški progi Kamnik Graben–Vransko–Breg pri Polzeli je predvideno eno železniško postajališče. Kot je podrobneje opisano v poglavjih 8.1 in 8.2, se nova železniška povezava navezuje na obstoječo železniško infrastrukturo na območju postaje Kamnik Graben in na obstoječi tir pri Bregu pri Polzeli. Slednja zagotavlja boljšo povezanost regij in krajev, nov način potovanja, razbremenitev cestnega prometa in učinkovitejše ter kakovostnejše prometno omrežje. Kakovost je poleg samih povezav odvisna še od načina delovanja povezav. Glavni dejavnik predstavlja oddaljenost postaje oziroma postajališča od urbanih območij.

Nizozemska raziskava je pokazala, da je izkoristek železniških storitev največji, kadar je oddaljenost uporabnikov do železniške postaje oziroma postajališča manjša od 500 m. Izkoristek se zmanjša za 20 %, ko se oddaljenost poveča iz 500 na 1000 m. Pri oddaljenosti med 1000 in 3500 m se zmanjša za 30 %, pri razdalji večji od 3500 m pa celo za 50 % [47]. V želji, da bi bil izkoristek maksimalen, je bilo mesto Vransko tudi zaradi same velikosti, poseljenosti kraja in ravninskega področja ter dobre lokalne dostopnosti najprimernejša izbira za umestitev postajališča.

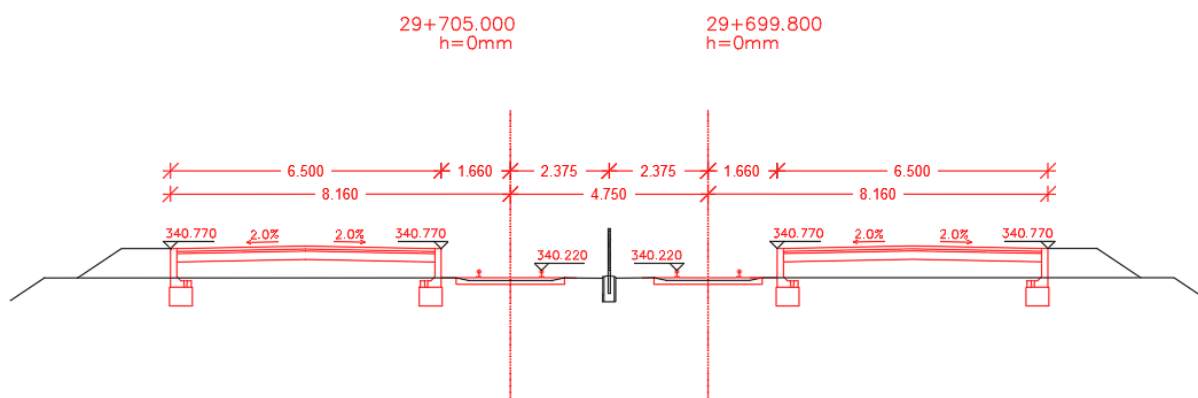
Postajališče Vransko se nahaja na odprti progi v km 29+705 na nadmorski višini 340,20 m in je namenjeno vstopanju in izstopanju potnikov ter nima funkcije vodenja prometa, nima postajnega poslopja in osebja, zaradi česar so stroški obratovanja nižji. Postajališče je izvedeno na nasipu, dostop do peronov dolžine 200 m pa je predviden izvennivojsko s podhodom. Shemo omenjenega postajališča prikazuje slika 59, prerečni prerez postajališča pa slika 60.

kilometraž: km 29+705
nadmorska višina: 340,20m



Slika 59: Shema postajališča Vransko

Figure 59: Scheme of the Vransko stop



Slika 60: Prečni prerez postajališča Vransko

Figure 60: Cross section of the Vransko stop

8.6 Hitrosti vlakov

Z uporabo programa Algoritem za natančen izračun potovalnih časov vlakov [48] so bili za izbrano varianto izračunani potovalni časi glede na upor proge in optimizirane hitrosti za tovorni in potniški vlak. Program omogoča izračun potovalnih časov odvisno od lokomotive in kompozicije vlaka, kjer se upoštevajo karakteristike vlečnih vozil in vagonov, vlakovne poti ter značilnosti infrastrukture, kot so nagibi nivelete, adhezijski koeficient, polmeri krivin, prerez predora in njihove dolžine ter progovne hitrosti na posameznem odseku.

8.6.1 Izračun za tovorni vlak

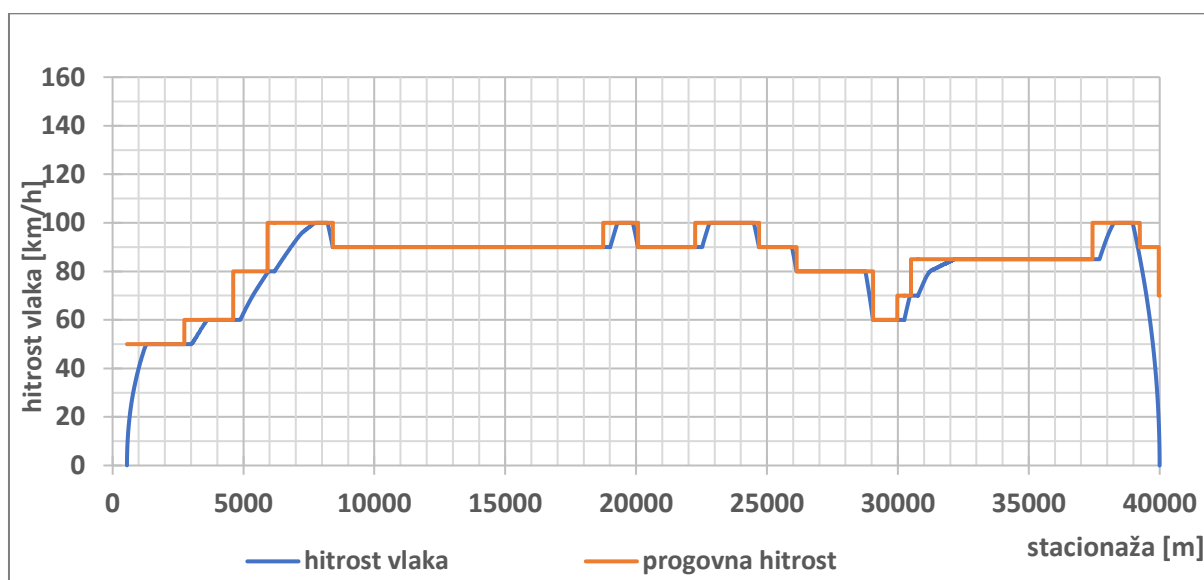
Sprva je bil izveden izračun za kompozicijo vlaka z lokomotivo »541 Živa« in desetimi tovernimi vagoni skupne teže 887 ton pri projektni hitrosti do 100 km/h na posameznih odsekih proge, pri čemer je upoštevana najvišja hitrost, ki jo omogočajo geometrijski elementi trase. Rezultati izračunov z

upoštevanim adhezijskim koeficinetom za suhe tirnice ($f_a=0,22$) so podani v preglednici 11, diagram hitrosti tovornega vlaka v odvisnosti od stacionaže pa na grafikonu 5.

Preglednica 11: Rezultati izračuna tovornega vlaka pri hitrosti do 100 km/h

Table 11: Results of calculation of freight train at speeds up to 100 km/h

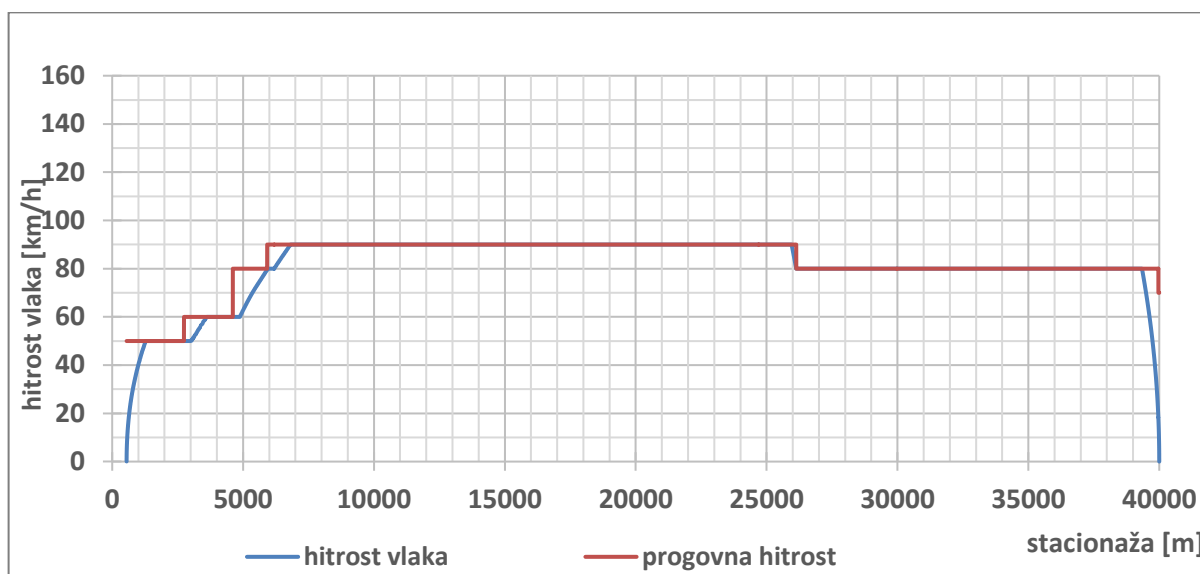
POTOVALNI ČAS	DOLŽINA POTI	POVPREČNA HITROST	OPRAVLJENO DELO VLEČNE SILE	OPRAVLJENO DELO ZAVORNE SILE
0h 30min 40s	40,76 km	77,2 km/h	3040,756 MJ	1802,423 MJ



Grafikon 5: Hitrosti tovornega vlaka pred optimizacijo

Graph 5: Freight train speeds before optimization

Potrebno je upoštevati pravilo, da mora vlak, preden začne zavirati ali pospeševati, voziti z izbrano hitrostjo vsaj dve minuti. Na podlagi grafikona 5 je mogoče razbrati, da je tovorni vlak dosegel željeno projektno hitrost, a je bil čas intervala, ko je dosegel 100 km/h, krajši od 2 minut. Odseki, ko vlak lahko vozi s hitrostjo, višjo od 90 km/h, so prekratki, da bi bistveno vplivali na skrajšanje potovalnih časov, hkrati pa pospeševanje pomeni porabo energije. V izogib padcu hitrosti je bil od km 29+000 do km 30+500 dopuščen večji bočni pospešek, a manjši od maksimalne vrednosti bočnega pospeška na šibkih mestih ($0,65 \text{ m/s}^2$). S tem se zagotovi večja hitrost vlaka na omenjenem odseku. Zaradi optimalnega izkoristka energije in kratkih časovnih intervalov hitrosti je bila optimizacija na dotičnih odsekih nujna. Grafikon 6 prikazuje optimizirane projektne hitrosti do 90 km/h, rezultati izračuna z upoštevanimi optimiziranimi omejitvami hitrosti pa so podani v preglednici 12.



Grafikon 6: Hitrosti tovornega vlaka po optimizaciji

Graph 6: Freight train speeds after optimization

Preglednica 12: Rezultati izračuna tovornega vlaka pri hitrosti do 90 km/h

Table 12: Results of calculation of freight train at speeds up to 90 km/h

POTOVALNI ČAS	DOLŽINA POTI	POVPREČNA HITROST	OPRAVLJENO DELO VLEČNE SILE	OPRAVLJENO DELO ZAVORNE SILE
0h 30min 58s	40,76 km	76,4 km/h	2660,431 MJ	1475,436 MJ

Po optimizaciji se potovalni čas bistveno ne podaljša, povprečna hitrost je nižja za 1 % in je tako rekoč zanemarljivo majhna, opravljeno delo vlečne in zavorne sile pa se zmanjša za 12,5 % in 18,1 %.

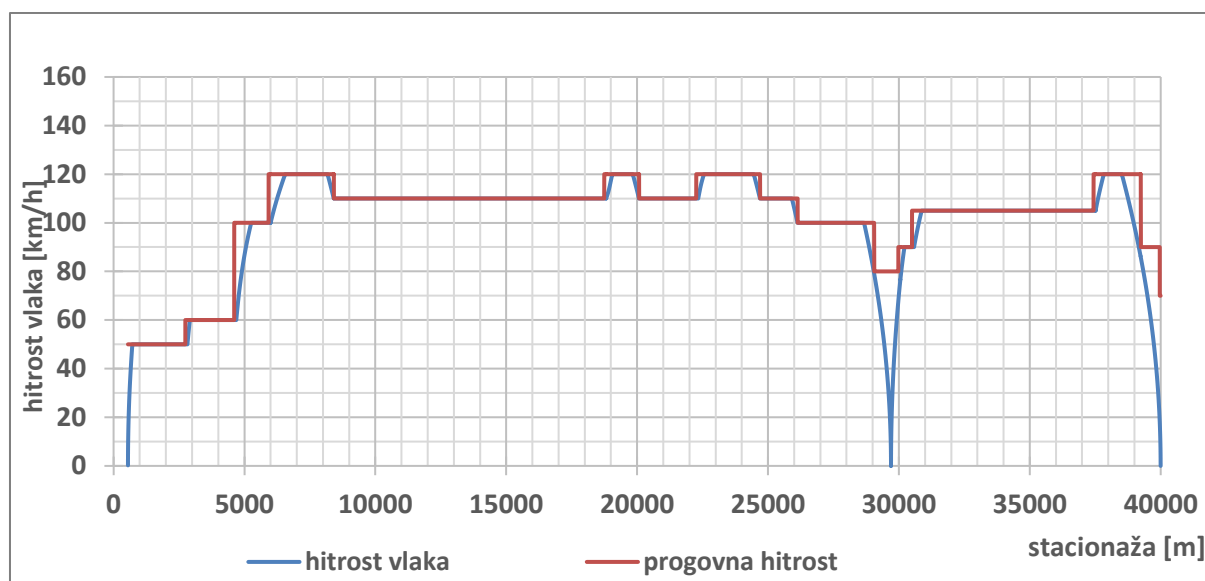
8.6.2 Izračun za potniški vlak

V programu smo upoštevali kot primer potniškega vlaka »Pendolino 310« teže 152 ton pri projektni hitrosti do 120 km/h na posameznih odsekih proge, pri čemer je upoštevana najvišja hitrost, ki jo omogočajo geometrijski elementi trase. Rezultati izračunov z upoštevanim adhezijskim koeficientom za suhe tirnice ($f_a=0,22$), vključno z minutnim postankom na postajališču Vransko, so podani v preglednici 13, diagram hitrosti potniškega vlaka v odvisnosti od stacionaže pa na grafikonu 7.

Preglednica 13: Rezultati izračuna potniškega vlaka pri hitrosti do 120 km/h

Table 13: Results of the calculation of a passenger train at speeds up to 120 km/h

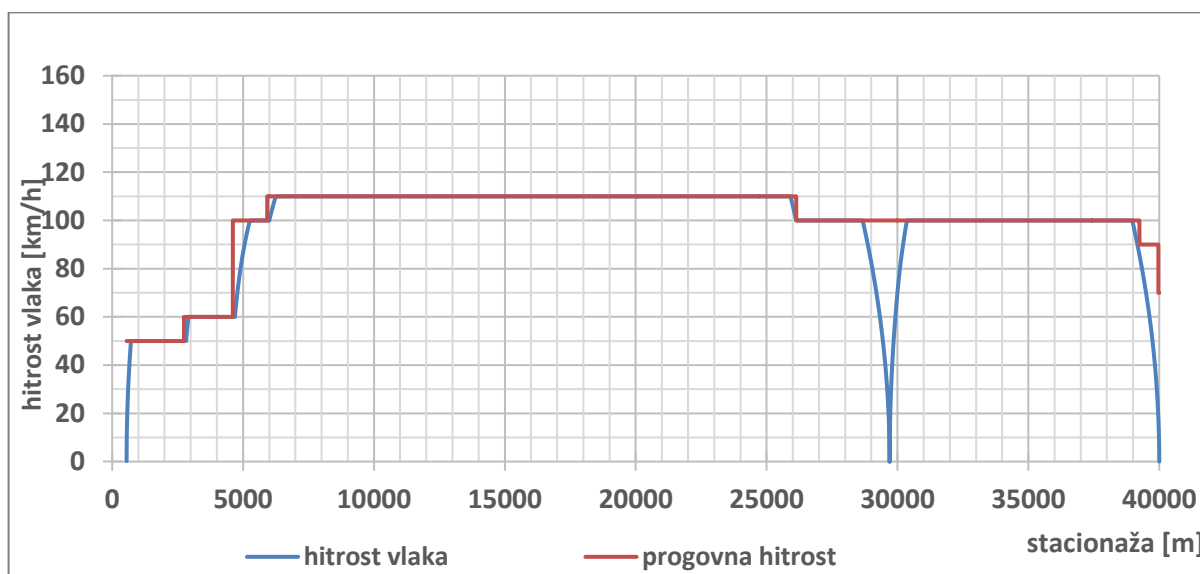
POTOVALNI ČAS	DOLŽINA POTI	POVPREČNA HITROST	OPRAVLJENO DELO VLEČNE SILE	OPRAVLJENO DELO ZAVORNE SILE
0h 26min 3s	40,76 km	90,8 km/h	728,997 MJ	377,389 MJ



Grafikon 7: Hitrosti potniškega vlaka pred optimizacijo

Graph 7: Passenger train speeds before optimization

Tako kot pri tovornem vlaku je bila zaradi istih razlogov izvedena optimizacija hitrosti. V želji zagotovitve čim bolj optimizirane hitrosti potniških vlakov, ki morebiti ne izvedejo postanka na postajališču Vransko, so bila od km 29+000 do km 30+500 izbrana večja nadvišanja in s tem dopuščeni večji bočni pospeški. Ti ne presegajo maksimalne vrednosti bočnega pospeška na šibkih mestih ($0,65 \text{ m/s}^2$). V tem primeru se tako zagotovi večja hitrost na omenjenem odseku. Grafikon 8 prikazuje optimizirane projektne hitrosti do 110 km/h, rezultati simulacije pa so podani v preglednici 14.



Grafikon 8: Hitrosti potniškega vlaka po optimizaciji

Graph 8: Passenger train speeds after optimization

Preglednica 14: Rezultati izračuna potniškega vlaka pri hitrosti do 110 km/h

Table 14: Results of the calculation of a passenger train at speeds up to 110 km/h

POTOVALNI ČAS	DOLŽINA POTI	POVPREČNA HITROST	OPRAVLJENO DELO VLEČNE SILE	OPRAVLJENO DELO ZAVORNE SILE
0h 26min 34s	40,76 km	89,1 km/h	662,055 MJ	316,936 MJ

Po optimizaciji se potovalni čas bistveno ne podaljša, razlika povprečne hitrosti je zanemarljivo majhna, in sicer 1,9 %, opravljeno delo vlečne in zavorne sile pa se zmanjša za 9,2 % in 16,0 %. Kljub nižji hitrosti na posamičnih odsekih omogoča optimizacija enake rezultate potovanja z manjšo porabo energije, manjšimi obremenitvami na infrastrukturo in posledično nižjimi stroški vzdrževanja. Hitrosti in preostali tehnični podatki izbrane optimizirane variante so za obe vrsti vlaka zbrani v preglednici 6 podpoglavja 8.3.

Na podlagi že omenjenega državnega prostorskega načrta (DPN) je za nadgradnjo proge Ljubljana Šiška–Kamnik Graben predviden potovalni čas 34 minut za potniški vlak [25]. Čas potovanja, ocenjen na podlagi voznega reda Slovenskih železnic, za odsek Breg pri Polzeli–Celje znaša 15 minut [49]. Skupaj z izračunanim potovalnim časom na relaciji Kamnik Graben–Vransko–Breg pri Polzeli je čas potovanja nove povezave Ljubljana–Celje dolžine 78,4 km ocenjen na skupnih 75 minut. Trenutni čas potovanja na obstoječi povezavi Ljubljana–Zidani Most–Celje z dolžino 90,1 km znaša 95 minut, zato je predviden časovni prihranek nove železniške povezave 20 minut [49].

9 ZAKLJUČEK

V zadnjih desetletjih je konkurenčna povezava glavnih mest vedno bolj pomembna za celostni razvoj in trajnostno mobilnost tako v Evropi kot v Sloveniji. Železnica pridobiva na pomenu, saj predstavlja varnejšo, učinkovitejšo, cenejšo in čistejšo obliko napram cestnemu transportu. Ima pozitiven vpliv na gospodarski in logistični razvoj, prispeva k razvoju industrije, kmetijstva, pridelovalnih sektorjev, predstavlja nove prometne povezave in povezanost krajev, hkrati pa omogoča selitev cestnega prometa na železnico, kar posledično vpliva na znižanje škodljivih vplivov na okolje. Zaradi zgodovinskega razvoja železniškega omrežja Evrope, ponekod povezave ne potekajo optimalno, kar vpliva na nastanek ozkih grl, ki so problematična predvsem pri tranzitu tovora in potnikov. Evropska infrastrukturna politika želi vzpostaviti dobro prometno omrežje, ki zajema cestno in železniško omrežje, plovne poti, pristanišča in letališča, poenostavitev čezmejnega prevoza potnikov in tovora po vsej Evropski uniji ter nadgraditev in izboljšavo infrastrukture v želji odstranitve ozkih grl. Ker v Sloveniji primanjkuje učinkovitih povezav, je v magistrskem delu obravnavana idejna zasnova nove železniške povezave med Ljubljano in Celjem skozi Tuhinjsko dolino.

V okviru magistrskega dela so obravnavane različne možnosti izvedbe nove dvotirne elektrificirane železniške povezave Kamnik Graben–Vransko–Breg pri Polzeli preko Tuhinjske doline z navezavo na že obstoječi progi Ljubljana Šiška–Kamnik Graben in Celje–Velenje. Sprva so v nalogi predstavljena izhodišča in razvoj vseevropskega omrežja (TEN-T) na območju Slovenije in v EU ter prikazani koridorji, ki tvorijo omenjeno omrežje. Nato je predstavljen pojem trajnostne mobilnosti in pomembnost uporabe te ter kasneje še interoperabilnost železniškega sistema. V nadaljevanju so opisani in grafično predstavljeni robni pogoji za projektiranje, kjer so analizirane geološke in hidrološke značilnosti obravnavanega območja, namenska raba prostora, naravne vrednote in Natura 2000, naravna in kulturna dediščina in obstoječa prometna ter gospodarska javna infrastruktura. Poleg robnih pogojev so v nalogi opisana vsa uporabljena programska orodja in podloge, predstavljene so tehnične zahteve na podlagi Pravilnika o zgornjem ustroju železniških prog in TSI infrastruktura, kot izhodišča pri projektiranju nove dvotirne elektrificirane železniške povezave.

V okviru zaključnega dela je bilo izdelanih pet variant železniške povezave, ki so v nalogi ustrezno grafično predstavljene, opisane in umeščene v prostor. Pri projektiranju je predstavljala največji izziv sama umestitev v prostor, saj je na obravnavanem območju teren zelo razgiban in višinsko zelo raznolik, zaradi česar so se pojavljale prostorske omejitve, ki so vplivale na potek variant. Na osnovi vrednotenja variant z metodologijo vrednotenja in medsebojnih primerjav, je na podlagi sinteznega vrednotenja izbrana najprimernejša varianta, ki je v nadaljevanju naloge podrobneje obravnavana in predstavljena. Za izbrano varianto so predstavljeni vsi tehnični elementi trase, križanja železnice z naravnimi ovirami in s cestno ter drugo infrastrukturo. Na območju Vranskega je predvideno železniško postajališče, ki je podrobno opisano in grafično predstavljeno.

V zaključku magistrskega dela so za izbrano varianto, glede na upor proge, izračunani potovalni časi, povprečne hitrosti in opravljeno delo vlečne in zavorne sile ter nato optimizirane hitrosti za tovorni in potniški vlak. Kljub nekoliko nižji hitrosti na posamičnih odsekih omogoča optimizacija enake rezultate potovanja z manjšo porabo energije, manjšimi obremenitvami na infrastrukturo in posledično nižjimi stroški vzdrževanja. Povezava bi predstavljala nov način potovanja in alternativno rešitev, s katero bi razbremenili cestne povezave med Ljubljano in Celjem ter železniški tovorni promet, ki poteka na zelo obremenjeni progi Ljubljana–Zidani Most–Celje. Trenutni potovalni čas te znaša 95 minut, zato je 20 minutni prihranek nove povezave zelo ugoden za uporabnike železniških storitev.

Končna zasnova izbrane variante predstavlja osnovo za nadaljnje podrobnejše raziskave, pri katerih je nujno potrebno sodelovanje različnih strok, da se zagotovi interdisciplinarni pristop, ki bi omogočal morebitno izvedbo projekta.

VIRI

- [1] "Der Reiszug". Funimag. 1997.
<https://www.funimag.com/funimag10/RESZUG01.HTM> (Pridobljeno 1. 06. 2021.)
- [2] Lee, C. E. 1943. The Evolution of Railways. London, Railway Gazette: 108 str.
- [3] Vaughan, A. 1997. Railwaymen, politics and money: the great age of railways in Britain. London, John Murray: 407 str.
- [4] Zgodovina železnic na Slovenskem. 2021.
<https://www.slo-zeleznice.si/sl/skupina-slovenske-zeleznice/predstavitev/zgodovina>
(Pridobljeno 7. 06. 2021.)
- [5] Senegačnik, J., Drobnjak, B., 2018. Obča geografija, učbenik za geografijo za 1. letnik gimnazij. Ljubljana, Modrijan založba : 192 str.
- [6] Brezigar, M., Tomažin, M. 2019. Pomen nove železniške proge Divača–Koper za regijo, državo in gospodarski prostor EU.
http://www.drugitir.si/resources/files/Referat_Marko_Brezigar_-_strokovno_sreanje_-_031019.pdf (Pridobljeno 19. 06. 2021.)
- [7] Statistični urad Republike Slovenije. 2021.
<https://pxweb.stat.si/SiStat/sl> (Pridobljeno 25. 06. 2021.)
- [8] Nova politika EU za prometno infrastrukturo-ozadje. 2013.
https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/sl/MEMO_13_897 (Pridobljeno 25. 06. 2021.)
- [9] Statistični urad Republike Slovenije. Železniški blagovni prevoz, Slovenija, letno. 2021.
<https://pxweb.stat.si/SiStatData/pxweb/sl/Data/-/2221802S.px/table/tableViewLayout2/>
(Pridobljeno 25. 06. 2021.)
- [10] Statistični urad Republike Slovenije. Cestni blagovni prevoz, Slovenija, letno. 2021.
<https://pxweb.stat.si/SiStatData/pxweb/sl/Data/-/2207704S.px/table/tableViewLayout2/>
(Pridobljeno 25. 06. 2021.)
- [11] Statistični urad Republike Slovenije. Potniški prevoz in promet, Slovenija, letno. 2021.
<https://pxweb.stat.si/SiStatData/pxweb/sl/Data/-/2221101S.px/table/tableViewLayout2/>
(Pridobljeno 25. 06. 2021.)

- [12] Statistični urad Republike Slovenije. Cestna vozila in prve registracije cestnih vozil glede na vrsto vozila, Slovenija, letno. 2021.
<https://pxweb.stat.si/SiStatData/pxweb/sl/Data/-/2222102S.px/table/tableViewLayout2/>
(Pridobljeno 25. 06. 2021.)
- [13] Trans-European Transport Network (TEN-T). European Commission. 2021.
https://ec.europa.eu/transport/themes/infrastructure/ten-t_en (Pridobljeno 3. 07. 2021.)
- [14] Instrument za povezovanje Evrope-področje prometa. Ministrstvo za infrastrukturo. 2021.
<https://www.gov.si/zbirke/projekti-in-programi/instrument-za-povezovanje-evrope/instrument-za-povezovanje-evrope-podrocje-prometa/> (Pridobljeno 1. 07. 2021.)
- [15] Panker, A. 2016. Med vizijo in realnostjo-pregled razvoja železnic na Slovenskem. Urbanistični inštitut Republike Slovenije 6, 1: 8–11.
- [16] Uredništvo portala Transport & logistika. 2018. Kaj morate vedeti o omrežju koridorjev TEN-T in kako do EU denarja za naložbe. Finance (16. apr. 2018) 72, 4681: str. 15.
- [17] Rodrigue, J. P., Comtois, C., Slack, B. 2013. The geography of transport systems. Oxford, Routledge: 432 str.
- [18] Drevenšek, M. 2014. Parkiraj in prestopi: Za trajnostno mobilnost v ljubljanski urbani regiji: P+R. Ljubljana, Regionalna razvojna agencija Ljubljanske urbane regije (RRA LUR): 116 str.
- [19] Salveson, P., Mowforth, M., Taylor, D., Jenkinson, P. 1998. The social, economic and environmental benefits of rural railways. London, Transport 2000 Trust in association with Transport Research & Information Network: 131 str.
- [20] Sistem P+R parkirišč (Parkiraj in pelji se) po slovenskih občinah. Skupnost občin Slovenije. 2015.
<https://skupnostobcin.si/2015/08/sistem-pr-parkirisc-parkiraj-in-pelji-se-po-slovenskih-obcinah/> (Pridobljeno 23. 07. 2021.)
- [21] Parkirišče P+R Dolgi most. Javno podjetje Ljubljanska parkirišča in tržnice. 2020.
<https://www.lpt.si/parkirisca/parkirisca-za-osebne-avtomobile/#1579252755695-885c9d79-b29e> (Pridobljeno 1. 08. 2021.)
- [22] Zgonc, B. 2015. Interoperabilnost železniškega sistema in odprta vprašanja pri njenem uvajanju = Interoperability of railway system and open questions in its implementation. Gradbeni vestnik 64, 10: 222–230.

- [23] Brilej, M., Kaplja, M. 1999. 150 let železnice od Celja do Ljubljane 1849–1999. Litija, Tiskarna ACO Litija: 135 str.
- [24] Mohorič, I., Kumar, S. 1968. Zgodovina železnic na Slovenskem. Ljubljana, Slovenska matica: 597 str.
- [25] Državni prostorski načrt za nadgradnjo železniške proge št. 21 Ljubljana Šiška–Kamnik Graben. Ministrstvo za okolje in prostor, Direktorat za prostor, graditev in stanovanja. 2021. <https://www.gov.si/zbirke/javne-objave/drzavni-prostorski-nacrt-za-nadgradnjo-zelezniske-proge-st-21-ljubljana-siska-kamnik-graben/> (Pridobljeno 3. 08. 2021.)
- [26] Odlok o Občinskem prostorskem načrtu Občine Polzela. Uradni list RS št. 96/11: 12700–12811.
- [27] Google maps. Google. Inc. 2021. <https://www.google.si/maps/@46.2468103,15.0011115,13344m/data=!3m1!1e3?hl=sl> (Pridobljeno 7. 08. 2021.)
- [28] Klemenčič, V. 1952. Agrarna geografija Tuhinjske doline. Geografski zbornik 1, 1: 75–120.
- [29] Grad, K. 1969. Psevdoziljski skladi med Celjem in Vranskim. Geologija 12, 1: 91–105.
- [30] Osnovna geološka karta. Geološki zavod Slovenije. 2021. <https://ogk100.geo-zs.si/> (Pridobljeno 9. 08. 2021.)
- [31] Spletni portal iObčina. 2021. <https://gis.iobcina.si/gisapp/Default.aspx?a=vransko> (Pridobljeno 10. 08. 2021.)
- [32] Natek, M. 1995. The 1994 summer storm in the Bolska river watershed (central part of eastern Slovenia) = Poletno neurje v porečju Bolske leta 1994 (osrednji del vzhodne Slovenije). Geografski zbornik 35, 1: 151–198.
- [33] Kraji-Slovenija. 2021. <https://kraji.eu/slo> (Pridobljeno 13. 08. 2021.)
- [34] Bolta, L., Gabrovec, S., idr. 1975. Arheološka najdišča Slovenije. Ljubljana, DZS: 415 str.
- [35] Savnik, R., Planina, F., Šifrer, Ž. 1971. Krajevni leksikon Slovenije. Ljubljana, DZS: 705 str.
- [36] Kodra, M. 2004. Promet v Tuhinjski dolini. Diplomsko naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Filozofska fakulteta (samozaložba M. Kodra): 140 f.
- [37] Klopčič, N. 2012. Tuhinjsko-Motniška dolina skozi zgodovino. Diplomsko naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Pedagoška fakulteta (samozaložba N. Klopčič): 76 f.

-
- [38] Žalohar, J. 2006. Nekdanji premogovnik Motnik, zgodovina in fosili. Društvo prijateljev mineralov in fosilov Slovenije 29, 34: 19–22.
- [39] Geopedia. Prometna infrastruktura. 2013.
http://www.geopedia.si/#T1239_x471168_y109504_s12_b4 (Pridobljeno 20. 08. 2021.)
- [40] Geodetska uprava Republike Slovenije. Ortofoto. 2017.
<https://www.e-prostor.gov.si/zbirke-prostorskih-podatkov/topografski-in-kartografski-podatki/ortofoto/#tab1-1018> (Pridobljeno 23. 08. 2021.)
- [41] Uredba komisije (EU) št.1299/2014 z dne 18. novembra 2014 o tehničnih specifikacijah za interoperabilnost v zvezi s podsistemom „infrastruktura“ železniškega sistema v Evropski uniji. Uradni list Evropske unije št. L356/1.
- [42] Direktiva (EU) 2016/797 Evropskega parlamenta in sveta z dne 11. maja 2016 o interoperabilnosti železniškega sistema v Evropski uniji (prenovitev). Uradni list Evropske unije št. L138/44.
- [43] Pravilnik o zgornjem ustroju železniških prog. Uradni list RS št. 92/2010: 13803–13885.
- [44] Zgonc, B. 2012. Železniška infrastruktura. Portorož, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za pomorstvo in promet: 212 str.
- [45] Šašek Divjak, M. 2011. Metodologija vrednotenja in medsebojne primerjave variant v postopkih priprave državnih prostorskih načrtov: Zaključno poročilo. Ministrstvo za okolje in prostor Republike Slovenije. Urbanistični inštitut Republike Slovenije.
https://www.gov.si/assets/ministrstva/MOP/Dokumenti/DPN/f2c32b8e31/metodol_vredn_in_medseb_prim_variant_zakljucno_porocilo.pdf (Pridobljeno 26. 08. 2021.)
- [46] Uredba komisije (EU) št. 1303/2014 z dne 18. novembra 2014 o tehnični specifikaciji za interoperabilnost v zvezi z „varnostjo v železniških predorih“ železniškega sistema Evropske unije. Uradni list Evropske unije št. L356/394.
- [47] Keijer, M. J. N., Rietveld, P. 2000. How do people get to the railway station? The Dutch experience. Transportation Planning and Technology 23, 3: 215–235. doi: 10.1080/03081060008717650.
- [48] Trček, L. 2015. Algoritem za natančen izračun potovalnih časov vlakov. Diplomsko naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo (samozaložba L. Trček): 37 f.

[49] Slovenske železnice-potniški promet. Iskalnik voznih redov. 2021.

<https://potniski.sz.si/> (Pridobljeno 10. 09. 2021.)

SEZNAM PRILOG

Priloga A1: Pregledna situacija variante V1 dvotirne elektrificirane železniške povezave Kamnik Graben–Vransko–Breg pri Polzeli, merilo 1:25000

Priloga A2: Pregledna situacija variante V2 dvotirne elektrificirane železniške povezave Kamnik Graben–Vransko–Breg pri Polzeli, merilo 1:25000

Priloga A3: Pregledna situacija variante V3 (izbrana) dvotirne elektrificirane železniške povezave Kamnik Graben–Vransko–Breg pri Polzeli, merilo 1:25000

Priloga A4: Pregledna situacija variante V4 dvotirne elektrificirane železniške povezave Kamnik Graben–Vransko–Breg pri Polzeli, merilo 1:25000

Priloga A5: Pregledna situacija variante V5 dvotirne elektrificirane železniške povezave Kamnik Graben–Vransko–Breg pri Polzeli, merilo 1:25000

Priloga B1: Gradbena situacija variante V3 (izbrana) dvotirne elektrificirane železniške povezave Kamnik Graben–Vransko–Breg pri Polzeli med profiloma P1 in P20, merilo 1:2500

Priloga B2: Gradbena situacija variante V3 (izbrana) dvotirne elektrificirane železniške povezave Kamnik Graben–Vransko–Breg pri Polzeli med profiloma P21 in P36, merilo 1:2500

Priloga B3: Gradbena situacija variante V3 (izbrana) dvotirne elektrificirane železniške povezave Kamnik Graben–Vransko–Breg pri Polzeli med profiloma P37 in P53, merilo 1:2500

Priloga B4: Gradbena situacija variante V3 (izbrana) dvotirne elektrificirane železniške povezave Kamnik Graben–Vransko–Breg pri Polzeli med profiloma P54 in P75, merilo 1:2500

Priloga B5: Gradbena situacija variante V3 (izbrana) dvotirne elektrificirane železniške povezave Kamnik Graben–Vransko–Breg pri Polzeli med profiloma P76 in P95, merilo 1:2500

Priloga B6: Gradbena situacija variante V3 (izbrana) dvotirne elektrificirane železniške povezave Kamnik Graben–Vransko–Breg pri Polzeli med profiloma P96 in P116, merilo 1:2500

Priloga B7: Gradbena situacija variante V3 (izbrana) dvotirne elektrificirane železniške povezave Kamnik Graben–Vransko–Breg pri Polzeli med profiloma P117 in P130, merilo 1:2500

Priloga B8: Gradbena situacija variante V3 (izbrana) dvotirne elektrificirane železniške povezave Kamnik Graben–Vransko–Breg pri Polzeli med profiloma P131 in P139, merilo 1:2500

Priloga B9: Gradbena situacija variante V3 (izbrana) dvotirne elektrificirane železniške povezave Kamnik Graben–Vransko–Breg pri Polzeli med profiloma P140 in P145, merilo 1:2500

Priloga B10: Gradbena situacija variante V3 (izbrana) dvotirne elektrificirane železniške povezave Kamnik Graben–Vransko–Breg pri Polzeli med profiloma P146 in P154, merilo 1:2500

Priloga B11: Gradbena situacija variante V3 (izbrana) dvotirne elektrificirane železniške povezave Kamnik Graben–Vransko–Breg pri Polzeli med profiloma P155 in P176, merilo 1:2500

Priloga B12: Gradbena situacija variante V3 (izbrana) dvotirne elektrificirane železniške povezave Kamnik Graben–Vransko–Breg pri Polzeli med profiloma P177 in P198, merilo 1:2500

Priloga B13: Gradbena situacija variante V3 (izbrana) dvotirne elektrificirane železniške povezave Kamnik Graben–Vransko–Breg pri Polzeli med profiloma P199 in P205, merilo 1:2500

Priloga C1: Vzdolžni profil variante V1 dvotirne elektrificirane železniške povezave Kamnik Graben–Vransko–Breg pri Polzeli, merilo 1:25000/2500

Priloga C2: Vzdolžni profil variante V2 dvotirne elektrificirane železniške povezave Kamnik Graben–Vransko–Breg pri Polzeli, merilo 1:25000/2500

Priloga C3: Vzdolžni profil variante V3 (izbrana) dvotirne elektrificirane železniške povezave Kamnik Graben–Vransko–Breg pri Polzeli, merilo 1:25000/2500

Priloga C4: Vzdolžni profil variante V4 dvotirne elektrificirane železniške povezave Kamnik Graben–Vransko–Breg pri Polzeli, merilo 1:25000/2500

Priloga C5: Vzdolžni profil variante V5 dvotirne elektrificirane železniške povezave Kamnik Graben–Vransko–Breg pri Polzeli, merilo 1:25000/2500

Priloga D1: Vzdolžni profil variante V3 (izbrana) dvotirne elektrificirane železniške povezave Kamnik Graben–Vransko–Breg pri Polzeli med profiloma P1 in P42, merilo 1:2500/250

Priloga D2: Vzdolžni profil variante V3 (izbrana) dvotirne elektrificirane železniške povezave Kamnik Graben–Vransko–Breg pri Polzeli med profiloma P43 in P83, merilo 1:2500/250

Priloga D3: Vzdolžni profil variante V3 (izbrana) dvotirne elektrificirane železniške povezave Kamnik Graben–Vransko–Breg pri Polzeli med profiloma P84 in P125, merilo 1:2500/250

Priloga D4: Vzdolžni profil variante V3 (izbrana) dvotirne elektrificirane železniške povezave Kamnik Graben–Vransko–Breg pri Polzeli med profiloma P126 in P167, merilo 1:2500/250

Priloga D5: Vzdolžni profil variante V3 (izbrana) dvotirne elektrificirane železniške povezave Kamnik Graben–Vransko–Breg pri Polzeli med profiloma P168 in P205, merilo 1:2500/250