

Univerza
v Ljubljani

Fakulteta
*za gradbeništvo
in geodezijo*



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

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

To je izvirna različica zaključnega dela.

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

Tomljanovič, S. 2012. Analiza meritev glavnih geometrijskih parametrov na železniških progah. Diplomski naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. (mentor Zgonc, B., somentorica Šemrov, D.): 86 str.

University
of Ljubljana

Faculty of
*Civil and Geodetic
Engineering*



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

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

This is original version of final thesis.

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

Tomljanovič, S. 2012. Analiza meritev glavnih geometrijskih parametrov na železniških progah. B.Sc. Thesis. Ljubljana, University of Ljubljana, Faculty of civil and geodetic engineering. (supervisor Zgonc, B., co-supervisor Šemrov, D.): 86 pp.

Univerza
v Ljubljani

Fakulteta za
*gradbeništvo in
geodezijo*



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

UNIVERZITETNI ŠTUDIJ
GRADBENIŠTVA
PROMETNA SMER

Kandidat:

SMILJAN TOMLJANOVIČ

**ANALIZA MERITEV GLAVNIH GEOMETRIJSKIH
PARAMETROV NA ŽELEZNIŠKIH PROGAH**

Diplomska naloga št.: 3249/PS

**ANALYSIS OF MEASUREMENTS OF THE PRINCIPAL
TRACK GEOMETRY PARAMETERS**

Graduation thesis No.: 3249/PS

Mentor:

prof. dr. Bogdan Zgonc

Predsednik komisije:

izr. prof. dr. Janko Logar

Somentorica:

asist. Darja Šemrov

Član komisije:

prof. dr. Janez Žmavc

Ljubljana, 27. 09. 2012

IZJAVA O AVTORSTVU

Podpisan **SMILJAN TOMLJANOVIČ** izjavljam, da sem avtor diplomske naloge z naslovom **ANALIZA MERITEV GLAVNIH GEOMETRIJSKIH PARAMETROV NA ŽELEZNIŠKIH PROGAH.**

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

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

Ljubljana, 04. 09. 2012

(podpis kandidata)

BIBLIOGRAFSKO – DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK

- UDK:** 629.4:656.2(043.2)
- Avtor:** Smiljan Tomljanovič
- Mentor:** prof. dr. Bogdan Zgonc, univ. dipl. inž. grad.
- Somentorica:** asist. Darja Šemrov, univ. dipl. inž. grad.
- Naslov:** Analiza meritev glavnih geometrijskih parametrov na železniških progah
- Obseg in oprema:** 86 str., 48 pregl., 15 sl., 19 graf., 19 en.
- Ključne besede:** glavni geometrijski parametri, tirna širina, vegavost tira, nadvišanje tira, stabilnost tira, smer tira, merilni vlak

Izvleček

Namen diplomske naloge je bila analiza meritev glavnih geometrijskih parametrov na dveh progovnih odsekih slovenskih železnic. Z upoštevanjem Pravilnika o zgornjem ustroju, UL RS št. 92/2010, European Standard, No. prEN 13848-5, 2005, Direktive 2008/57/ES o interoperabilnosti železniškega sistema v skupnosti: TSI, 2011, in UIC 518 Ed. 3 (2005) so opisani glavni geometrijski parametri (tirna širina, vegavost tira, nadvišanje tira, stabilnost tira in smer tira) na železniških progah in dovoljena odstopanja za posamezen parameter.

V nadaljevanju sta opisana merilna vlaka EM 120 z oznako FMK 004 in UFM 120. Oba merilna vlak sta bila na območju slovenskih železnic uporabljena za izvajanje meritev glavnih geometrijskih parametrov. Opisana sta tudi merilna vlaka EM 250 in EM-SAT 120, ki se uporabljata za merjenje geometrijskih parametrov na progah za visoke hitrosti.

V praktičnem delu sta obravnavana progovna odseka Jesenice – Bohinjska Bistrica in Lesce Bled – Žirovnica. Za progovni odsek Jesenice – Bohinjska Bistrica so prikazane vrednosti meritev glavnih geometrijskih parametrov, zabeležene 10.05.2011, in izboljšane vrednosti meritev glavnih geometrijskih parametrov, zabeležene 15.05.2012. Vrednosti so bile

izboljšane zaradi izvedenih vzdrževalnih del. Pri prvi meritvi z dne 10.05.2011 so bile ugotovljene najslabše vrednosti za tirno širino. Za progovni odsek Lesce Bled – Žirovnica pa so prikazane vrednosti stabilnosti tira in vegavosti tira, izmerjene dne 19.04.2010 in 10.11.2010. Iz meritev z dne 10.11.2010 je razvidno, da so bile vrednosti stanja proge izboljšane. Za isti progovni odsek je narejena tudi primerjava kvalitete tira na 500 m za obdobje od leta 2008 do 2010.

BIBLIOGRAPHIC – DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT

UDC:	629.4:656.2(043.2)
Author:	Smiljan Tomljanovič
Supervisor:	Professor Bogdan Zgonc, Ph.D., B. Sc.
Co-supervisor:	Assist. Darja Šemrov, B. Sc.
Title:	Analysis of Measurements of the Principal Track Geometry Parameters
Scope and tools:	86 p., 48 tab., 15 fig., 19 graph., 19 eq.
Key words:	principal geometry parameters, gauge, twist, cant, stability, alignment, measuring vehicle

Abstract

The aim of this graduation thesis was to analyze the values of the principal track geometry parameters measured on two line sections of the Slovenian railway network.

By taking into account the Rules on Railway Line Superstructure, OG RS št. 92/2010, the European Standard, No. prEn 13848-5, 2005, Directive 2008/57/EC on interoperability of the railway system in the EC: TSI, 2011, and UIC 518 Ed. 3 (2005), the principal track geometry parameters (gauge, twist, cant, stability and alignment) and allowed deviations from the normal values of individual parameters are described in this thesis.

The graduation thesis furthermore deals with measuring vehicles EM 120 marked with FMK 004 and UFM 120. They have both been used for measuring the principal track geometry parameters on the Slovenian railway network.. In addition, measuring vehicles EM 250 and EM-SAT 120, which carry out measurements of geometry parameters on high-speed tracks, are also described in the thesis.

The practical part of the graduation thesis deals with two line sections: Jesenice – Bohinjska Bistrica and Lesce Bled – Žirovnica. For the line section Jesenice – Bohinjska Bistrica, first the values of the principal track geometry parameters measured on 10 May 2011 are presented

and then also the improved values obtained by measurements on 15 May 2012. The values were improved as a result of maintenance works. In the measurements of 10 May 2011, the greatest deviation from the normal value was recorded for the parameter gauge. For the line section Lesce Bled – Žirovnica, the values of the parameters stability and twist measured on 10 April 2010 and 10 November 2010 are presented. From the measurements of 10 November 2010 it is evident that the values were improved. A comparison of track quality at 500 m has also been made for this line section for the years from 2008 to 2010.

ZAHVALA

Za pomoč pri izdelavi diplomske naloge se iskreno zahvaljujem mentorju prof. dr. Bogdanu Zgoncu, univ. dipl. inž. grad. in somentorici asist. Darji Šemrov, univ. dipl. inž. grad.

Zahvaljujem se tudi svojim najbližjim, ki so me v času študija podpirali, spodbujali in verjeli vame.

Zahvalil bi se še vsem, ki so na kakršenkoli način sodelovali pri nastanku mojega diplomskega dela in mi pomagali.

KAZALO VSEBINE

1	UVOD	1
2	GEOMETRIJSKA KAKOVOST PROGE	4
2.1	Največje vrednosti odstopanj in standardna deviacija	6
2.1.1	Geometrijska kakovost proge	7
2.1.2	Degradacija geometrije proge	9
2.2	Tirna širina	10
2.2.1	Sprememba tirne širine po Pravilniku o zgornjem ustroju železniških prog	11
2.2.2	Sprememba tirne širine po TSI Infrastruktura	12
2.2.3	Sprememba tirne širine po evropskem standardu Geometrijska kakovost proge	13
2.2.4	Primerjava slovenske in EU zakonodaje	14
2.3	Vegavost tira	15
2.3.1	Dovoljene vrednosti vegavosti tira po Pravilniku o zgornjem ustroju železniških prog	16
2.3.2	Dopustne vrednosti vegavosti tira po TSI Infrastruktura	17
2.3.3	Dopustne vrednosti vegavosti tira po evropskem standardu Geometrijska kakovost proge	19
2.3.4	Primerjava slovenske in EU zakonodaje	21
2.4	Nadvišanje tira	22
2.4.1	Dovoljeno nadvišanje tira po Pravilniku o zgornjem ustroju železniških prog	24
2.4.2	Dovoljeno nadvišanje tira po TSI Infrastruktura	25
2.4.3	Dovoljeno odstopanje nadvišanje tira po evropskem standardu Geometrijska kakovost proge	26
2.5	Stabilnost tira	27

2.5.1	Dovoljene vrednosti stabilnosti tira po evropskem standardu Geometrijska kakovost proge	27
2.6	Smer tira.....	29
2.6.1	Dovoljeno odstopanje smeri tira po Pravilniku o zgornjem ustroju železniških prog.....	29
2.6.2	Dovoljeno odstopanje smeri tira po evropskem standardu Geometrijska kakovost proge	31
2.7	Ostali parametri	32
3	OPIS UIC 518 IN TABELARIČNA PRIMERJAVA Z EVROPSKIM STANDARDOM prEN 13848	33
3.1	Uvod.....	33
3.2	Geometrijska kakovost proge po UIC 518.....	34
3.3	Standardna deviacija po UIC 518.....	36
3.4	Največje dovoljene vrednosti za vertikalno in bočno odstopanje na progi.....	37
3.5	Vegavost in tirna širina po UIC 518 in po pr EN 13848	40
3.5.1	Vegavost po UIC 518 in po pr EN 13848	40
3.5.2	Tirna širina po UIC 518 in po pr EN 13848	41
4	MERILNE VOŽNJE ZA KONTROLO STANJA IN VZDRŽEVALNA DELA	44
4.1	Uvod.....	44
4.2	Merilne vožnje po pravilniku o zgornjem ustroju železniških prog.....	45
4.3	Vzdrževalna dela	46
5	MERILNI VLAKI	49
5.1	Uvod.....	49
5.2	Merilni vlak EM 120 z oznako FMK 004	51
5.3	Merilni vlak UFM 120.....	55
5.4	Merilni vlak EM 250 za izvajanje meritev na progah za visoke hitrosti.....	60

5.4.1	Baza podatkov geometrije proge.....	61
5.5	Merilni vlak EM-SAT 120.....	62
6	PRAKTIČNI DEL.....	63
6.1	Analiza meritev parametrov za odsek Jesenice – Bohinjska Bistrica.....	64
6.2	Analiza meritev parametrov za progovni odsek Lesce Bled – Žirovnica	72
6.3	Kvaliteta tira na 500 metrov na progovnem odseku Lesce Bled – Žirovnica	76
7	ZAKLJUČEK.....	80
	VIRI.....	82

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Kategorije prog po TSI Infrastruktura za infrastrukturni podsistem železniškega sistema za konvencionalne hitrosti	6
Preglednica 2: Tirna širina v odvisnosti od krožnega radija	11
Preglednica 3: Hitrostni razredi v odvisnosti od dovoljenega odstopanja od predpisane tirne širine pri novih, nadgrajenih ali obnovljenih tirih obstoječih prog	12
Preglednica 4: Hitrostni razredi v odvisnosti od dovoljenega odstopanja od predpisane tirne širine pri progah v obratovanju	12
Preglednica 5: Mejne vrednosti odstopanja od normalne tirne širine, pri katerih je potrebno takojšnje ukrepanje za vso TSI kategorizacijo prog	13
Preglednica 6: Varnostna meja dovoljenega odstopanja od predpisane tirne širine	13
Preglednica 7: Intervencijska meja dovoljenega odstopanja od predpisane tirne širine	14
Preglednica 8: Opozorilna meja dovoljenega odstopanja od predpisane tirne širine	14
Preglednica 9: Dovoljene vrednosti vegavosti tira pri novih, nadgrajenih in obnovljenih tirih ter tirih po izvedenih planiranih vzdrževalnih delih	16
Preglednica 10: Dovoljene vrednosti vegavosti tira pri progah v obratovanju	17
Preglednica 11: Ukrepi pri prekoračitvi dovoljene vegavosti tira	17
Preglednica 12: Dovoljena odstopanja od projektiranega nadvišanja na progah v obratovanju	25
Preglednica 13: Mejne vrednosti projektiranega nadvišanja za TSI kategorizacijo	25
Preglednica 14: Mejna vrednost nadvišanja v obratovanju za TSI kategorizacijo	26
Preglednica 15: Varnostna meja dovoljenega odstopanja nadvišanja tira	26
Preglednica 16: Intervencijska meja dovoljenega odstopanja nadvišanja tira	26
Preglednica 17: Opozorilna meja dovoljenega odstopanja nadvišanja tira	27
Preglednica 18: Varnostna meja dovoljenega odstopanja od stabilnosti tira	28
Preglednica 19: Intervencijska meja dovoljenega odstopanja od stabilnosti tira	28
Preglednica 20: Opozorilna meja dovoljenega odstopanja od stabilnosti tira	28

Preglednica 21: Opozorilna meja standardne deviacije stabilnosti tira.....	29
Preglednica 22: Dovoljena odstopanja dveh sosednjih puščic na tetivi 10 m novega, nadgrajenega ali obnovljenega tira	30
Preglednica 23: Dovoljeno odstopanje dveh sosednjih puščic na tetivi dolžine 10 m pri obratovanju	30
Preglednica 24: Varnostna meja dovoljenega odstopanja smeri tira.....	31
Preglednica 25: Intervencijska meja dovoljenega odstopanja smeri tira.....	31
Preglednica 26: Opozorilna meja dovoljenega odstopanja smeri tira	31
Preglednica 27: Opozorilna meja standardne deviacije smeri tira	32
Preglednica 28: Standardna deviacija za vertikalno poravnavo tira.....	36
Preglednica 29: Standardna deviacija za bočno poravnavo tira	37
Preglednica 30: Največja dovoljena odstopanja za vertikalno poravnavo tira.....	37
Preglednica 31: Največja dovoljena odstopanja za bočno poravnavo tira	38
Preglednica 32: Vrednosti korekcijskih koeficientov.....	38
Preglednica 33: Odstopanje smeri tira – varnostna meja	39
Preglednica 34: Odstopanje smeri tira – intervencijska meja.....	39
Preglednica 35: Odstopanje smeri tira – opozorilna meja.....	40
Preglednica 36: Predpisane tirne širine	42
Preglednica 37: Varnostna meja odstopanja od normalne tirne širine	42
Preglednica 38: Intervencijska meja odstopanja od normalne tirne širine	43
Preglednica 39: Opozorilna meja odstopanja od normalne tirne širine.....	43
Preglednica 40: Mejne vrednosti dinamičnih parametrov	46
Preglednica 41: Količina vzdrževalnih del s področja meritev v letu 2010	47
Preglednica 42: Tehnični podatki merilnega vlaka EM 120 z oznako FMK 004	55
Preglednica 43: Karakteristike merilnega vlaka UFM 120	59
Preglednica 44: Število in dolžina napak za posamezen parameter geometrije tira.....	64

Preglednica 45: Napake v geometriji proge Jesenice – Bohinjska Bistrica 2012-1.....	70
Preglednica 46: Napake v geometriji proge Lesce Bled – Žirovnica 2012-1	75
Preglednica 47: Mejne vrednosti KT500 za glavne proge	76
Preglednica 48: Vrednosti KT500 za progovni odsek Lesce Bled – Žirovnica.....	77

KAZALO GRAFIKONOV

Grafikon 1: Graf dopustne vrednosti vegavosti tira za vse TSI kategorije	18
Grafikon 2: Graf dopustne vrednosti vegavosti tira za proge za tovorni in mešani promet v ostrih krivinah.....	18
Grafikon 3: Graf dopustne vrednosti vegavosti tira	20
Grafikon 4: Graf dopustne vrednosti vegavosti tira	20
Grafikon 5: Graf dopustne vrednosti vegavosti tira	21
Grafikon 6: Graf dopustne vrednosti vegavosti tira – varnostna meja	40
Grafikon 7: Graf dopustne vrednosti vegavosti tira – intervencijska meja	41
Grafikon 8: Graf dopustne vrednosti vegavosti tira – opozorilna meja	41
Grafikon 9: Grafikon merilne vožnje Jesenice - Bohinjska Bistrica, km 17+800 do km 19+100 10. 05. 2011	65
Grafikon 10: Grafikon merilne vožnje Jesenice - Bohinjska Bistrica, km 17+800 do km 19+100 15. 05. 2012	66
Grafikon 11: Grafikon merilne vožnje Jesenice - Bohinjska Bistrica, km 19+100 do km 20+400 10. 05. 2011	66
Grafikon 12: Grafikon merilne vožnje Jesenice - Bohinjska Bistrica, km 19+100 do km 20+400 15. 05. 2012	67
Grafikon 13: Grafikon merilne vožnje Jesenice - Bohinjska Bistrica, km 20+400 do km 21+700 10. 05. 2011	68
Grafikon 14: Grafikon merilne vožnje Jesenice - Boh. Bistrica, km 20+400 do km 21+700 15. 05. 2012	69
Grafikon 15: Grafikon merilne vožnje Lesce Bled - Žirovnica, km 617+600 do km 618+200 19. 04. 2010	72
Grafikon 16: Grafikon merilne vožnje Lesce Bled – Žirovnica, km 617+600 do km 618+200 10. 11. 2010	75

Grafikon 17: Vrednosti kvalitete tira na odseku Lesce Bled – Žirovnica – km 617+500 do km 618+000	77
Grafikon 18: Vrednosti kvalitete tira na odseku Lesce Bled – Žirovnica – km 618+000 do km 618+500	78
Grafikon 19: Vrednosti kvalitete tira na odseku Lesce Bled – Žirovnica – km 618+500 do km 619+000	78

KAZALO SLIK

Slika 1: Normalna tirna širina.....	11
Slika 2: Vegavost tira	16
Slika 3: Nadvišanje tira h_t	24
Slika 4: Smer tira	30
Slika 5: Merilni vlak UFM 120	50
Slika 6: Merilni vlak UST 96	50
Slika 7: Merilni vlak EM 120 z oznako FMK 004.....	51
Slika 8: Kabina merilnega vlaka EM 120 z oznako FMK 004.....	52
Slika 9: Število koles ter razdalja med merilnimi in voznimi kolesi.....	52
Slika 10: Računalnik v merilnem vlaku EM 120 z oznako FMK 004	53
Slika 11: Razdalja med kolesi in dolžina UFM 120.....	56
Slika 12: 1 – video nadzor, 2 – geometrija vozne mreže, 3 – progovno območje, 4 – kontrola vegetacije, 5 – tirna širina, 6 – georadar, 7 – tirna geometrija, 10 – napake kratkih valov na glavi tirnice, 11 – obraba kontaktnega voda, 12 – gibanje kontaktnega voda, 13 – prerez tira	59
Slika 13: Merilni vlak EM 250 za visoke hitrost.....	61
Slika 14: Merilni vlak EM-SAT120	62
Slika 15: Dolgoročna zasnova javne železniške infrastrukture	81

1 UVOD

Prometni sistem predstavlja pomemben del ekonomskega razvoja države. Države, ki imajo boljše ekonomske in socialne možnosti za razvoj prometnih tehnologij in infrastrukture, imajo višjo stopnjo mobilnosti in s tem tudi boljši gospodarski razvoj. Z izrazom promet označujemo sistem prevoznih storitev, ki jih opravljajo posamezni organizacijski in poslovni sistemi kot samostojno gospodarsko dejavnost. Med pomembnejše prometne sisteme sodijo železnice, katerim se daje vse večji pomen. Železniški prometni sistem zajema transport potnikov in blaga z železniškimi transportnimi sredstvi po železniških transportnih poteh in predstavlja enega izmed najbolj ekoloških in varnih načinov prevoza. Za Slovenijo je posodobitev železniške infrastrukture pomembna za vključevanje v evropsko prometno mrežo in z vidika ohranjanja in varovanja življenjskega okolja in prostora.

V Sloveniji ima železnica poseben družbeni pomen v smislu prevoza tovora in potnikov v železniškem prometu. Omenjeni dejavnosti predstavljata osnovni nalogi železniškega sistema in se izvedeta na principu transportnega procesa. Transport v železniškem prometu označuje premeščanje ali prevoz tovora in ljudi z enega območja na drugega in je eden od najbolj energetsko učinkovitih načinov motoriziranega kopenskega transporta. Poleg transporta pa se v železniškem prometu pojavlja še druga komponenta dejavnosti, ki jo imenujemo promet. Promet kot dejavnost se realizira preko prevoznih sredstev, infrastrukture in organizacije prevoza. Javna železniška infrastruktura (v nadaljevanju JŽI) so objekti in naprave, potrebni za nemoteno odvijanje javnega železniškega prometa, ter pripadajoča zemljišča. Razvoj železniške infrastrukture v Sloveniji je pomemben dejavnik pri ohranitvi okolja in prostora zaradi vse večjega naraščanja cestnega tranzitnega prometa. Železniški transport zelo učinkovito izkorišča prostor, saj dvotirna železniška proga lahko prepelje več potnikov ali tovora v nekem časovnem obdobju kot pa štiripasovna cesta. Organizacija železniškega prometa temelji na koordinaciji več dejavnosti s skupnim ciljem varne vožnje vlakov pri prevozu ljudi.

Za ustrezno delovanje železniškega sistema je treba izvajati dejavnosti na področju razvoja, vzdrževanja in posodobitve JŽI. Z izboljšavami in kontrolo stanja se zagotavlja tudi konkurenčnost med državami in razvoj v prometnih storitvenih dejavnostih. Številne poškodbe in napake, ki nastanejo na tirih, vozni mreži, signalno varnostnih (SV) in

telekomunikacijskih (TK) napravah ter kretnicah, zahtevajo takojšnje ukrepanje za izboljšanje stanja. V nekaterih primerih slabega stanja infrastrukture pa se izdajajo odločbe za omejitev hitrosti in osnih obremenitev, dokler se ne izvedejo sanacijska dela. Z upoštevanjem Uredbe o načinu opravljanja obvezne gospodarske javne službe vzdrževanja JŽI in vodenja železniškega prometa mora upravljavec zagotavljati izpolnjevanje meril varnega in sodobnega železniškega prometa, kot so varnost, zanesljivost in urejenost železniškega prometa. V Sloveniji je upravljavec Slovenske železnice – Infrastruktura, d.o.o., ki skrbi za sprotno in investicijsko vzdrževanje slovenske železniške infrastrukture in za vodenje železniškega prometa. Upravljavec vzdržuje zgornji ustroj (tirnice, tirni pribor, pragove, tirno gredo s tamponskim slojem, kretnice) z rednimi vzdrževalnimi deli tako, da upočasnjuje obrabo tirnega materiala, vzpostavlja pravilne geometrijske elemente tira, ohranja predpisano širino, višino in smer tira. Investicijska vzdrževalna dela potekajo periodično in obsegajo zamenjavo in dopolnitev posameznih elementov tira hkrati z ureditvijo širine, višine ter smeri tira, tako da so vsi elementi in tiri urejeni brezhibno.

Pod vzdrževanje zgornjega ustroja pa sodijo tudi meritve glavnih geometrijskih parametrov na glavnih in regionalnih progah, ki se izvajajo večkrat letno. V različnih državah uporabljajo različne merilne vlake z različnimi metodami merjenja (laserska meritev, mehanska meritev). V Sloveniji se že nekaj let uporablja madžarski vlak EM 120 z oznako FMK 004, ki deluje po principu mehanskega merjenja. Ob vstopu v državo mora imeti merilni vlak odobren časovni raspored voženj, da ne ovira rednega voznega reda vlakov. Meritve na progah se beležijo. Evidentirajo se napake, ki se posredujejo upravljavcu v obliki tabel in grafov za posamezen odsek proge. V primeru velikih poškodb je potrebna takojšnja sanacija.

Za varno in zanesljivo odvijanje prometa vlakov je ključnega pomena pravilno planiranje, projektiranje, gradnja in vzdrževanje železniške infrastrukture. Za vsako spremembo, ki je načrtovana na železniški progi, je treba upoštevati obstoječe zakone, pravilnike, mednarodne sporazume, standarde, tehnične specifikacije za interoperabilnost in predpise Mednarodne železniške zveze (UIC). V prvem delu diplomske naloge sem opisal geometrijsko kakovost proge in dovoljena odstopanja, ki so predpisana v različnih pravilnikih. Uporabil sem Pravilnik o zgornjem ustroju železniških prog, objavljenem v Uradnem listu Republike Slovenije št. 92/2010 (v nadaljevanju Pravilnik o zgornjem ustroju železniških prog), European Standard, Part 5: Geometric quality assessment št. prEN 13848-5, Maj 2005 (v

nadaljevanju evropski standard Geometrijska kakovost proge) in Direktivo 2008/57/ES o interoperabilnosti železniškega sistema v skupnosti: Tehnična specifikacija za interoperabilnost, 14. 05. 2011 (v nadaljevanju TSI Infrastruktura).

2 GEOMETRIJSKA KAKOVOST PROGE

Za udobno in varno vožnjo vlaka mora železniška proga prenašati obtežbo vlaka, ga voditi oz. usmerjati in absorbirati vlečne sile. Med vlakom in tirom zato nastopijo različne sile: vertikalne, bočne in vzdolžne. Poleg teh sil pa na vlak vplivajo še različni zunanji in notranji dejavniki, kot sta veter in resonančni učinki zaradi podkonstrukcije. Interakcija med vlakom in tirom se torej deli na različne skupine parametrov. Ločimo varnostne parametre, parametre, ki se nanašajo na udobnost vožnje in parametre, ki vplivajo na življenjsko dobo tira.

Varnostni parametri vključujejo vsoto vseh bočnih sil $[\sum Y]$, ki predstavljajo tveganje za premik tira pod obremenitvijo zaradi velike sile na progo. Bočni upor tira je povezan predvsem s trenjem pragov in je odvisen tudi od vertikalnih sil na progo. Prud'Homme je tak pojav opisal z enačbo (EN 13848-5 Railway applications/Track – Track geometry quality, Part 5: Geometric quality assessment, 2005: str. 12):

$$\sum Y = \alpha(10 + P0/3) \quad (1)$$

kjer je:

$P0$ - statična os obremenitve [kN]

$\alpha = 1$ za lokomotive in vagoni

$= 0,85$ za tovarne vagoni

Poleg bočnih sil pa je pomembna še kombinacija bočnih $[Y]$ in vertikalnih $[Q]$ sil. Razmerje Y/Q označuje tveganje iztirjenja v odvisnosti od dviga kolesnega venca na tir. To razmerje mora biti manjše od kritične vrednosti, ki je odvisna od kota med kolesom in tirom, kontaktnega stanja, hitrosti in drugih pogojev. V primeru majhnega polmera krivulje proge ($R \leq 600$ m) moramo upoštevati tudi kvazi-statične bočne in vertikalne sile.

Parametri, ki se nanašajo na udobnost vožnje, se ocenjujejo z merjenjem vertikalnega in bočnega pospeška na karoseriji vozila.

Parametri, ki vplivajo na življenjsko dobo proge in vozila, pa so v glavnem odvisni od vertikalnih in bočnih sil.

Vsi ti parametri morajo ustrezati omejitvam, ki so določene v različnih pravilnikih, standardih in direktivah. V tem poglavju bom prikazal glavne parametre, kot so sprememba tirne širine, vegavost tira, nadvišanje tira, stabilnost tira in smer tira, ki vplivajo na geometrijsko kakovost proge in so predpisani v Pravilniku o zgornjem ustroju železniških prog, evropskem standardu Geometrijska kakovost proge in TSI Infrastruktura. Pravilnik o zgornjem ustroju železniških prog je pravilnik, ki predpisuje tehnične zahteve in pogoje za projektiranje, gradnjo, nadgradnjo, obnovo in vzdrževanje zgornjega ustroja železniških prog v Republiki Sloveniji. Sestavni deli zgornjega ustroja, njihova oblika, kakovost, mere, prevzemni pogoji, načini izdelave ter dopustne tolerance se določajo s tehničnimi predpisi, standardi, obveznimi objavami UIC in tehničnimi specifikacijami in so odvisni od vrste proge, osne obremenitve in največje dovoljene progovne hitrosti. Evropski standard Geometrijska kakovost proge je standard, ki definira zgornjo in spodnjo mejo vsakega geometrijskega parametra, ki zagotavlja ustreznost proge. Namenjen je CEN članom, med katere se uvršča tudi Slovenija. Meje, ki jih definira ta standard, veljajo za področje evropskega železniškega omrežja in služijo evropskim državam za primerjavo z mejami, navedenimi v njihovih nacionalnih pravilnikih. Upoštevanje evropskega standarda Geometrijska kakovost proge prispeva k evropski železniški interoperabilnosti. TSI Infrastruktura zajema nabor predpisov, ki jih je treba upoštevati za zagotavljanje interoperabilnosti železniškega prometa. Nanaša se na železniški sistem za konvencionalne hitrosti. Po TSI Infrastruktura delimo železniško omrežje za konvencionalne hitrosti v različne kategorije (preglednica 1). Kategorije prog se lahko uporabijo za razvrstitev obstoječih prog glede na to, koliko bodo izpolnjeni ustrezni parametri tehničnega stanja.

Preglednica 1: Kategorije prog po TSI Infrastruktura za infrastrukturni podsistem železniškega sistema za konvencionalne hitrosti (Vir: TSI Infrastruktura, 2011):

TSI kategorizacija prog		Vrste prometa		
		Potniški promet (P)	Tovorni promet (F)	Mešani promet (M)
Vrste prog	Nova ključna proga TEN (IV)	IV-P	IV-F	IV-M
	Nadgrajena ključna proga TEN (V)	V-P	V-F	V-M
	Nova druga proga TEN (VI)	VI-P	VI-F	VI-M
	Nadgrajena druga proga TEN (VII)	VII-P	VII-F	VII-M

2.1 Največje vrednosti odstopanj in standardna deviacija

Če so vrednosti parametrov geometrije proge, ki so izmerjene z merilnim vlakom, večje od predpisanih mejnih vrednosti, je treba na tem odseku železniške proge opraviti vzdrževalna dela. Izmerjeni podatki geometrije proge določajo geometrijsko kakovost proge, ki se predstavlja na različna načina:

1. S prvim načinom se preštejejo napake oziroma vrednosti, ki presegajo mejno linijo (z grafikona merilne vožnje). Tako dobimo največje napake za posamezen parameter. Geometrijska kakovost proge je torej odvisna od števila napak oziroma preseženih mejnih vrednosti na določenem odseku proge. S tem načinom je možno upoštevati tudi več geometrijskih parametrov hkrati (upoštevajo se vse napake posameznih parametrov). Prednost tega je, da so velike lokalne napake bolj razvidne.
2. Z drugim načinom se izračuna standardna deviacija (σ , sigma). Za izračun se upoštevajo vse izmerjene vrednosti za posamezen geometrijski parameter za določeno dolžino (Track Standards Manual - Section 8: Track Geometry, 2011: str. 12).

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{m} \sum (a_1 - a)^2} \quad (2)$$

kjer je:

a - srednja vrednost

m - skupno število vrednosti

a_1 - posamezna vrednost

Namesto tega izračuna se lahko določi srednja absolutna vrednost, ki je sorazmerna s standardno deviacijo. Z uporabo drugega načina ne dobimo informacij o obliki napak, vendar je ta način zelo primeren za določitev potreb po vzdrževalnih delih.

Standardna deviacija je statistični kazalec, ki meri povprečno odstopanje od povprečne vrednosti in ima enake enote kot slučajna spremenljivka (posamezen geometrijski parameter v mm). Ker je celota vseh merjenih vrednosti posameznega parametra prevelika za izračun, se raziskava opravi na reprezentativnem odseku. Na osnovi te raziskave se dobijo referenčne vrednosti.

Velika standardna deviacija [σ] kaže na veliko razpršenost vseh merjenih vrednosti, tj. vrednosti so razporejene v velikem obsegu okoli aritmetične sredine. Majhna standardna deviacija [σ] pa nasprotno predstavlja veliko koncentracijo statističnih vrednosti okoli aritmetične sredine.

2.1.1 Geometrijska kakovost proge

Standardi, ki določajo geometrijsko kakovost proge, so bili razviti na osnovi praktičnih izkušenj. V standardih so določene mejne vrednosti kot največje vrednosti za posamezen parameter geometrije proge. Določene pa so tudi srednje absolutne vrednosti in standardne deviacije za različne frekvenčne pasove. Za frekvence od 0,7 do 0,9 Hz in hitrost vlaka 300 km/h so prevladujoče valovne dolžine v razponu 119 - 93 m. Zaradi tega je v standardih obseg meritev določen za največjo valovno dolžino 120 m.

Ta valovna dolžina je za določitev ene standardne deviacije predolga, zato je razdeljena na:

- valovno dolžino 3-5 m (geometrija kratkih valov v povezavi s silami Q in Y , primerna za lokalne nepravilnosti),
- valovno dolžino 25-70 m (v povezavi s pospeški vozila pri srednji hitrosti) in
- valovno dolžino 70-120 m (v povezavi s pospeški vozila pri visoki hitrosti).

Standardi so zasnovani tako, da določajo pogoje odziva vozila, sile med kolesom in tirnico in pospeške vozila. Če poznamo povezavo med geometrijo proge in odzivom vozila, se odziv vozila izračuna na podlagi merjene geometrije proge. Če je odziv vozila še znotraj mejnih vrednosti, je geometrija sprejemljiva. Ker pa na odziv vozila vpliva več geometrijskih parametrov, ne obstaja točno določena povezava med največjo vrednostjo odziva vozila in sprejemljivo geometrijo proge. Za stabilno stanje odziva vozila se uporabljajo naključni parametri, ki so predstavljeni v obliki standardne deviacije.

Spodaj je zapisan način prikaza kakovosti geometrije proge za posamezen parameter:

- Geometrijska kakovost proge po evropskem standardu Geometrijska kakovost proge

Evropski standard Geometrijska kakovost proge je definiral geometrijsko kakovost proge kot oceno oddaljitve od srednje vrednosti geometrijskih karakteristik za posamezen parameter. Določena oddaljitev mora zagotavljati varno in udobno vožnjo.

Geometrijska kakovost proge je prikazana s tremi načini:

- z največjo vrednostjo odstopanja za posamezen parameter,
- s standardno deviacijo za kratke odseke prog, običajno za 200 m (določi se s kratko valovno dolžino) in
- s srednjo vrednostjo.

Vrednosti za tirno širino so za vse tri mejne vrednosti, tj. varnostno mejo, intervencijsko mejo in opozorilno mejo, prikazane kot:

- največje vrednosti odstopanj od normalne tirne širine,
- razlika med normalno tirno širino in srednjo vrednostjo.

Tudi vrednosti za smer tira, vegavosti tira in stabilnost tira so za vse tri mejne vrednosti prikazane kot največje vrednosti odstopanj. Opozorilna meja pa prikazuje še vrednosti za smer tira in stabilnost tira v obliki standardne deviacije.

- Geometrijska kakovost proge po Pravilniku o zgornjem ustroju železniških prog

Mejne vrednosti geometrije proge po Pravilniku o zgornjem ustroju so za vse glavne geometrijske parametre prikazane kot največje dovoljene vrednosti odstopanj.

- Geometrijska kakovost proge po TSI

Mejne vrednosti geometrije proge po TSI so za vegavost tira prikazane kot največje vrednosti odstopanj od ničelne vrednosti, za tirno širino so prikazane kot največje vrednosti odstopanj od normalne tirne širine in za nadvišanje tira so prikazane kot največje vrednosti.

- Geometrijska kakovost proge po UIC 518

Vrednosti za tirno širino po UIC 518 so prikazane kot razlika med normalno tirno širino in srednjo vrednostjo. Vrednosti za vegavost tira so prikazane kot največje vrednosti odstopanj od ničelne vrednosti. Vrednosti za smer tira pa so za mejni vrednosti $QN1$ in $QN2$ prikazane kot največje dovoljene vrednosti in kot standardna deviacija.

2.1.2 Degradacija geometrije proge

Degradacija geometrije proge se ponavadi določi z upoštevanjem geometrijskih napak na progi, kot so: napake stabilnosti tira, napake smeri tira, napake nadvišanja, odklon tirne širine in vegavost tira. Vse te napake se seštejejo in predstavljajo indeks kakovosti proge, ki je enak funkciji standardne deviacije za posamezno napako pri dovoljeni hitrosti vlaka. Ključni faktor za potrebo po vzdrževalnih delih so napake stabilnosti tira, izračunane s standardno deviacijo za kratko valovno dolžino (3 – 25 m). Napake stabilnosti tira so definirane kot geometrijske napake vertikalnega nivoja od višine gornjega roba tirnice do idealne srednje linije vzdolžnega profila proge.

V preteklosti so se potjevale številne eksperimentalne študije o linearnem odnosu med standardno deviacijo napak stabilnosti tira in nosilnostjo proge. Nosilnost proge predstavlja

vsoto osnih obremenitev (v tonah) vseh vlakov, ki so vozili od prenove ali od zadnjih vzdrževalnih del na progi. Ponavadi te vrednosti predstavljajo težo bruto milijon ton (MGT). Nosilnost proge glede na čas predstavlja bolj priročno oceno napredovanja napak stabilnosti tira, ker razlikuje odseke proge po teži, ki jo je proga morala prenesti.

Uporabljal se je tudi način izračuna nosilnosti proge, ki je ločil potnike od tovora na vlaku.

Za optimalno uporabo informacij o progi in boljši nadzor nad vzdrževalnimi deli se meritve na progah ponavadi nanašajo na odseke, dolge 200 m. Razvoj napak stabilnosti tira po standardni deviaciji za 200-metrske odseke se ocenjuje po naslednji linearni enačbi (Andrade, A. R., Teiweira, P.F., 2010: str. 6):

$$\sigma_{LD} = c_1 + c_0 \times T \quad (3)$$

kjer je:

σ_{LD} - napake stabilnosti tira po standardni deviaciji (mm)

c_1 - začetna standardna deviacija po prenovi ali teptanju proge (mm)

c_0 - stopnja poslabšanja (mm/100 MGT)

T - nosilnost proge po prenovi ali teptanju proge (100 MGT)

2.2 Tirna širina

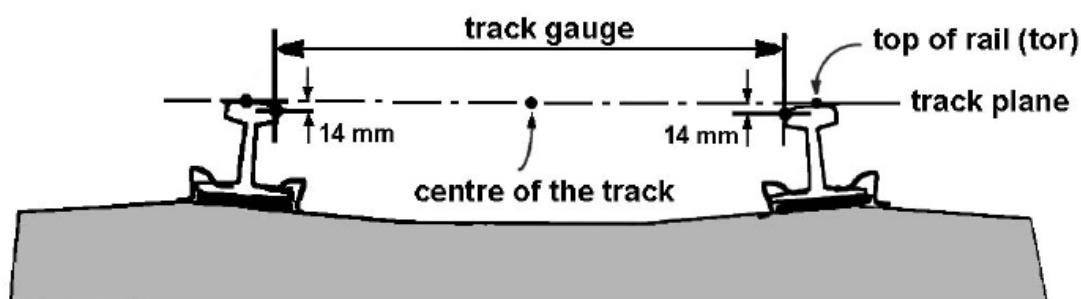
Tirna širina je najmanjša razdalja med notranjima roboma tirničnih glav na razdalji od 0 do 14 mm pod zgornjim robom tirnice.

V krožnih krivinah s polmerom $R < 200$ m tirna širina ne sme biti manjša, kot je navedeno v naslednji preglednici:

Preglednica 2: Tirna širina v odvisnosti od krožnega radija (Vir: Pravilnik o zgornjem ustroju železniških prog, 2010):

Polmer krivine v m	Najmanjša tirna širina
$200 > R \geq 175$	1440 mm
$175 > R \geq 150$	1445 mm
$150 > R \geq 125$	1450 mm
$125 > R \geq 100$	1455 mm

Tirna širina v premi in v krožnih krivinah s polmerom $R \geq 200$ m), ki jo uporabljamo v Sloveniji in še v 80 % držav v Evropi, je 1435 mm (normalna tirna širina).



Slika 1: Normalna tirna širina

(Vir: <http://www.europakorridoren.se/spargeometri.pdf>)

V Španiji in na Portugalskem ima železniško omrežje tirno širino 1674 mm (širokotirna širina), v Bosni in Hercegovini pa uporabljajo tirno širino 760 mm (ozkotirna širina). Posebno tirno širino imajo države na območju bivše Sovjetske zveze, in sicer 1520 mm. Različne tirne širine povzročajo velike izgube časa pri mednarodnih železniških prevozih, saj je treba blago preložiti na drug vagon ali zamenjati podvozje vagona (podstavne vozičke).

2.2.1 Sprememba tirne širine po Pravilniku o zgornjem ustroju železniških prog

V Pravilniku o zgornjem ustroju železniških prog iz leta 2010 so določena dovoljena odstopanja od predpisane normalne tirne širine pri novih, nadgrajenih ali obnovljenih tirih obstoječih prog in pri progah v obratovanju.

Preglednica 3: Hitrostni razredi v odvisnosti od dovoljenega odstopanja od predpisane tirne širine pri novih, nadgrajenih ali obnovljenih tirih obstoječih prog (Vir: Pravilnik o zgornjem ustroju železniških prog, 2010):

Hitrostni razred	Odstopanja od normalne tirne širine
120 km/h < $V \leq$ 160 km/h	±2 mm
$V \leq$ 120 km/h (pri novem tiru)	±3 mm
Vsi hitrostni razredi (rabljen tirni material)	od -3 do 5 mm

Za nove kretnice pravilnik dopušča odstopanje ±1,5 mm.

Po Pravilniku o zgornjem ustroju morajo biti meritve tirne širine izvedene vsaj dvakrat letno strojno z avtomatskim zapisom v digitalni in papirni obliki, sicer pa z ročnimi merilnimi instrumenti (npr. po remontu železniške proge, po izgradnji nove proge). Pri progah v obratovanju pa so dovoljena odstopanja od normalne tirne širine za +30 mm za glavne proge in +35 mm za regionalne proge in stranske postajne tire glavnih prog. Dovoljena so tudi odstopanja za različne hitrostne razrede, ki so prikazana v spodnji preglednici.

Preglednica 4: Hitrostni razredi v odvisnosti od dovoljenega odstopanja od predpisane tirne širine pri progah v obratovanju (Vir: Pravilnik o zgornjem ustroju železniških prog, 2010):

Hitrostni razred	Odstopanja od normalne tirne širine
120 km/h < $V \leq$ 160 km/h	-5
80 km/h < $V \leq$ 120 km/h	-7
$V \leq$ 80 km/h	-9

2.2.2 Sprememba tirne širine po TSI Infrastruktura

Direktiva TSI Infrastruktura (2011) določa odstopanja od normalne tirne širine, pri katerih je potrebno takojšnje ukrepanje. Mejne vrednosti odstopanja tirne širine so podane v odvisnosti od hitrostnih razredov in prikazane v preglednici.

Preglednica 5: Mejne vrednosti odstopanja od normalne tirne širine, pri katerih je potrebno takojšnje ukrepanje za vso TSI kategorizacijo prog (Vir: TSI Infrastruktura, 2011):

Hitrostni razred (km/h)	Odstopanja od normalne tirne širine (mm)	
	Najmanjša tirna širina	Največja tirna širina
$V \leq 80$	-9	+35
$80 < V \leq 120$	-9	+35
$120 < V \leq 160$	-8	+35
$160 < V \leq 200$	-7	+28

2.2.3 Sprememba tirne širine po evropskem standardu Geometrijska kakovost proge

V evropskem standardu Geometrijska kakovost proge so določene mejne vrednosti različnih parametrov. Na posameznem delu proge običajno pride do odstopanja samo pri enem parametru. Glede na ugotovljeno napako parametra se določijo ustrezna popravila (npr. pri slabi stabilnosti proge se zamenja gramozna greda).

Evropski standard Geometrijska kakovost proge definira odstopanja za varnostno mejo, intervencijsko mejo in opozorilno mejo. V primeru preseženih vrednosti varnostne meje je potrebna takojšnja sanacija oziroma kakšen drug ukrep, kot npr. zmanjšanje hitrosti vlaka ali pa celo zaprtje linije. V nadaljevanju podajam vrednosti odstopanja tirne širine, ki ne presegajo varnostne meje.

Preglednica 6: Varnostna meja dovoljenega odstopanja od predpisane tirne širine (Vir: evropski standard Geometrijska kakovost proge, 2005):

Hitrostni razred (km/h)	Odstopanja od normalne tirne širine (mm)	
	Minimalno	Maksimalno
$V \leq 80$	-13	+35
$80 < V \leq 120$	-13	+35
$120 < V \leq 160$	-13	+35
$160 < V \leq 220$	-7	+27
$220 < V \leq 300$	-7	+27

Intervencijska meja opredeljuje odstopanja, ki jih je treba odpraviti ob prvih rednih vzdrževalnih delih. Vzdrževalna dela so potrebna za ohranjanje varnosti, primerne geometrije

proge in s tem normalne vozne hitrosti. Če presežena intervencijska meja hkrati presega tudi varnostno mejo, se izvede takojšnja korekcija, tako da so pred inšpekcijo varnostne meje v predpisanih okvirih.

Preglednica 7: Intervencijska meja dovoljenega odstopanja od predpisane tirne širine (Vir: evropski standard Geometrijska kakovost proge, 2005):

Hitrostni razred (km/h)	Odstopanja od normalne tirne širine (mm)	
	Minimalno	Maksimalno
$V \leq 80$	-11	+30
$80 < V \leq 120$	-11	+30
$120 < V \leq 160$	-11	+30
$160 < V \leq 220$	-5	+22
$220 < V \leq 300$	-5	+22

Opozorilna meja pa opredeljuje odstopanja, ki ne zahtevajo takojšnjega ukrepanja. Napake je treba analizirati in jih korigirati v redno načrtovanih vzdrževalnih delih.

Preglednica 8: Opozorilna meja dovoljenega odstopanja od predpisane tirne širine (Vir: evropski standard Geometrijska kakovost proge, 2005):

Hitrostni razred (km/h)	Odstopanja od normalne tirne širine (mm)	
	Minimalno	Maksimalno
$V \leq 80$	-9	+25
$80 < V \leq 120$	-9	+25
$120 < V \leq 160$	-9	+25
$160 < V \leq 220$	-4	+20
$220 < V \leq 300$	-4	+20

2.2.4 Primerjava slovenske in EU zakonodaje

Dovoljena odstopanja od normalne tirne širine se nekoliko razlikujejo glede na posamezne predpise. V Pravilniku o zgornjem ustroju železniških prog je velikost dovoljenega odstopanja odvisna od stanja in vrste železniških prog ter od hitrostnih razredov. Pravilnik ločeno navaja dovoljena odstopanja pri novih, nadgrajenih ali obnovljenih tirih obstoječih prog ter pri progah v obratovanju. V slovenski zakonodaji je najvišji hitrostni razred, ki ga pravilnik še

definira, $120 < V \leq 160$ km/h, dovoljeno odstopanje pri progah v obratovanju pa znaša -5 mm. V direktivi TSI Infrastruktura pa je pri istem hitrostnem razredu za celotno TSI kategorizacijo prog dovoljeno odstopanje nekoliko večje, in sicer -8 mm. Pravilnik o zgornjem ustroju železniških prog obravnava še dva hitrostna razreda: $80 \text{ km/h} < V \leq 120 \text{ km/h}$ in $V \leq 80 \text{ km/h}$, TSI Infrastruktura pa ima še dodaten razred za hitrosti do 200 km/h. Tako v slovenskem pravilniku kot v TSI Infrastrukturi so določena samo odstopanja za takojšnjo sanacijo, evropski standard Geometrijska kakovost proge pa definira še intervencijsko in opozorilno mejo (to je odstopanja, ki se jih odpravi v času rednih vzdrževalnih del). Evropski standard vključuje tudi hitrosti do 300 km/h, kjer so odstopanja primerljiva z direktivo TSI Infrastruktura (-7 mm); pri nižjih hitrostih pa dovoljuje največja odstopanja, in sicer -13 mm. Maksimalna odstopanja od normalne tirne širine so v vseh predpisih približno enaka in znašajo $+35$ mm, le Pravilnik o zgornjem ustroju železniških prog ima za glavne proge strožji kriterij $+30$ mm. Izmed vseh predpisov glede dovoljenega odstopanja od normalne tirne širine ima najstrožje omejitve Pravilnik o zgornjem ustroju železniških prog. Evropski standard Geometrijska kakovost proge navaja največ podatkov, ker poleg varnostne meje predpisuje tudi vrednosti za intervencijsko in opozorilno mejo.

2.3 Vegavost tira

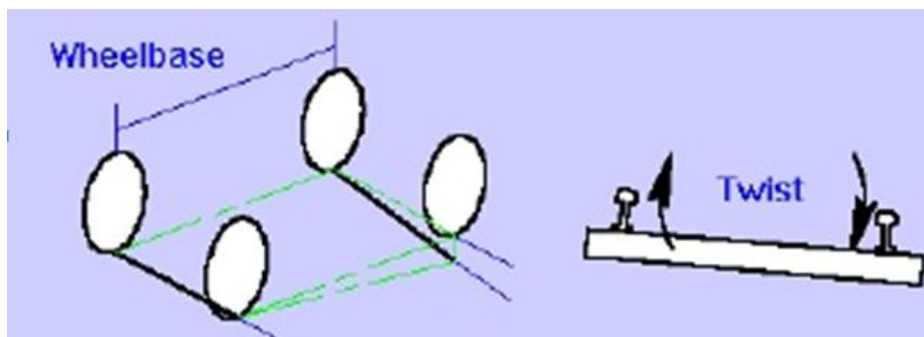
Vegavost tira je razlika v višini gornjih robov tirnic na dveh prečnih prerezih, na določeni dolžini tira oziroma merni osnovi, ki jo imenujemo baza. Izrazimo jo lahko v mm na dolžinski meter ali pa v promilih. Vegavost tira se meri na baznih dolžinah 2,5 m in 6,0 m in je izredno pomemben geometrijski parameter za ugotavljanje pravilnosti izvedbe prehodnih klančin in s tem povezane varnosti pred iztirjenjem.

Iztirjenje vlaka zaradi vegavosti tira nastopi takrat, ko je horizontalna sila med kolesom in tirnom zelo velika, teža vlaka pa premajhna, da bi lahko preprečila iztirjenje kolesnega obroča. Vegavost tira se pojavi na uvozu in izvozu krožne nadvišane krivuljne proge ali pa zaradi nepopravljene napake na progi.

Faktorji, ki povzročajo iztirjenje kolesa zaradi vegavosti tira:

- povečana horizontalna sila na krivuljni progi z majhnim radijem,
- majhna teža vlaka zaradi praznih vagonov ali zaradi neenakomerne porazdelitve teže,
- torzijsko neprožni vlaki zaradi velike dolžine vagona in
- nizka hitrost vlakov.

Zaradi vseh operativnih pogojev (npr. neustrezne tirne širine, stabilnosti proge, neustreznega nadvišanja tira) ni vedno možno jasno definirati, da je vzrok iztirjanja vlaka vegavost tira. Najpogostejši vzrok za iztirjenje vlaka pa predstavlja nizka hitrost.



Slika 2: Vegavost tira

(Vir: <http://www.scribd.com/doc/13044209/The-Railway-Track>)

2.3.1 Dovoljene vrednosti vegavosti tira po Pravilniku o zgornjem ustroju železniških prog

Pravilnik o zgornjem ustroju železniških prog določa dovoljene vrednosti vegavosti tira samo na merni bazi 6 m. Dovoljene tolerance pri novih, nadgrajenih in obnovljenih tirih ter tirih po izvedenih planiranih vzdrževalnih delih so odvisne od hitrostnih razredov.

Preglednica 9: Dovoljene vrednosti vegavosti tira pri novih, nadgrajenih in obnovljenih tirih ter tirih po izvedenih planiranih vzdrževalnih delih (Vir: Pravilnik o zgornjem ustroju železniških prog, 2010):

Hitrostni razred	Dovoljena odstopanja vegavosti tira
$V \leq 120 \text{ km/h}$	1,5 mm/m
$120 < V \leq 160 \text{ km/h}$	1 mm/m

Največje še dopustne vrednosti vegavosti tira pri obratovanju pa so prikazane v spodnji preglednici:

Preglednica 10: Dovoljene vrednosti vegavosti tira pri progah v obratovanju (Vir: Pravilnik o zgornjem ustroju železniških prog, 2010):

Hitrostni razred	Dovoljena odstopanja vegavosti tira
$V \leq 50 \text{ km/h}$	4 mm/m
$V = 100 \text{ km/h}$	3,5 mm/m
$V > 100 \text{ km/h}$	3 mm/m

V primeru prekoračitve dovoljene meje vegavosti tira, ki jo predpisuje Pravilnik o zgornjem ustroju železniških prog, je treba izvesti določene ukrepe, in sicer znižanje dovoljene hitrosti vlaka ali celo zaporo tira. Ukrepi za znižanje hitrosti vlaka so odvisni od prekoračene vrednosti vegavosti tira:

Preglednica 11: Ukrepi pri prekoračitvi dovoljene vegavosti tira (Vir: Pravilnik o zgornjem ustroju železniških prog, 2010):

Vegavost tira	Hitrostna omejitev
$18 \text{ mm} < \text{vegavost} \leq 21 \text{ mm}$	$V(\text{max}) \leq 100 \text{ km/h}$
$21 \text{ mm} < \text{vegavost} \leq 24 \text{ mm}$	$V(\text{max}) \leq 50 \text{ km/h}$ (rok odprave 24 ur)
$\text{vegavost} > 24 \text{ mm}$	Zapora tira takoj po meritvi in odprava napak

2.3.2 Dopustne vrednosti vegavosti tira po TSI Infrastruktura

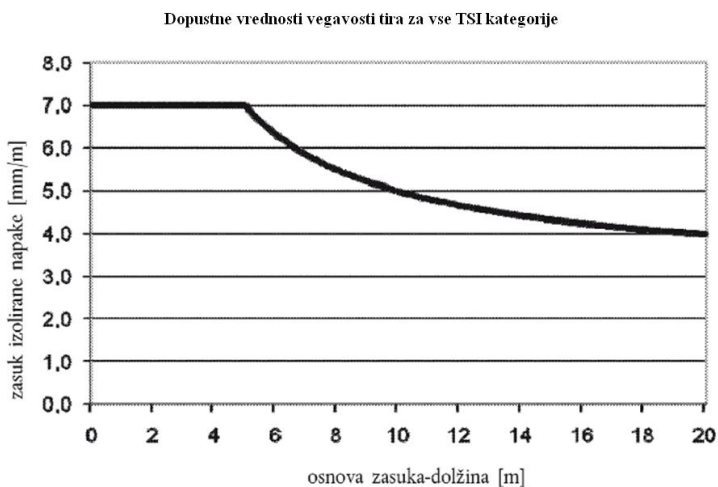
V TSI Infrastruktura, 2011: str. 78 je dopustna vrednost vegavosti tira definirana z enačbo:

$$\text{dopustna vegavost} = (20/l + 3) \quad (4)$$

kjer je:

l - dolžina ($1,3 \text{ m} \leq l \leq 20 \text{ m}$)

Največja dopustna vegavost tira pa po predpisu znaša 7 mm/m. Upravljavec infrastrukture mora za preverjanje skladnosti s to zahtevo določiti eno merno osnovo za merjenje tira, ki je med 2 in 5 m.



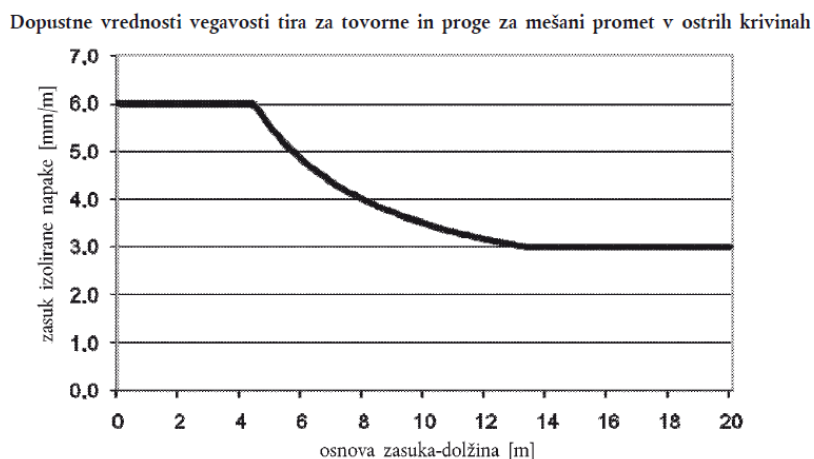
Grafikon 1: Graf dopustne vrednosti vegavosti tira za vse TSI kategorije
(Vir: TSI Infrastruktura, 2011)

Če je polmer horizontalnega krožnega loka manjši od 420 m in je nadvišanje $h > (R - 100)/2$, se vegavost tira izračuna z enačbo (TSI Infrastruktura, 2011: str.79):

$$\text{vegavost tira} = (20/l + 1,5) \quad (5)$$

kjer je:

l - dolžina ($5 \text{ m} < l \leq 20 \text{ m}$)



Grafikon 2: Graf dopustne vrednosti vegavosti tira za tovorni in mešani promet v ostrih krivinah
(Vir: TSI Infrastruktura, 2011)

2.3.3 Dopustne vrednosti vegavosti tira po evropskem standardu Geometrijska kakovost proge

Tudi za vegavost tira obstajajo po evropskem standardu Geometrijska kakovost proge tri meje: varnostna meja (SL), intervencijska meja (IL) in opozorilna meja (AL).

Varnostna meja:

Spodnji graf prikazuje dovoljeno vegavost tira z mejnima krivuljama, ki se določita na podlagi velikosti višinskega odstopanja [v mm] in radija krivulje proge. Krivulji določata varnostno mejo. Krivulja A ima zgornjo mejo pri 7 mm/m za merno osnovo $1,3 \text{ m} \leq l \leq 5 \text{ m}$, nato pa je definirana z enačbo (EN 13848-5 Railway applications/Track – Track geometry quality, Part 5: Geometric quality assessment, 2005: str. 10):

$$SL(l) = 20/l + 3,0 \quad (6)$$

kjer je:

l - dolžina ($5 \text{ m} < l \leq 20 \text{ m}$)

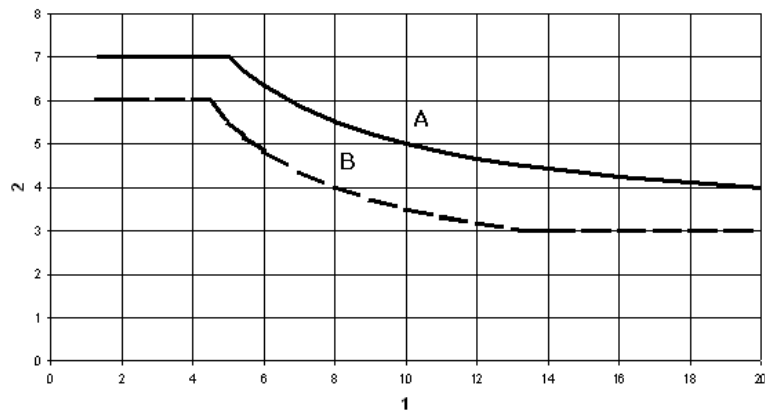
Krivulja B ima največjo dovoljeno vrednost 6 mm/m za merno osnovo $1,3 \text{ m} \leq l \leq 4,44 \text{ m}$, srednje območje pa predstavlja enačba:

$$SL(l) = 20/l + 1,5 \quad (7)$$

kjer je:

l - dolžina ($4,44 \text{ m} < l < 13,33 \text{ m}$)

Spodnja meja je konstanta 3 mm/m za $13,33 \text{ m} \leq l \leq 20 \text{ m}$.



Grafikon 3: Graf dopustne vrednosti vegavosti tira

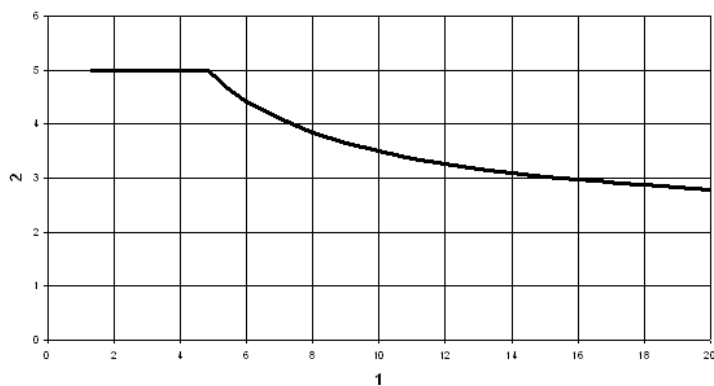
(Vir: evropski standard Geometrijska kakovost proge, 2005)

Intervencijska meja:

Za intervencijsko mejo vegavosti tira ima graf zgornjo mejo pri konstantni vrednosti 5 mm/m za merno osnovo $1,3 \text{ m} \leq l \leq 4,82 \text{ m}$, nato pa jo določa enačba krivulje (EN 13848-5 Railway applications/Track – Track geometry quality, Part 5: Geometric quality assessment, 2005: str. 18):

$$IL(l) = 0,7 \times (20/l + 3,0) \quad (8)$$

kjer je:

 l - dolžina ($4,82 \text{ m} < l \leq 20 \text{ m}$)

Grafikon 4: Graf dopustne vrednosti vegavosti tira

(Vir: evropski standard Geometrijska kakovost proge, 2005)

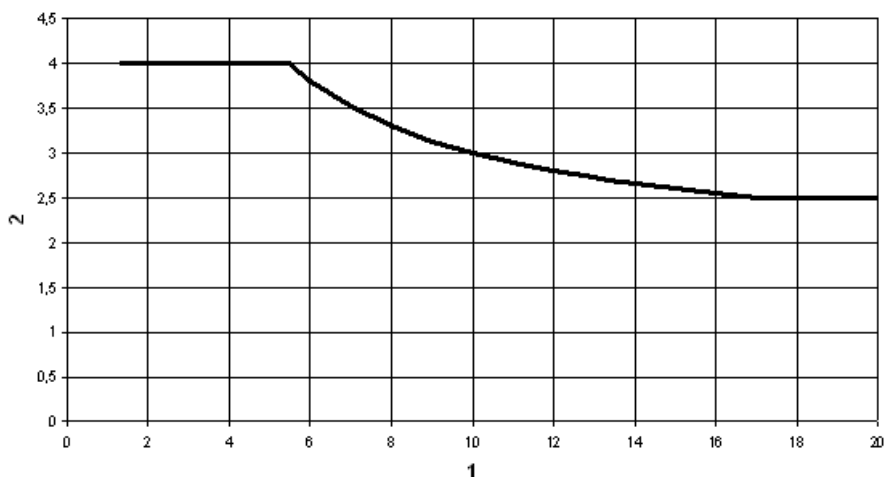
Opozorilna meja:

Pri opozorilni meji vegavosti tira sta zgornja in spodnja meja konstantni vrednosti, in sicer 4 mm/m in 2,5 mm/m. Vmesna faza pa je določena z enačbo (EN 13848-5 Railway applications/Track – Track geometry quality, Part 5: Geometric quality assessment, 2005: str. 22:

$$AL(l) = 0,6 \times (20/l + 3,0) \quad (9)$$

kjer je:

l - dolžina ($5,45 \text{ m} < l \leq 17,14 \text{ m}$)



Grafikon 5: Graf dopustne vrednosti vegavosti tira

(Vir: evropski standard Geometrijska kakovost proge, 2005)

2.3.4 Primerjava slovenske in EU zakonodaje

Pravilnik o zgornjem ustroju železniških prog navaja vegavost tira samo na merni osnovi 6 m, medtem ko TSI Infrastruktura in evropski standard Geometrijska kakovost proge navajata vegavost tira na merni osnovi od 1,3 m do 20 m. Vegavost tira za različne hitrostne razrede je določena samo v Pravilniku o zgornjem ustroju železniških prog. Ta pravilnik navaja tudi različne mejne vrednosti vegavosti za nove, nadgrajene in obnovljene tire, tire po izvedenih planiranih vzdrževalnih delih in za proge pri obratovanju. V TSI Infrastruktura se dopustna

vegavost tira razlikuje za proge za tovorni, mešani in potniški promet. V evropskem standardu Geometrijska kakovost proge pa se loči za različne krivuljne radije železniških prog. Dopusne vrednosti vegavosti tira na merni osnovi 6 m so 3 mm/m (za hitrost večjo od 100 km/h) v Pravilniku o zgornjem ustroju železniških prog, 6,3 mm/m v TSI Infrastruktura in 6,3 mm/m (za varnostno mejo) v evropskem standardu Geometrijska kakovost proge. TSI Infrastruktura in evropski standard Geometrijska kakovost proge imata določene enake grafe za določanje dopustne vrednosti vegavosti tira. Izmed vseh treh predpisov ima Pravilnik o zgornjem ustroju železniških prog najstrožje omejitve mejnih vrednosti, vsaj za merno osnovo 6 m.

2.4 Nadvišanje tira

Nadvišanje tira je razlika med višinama zunanega in notranjega tira in se izraža v mm. Merjenje poteka na središču površin glav tirnic. Nadvišanje se ne izvede v krivinah glavnih prevoznih tirov na postajah, na stranskih postajnih tirih, na industrijskih tirih in na kretnicah, razen na krivinskih kretnicah, ki so vgrajene v krivine z nadvišanji. Najmanjše nadvišanje, ki se še izvede, je 20 mm. Izračunana nadvišanja, ki so med 11 in 20 mm, se zaokrožijo na 20 mm, tista med 0 in 10 mm pa na 0 mm. Nadvišanja se zaokrožujejo na naslednjo višjo vrednost od 20 mm, deljivo s 5. Minimalna dolžina odseka tira brez nadvišanja ali z enakim nadvišanjem se izračuna z enačbo $0,4 \cdot V_{max}$ in mora znašati najmanj 20 m. Pri nadgradnji in obnovi obstoječih prog pa se dolžina takega odseka izračuna z enačbo $0,1 \cdot V_{max}$, vendar mora biti najmanj 10 m. Za hitrosti do vključno 120 km/h se normalno nadvišanje izračuna z enačbo (Pravilnik o zgornjem ustroju železniških prog, 2010):

$$hn = 7,1 \times \frac{V^2}{R} \quad (10)$$

Normalno nadvišanje za hitrosti nad 120km/h pa z enačbo (Pravilnik o zgornjem ustroju železniških prog, 2010):

$$h_n = 6,5 \times \frac{V^2}{R} \quad (11)$$

kjer je:

h_n - normalno nadvišanje [mm]

R - polmer krivin [m]

V - hitrost v krožnem loku [km/h]

Pri nadgradnji in obnovi obstoječih prog se minimalno nadvišanje določi z enačbami (Pravilnik o zgornjem ustroju železniških prog, 2010):

$$h_{min} = 11,8 \times \frac{V_{max}^2}{R} - 115 \quad (b = 0,75 \text{ m/s}^2) \quad (\text{v zahtevnejših terenskih razmerah}) \quad (12)$$

$$h_{min} = 11,8 \times \frac{V_{max}^2}{R} - 100 \quad (b = 0,65 \text{ m/s}^2) \quad (\text{na šibkih mestih proge}) \quad (13)$$

$$h_{min} = 11,8 \times \frac{V_{max}^2}{R} - 130 \quad (b = 0,85 \text{ m/s}^2) \quad (\text{izjemno minimalno nadvišanje}) \quad (14)$$

kjer je:

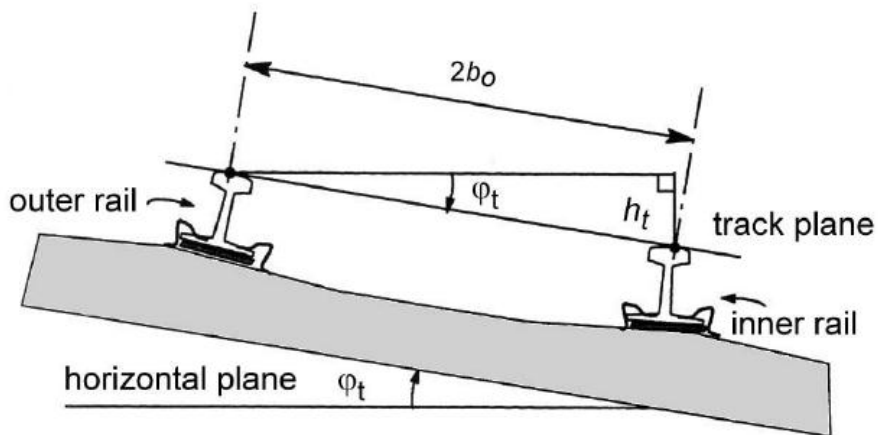
h_{min} - minimalno nadvišanje [mm]

R - polmer krivin [m]

V_{max} - največja dovoljena hitrost na progi [km/h]

b - bočni pospešek [m/s^2]

Napake v nadvišanju tira lahko nastanejo zaradi neizvedene ali slabo izvedene smerne ali višinske regulacije tira. Na nadvišanje tira pa lahko vpliva tudi slabo stanje planuma.

Slika 3: Nadvišanje tira h_t (Vir: <http://www.europakorridoren.se/spargeometri.pdf>)

Pravilnik o zgornjem ustroju železniških prog, TSI Infrastruktura in evropski standard Geometrijska kakovost proge navajajo naslednje mejne vrednosti nadvišanja.

2.4.1 Dovoljeno nadvišanje tira po Pravilniku o zgornjem ustroju železniških prog

V Pravilniku o zgornjem ustroju železniških prog so določena največja še dovoljena projektirana nadvišanja brez dopustnih toleranc. Na tirih s tirno grede je največje dovoljeno projektirano nadvišanje 160 mm, na tirih brez tirne grede pa 170 mm, razen na mostovih z odprtim voziščem. Na območju peronov projektirano nadvišanje ne sme biti večje od 110 mm, v notranjih krivinskih kretnicah ne sme biti večje od 120 mm, v zunanjih pa ne večje od 100 mm. Pri novogradnjah, nadgradnjah in obnovah je nadvišanje zaradi nevarnosti iztirjenja torzijsko togih tovornih vagonov v majhnih krožnih krivinah določeno z enačbo (Pravilnik o zgornjem ustroju železniških prog, 2010):

$$h = (R - 50)/1,5 \quad (15)$$

kjer je:

h - nadvišanje [mm]

R - polmer krivin [m]

Dovoljeno odstopanje v medsebojni višinski legi sosednjih tirnih trakov oziroma od projektiranega nadvišanja novih ter pri obnovi ali nadgradnji obstoječih prog je ± 2 mm. Na progah v obratovanju pa so dovoljena odstopanja od projektiranega nadvišanja prikazana v naslednji preglednici.

Preglednica 12: Dovoljena odstopanja od projektiranega nadvišanja na progah v obratovanju (Vir: Pravilnik o zgornjem ustroju železniških prog, 2010):

Hitrostni razred	Dovoljena odstopanja nadvišanja tira
$V(max) > 140$ km/h	± 3 mm
$100 < V(max) \leq 140$ km/h	± 5 mm
$80 \leq V(max) \leq 100$ km/h	± 8 mm
$V(max) < 80$ km/h	± 10 mm

2.4.2 Dovoljeno nadvišanje tira po TSI Infrastruktura

V TSI Infrastruktura je nadvišanje na tirih razdeljeno na kategorije prog po TSI Infrastruktura za infrastrukturni podsistem železniškega sistema za konvencionalne hitrosti.

Preglednica 13: Mejne vrednosti projektiranega nadvišanja za TSI kategorizacijo (Vir: TSI Infrastruktura, 2011):

TSI kategorizacija	Mejna vrednost projektiranega nadvišanja (h)
Vse kategorije (na območju postajnih peronov)	110 mm
Kategorije IV-P, V-P in VII-P	180 mm
Kategorije IV-F, IV-M, V-F, V-M, VI-F, VI-M, VII-F in VII-M	160 mm
Kategorije IV-F, IV-M, VI-F, VI-M in v krivinah s polmerom krožnega loka $R < 290$ m	$h \leq (R - 50)/1,5$

Mejna vrednost nadvišanja v obratovanju se ohranja v razponu ± 20 mm od projektiranega nadvišanja. Spodnja preglednica prikazuje največje dovoljeno nadvišanje v obratovanju za posamezno TSI kategorizacijo prog.

Preglednica 14: Mejna vrednost nadvišanja v obratovanju za TSI kategorizacijo (Vir: TSI Infrastruktura, 2011):

TSI kategorizacija	Mejna vrednost nadvišanja v obratovanju
Kategorije IV-P, V-P, VI-P in VII-P	190 mm
Kategorije IV-F, IV-M, V-F, V-M, VI-F, VI-M, VII-F in VII-M	170 mm

2.4.3 Dovoljeno odstopanje nadvišanje tira po evropskem standardu Geometrijska kakovost proge

Evropski standard Geometrijska kakovost proge navaja dovoljena odstopanja nadvišanja tira glede na varnostno mejo, intervencijsko mejo in opozorilno mejo.

Preglednica 15: Varnostna meja dovoljenega odstopanja nadvišanja tira (Vir: evropski standard Geometrijska kakovost proge, 2005):

Hitrostni razred (km/h)	Dovoljena odstopanja nadvišanja tira (mm)
$V \leq 80$	16
$80 < V \leq 120$	14
$120 < V \leq 160$	12
$160 < V \leq 220$	11
$220 < V \leq 300$	10

Preglednica 16: Intervencijska meja dovoljenega odstopanja nadvišanja tira (Vir: evropski standard Geometrijska kakovost proge, 2005):

Hitrostni razred (km/h)	Dovoljena odstopanja nadvišanja tira (mm)
$V \leq 80$	12-14
$80 < V \leq 120$	10-12
$120 < V \leq 160$	8-10
$160 < V \leq 220$	7-9
$220 < V \leq 300$	6-8

Preglednica 17: Opozorilna meja dovoljenega odstopanja nadvišanja tira (Vir: evropski standard Geometrijska kakovost proge, 2005):

Hitrostni razred (km/h)	Dovoljena odstopanja nadvišanja tira (mm)
$V \leq 80$	10-13
$80 < V \leq 120$	8-11
$120 < V \leq 160$	6-9
$160 < V \leq 220$	6-8
$220 < V \leq 300$	5-7

2.5 Stabilnost tira

S parametrom stabilnosti leve in desne tirnice določamo višinsko odstopanje od projektirane višine gornjega roba tirnice. Stabilnost nam pove, za koliko se posedeta leva in desna tirnica v vertikalni smeri ob prevozu merilne drezine.

Velike napake stabilnosti tira kažejo na:

- slabo nosilnost planuma proge,
- slabo izveden nasipni klin na podporno konstrukcijo premostitvenega objekta,
- slabo izvedeno višinsko regulacijo tira in
- slabo ali neurejeno odvodnjavanje proge.

2.5.1 Dovoljene vrednosti stabilnosti tira po evropskem standardu Geometrijska kakovost proge

Evropski standard Geometrijska kakovost proge navaja dovoljena odstopanja stabilnosti tira glede na varnostno mejo, intervencijsko mejo in opozorilno mejo.

Preglednica 18: Varnostna meja dovoljenega odstopanja od stabilnosti tira (Vir: evropski standard Geometrijska kakovost proge, 2005):

Hitrostni razred (km/h)	Odstopanje stabilnosti tira (mm)	
	D1	D2
$V \leq 80$	29	N/A
$80 < V \leq 120$	26	N/A
$120 < V \leq 160$	24	N/A
$160 < V \leq 220$	20	33
$220 < V \leq 300$	17	28

Preglednica 19: Intervencijska meja dovoljenega odstopanja od stabilnosti tira (Vir: evropski standard Geometrijska kakovost proge, 2005):

Hitrostni razred (km/h)	Odstopanje stabilnosti tira (mm)	
	D1	D2
$V \leq 80$	16-20	N/A
$80 < V \leq 120$	12-18	N/A
$120 < V \leq 160$	10-17	N/A
$160 < V \leq 220$	9-14	18-23
$220 < V \leq 300$	8-12	16-20

Preglednica 20: Opozorilna meja dovoljenega odstopanja od stabilnosti tira (Vir: evropski standard Geometrijska kakovost proge, 2005):

Hitrostni razred (km/h)	Odstopanje stabilnosti tira (mm)	
	D1	D2
$V \leq 80$	12-18	N/A
$80 < V \leq 120$	10-16	N/A
$120 < V \leq 160$	8-15	N/A
$160 < V \leq 220$	7-12	14-20
$220 < V \leq 300$	6-10	12-18

Preglednica 21: Opozorilna meja standardne deviacije stabilnosti tira (Vir: evropski standard Geometrijska kakovost proge, 2005):

Hitrostni razred (km/h)	Standardna deviacija (mm)
$V \leq 80$	2,3-3
$80 < V \leq 120$	1,8-2,7
$120 < V \leq 160$	1,4-2,4
$160 < V \leq 220$	1,2-1,9
$220 < V \leq 300$	1,0-1,5

2.6 Smer tira

2.6.1 Dovoljeno odstopanje smeri tira po Pravilniku o zgornjem ustroju železniških prog

Z meritvijo smeri tira, ki se meri ločeno za desno in levo tirnico, ugotavljamo odstopanje tira od projektirane smeri preme, krožnega loka oz. prehodnice. Odstopanje se ugotavlja s posebnimi instrumenti ali pa z merjenjem puščic na določenih tetivah. V geometrijsko pravilnem krožnem loku morajo biti puščice na enakih tetivah enake, v prehodnici s premočrtno sliko ukrivljenosti morajo enakomerno naraščati, v premah pa morajo biti enake nič. V krožnih lokih s polmerom $R < 300$ m in v prehodnicah se puščice merijo na tetivi $s = 10$ m, v krožnih lokih s polmerom $R \geq 300$ m pa na tetivi $s = 20$ m.

Pravilnik o zgornjem ustroju železniških prog (2010) definira enačbe, po katerih se izračuna puščica:

- puščica v sredini tetive »s«,

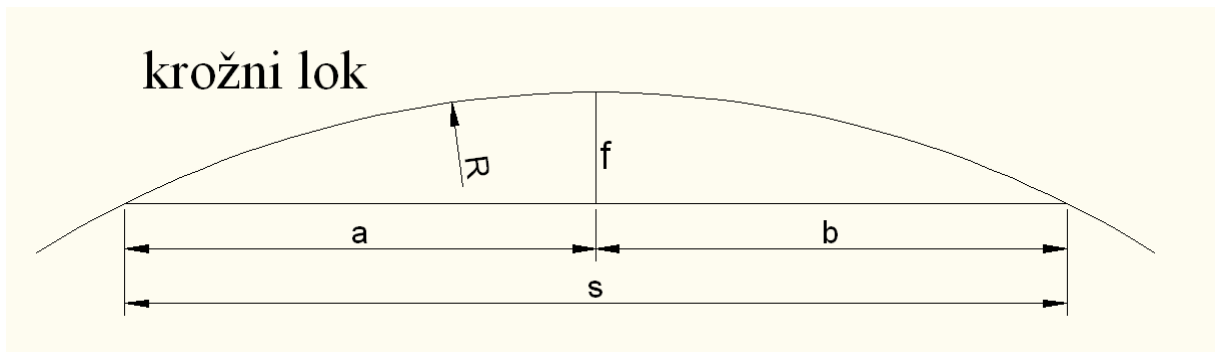
$$f = \frac{s^2}{8R} \quad (16)$$

- puščica v poljubni točki tetive, oddaljena za »a« oziroma »b« od začetka oziroma konca tetive,

$$f = \frac{ab}{2R} \quad (17)$$

- puščica na sredini tetive v poljubni točki prehodnice, »d« je razdalja med začetkom prehodnice in začetkom tetive.

$$f = \frac{s^2}{8RL} \left(d + \frac{s}{2} \right) \quad (18)$$



Slika 4: Smer tira

(Vir: http://eprints.fgg.uni-lj.si/209/1/GRV_0276_Juvan.pdf)

Preglednica 22: Dovoljena odstopanja dveh sosednjih puščic na tetivi 10 m novega, nadgrajenega ali obnovljenega tira (Vir: Pravilnik o zgornjem ustroju železniških prog, 2010):

Hitrostni razred	Dovoljeno odstopanje smeri tira
$V > 60 \text{ km/h}$	± 1
$V \leq 60 \text{ km/h}$	± 2

Preglednica 23: Dovoljeno odstopanje dveh sosednjih puščic na tetivi dolžine 10 m pri obratovanju (Vir: Pravilnik o zgornjem ustroju železniških prog, 2010):

Hitrostni razred	Dovoljeno odstopanje smeri tira
$V > 60 \text{ km/h}$	± 2
$V \leq 60 \text{ km/h}$	± 3

Meritve smeri tira morajo biti izvedene strojno, z avtomatskim zapisom v digitalni in papirni obliki, ali z ročnimi merili.

2.6.2 Dovoljeno odstopanje smeri tira po evropskem standardu Geometrijska kakovost proge

Evropski standard Geometrijska kakovost proge navaja dovoljena odstopanja smeri tira glede na varnostno mejo, intervencijsko mejo in opozorilno mejo.

Preglednica 24: Varnostna meja dovoljenega odstopanja smeri tira (Vir: evropski standard Geometrijska kakovost proge, 2005):

Hitrostni razred (km/h)	Odstopanje smeri tira (mm)	
	D1	D2
$V \leq 80$	22	N/A
$80 < V \leq 120$	17	N/A
$120 < V \leq 160$	14	N/A
$160 < V \leq 220$	12	24
$220 < V \leq 300$	10	20

Preglednica 25: Intervencijska meja dovoljenega odstopanja smeri tira (Vir: evropski standard Geometrijska kakovost proge, 2005):

Hitrostni razred (km/h)	Odstopanje smeri tira (mm)	
	D1	D2
$V \leq 80$	14-16	N/A
$80 < V \leq 120$	10-12	N/A
$120 < V \leq 160$	8-10	N/A
$160 < V \leq 220$	7-9	14-17
$220 < V \leq 300$	6-8	12-14

Preglednica 26: Opozorilna meja dovoljenega odstopanja smeri tira (Vir: evropski standard Geometrijska kakovost proge, 2005):

Hitrostni razred (km/h)	Odstopanje smeri tira (mm)	
	D1	D2
$V \leq 80$	12-15	N/A
$80 < V \leq 120$	8-11	N/A
$120 < V \leq 160$	6-9	N/A
$160 < V \leq 220$	5-8	10-15
$220 < V \leq 300$	4-7	8-13

Preglednica 27: Opozorilna meja standardne deviacije smeri tira (Vir: evropski standard Geometrijska kakovost proge, 2005):

Hitrostni razred (km/h)	Standardna deviacija (mm)
$V \leq 80$	1,5-1,8
$80 < V \leq 120$	1,2-1,5
$120 < V \leq 160$	1,0-1,3
$160 < V \leq 220$	0,8-1,1
$220 < V \leq 300$	0,7-1,0

2.7 Ostali parametri

Izkušnje in teoretične ugotovitve so pokazale, da imajo praktično vsi parametri geometrije proge vpliv na obnašanje vozila. Še posebno velik vpliv pa imajo kombinacije več parametrov geometrije proge.

Na obnašanje vozila lahko vplivajo tudi drugi parametri v sistemu proga – vozilo, kot so:

- horizontalna ukrivljenost proge,
- oblika in zaporedje napak ter njihova kombinacija,
- geometrija med kolesom in tirom,
- stopnjevanje napak,
- tip vozila,
- stanje vzdrževanja in okoljski pogoji.

3. OPIS UIC 518 IN TABELARIČNA PRIMERJAVA Z EVROPSKIM STANDARDOM prEN 13848

3.1 Uvod

Namen predpisa UIC 518 je določiti pravila, ki jih je treba upoštevati pri izvajanju testov dinamičnega obnašanja proge. S temi testi se ugotavlja varnost, utrujenost oziroma trenutno obnašanje proge, odstopanje geometrije tira od projektiranega stanja, geometrija proge in pogoji za normalno obratovanje. Za omrežja prog ali točno določene proge, kjer so pogoji na progi (odstopanje geometrije tira od projektiranega stanja, geometrija proge) slabši od tistih, določenih v predpisu UIC 518, se morajo izvesti še dodatna preverjanja za zagotavljanje varnosti. Pri določitvi tega predpisa sta bila upoštevana naslednja principa:

Princip 1: Bistveno je upoštevati obstoječa pravila in vključiti nova pravila, ki se nanašajo na razvoj mednarodnega prometa (promet visoke hitrosti). Ključnega pomena je tudi pregled obstoječih pravil in njihovo izboljšanje na področju meritev, analiz železniških podatkov in njihove obdelave.

Princip 2: Predpis mora določati mejne vrednosti. Če so te vrednosti presežene zaradi povečanja osne obremenitve, je treba železniške proge vzdrževati.

Poleg testiranja dinamičnega obnašanja proge predpis UIC 518 določa tudi interakcijo med vozilom in progo.

Predpis UIC 518 navaja:

- pogoje za izvedbo testov na progi,
- izmerjene vrednosti dinamičnega obnašanja vozila,
- avtomatsko in statistično obdelavo podatkov,
- ocene vrednosti obdelave podatkov in
- mejne vrednosti.

Testi na progi se izvajajo:

- za nova vozila ali nov model opreme,
- v primeru zamenjave sestavnih delov proge, ki vplivajo na njeno dinamično obnašanje in
- pri rednih pregledih delovanja proge.

3.2 Geometrijska kakovost proge po UIC 518

Glede na geometrijsko kakovost proge se določijo vzdrževalna dela na progi. V UIC 518 je geometrijska kakovost proge razvrščena v tri nivoje:

- $QN1$ je vrednost, ki zahteva opazovanje stanja proge ali pa planiranje rednih vzdrževalnih del,
- $QN2$ je vrednost, za katero je treba izvesti manjša vzdrževalna dela,
- $QN3$ pa je mejna vrednost. Standardi kvalitete geometrije tira prekoračitev te mejne vrednosti običajno ne prikazujejo, zato jih je treba posebej obravnavati. Na teh odsekih je treba izvesti vzdrževalna dela.

Predpis UIC 518 priporoča za izbiro ustreznega testnega odseka naslednjo distribucijo, ki pa ni obvezna:

- 50 % proge dosega vrednost, ki je enaka ali boljša kot $QN1$,
- 40 % proge dosega vrednost med $QN1$ in $QN2$ in
- 10 % proge dosega vrednost med $QN2$ in $QN3$.

Ta distribucija se navaja samo kot priporočilo zato, ker je kontrola merilnih rezultatov in njihova primerjava časovno in stroškovno zelo težko dosegljiva. Potrebna bi bila velika sprememba merilnih principov, kar pa ni izvedljivo pri večini merilnih vlakov.

Trenutno se odstopanja od mejnih vrednosti lažje korigira v realnem času. Izdelujejo in uporabljajo se novi merilni vlaki, ki omogočajo lažjo analizo merilnih rezultatov.

Da bi lahko primerjali rezultate analiz med različnimi železnicami, ki so uporabljale različne merilne sisteme, je treba upoštevati:

- definicijo geometrijskih napak tira in
- definicijo metode ocenjevanja za testne odseke.

Definicija geometrijskih napak tira:

Za določanje pogostosti geometrijskih napak tira se uporabljajo pasovni filtri s karakteristikami:

- 4-polni Butterworth filtri
- nizko frekvenčni filtri $L_b=3,00$ m
- visoko frekvenčni filtri $L_h=25$ m

Te valovne dolžine filtrov se lahko uporabljajo do maksimalne hitrosti 200 km/h. Pri večji hitrosti pa se morajo upoštevati geometrijske napake z valovno dolžino, večjo od 25 m.

Definicija metode ocenjevanja za testne odseke:

Geometrijska kakovost proge se določa na podlagi standardne deviacije za vertikalno in bočno odstopanje tira. Največje vrednosti odstopanj se uporabljajo samo za vodenje analiz.

Geometrijska kakovost proge je prikazana ločeno za vertikalno in bočno odstopanje tira. Odločilni kriterij za klasifikacijo proge predstavlja največja absolutna vrednost, izmerjena na obeh tirnicah, izjema je bočno odstopanje tira v krivini, kjer je odločilna največja vrednost na zunanji tirnici, še zlasti pri krivuljah z radijem, manjšim od 600 m.

Referenčna hitrost, ki se uporablja, mora biti določena po naslednjih kriterijih:

- $V_{lim} + 10$ km/h za ravne proge in krivulje z velikim radijem in
- $80 \text{ km/h} < V \leq 120 \text{ km/h}$ za krivuljne odseke z majhnim radijem.

Uporabljata se lahko dve metodi:

- Za analizo posameznega odseka, ki se ga izbere za statistično oceno obnašanja vozila, je pomembno, da se dolžine določijo zelo natančno. S to metodo so vrednosti pri 50 % in 90 % temenskih vrednosti za posamezne napake odvisne od dolžine, uporabljene za izračun maksimalne temenske vrednosti.
- Odseki proge, uporabljeni za analizo, so dobljeni iz podatkov, ki jih zabeležijo merilni vlaki. V tem primeru ni možno, da bi odsek, vzet za analizo, natančno sovpadal z odsekom, ki ga je meril vlak. Vendar pa je za vsak odsek ravne proge ali odsek krivulje z velikim radijem treba zagotoviti, da odsek, vzet za analizo, kar najbolj sovpada z odsekom, ki ga meri merilni vlak, tako da dolžina, kjer ta dva odseka ne sovpadata, ne presega 50 % dolžine odseka, merjenega z merilnim vlakom. Da bi to izboljšali, se priporoča uporaba padajočih vrednosti standardne deviacije z majhnim intervalom padanja, npr. 10 m.

UIC 518 določa, da lahko železnice svobodno izberejo metodo, ki jim bolj ustreza.

3.3 Standardna deviacija po UIC 518

Spodnja preglednica prikazuje vrednosti standardne deviacije za vertikalno in bočno poravnavo tira za kvaliteto geometrije proge $QN1$ in $QN2$:

Preglednica 28: Standardna deviacija za vertikalno poravnavo tira (Vir: UIC 518, 2005):

Standardna deviacija:	$QN1$	$QN2$
Vertikalna poravnava	(mm)	(mm)
$V \leq 80 \text{ km/h}$	2,3	2,6
$80 \text{ km/h} < V \leq 120 \text{ km/h}$	1,8	2,1
$120 \text{ km/h} < V \leq 160 \text{ km/h}$	1,4	1,7
$160 \text{ km/h} < V \leq 200 \text{ km/h}$	1,2	1,5
$200 \text{ km/h} < V \leq 300 \text{ km/h}$	1,0	1,3

Preglednica 29: Standardna deviacija za bočno poravnavo tira (Vir: UIC 518, 2005):

Standardna deviacija: Bočna poravnava	<i>QN1</i> (mm)	<i>QN2</i> (mm)
$V \leq 80$ km/h	1,5	1,8
80 km/h < $V \leq 120$ km/h	1,2	1,5
120 km/h < $V \leq 160$ km/h	1,0	1,3
160 km/h < $V \leq 200$ km/h	0,8	1,1
200 km/h < $V \leq 300$ km/h	0,7	1,0

3.4 Največje dovoljene vrednosti za vertikalno in bočno odstopanje na progi

O odstopanjih na progi govorimo, če vrednosti za posamezen odsek, pridobljene z izračunom, presegajo največje dovoljene vrednosti. Največje predpisane mejne vrednosti za kvaliteto geometrije prog *QN1* in *QN2* so podane samo kot vodilo.

Geometrijska kakovost proge *QN3* je definirana kot: $QN3 = 1,3 * QN2$.

Največje dovoljene vrednosti za vertikalno in bočno odstopanje poravnave tira so prikazane v spodnjih preglednicah:

Preglednica 30: Največja dovoljena odstopanja za vertikalno poravnavo tira (Vir: UIC 518, 2005):

Največja dovoljena vrednost: Vertikalno odstopanje	<i>QN1</i> (mm)	<i>QN2</i> (mm)
$V \leq 80$ km/h	12,0	16,0
80 km/h < $V \leq 120$ km/h	8,0	12,0
120 km/h < $V \leq 160$ km/h	6,0	10,0
160 km/h < $V \leq 200$ km/h	5,0	9,0
200 km/h < $V \leq 300$ km/h	4,0	8,0

Preglednica 31: Največja dovoljena odstopanja za bočno poravnavo tira (Vir: UIC 518, 2005):

Največja dovoljena vrednost: Bočno odstopanje	$QN1$ (mm)	$QN2$ (mm)
$V \leq 80$ km/h	12,0	14,0
80 km/h < $V \leq 120$ km/h	8,0	10,0
120 km/h < $V \leq 160$ km/h	6,0	8,0
160 km/h < $V \leq 200$ km/h	5,0	7,0
200 km/h < $V \leq 300$ km/h	4,0	6,0

Vrednosti $QN1$ in $QN2$, ki so podane v zgornjih preglednicah, so bile pridobljene z meritvami, izvedenimi z merilnim vlakom NS.

V primeru meritev, izvedenih z različnimi merilnimi vlaki, se morata vrednosti $QN1$ in $QN2$ korigirati. Koeficienti so prikazani v spodnji preglednici:

Preglednica 32: Vrednosti korekcijskih koeficientov (Vir: UIC 518, 2005):

Merilni vlak	Koeficient K	
	Vertikalno odstopanje	Bočno odstopanje
BR	1,14	1,20
CFF	0,91	1,47
CFF/long	1,25	-
CFR	1,40	1,95
CD	1,00	1,00
DB	1,24	1,47
FS	1,33	1,72
NS	1,00	1,00
ÖBB	1,00	1,00
PKP	0,73	0,71
RENFE	0,91	1,47
SNCF	0,91	1,47

Največja vrednost_(drug vlak) = K * največja vrednost_(NS vlak)

Evropski standard pr EN 13848 uporablja drugačno poimenovanje za geometrijsko kakovost proge kot predpis UIC 518. Namesto oznak *QN1*, *QN2* in *QN3* navaja za geometrijsko kakovost proge:

- opozorilno mejo,
- intervencijsko mejo in
- varnostno mejo.

Preglednica 33: Odstopanje smeri tira – varnostna meja (Vir: evropski standard Geometrijska kakovost proge, 2005):

Hitrost (km/h)	Odstopanja smeri tira (mm)	
	D1	D2
$V \leq 80$	22	N/A
$80 < V \leq 120$	17	N/A
$120 < V \leq 160$	14	N/A
$160 < V \leq 220$	12	24
$220 < V \leq 300$	10	20

Preglednica 34: Odstopanje smeri tira – intervencijska meja (Vir: evropski standard Geometrijska kakovost proge, 2005):

Hitrost (km/h)	Odstopanja smeri tira (mm)	
	D1	D2
$V \leq 80$	14-16	N/A
$80 < V \leq 120$	10-12	N/A
$120 < V \leq 160$	8-10	N/A
$160 < V \leq 220$	7-9	14-17
$220 < V \leq 300$	6-8	12-14

Preglednica 35: Odstopanje smeri tira – opozorilna meja (Vir: evropski standard Geometrijska kakovost proge, 2005):

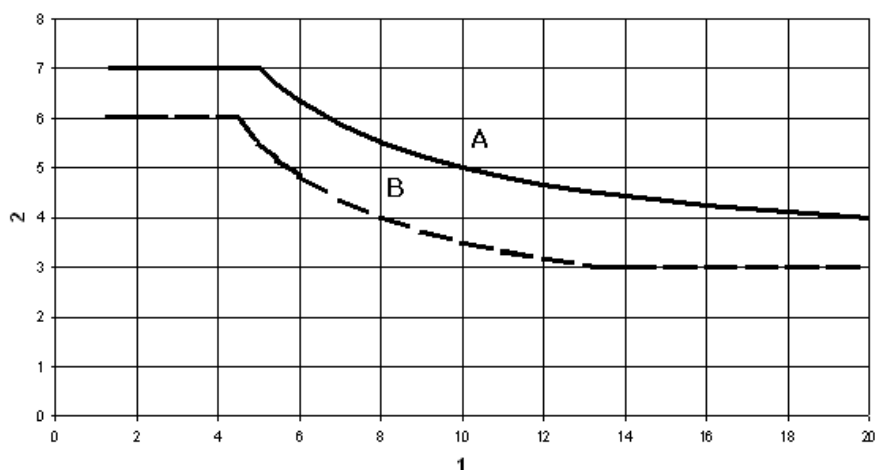
Hitrost (km/h)	Odstopanja smeri tira (mm)	
	D1	D2
$V \leq 80$	12-15	N/A
$80 < V \leq 120$	8-11	N/A
$120 < V \leq 160$	6-9	N/A
$160 < V \leq 220$	5-8	10-15
$220 < V \leq 300$	4-7	8-13

3.5 Vegavost in tirna širina po UIC 518 in po pr EN 13848

3.5.1 Vegavost po UIC 518 in po pr EN 13848

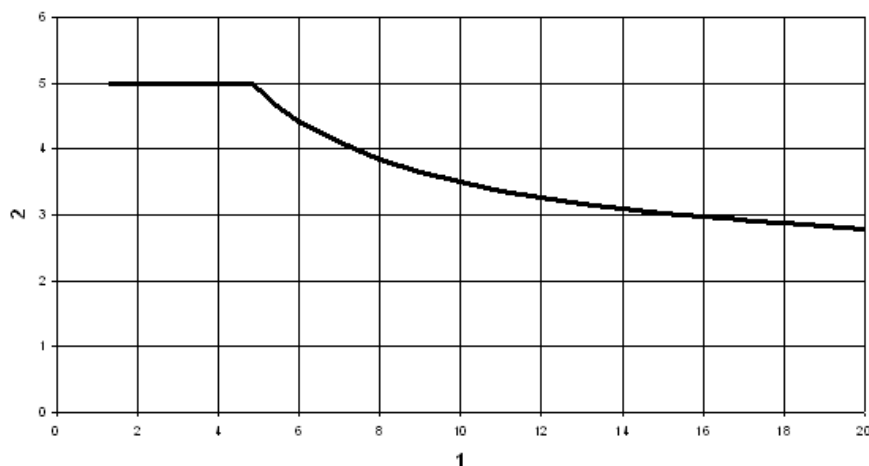
V skladu z UIC 518 mora vegavost izpolnjevati zahtevo ERRI B55.

Za določanje vegavosti tira se po evropskem standardu Geometrijska kakovost proge uporablja varnostna meja, intervencijska meja in opozorilna meja.

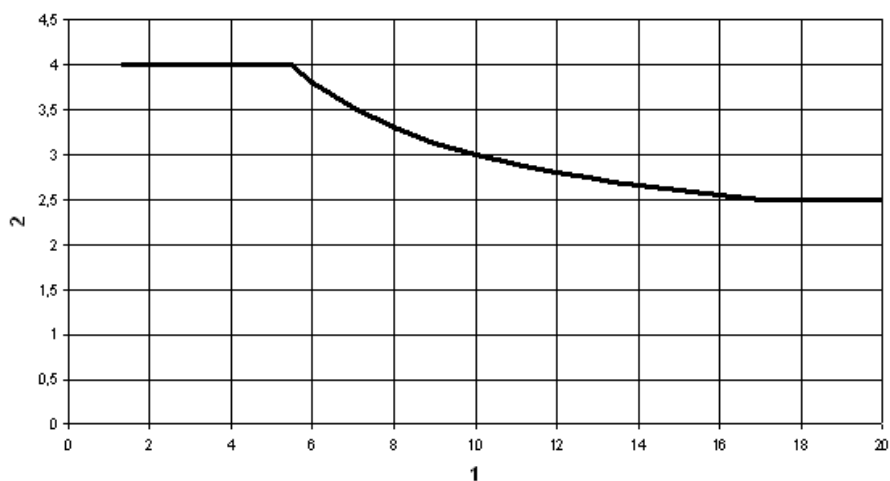


Grafikon 6: Graf dopustne vrednosti vegavosti tira – varnostna meja

(Vir: evropski standard Geometrijska kakovost proge, 2005)



Grafikon 7: Graf dopustne vrednosti vegavosti tira – intervencijska meja
(Vir: evropski standard Geometrijska kakovost proge, 2005)



Grafikon 8: Graf dopustne vrednosti vegavosti tira – opozorilna meja
(Vir: evropski standard Geometrijska kakovost proge, 2005)

3.5.2 Tirna širina po UIC 518 in po pr EN 13848

Tirna širina po UIC 518: na ravnih odsekih testne proge se merijo vrednosti pri maksimalni hitrosti in nato se določi srednja tirna širina na merni dolžini prek 100 m.

Meritve morajo biti znotraj mejnih vrednosti:

Preglednica 36: Predpisane tirne širine (Vir: UIC 518, 2005):

Hitrostni razred	Tirna širina
$V \leq 140 \text{ km/h}$	1432 mm
$140 \text{ km/h} < V \leq 200 \text{ km/h}$	1433 mm
$200 \text{ km/h} < V \leq 300 \text{ km/h}$	1434 mm
$V > 300 \text{ km/h}$	1435 mm

V krivuljah je dovoljena tirna širina do 1455 mm.

Evropski standard pr EN 13848 tudi pri analizi tirne širine določa:

- varnostno mejo,
- intervencijsko mejo in
- opozorilno mejo.

Podatki v preglednici kažejo dovoljena odstopanja glede na normalno tirno širino 1435 mm.

Preglednica 37: Varnostna meja odstopanja od normalne tirne širine (Vir: evropski standard Geometrijska kakovost proge, 2005):

Hitrostni razred (km/h)	Odstopanje od normalne tirne širine na merni dolžini preko 100 m (mm)	
	Minimalno	Maksimalno
$V \leq 80$	-9	+32
$80 < V \leq 120$	-7	+27
$120 < V \leq 160$	-5	+20
$160 < V \leq 220$	-5	+20
$220 < V \leq 300$	-5	+20

Preglednica 38: Intervencijska meja odstopanja od normalne tirne širine (Vir: evropski standard Geometrijska kakovost proge, 2005):

Hitrostni razred (km/h)	Odstopanje od normalne tirne širine na merni dolžini preko 100 m (mm)	
	Minimalno	Maksimalno
$V \leq 80$	-8	+28
$80 < V \leq 120$	-6	+25
$120 < V \leq 160$	-4	+18
$160 < V \leq 220$	-4	+18
$220 < V \leq 300$	-4	+18

Preglednica 39: Opozorilna meja odstopanja od normalne tirne širine (Vir: evropski standard Geometrijska kakovost proge, 2005):

Hitrostni razred (km/h)	Odstopanje od normalne tirne širine na merni dolžini preko 100 m (mm)	
	Minimalno	Maksimalno
$V \leq 80$	-7	+25
$80 < V \leq 120$	-5	+22
$120 < V \leq 160$	-3	+16
$160 < V \leq 220$	-3	+16
$220 < V \leq 300$	-3	+16

4. MERILNE VOŽNJE ZA KONTROLO STANJA IN VZDRŽEVALNA DELA

4.1 Uvod

Zagotavljanje primerne in nespremenljive togosti proge je eden najpomembnejših dejavnikov za dolgotrajno stabilnost železniške proge. V primeru različnih karakteristik železniške proge lahko pride do pospešene degradacije posameznih komponent proge. Glavni problem se nahaja na mestu spremembe togosti proge, to je na mestu, kjer se struktura spremeni ali zamenja v času vzdrževalnih del. Da bi ublažili učinek degradacije, se na prehodnih območjih zagotavlja postopno spremembo togosti proge. Stroški vzdrževanja na teh območjih pa so zelo visoki.

Podobni problemi se pojavijo tudi na kretnicah in na železniških prehodih. Glavne težave so v zvezi s podstrukturo, ki je predvsem občutljiva za različna gibanja. Zaradi slabe podstrukture pride do višjih nivojev vibracij kretnic in voznega mehanizma. Te vibracije so glavni vzrok za nastanek številnih poškodb.

Do problemov prihaja tudi na mestih z močnejšo podstrukturo železniške proge, zaradi česar se lahko začne proizvajati hrup in močne vibracije. To ni samo potencialna nevšečnost okolja, ampak se lahko stopnjuje do propada geometrije proge.

Naloge in cilji za analizo stanja železniške proge:

- določitev velikosti parametrov in razlogov za nastanek napak na kritičnih območjih s preučevanjem podatkov pri terenskem nadzoru,
- ocena potencialne učinkovitosti vzdrževalnih del (izboljšanje posameznih komponent proge) in
- ocena potencialne učinkovitosti metode za izboljšanje zemljine.

Omenjena vzdrževalna dela so privedla do razvoja železniškega nadzornega sistema, ki zaznava začetne napake v podsistemu, zagotavlja dinamične meritve in prepozna kritične napake na tirih. Z nadzornim sistemom ugotavljamo stopnjevanje poškodb geometrije proge in povezanost določenih oblik napak s stanjem spodnje podlage.

Poleg meritve geometrije proge in odziva tal je treba delo merilnega vlaka razširiti še na:

- oceno degradacije geometrije proge za določeno časovno obdobje,
- meritev sil na kretnicah, ki nastanejo med vožnjo vlaka in
- meritev togosti proge.

4.2 Merilne vožnje po pravilniku o zgornjem ustroju železniških prog

Pri izvajanju meritev glavnih geometrijskih parametrov ali sestavnih delov JŽI na območju slovenskih železnic je treba upoštevati določila Pravilnika o zgornjem ustroju železniških prog. Pred vsako merilno vožnjo se vnaprej izdelata operativni načrt v skladu z določili Prometnega pravilnika. Na območju slovenskih železnic se izvajajo redne merilne vožnje, včasih pa tudi izredne merilne vožnje, ki jih predvidi upravljavec in s tem omogoči ohranjanje obratovalnih sposobnosti proge. Vse meritve se smejo opravljati pri temperaturah med -5°C in 40°C . Redne merilne vožnje so obvezne na glavnih progah, na regionalnih progah in na odsekih prog, kjer je največja dovoljena progovna hitrost večja od 120 km/h in po katerih vozijo vlaki z vklopljeno nagibno tehniko. Na teh odsekih je treba izvesti meritve dvakrat na leto, presledek med posameznimi merjenji pa je največ 8 mesecev. Dve meritvi na leto, med katerima je največ 8 mesecev presledka, je treba opraviti tudi na glavnih progah, na regionalnih progah pa Pravilnik o zgornjem ustroju železniških prog določa meritve enkrat na leto z največ petnajstimi meseci presledka. Pri vseh merilnih vožnjah mora obvezno sodelovati strokovno usposobljena oseba za vzdrževanje prog in predstavnik inšpekcije za železniški promet.

Z merilnim vozilom je obvezno treba meriti glavne geometrijske parametre: širino tira, vegavost tira, smer tira, nadvišanje in stabilnost tira. Poleg teh meritev se preverja in ugotavlja tudi valovitost vozne površine ter obraba vgrajenih tirnic. Na odsekih prog, kjer vozijo vlaki z vklopljeno nagibno tehniko in kjer je predvideno bistveno povečanje progovne hitrosti, pa je treba meriti tudi vrednosti dinamičnih parametrov sil med kolesom in tirnico.

Preglednica 40: Mejne vrednosti dinamičnih parametrov (Vir: Pravilnik o zgornjem ustroju železniških prog, 2010):

Parameter	Mejna vrednost
Y/Q [konst.]	1,01 – 1,20
b [m/s ²]	1,80
$Y(efekt.)/Q(krit.)$ [kN]	54,2/46

Po končani merilni vožnji se izdelata zapisnik o opravljeni meritvi. V zapisniku je treba navesti seznam navzočih oseb, vrsto merilnega vozila, datum in vremenske razmere snemanja, posnete odseke prog, mesta, ki neposredno ogrožajo varnost prometa in zahtevajo takojšnje ukrepanje. Ko je zapisnik izdelan, se ga skupaj z digitalnim izpisom kritičnih napak in posnetki stanja progovnih odsekov izroči v uporabo pooblaščenim predstavnikom upravljavca in predstavniku inšpekcije za železniški promet.

4.3 Vzdrževalna dela

V času od osamosvojitve Slovenije leta 1991 pa do danes se JŽI v Republiki Sloveniji ni bistveno spremenila, saj so njene ključne tehnične značilnosti ostale nespremenjene. Izvajala pa so se redna in investicijska vzdrževalna dela ter v manjšem obsegu investicijska dela. Največje spremembe so nastale pri obsegu prog, ki dopuščajo največjo obremenitev 22,5 tone na os.

Od leta 2007 vse aktivnosti v zvezi z investicijami in vzdrževanjem JŽI vodi Direkcija Republike Slovenije za vodenje investicij v javno železniško infrastrukturo. Pri tem upošteva Zakon o železniškem prometu (Uradni list RS, št. 44/07 – uradno prečiščeno besedilo in 58/09; v nadaljevanju Zzelp) in Uredbe o organih v sestavi ministrstev (Uradni list RS, št. 58/03, 45/04, 86/04, - ZVOP-1, 138/04, 52/05, 82/05, 17/06, 76/06, 132/06, 41/07, 64/08 – ZviS-F in 63/09). Direkcija pripravlja, organizira in vodi investicije v vseh fazah investicijskega procesa. Vsakoletni načrt investicij in vzdrževanja JŽI pripravi na predlog

upravljavca Slovenske železnice, d.o.o. Letni načrt mora upoštevati strukturo proračuna RS, ki je razdeljen na investicije v JŽI in na vzdrževanje JŽI ter potniških postaj in postajališč.

Med investicije v JŽI, ki jih izvajajo Slovenske železnice, d.o.o., sodijo vzdrževalna dela v javno korist, ki jih opravljajo gospodarske javne službe, s katerimi se izboljšajo prometno-tehnične in varnostne lastnosti JŽI ali gradijo pomožni objekti in naprave JŽI.

Vzdrževanje JŽI ter potniških postaj in postajališč, ki ga izvajajo Slovenske železnice, d.o.o., obsega redno vzdrževanje JŽI ter redno in investicijsko vzdrževanje potniških postaj in postajališč. Redno vzdrževanje pomeni izvajanje rednih vzdrževalnih del na JŽI, s katerimi se ohranja normalna obratovalna sposobnost elementov JŽI in zagotavlja prometna varnost. V okviru preventivnih rednih vzdrževalnih del se izvajajo zamenjave posameznih komponent elementov JŽI z deli, ki imajo identično funkcijo in delujejo enako kot zamenjani element. Pri rednem vzdrževanju se izvaja predpisan nadzor nad posameznimi podsistemi, zagotavlja prevoznost prog ob naravnih in drugih nesrečah, vodi predpisane registre in evidence o posameznih sestavnih delih JŽI in izvaja predpisane meritve posameznih parametrov ali sestavnih delov JŽI.

Preglednica 41: Količina vzdrževalnih del s področja meritev v letu 2010 (Vir: www.vlada.si/fileadmin/dokumenti/si/sklepi/seje.../96sv14.DOC):

Področje rednega vzdrževanja	Količine vzdrževalnih del s področja meritev v letu 2010
Zgornji ustroj	Meritev svetlega profila - 215 km Izkaz o meritvah tira – 180 km Meritev vzdolžnega in prečnega premika tira – 1.250 kosov Meritev globine in širine tirnih žlebov na NPr in drugih objektih – 1.060 kosov Meritev tirničnih stikov in pregled urejenosti – 7.850 kosov Meritev obrabe tirnic – 1.940 kosov Pregled in meritve izoliranih stikov – 3.262 kosov Pregled in meritve kretnic – 2.568 kosov Meritev smernega in niveletnega položaja tira - 220 km Pregled in meritve tira z merilnim vlakom - 2.883.150 m Ročno merjenje tira - 11.000 m Ročno merjenje kretnic - 450 kosov Ročno merjenje in pregled neprekinjeno zavarjenih tirov - 9.500 m

Ob upoštevanju zakonskih predpisov dela na progi zajemajo:

- 1. Nadgradnja proge** - Nadgradnje, ki se izvajajo v sklopu vzdrževalnih del v javno korist, se izvajajo na podlagi Pravilnika o projektni dokumentaciji. Nadgradnja proge pomeni vsako večjo spremembo na podsistemu ali delu podsistema, ki izboljša celotno tehnično stanje podsistema. Infrastrukturni podsistem proge se šteje za nadgrajenega, kadar sta izboljšana vsaj parametra tehničnega stanja osna obremenitev in svetli profil proge. Direktiva 2008/57/ES določa, da je dovoljeno projektiranje novih in nadgrajenih prog tako, da bodo omogočale večje svetle profile, večje osne obremenitve, višje progovne hitrosti in daljše vlake.
- 2. Obnova proge** - Obnova proge pomeni vsako večjo zamenjavo na podsistemu ali delu podsistema, ki ne spremeni celotnega delovanja podsistema. Infrastrukturni podsistem zajema objekte in naprave spodnjega in zgornjega ustroja proge, ki zagotavljajo ustrezno nosilnost za varno vožnjo železniških vozil. Z vidika učinka je obnova isto kot nadgradnja, vendar brez spremembe parametrov tehničnega stanja.
- 3. Zamenjave v okviru vzdrževanja** - Zamenjave v okviru vzdrževanja sodijo med redna vzdrževalna dela in predstavljajo zamenjavo komponent pri preventivnem in korektivnem vzdrževanju z deli, ki imajo identično funkcijo. Cilj zamenjave v okviru vzdrževanja je postopen prispevek k razvoju interoperabilne proge. Za interoperabilnost pa je potrebno skupino osnovnih parametrov (trasa proge, parametri tira, kretnice in križišča, nosilnost tira zaradi uporabljene obremenitve, nosilnost konstrukcij zaradi prometne obremenitve in peroni) usposobiti kot celoto. Vsi elementi morajo biti usklajeni s TSI Infrastrukturo.

5. MERILNI VLAKI

5.1 Uvod

Iz varnostnih in ekonomskih razlogov je treba konstantno pregledovati stanje železniških prog. V ta namen se ustanavljajo inšpekcijske službe, ki imajo za nalogo:

- podati prave informacije o trenutnih pogojih na železniški progi (podatke, pridobljene s pregledi in meritvami),
- določiti vzdrževalna dela za zagotovitev ustrezne stopnje varnosti, če je to potrebno in
- vedno izbrati najbolj primeren datum meritev.

Na območju slovenskih železnic se izvajajo meritve na podlagi Zakona o varnosti v železniškem prometu in Pravilnika o zgornjem ustroju železniških prog.

Med letoma 2002 in 2004 so bile v Sloveniji izvedene meritve železniškega omrežja z merilnima vlakoma UFM 120 in UST 96. Merilni vlak UFM 120 je meril geometrijo proge (stabilnost leve tirnice, stabilnost desne tirnice, smer desne tirnice, vegavost na bazi 6 m, vegavost na bazi 2,5 m, tirno širino, nadvišanje, horizontalne krivine) in izvajal meritve vozne mreže (z dvignjenim tokovnim odjemnikom, s spuščnim tokovnim odjemnikom). Merilni vlak UST 96 pa je meril obrabo tirnic (bočno obrabo leve tirnice, bočno obrabo desne tirnice, nagib plošče levo, nagib plošče desno, višinsko obrabo leve tirnice, višinsko obrabo desne tirnice, zob levo, zob desno, tirno širino, horizontalne krivine) in izvajal meritve z vrtinčastim tokom za odkrivanje napak na glavi tirnice.

Istočasno so se z merilnim vlakom UFM 120 izvajale meritve geometrije proge in vozne mreže, in sicer 3 krat letno na glavnih progah in 2 krat letno na regionalnih progah. Z merilnim vlakom UST 96 pa so se izvajale meritve obrabe tirnic 2 krat letno po vseh progah, dodatno pa še ročne meritve na mestih, kjer je merilni vlak pokazal napako.



Slika 5: Merilni vlak UFM 120

(Vir: <http://vlaki.net/dodatno/drezina2.html>)

Slika 6: Merilni vlak UST 96

(Vir: <http://www.vlaki.net/dodatno/drezina1.html>)

Od leta 2005 se v sklopu rednega vzdrževanja prog izvajajo meritve geometrije proge z madžarskim merilnim vlakom EM 120 z oznako FMK 004. Meritve potekajo trikrat na leto na vseh glavnih in regionalnih progah. Ultrazvočna kontrola tirnic ter meritve prečnega profila tirnic pa se na celotnem omrežju opravljajo z merilnim vlakom AB25-SDS-AB35. Po ultrazvočni kontroli se opravljajo tudi ročne ultrazvočne meritve napak, ki so bile zaznane z merilnim vlakom.



Slika 7: Merilni vlak EM 120 z oznako FMK 004

(Vir: <http://www.vlaki.info/forum/viewtopic.php?f=1&t=1326>)

5.2 Merilni vlak EM 120 z oznako FMK 004

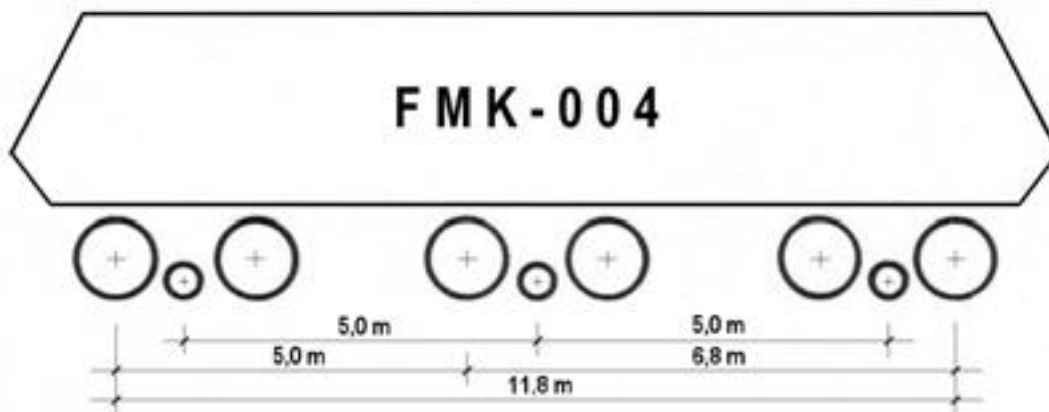
Kontaktni merilni vlak EM 120 z oznako FMK 004 je merilno in inšpekcijsko vozilo, ki meri geometrijo železniške proge (širino tira, vegavost tira, smer tira, nadvišanje in stabilnost tira). Ta merilni vlak lahko vozi z največjo potovalno hitrostjo 100 km/h, ki je hkrati tudi največja hitrost merjenja.



Slika 8: Kabina merilnega vlaka EM 120 z oznako FMK 004

(Vir: <http://www.vlaki.info/forum/viewtopic.php?t=2691&view=previous>)

Podatki se merijo s tremi merilnimi kolesi, ki se nahajajo na sredinskem podstavnem vozičku merilnega vlaka. Meritve glavnih geometrijskih parametrov se izvajajo na vsakih 25 cm železniške proge.



Slika 9: Število koles ter razdalja med merilnimi in voznimi kolesi

(Vir: Predstavitveni dokument merilnega vlaka EM 120 z oznako FMK 004 (posredovan s strani Slovenskih železnic, d.o.o.))

Vsi podatki se v času meritev shranjujejo v računalniku, ki se nahaja v merilnem vlaku EM 120 z oznako FMK 004. Računalnik v merilnem vlaku uporablja večnivojsko mejno

regulacijo (A, B, C,...). Tak merilni sistem je primeren za testiranje novih železniških prog po vzdrževanju ali med obratovanjem. Mejna regulacija se nanša na:

- »A« gradnja z novim materialom,
- »Ah« gradnja z že uporabljenim materialom,
- »B« vzdrževanje in
- »C« obratovanje.



Slika 10: Računalnik v merilnem vlaku EM 120 z oznako FMK 004

(Vir: <http://www.vlaki.info/forum/viewtopic.php?t=2691&view=previous>)

Kljub visoki kakovosti sodobnih železniških prog je varnostno in ekonomično vzdrževanje prog še vedno zelo pomembno. Najnovejši razvoj na tem področju predstavlja program PATER za diagnostiko železniške proge. PATER shranjuje posnetke železniških prog in nadzoruje njihovo stanje. Njegove naloge so: vodenje podatkov tehničnega in merilnega sistema, prikaz stanja na progi, izdelava plana vzdrževalnih del, izbira primerne tehnologije, ocena izvedbe vzdrževalnih del. Ta program omogoča, da so vsi podatki shranjeni v bazi in se jih lahko naloži za katerokoli lokacijo. V primeru dovoljenja se do njih lahko dostopa tudi preko interneta. Program dovoljuje zbiranje in nadgradnjo vseh podatkov na enem mestu in zato lahko uporabnik razpolaga z najnovejšimi podatki.

Program zagotavlja fleksibilno vodenje podatkov, pridobljenih z različnimi merilnimi sistemi. Vrednosti lokalnih napak za posamezno vrsto prog se analizirajo z inženirskim postopkom, s katerim se določi oceno prometne varnosti in kakovost proge. Program lahko z merjenimi

podatki pripravi različne statistične analize, na podlagi katerih se naredijo poročila, ki vsebujejo:

- natančno število napak (tj. napak, ki prekoračijo dovoljeno mejno vrednost),
- ocenjene vrednosti posameznih odsekov in
- statistično poročilo za vsak kilometer proge.

Glavne lastnosti madžarskega merilnega vlaka EM 120 z oznako FMK 004 so:

- takojšnji meritveni diagrami,
- avtomatično vrednotenje,
- beleženje statistike,
- ocena tirov in
- ponovitev testnih rezultatov.

Meritveni diagrami se avtomatsko izrisujejo že v času vožnje merilnega vlaka. Merjeni parametri so že vnaprej označeni. Poteki diagramov omogočajo boljšo preglednost meritev in lažje določanje napak na posameznem odseku železniške proge. Na meritvenem diagramu so označeni naslednji elementi:

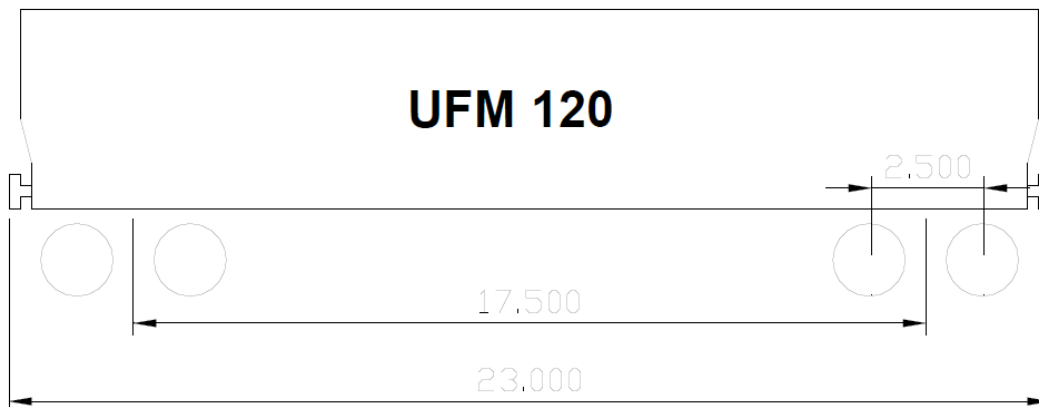
- razdalja (na vsakih 100 m),
- mejne vrednosti parametrov,
- zaznavanje ukrivljenosti,
- hitrost (na vsakih 100 m) in
- meritvene vrednosti in ocena vrednosti (na vsakih 500 m).

Preglednica 42: Tehnični podatki merilnega vlaka EM 120 z oznako FMK 004 (Vir: http://www.mavkvf.hu/index.php?f=vaganydiagnosztika_fm004):

Dolžina	15 m
Masa	52 t
Največja potovalna hitrost	100 km/h
Največja hitrost med merjenjem	100 km/h
Merjenje podatkov	Mehansko / z merilnimi kolesi
Prenos podatkov	Mehansko / elektronsko
Beleženje podatkov	Računalniška kontrola / ZIP disk

5.3 Merilni vlak UFM 120

Nizozemski merilni vlak UFM 120 omogoča merjenje geometrije proge z veliko natančnostjo. Vozi lahko z največjo hitrostjo merjenja 120 km/h, meritve (merijo se vsi odseki prog) pa izvajajo ne glede na smer vožnje. Izvajanje meritev ne spreminja voznega reda potniških in tovornih vlakov.



Slika 11: Razdalja med kolesi in dolžina UFM 120 (Vir: http://eprints.fgg.uni-lj.si/209/1/GRV_0276_Juvan.pdf)

Merilni vlak UFM 120 se uporablja kot kombinacija brezkontaktnega laserja in inertnega merilnega sistema. Točna lokacija meritev, ki se izvajajo na vsakih 25 cm, se določi na osnovi inertnega sistema in D-GPS podatkov. Merilni vlak UFM 120 v osnovi meri glavne geometrijske parametre, lahko pa se dodajo še drugi parametri. Podatki o progi se zbirajo in vodijo v realnem času. Računalniški program dodatno prikaže tudi podatke, ki presegajo dovoljene vrednosti. Te napake se posebej označi in nato po končani merilni vožnji posreduje naprej v obliki poročila.

Poleg merjenja geometrije proge se za zagotavljanje varnosti izvaja tudi video snemanje. Proga mora biti s perspektive voznika čista, to je brez vegetacije ali drugih ovir na progi. Glavni namen video nadzora je vizualni prikaz rezultatov, ki so sicer predstavljeni le v obliki števil in grafov.

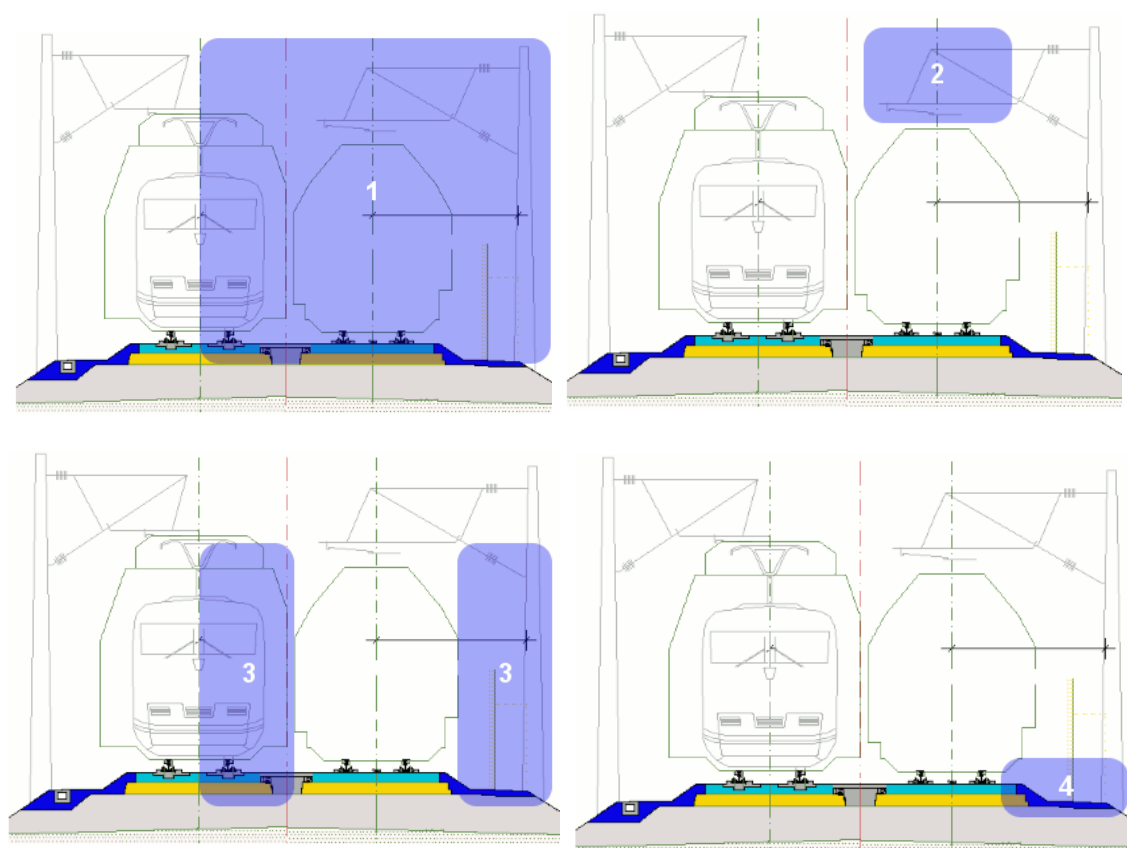
Poleg geometrijskih in video podatkov, je treba pogosto pridobiti tudi podatke v zvezi s strukturo tal. Merilni vlak UFM 120 zato opravlja tudi georadarske meritve. Namen tega merilnega sistema je:

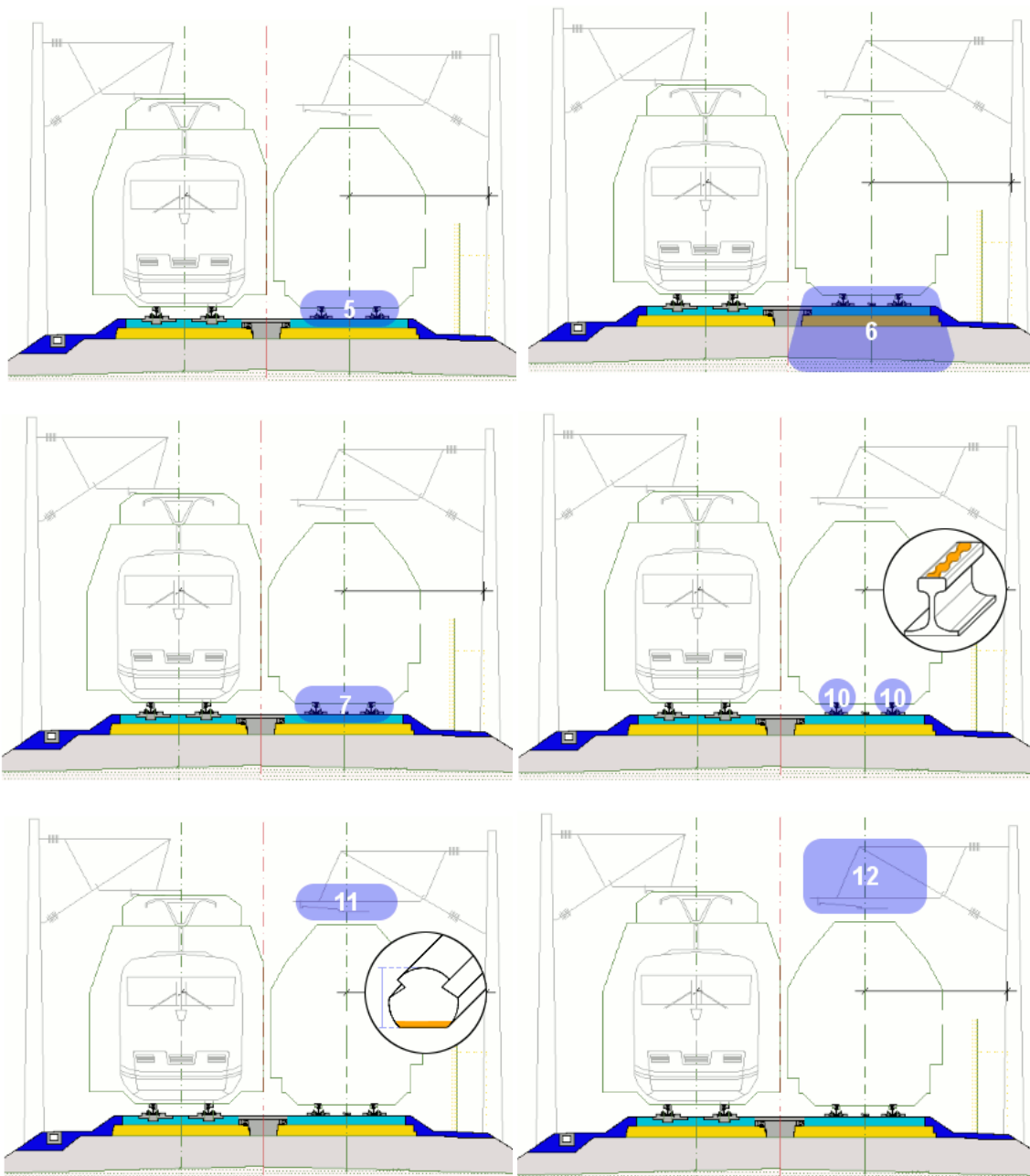
- izmeriti globino gramozna in ugotoviti njegovo homogenost / nehomogenost,
- razlikovati med čistim in umazanim gramozom,
- testirati širjenje vlage in identificirati mokro podlago,
- prepoznati cevi in kable ter
- določiti prerez podlage po slojih do globine 34 m.

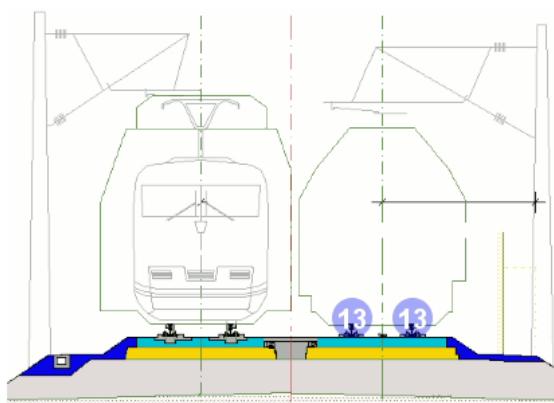
Vse merjene podatke geometrije proge, video slike in informacije o podlagi se nato zbere v eno bazo podatkov skupaj s še ostalimi podatki meritev (npr. meritve tirnic). Kombinacija teh podatkov na enem mestu omogoča upravljavcem, da izberejo cenovno najugodnejši vzdrževalni program.

Rezultati meritev v realnem času se lahko takoj po končani meritvi natisnejo ali pa se pošljejo upravljavcu po kontroli in potrditvi rezultatov v določenih centrih v obliki ASCII formata.

Spodnja slika prikazuje posamezne dele železniške proge, ki jih meri merilni vlak UFM 120.







Slika 12: 1 – video nadzor, 2 – geometrija vozne mreže, 3 – progovno območje, 4 – kontrola vegetacije, 5 – tirna širina, 6 – georadar, 7 – tirna geometrija, 10 – napake kratkih valov na glavi tirnice, 11 – obraba kontaktnega voda, 12 – gibanje kontaktnega voda, 13 – presek tira
(Vir: http://www.eurailscout.com/introduction_en.html)

Preglednica 43: Karakteristike merilnega vlaka UFM 120 (Vir: http://www.eurailscout.com/5-measurement-units_en.html):

Datum izdelave	1998
Razdalja med tirnicama oz. kolesoma	1.435 mm
Dolžina voza od odbijača do odbijača	23.000 mm
Širina vlaka	3.100 mm
Višina vlaka nad glavo tira	4.500 mm
Kolesna razdalja	2.500 mm
Premer kolesa	920 mm
Minimalni obračalni krog	90 m
Masa vlaka	Pribl. 70 t
Osna obremenitev	Pribl. 17.5 t
Največja hitrost	120 km/h

»se nadaljuje ...«

»... nadaljevanje«

Največja hitrost koles	120 km/h
Največja hitrost med merjenjem	120 km/h
Varnostni zavorni in potovalni kontrolni sistem	ATB, PZB, Sifa (NL, D, AT, CH, NOR)
Potovalni radijski sistem	GSM-R (Europa), Mesa 2000 (D, A, CH), Telerail (NL)

5.4 Merilni vlak EM 250 za izvajanje meritev na progah za visoke hitrosti

V Avstriji se uporablja merilni vlak EM 250, ki je izdelan kot običajen transportni vlak, le da je opremljen z dvema merilnima sistemoma, in sicer z laserskim merilnim sistemom za določitev tirne širine in laserskim merilnim sistemom za določitev profila tira. Oba sistema delujeta brez tirnega kontakta. Merilni vlak snema in zbira podatke geometrijske kakovosti proge pri hitrostih do 250 km/h na vsakih 25 cm. Na vsakih 10 m profila tira obstaja več kot 500 točk na tirni glavi z merjenimi podatki, ki služijo za analizo novih meritev stanja proge (odstopanja od mejnih vrednosti). Pravilno mesto meritve se določi z navigacijskim sistemom GPS, ki se nahaja na vozilu.

Merilni vlak za visoke hitrosti EM 250 se uporablja za raziskavo geometrije proge. Z njegovo pomočjo se ugotavljajo varnostne razmere za vožnjo in pridobivajo podatki o stanju geometrije proge, na podlagi katerih se izvajajo potrebna vzdrževalna dela. Dva fiksno pritrjena nekontaktna sistema optičnih meritev, ki se nahajata na merilnem nosilcu med obema osema, se uporabljata za skeniranje robov tirov in profila tirne glave, torej za snemanje tirne širine in horizontalne ukrivljenosti tira. Vsak sistem optičnih meritev vsebuje laser in odsevno ogledalo, ki zaznava potek laserskega žarka. Na nosilcu se nahaja tudi linijska skenirna kamera, ki meri horizontalno razdaljo med svetlo točko, ki jo povzroči laserski žarek na robu tira, in merilnim nosilcem.



Slika 13: Merilni vlak EM 250 za visoke hitrost

(Vir: http://www.plassertheurer.com/pdfs/publications/rei_0003.pdf)

5.4.1 Baza podatkov geometrije proge

V preteklosti so se rezultati meritev geometrije proge shranjevali v pisnih dokumentih, vendar tak način ni bil najbolj priročen za iskanje določenih podatkov meritev za določeno lokacijo. Danes se uporabljajo manjše baze podatkov, ki vsebujejo potrebno topologijo mreže z vsemi linijami, križišči med linijami in številom prog v liniji. Vsebujejo tudi največjo dovoljeno hitrost in več kot 1000 sinhroniziranih GPS točk. Vsebinsko manjše baze podatkov se prenese preko brezžične LAN povezave na merilni vlak pred meritvijo. Ko je naložena na sistem v vozilu, mora operater samo še paziti, da vozi na pravi liniji. Tako se zagotovi merjenje samo na veljavnih lokacijah. To je ključni pogoj za uspešno nadgradnjo baze podatkov, ki se izvede po končani meritvi z uporabo brezžične LAN povezave.

5.5 Merilni vlak EM-SAT 120

V Avstriji se uporablja tudi merilni vlak EM-SAT 120, ki je nadomestil predhodne teptalne stroje z ročnim principom izvajanja meritev. Meritve so se izvajale na vsakih 5 m proge. Operater teptalnega stroja je nato moral prebrati vrednosti in jih ročno vpisati v računalnik. To ročno metodo je sedaj nadomestil merilni vlak EM-SAT 120, ki posname dejansko geometrijo proge z uporabo elektronskega laserja. Štiriosno vozilo vozi s samostojno pogonsko hitrostjo 120 km/h. Izračunane korekcijske vrednosti se elektronsko posredujejo preko diska na avtomatsko voden računalnik teptalnega stroja. Tako se omogoči največja natančnost in istočasno prepreči napaka prenosa. EM-SAT 120 je opremljen z GPS navigacijskim sistemom. Za upravljanje EM SAT 120 zadostujeta dva človeka.



Slika 14: Merilni vlak EM-SAT120 (Vir:

http://www.plassertheurer.com/pdfs/publications/rei_0003.pdf)

6. PRAKTIČNI DEL

V Sloveniji imamo štiri Sekcije za vzdrževanje prog (v nadaljevanju SVP), ki so zadolžene za vzdrževalna dela na glavnih in regionalnih železniških progah. Te sekcije so SVP Ljubljana, SVP Maribor, SVP Celje in SVP Postojna. Meritve na železniških progah, ki sem jih uporabil v praktičnem delu diplomske naloge, sem pridobil na SVP Ljubljana. V okvir SVP Ljubljana spadajo naslednji progovni odseki, na katerih se izvajajo meritve glavnih geometrijskih parametrov: Ljubljana – Hrastnik, Lj. Šiška – Kamnik Graben, postaja Ljubljana, Zalog – Ljubljana, Grosuplje – Kočevje, Ljubljana – Novo mesto – Metlika – d.m., Novo mesto – Straža, Sevnica – Trebnje, Ljubljana – Jesenice – d.m., postaja Jesenice, Kranj – Naklo, Jesenice – Bohinjska Bistrica in Ljubljana – Sežana – d.m. Pred vsako meritvijo se izdela dnevni raspored predvidenih merilnih voženj z merilnim vozilom EM 120 z oznako FMK 004 in se posreduje Sekciji za promet (v nadaljevanju SP). Vodenje prometa na območju slovenskih železnic se deli na SP Ljubljana, SP Maribor in SP Postojna.

Merilno vozilo vozi na progah Slovenske železnice v skladu s časovnim rasporedom merilnih voženj in sicer kot izredna pošiljka. Merilne vožnje se opravljajo izključno po glavnih prevoznih tirih, razen če drugače ne zahtevajo spremljevalci merilnega vlaka. Vsaka področna SVP mora za svoje območje zagotoviti spremljevalca v merilnem vlaku. Prvi spremljevalec vstopi na postaji Hodoš. Največja hitrost merilnega vlaka med merjenjem je 100 km/h. Po končanih meritvah merilni vlak EM 120 z oznako FMK 004, ki je v lasti madžarskega podjetja MAV KfV KFT, zapusti Slovenijo. MAV KfV KFT nato pošlje Slovenskim železnicam, d.o.o., izpis opravljenih meritev v tabelarični in grafični obliki.

Napake, ugotovljene pri prvem merjenju v letu 2012 na omenjenih progovnih odsekih, ki spadajo v merilno območje SVP Ljubljana, so prikazane v tabelarični obliki. Za vsak progovni odsek je navedena pripadajoča stacionaža, dolžina in velikost napake posameznih parametrov ter mesto maksimalne napake. Za posamezen odsek stacionaže je predlagana dovoljena hitrost. Za vse glavne in regionalne proge SVP Ljubljana je bila narejena analiza, ki prikazuje število in dolžino napak za posamezen parameter geometrije proge.

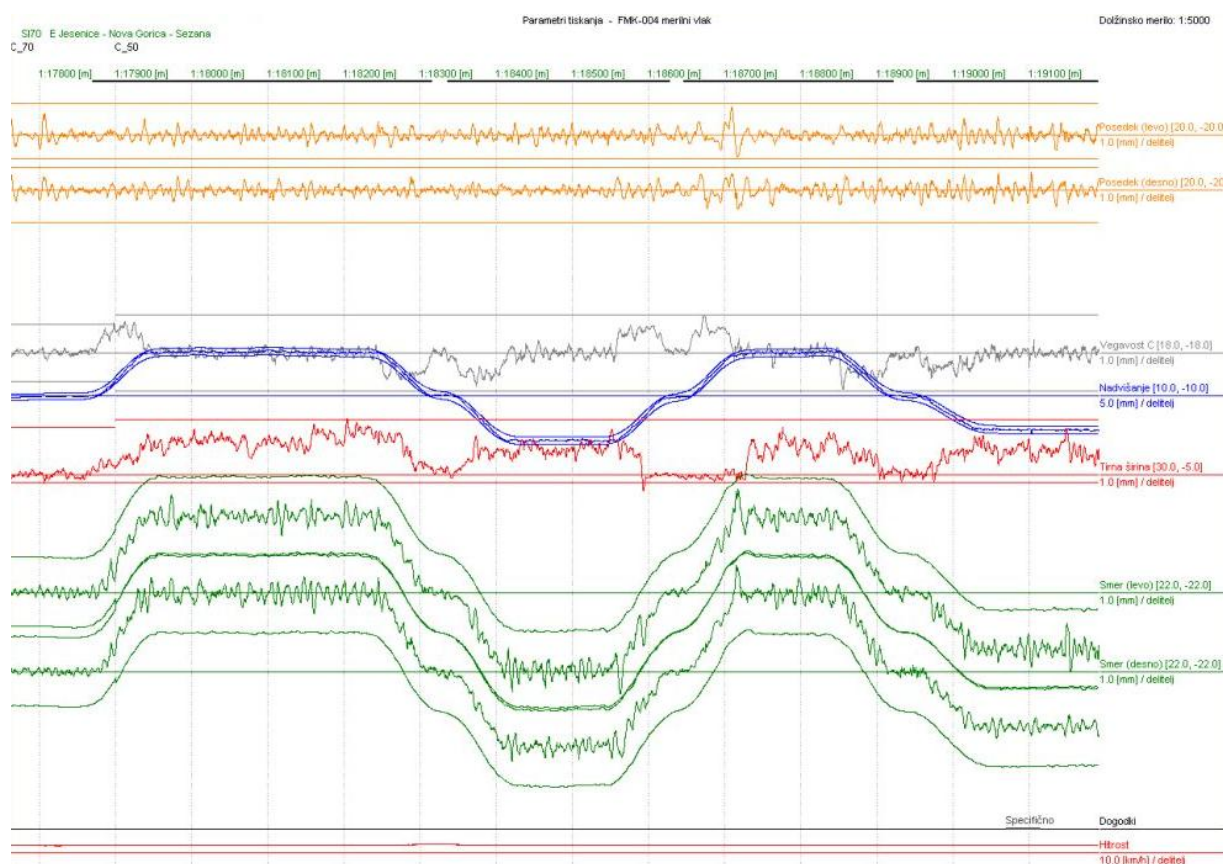
Preglednica 44: Število in dolžina napak za posamezen parameter geometrije tira (Vir: SVP Ljubljana):

Parameter	Podatki	Skupaj
Nadvišanje	Število napak	779,00
	Dolžina napak [m]	1.544,00
Razširitev	Število napak	9,00
	Dolžina napak [m]	14,25
Smer (desni)	Število napak	3.475,00
	Dolžina napak [m]	7.790,00
Smer (levi)	Število napak	3.394,00
	Dolžina napak [m]	7.679,00
Stabilnost (desni)	Število napak	199,00
	Dolžina napak [m]	336,50
Stabilnost (levi)	Število napak	209,00
	Dolžina napak [m]	349,75
Vegavost B=6.0 m	Število napak	20,00
	Dolžina napak [m]	33,75
Zožitev	Število napak	1.942,00
	Dolžina napak [m]	3.323,75
SKUPAJ Število napak		10.027,00
SKUPAJ Dolžina napak [m]		21.071,00

6.1 Analiza meritev parametrov za odsek Jesenice – Bohinjska Bistrica

Meritve parametrov na progovnem odseku Jesenice – Bohinjska Bistrica, ki sem jih uporabil za analizo, so se izvajale v letu 2011 in 2012 kot prva meritve. Obseg podatkov sem vzel od km 17+800 do km 21+700. Vsi rezultati glavnih geometrijskih parametrov so prikazani z grafikonom merilne vožnje. V analizi sem primerjal grafikon merilne vožnje iz leta 2011 (kritične točke določenega parametra) z grafikonom merilne vožnje iz leta 2012 po opravljenih vzdrževalnih delih.

Na določenem delu železniške proge zelo redko vrednosti vseh parametrov odstopajo od mejnih vrednosti. Na posameznem delu proge kritične vrednosti ponavadi nastopijo samo za določen parameter. Pri sanaciji železniške proge zaradi kritične vrednosti enega parametra pa se lahko izboljšajo tudi ostali parametri. Za obravnavani progovni odsek Jesenice – Bohinjska Bistrica so bile najslabše merjene vrednosti za tirno širino.



Grafikon 9: Grafikon merilne vožnje Jesenice - Bohinjska Bistrica, km 17+800 do km 19+100

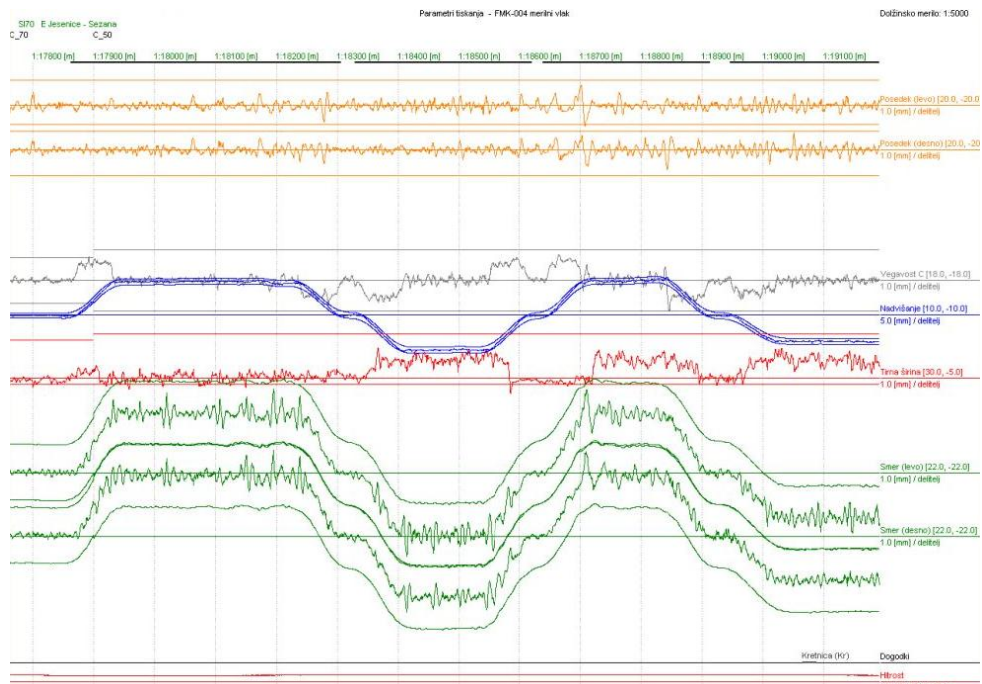
10. 05. 2011

(Vir: SVP Ljubljana)

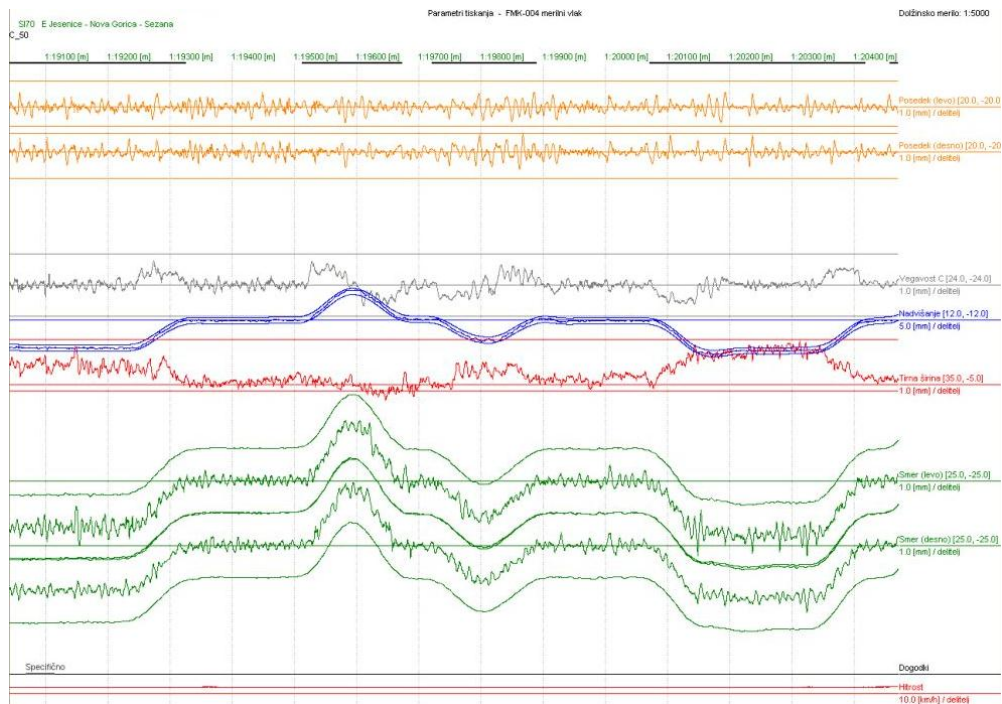
Na celotnem loku železniške proge od km 17+917,90 do km 18+229,25 in deloma v prehodnici od km 18+229,25 do km 18+275 so bile tirnice prekomerno obrabljene (niso bile več primerne za zamenjavo tirnih trakov). Za izboljšanje vrednosti tirne širine je bila potrebna zamenjava pragov, ki se je izvedla jeseni 2011 s strojno zamenjavo približno 619 pragov.

Od km 18+700 do km 18+900 je bila potrebna zamenjava tirnih trakov. Zunanjo tirnico je bilo treba prestaviti na notranjo stran, na zunanji strani pa položiti drugo, že uporabljeno tirnico iz kontra loka.

Prva meritev v letu 2012 je pokazala izboljšanje predhodnega stanja, kar je razvidno iz grafikona merilne vožnje.

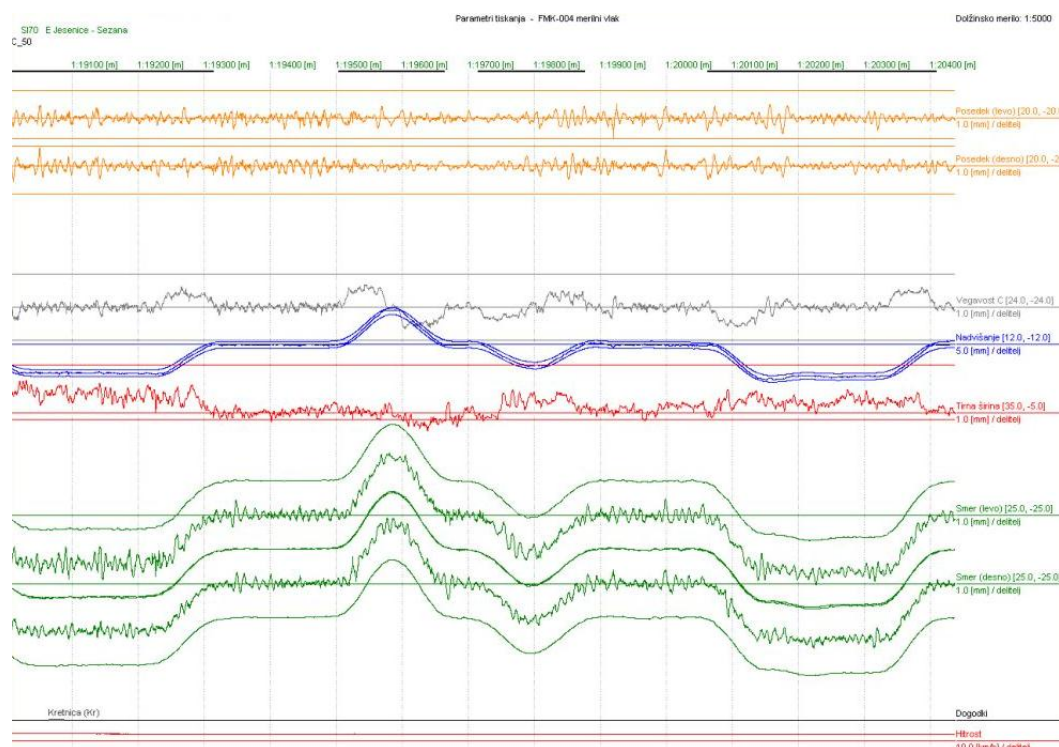


Grafikon 10: Grafikon merilne vožnje Jesenice - Bohinjska Bistrica, km 17+800 do km 19+100 15. 05. 2012
(Vir: SVP Ljubljana)



Grafikon 11: Grafikon merilne vožnje Jesenice - Bohinjska Bistrica, km 19+100 do km 20+400 10. 05. 2011
(Vir: SVP Ljubljana)

Od km 20+140 do km 20+350 je meritev geometrijskih parametrov pokazala, da tirna širina dosega vrednosti, ki so tik pod dovoljeno mejno vrednostjo. Za omenjen odsek je bilo treba opraviti vzdrževalna dela, tako da se je zamenjalo tirne trakove.

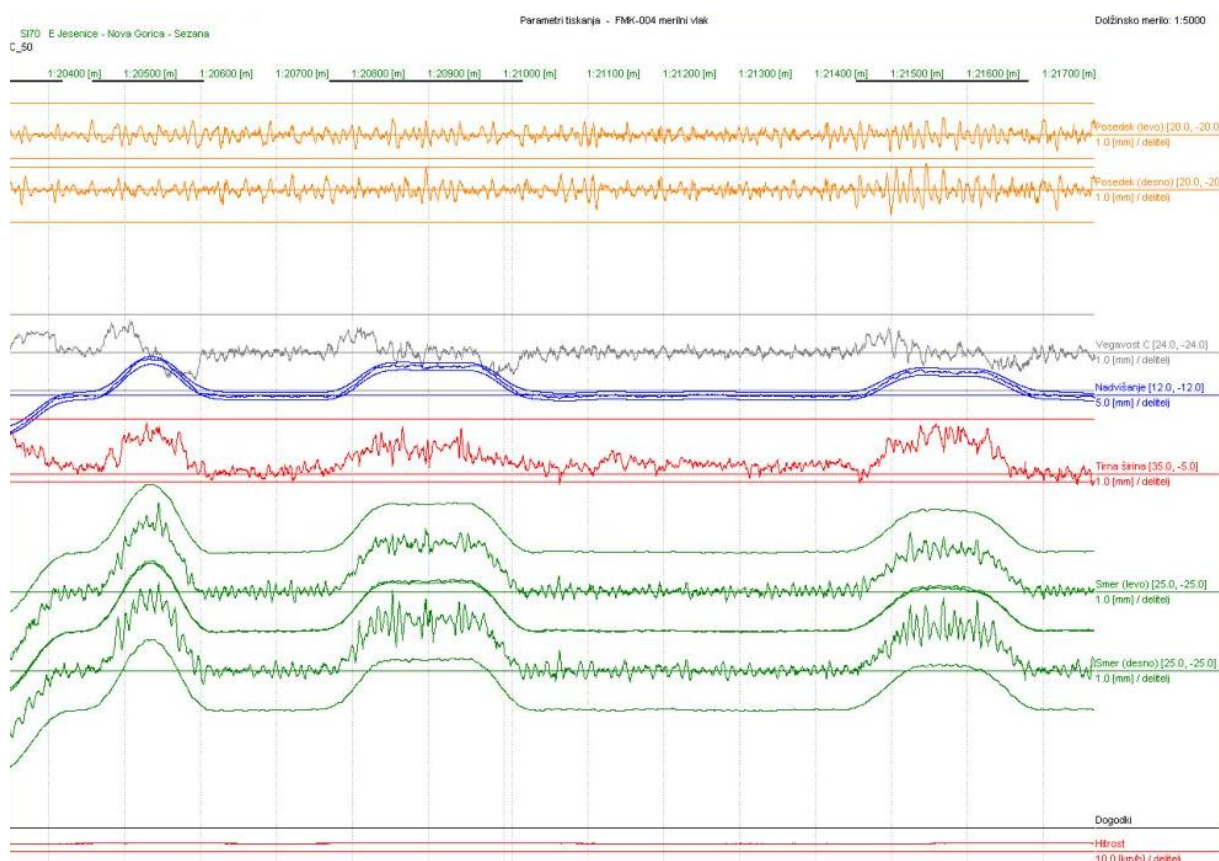


Grafikon 12: Grafikon merilne vožnje Jesenice - Bohinjska Bistrica, km 19+100 do km 20+400 15. 05. 2012
(Vir: SVP Ljubljana)

Meritev v letu 2012 je pokazala poleg izboljšanja tirne širine tudi izboljšanje ostalih geometrijskih parametrov (stabilnosti, smeri tira).

Dovoljene velikosti napak (v mm) za odsek Jesenice – Bohinjska Bistrica:

- stabilnost (levo) [20,0; -20,0],
- stabilnost (desno) [20,0; -20,0],
- smer (levo) [10,0; -10,0],
- smer (desno) [10,0; -10,0],
- zožitev [-9,0] in
- nadvišanje [10,0; -10,0].

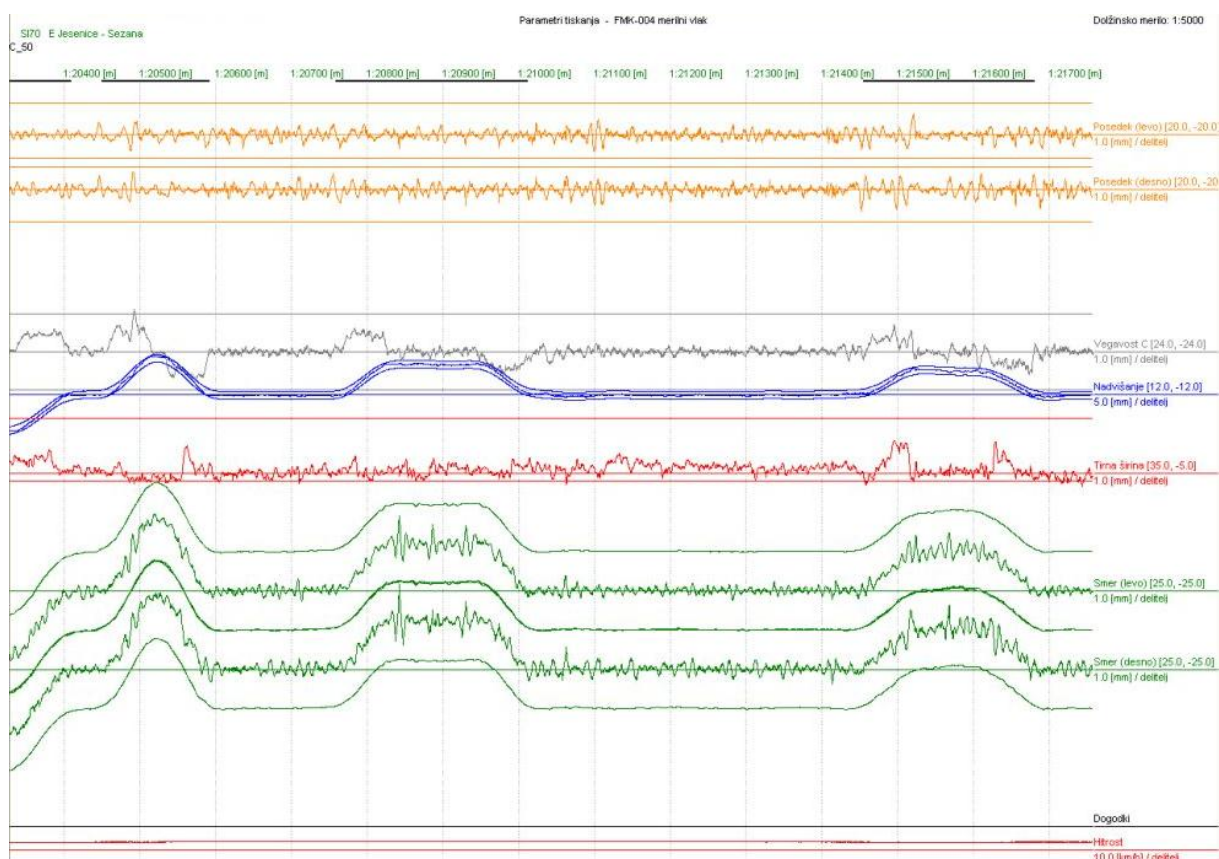


Grafikon 13: Grafikon merilne vožnje Jesenice - Bohinjska Bistrica, km 20+400 do km 21+700 10. 05. 2011
(Vir: SVP Ljubljana)

Od km 20+501 do km 20+528,50 je bila zaradi zvečane vrednosti tirne širine potrebna zamenjava tirnih trakov. Na posameznih delih kritičnega odseka pa je bila potrebna tudi zamenjava trhljih pragov (približno 30 kosov).

Od km 20+811 do km 20+949 so bile tirnice prekomerno obrabljene in niso bile primerne za zamenjavo tirnih trakov. Potrebna je bila strojna zamenjava pragov v loku.

Vsa sanacijska dela so bila realizirana v juniju in septembru 2011. Prve meritve v letu 2012 so nato pokazale izboljšanje geometrijskih parametrov zaradi opravljenih vzdrževalnih del. Razlika je vidna iz grafikonov merilnih voženj.



Grafikon 14: Grafikon merilne vožnje Jesenice - Boh. Bistrica, km 20+400 do km 21+700

15. 05. 2012

(Vir: SVP Ljubljana)

Meritve glavnih geometrijskih parametrov so prikazane tudi v tabelarni obliki. Za vsak kritičen parameter je naveden progovni odsek s pripadajočo stacionažo, dolžina in velikost napake ter mesto maksimalne napake. Glede na dovoljeno vrednost napake je izračunana velikost prekoračitve in predlagana dovoljena hitrost.

Iz prikaza rezultatov prve meritve v letu 2012 ni več zaznati kritičnih vrednosti tirne širine. Spodnja preglednica prikazuje parametre od km 17+927 do km 21+678 in stacionažo prekoračenih mejnih vrednosti. Prekoračene mejne vrednosti je treba sankcionirati, če merjene vrednosti močno odstopajo od dovoljenih na daljši dolžini in vplivajo na varnost vožnje. Do izvajanja vzdrževalnih del se omeji največja dovoljena hitrost.

Preglednica 45: Napake v geometriji proge Jesenice – Bohinjska Bistrica 2012-1 (Vir: SVP Ljubljana):

Progovni odsek	T i r	Parameter	Stac. od	Stac. do	Dolžina napake [m]	Mesto max napake	Velikost napake [mm]	Dovoljena velikost napake [mm]	Prekoračitev [mm]
Jesenice - Bohinjska Bistrica	E	Nadvisanje	17+927	17+928	0,75	17+928	10,31	10	0,31
	E	Nadvisanje	17+929	17+929	0,25	17+929	10,09	10	0,09
	E	Smer-desni	17+931	17+931	0,25	17+931	10,03	10	0,03
	E	Nadvisanje	17+931	17+932	1	17+931	11,11	10	1,11
	E	Smer-levi	17+930	17+932	1,75	17+931	13,80	10	3,80
	E	Smer-levi	18+014	18+014	0,75	18+014	-11,99	-10	-1,99
	E	Smer-desni	18+019	18+019	0,75	18+019	13,12	10	3,12
	E	Smer-levi	18+018	18+019	1,25	18+019	16,26	10	6,26
	E	Smer-levi	18+024	18+024	0,75	18+024	-12,14	-10	-2,14
	E	Smer-levi	18+106	18+106	0,75	18+106	11,63	10	1,63
	E	Smer-levi	18+111	18+112	1	18+111	-11,68	-10	-1,68
	E	Smer-levi	18+150	18+150	0,75	18+150	12,38	10	2,38
	E	Smer-desni	18+148	18+150	2,5	18+150	14,75	10	4,75
	E	Smer-desni	18+153	18+155	2,25	18+154	-13,44	-10	-3,44
	E	Smer-levi	18+189	18+189	0,75	18+189	-11,09	-10	-1,09
	E	Smer-desni	18+189	18+189	0,5	18+189	-11,07	-10	-1,07
	E	Smer-desni	18+193	18+195	2,5	18+194	19,42	10	9,42
	E	Smer-levi	18+193	18+196	3	18+194	18,64	10	8,64
	E	Smer-levi	18+207	18+209	1,5	18+207	10,83	10	0,83
	E	Smer-levi	18+232	18+233	0,75	18+233	-11,31	-10	-1,31
	E	Nadvisanje	18+237	18+238	1	18+237	12,19	10	2,19
	E	Smer-levi	18+237	18+238	2	18+238	16,90	10	6,90
	E	Smer-desni	18+236	18+238	2,5	18+238	18,42	10	8,42
	E	Smer-levi	18+364	18+366	2	18+365	11,83	10	1,83
	E	Smer-levi	18+407	18+409	1,5	18+408	13,02	10	3,02
	E	Smer-desni	18+412	18+413	1,25	18+413	-13,20	-10	-3,20
	E	Smer-levi	18+411	18+414	3	18+413	-18,48	-10	-8,48
	E	Smer-desni	18+418	18+418	0,25	18+418	10,30	10	0,30
	E	Smer-levi	18+455	18+455	0,25	18+455	-10,01	-10	-0,01
	E	Smer-levi	18+456	18+456	0,25	18+456	-10,01	-10	-0,01
	E	Smer-levi	18+456	18+457	1,25	18+457	-14,32	-10	-4,32
	E	Smer-desni	18+461	18+462	1,25	18+461	11,07	10	1,07
	E	Smer-levi	18+462	18+462	0,5	18+462	10,40	10	0,40
	E	Smer-desni	18+544	18+545	1,25	18+545	-11,90	-10	-1,90
	E	Nadvisanje	18+549	18+549	0,25	18+549	-10,12	-10	-0,12
	E	Smer-levi	18+549	18+550	2	18+549	12,99	10	2,99
	E	Nadvisanje	18+550	18+551	0,75	18+551	-10,43	-10	-0,43
	E	Smer-desni	18+556	18+556	0,25	18+556	-10,38	-10	-0,38
	E	Smer-levi	18+553	18+557	4,25	18+555	-18,43	-10	-8,43
	E	Smer-desni	18+556	18+558	2	18+557	-12,33	-10	-2,33
E	Smer-levi	18+580	18+582	2,75	18+581	13,29	10	3,29	
E	Smer-desni	18+583	18+585	2,25	18+585	12,02	10	2,02	
E	Zozitev	18+584	18+586	1,75	18+585	-12,08	-9	-3,08	
E	Nadvisanje	18+648	18+649	1	18+648	-10,32	-10	-0,32	

»se nadaljuje ...«

»... nadaljevanje«

Jesenice - Bohinjska Bistrica	E	Smer-levi	18+706	18+712	6	18+710	20,04	10	10,04
	E	Smer-desni	18+706	18+712	6,25	18+709	20,67	10	10,67
	E	Smer-levi	18+717	18+722	4,75	18+719	-17,50	-10	-7,50
	E	Smer-desni	18+720	18+724	4,25	18+721	-13,85	-10	-3,85
	E	Smer-desni	18+739	18+739	0,5	18+739	10,58	10	0,58
	E	Smer-levi	18+746	18+747	0,5	18+746	10,19	10	0,19
	E	Nadvisanje	18+839	18+844	5,75	18+842	18,88	10	8,88
	E	Vegavost B=6.0 m	18+844	18+847	2,5	18+845	24,46	21	3,46
	E	Smer-levi	19+006	19+007	1	19+006	-14,79	-10	-4,79
	E	Smer-levi	19+089	19+090	0,75	19+089	11,96	10	1,96
	E	Smer-levi	19+090	19+090	0,25	19+090	10,63	10	0,63
	E	Smer-levi	19+094	19+094	0,75	19+094	-11,93	-10	-1,93
	E	Smer-levi	19+141	19+143	2	19+142	11,80	10	1,80
	E	Smer-levi	19+145	19+147	2,25	19+146	-12,59	-10	-2,59
	E	Smer-levi	19+186	19+187	0,5	19+186	10,77	10	0,77
	E	Smer-levi	19+226	19+226	0,25	19+226	-11,02	-10	-1,02
	E	Smer-levi	19+258	19+259	0,75	19+259	10,41	10	0,41
	E	Smer-levi	19+347	19+348	0,75	19+348	10,39	10	0,39
	E	Smer-desni	19+524	19+524	0,25	19+524	10,08	10	0,08
	E	Smer-desni	19+529	19+530	0,5	19+529	-10,45	-10	-0,45
	E	Nadvisanje	19+596	19+598	2,75	19+597	10,61	10	0,61
	E	Nadvisanje	19+599	19+599	0,25	19+599	10,11	10	0,11
	E	Zozitev	19+608	19+609	1,25	19+609	-9,84	-9	-0,84
	E	Zozitev	19+617	19+618	1,75	19+617	-10,04	-9	-1,04
	E	Zozitev	19+623	19+624	1,25	19+623	-9,50	-9	-0,50
	E	Zozitev	19+625	19+628	3,25	19+626	-11,82	-9	-2,82
	E	Zozitev	19+631	19+632	1,25	19+631	-9,48	-9	-0,48
	E	Zozitev	19+634	19+640	7	19+638	-13,30	-9	-4,30
	E	Smer-desni	19+668	19+670	2,5	19+669	-12,71	-10	-2,71
	E	Zozitev	19+682	19+683	1,75	19+682	-10,34	-9	-1,34
	E	Smer-levi	19+997	19+999	1,75	19+998	11,89	10	1,89
	E	Smer-desni	20+093	20+093	0,25	20+093	-10,03	-10	-0,03
	E	Smer-desni	20+093	20+094	1,25	20+094	-10,56	-10	-0,56
	E	Smer-levi	20+144	20+144	0,75	20+144	10,39	10	0,39
	E	Smer-levi	20+485	20+485	0,75	20+485	-10,73	-10	-0,73
	E	Vegavost B=6.0 m	20+490	20+494	4	20+492	-27,08	-21	-6,08
	E	Nadvisanje	20+512	20+512	0,5	20+512	10,30	10	0,30
	E	Nadvisanje	20+534	20+536	2,75	20+535	11,09	10	1,09
	E	Nadvisanje	20+585	20+589	4,5	20+586	-12,38	-10	-2,38
	E	Smer-desni	20+837	20+837	0,75	20+837	-12,77	-10	-2,77
	E	Smer-levi	20+841	20+843	2	20+842	16,81	10	6,81
	E	Smer-desni	20+841	20+843	2,25	20+842	22,72	10	12,72
	E	Smer-levi	20+846	20+847	1,25	20+847	-12,20	-10	-2,20
	E	Smer-desni	20+846	20+848	2	20+847	-15,41	-10	-5,41
	E	Smer-levi	20+885	20+886	1,25	20+886	12,68	10	2,68
E	Smer-desni	20+925	20+925	0,25	20+925	-10,45	-10	-0,45	
E	Smer-levi	20+929	20+930	1	20+930	11,44	10	1,44	
E	Smer-desni	20+930	20+930	0,5	20+930	12,35	10	2,35	

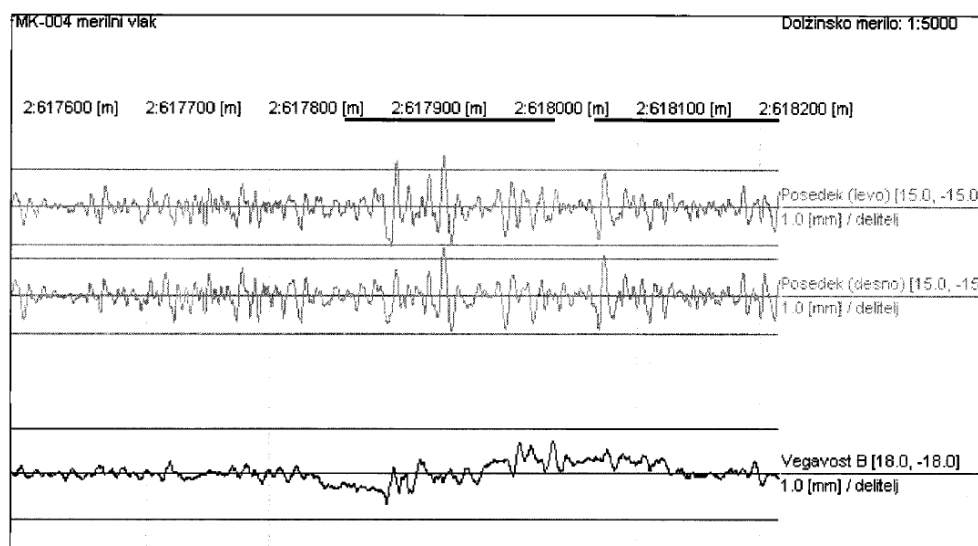
»se nadaljuje ...«

»... nadaljevanje«

Jesenice - Bohinjska Bistrica	E	Smer-desni	21+061	21+062	1,25	21+062	13,28	10	3,28
	E	Smer-desni	21+515	21+518	3,5	21+517	14,56	10	4,56
	E	Nadvisanje	21+520	21+521	0,5	21+520	10,76	10	0,76
	E	Smer-levi	21+523	21+524	0,5	21+524	11,40	10	1,40
	E	Smer-levi	21+567	21+568	1,25	21+567	10,55	10	0,55
	E	Smer-desni	21+567	21+568	1,25	21+568	13,65	10	3,65
	E	Smer-desni	21+622	21+622	0,25	21+622	10,19	10	0,19
	E	Smer-desni	21+623	21+623	0,5	21+623	10,66	10	0,66
	E	Smer-desni	21+628	21+629	1,75	21+628	-12,28	-10	-2,28
	E	Smer-desni	21+675	21+675	0,25	21+675	-10,47	-10	-0,47
E	Nadvisanje	21+677	21+678	0,75	21+678	-10,62	-10	-0,62	

6.2 Analiza meritev parametrov za progovni odsek Lesce Bled – Žirovnica

Dne 19. 04. 2010 je bila opravljena meritev geometrijskega stanja tira na progovnem odseku Lesce Bled – Žirovnica (glavna železniška proga št. 20, Ljubljana – Jesenice – d.m.). Izdelan je bil grafikon, iz katerega je bilo razvidno poslabšano stanje stabilnosti na odseku od km 617+650 do km 621+980. Mesto največje napake je bilo na sredini prvega krožnega loka. Dovoljena mejna vrednost posedka (levo in desno) na progovnem odseku Lesce Bled – Žirovnica znaša [15,0 mm, -15,0 mm].



Grafikon 15: Grafikon merilne vožnje Lesce Bled - Žirovnica, km 617+600 do km 618+200

19. 04. 2010

(Vir: SVP Ljubljana)

Ta grafikon sem primerjal z grafikonom, ki je bil izdelan po opravljenih vzdrževalnih delih.

Na podlagi rezultatov meritve glavnih geometrijskih parametrov z dne 19. 04. 2010 so se oktobra istega leta začela izvajati sanacijska dela, in sicer urejanje gramozne grede z materialom določene granulacije in urejanje tira. V času vzdrževalnih del je bilo treba zagotoviti dnevne zapore med postajama Kranj – Jesenice in med postajama Lesce Bled – Jesenice.

Od km 617+650 do km 617+950 je bilo treba izvesti sanacijo spodnjega ustroja proge. Najprej je potekala demontaža in odstranitev obstoječega tira sistema 60 E1 na dolžini 300 m, nato pa se je izvedel strojni izkop zablatene gramozne grede. Meritev deformacijskega modula je pokazala, da je le-ta v okviru predpisanih vrednosti in da debeline tamponskega sloja ni treba povečati. Utrjevanje je zato potekalo le na obstoječem tamponskem sloju. Na dolžini 200 m, od km 617+650 do km 617+850, je potekalo urejanje gramozne grede s tolčencem eruptivnega izvora, na dolžini 100 m, od km 617+850 do km 617+950, pa s tolčencem apnenčastega izvora. Ponovna montaža tira sistema 60 E1 se je izvedla na obstoječih betonskih pragih s pandrol pritrditvijo. Opraviti je bilo treba tudi strojno smerno in višinsko uravnavanje tira ter strojno profiliranje gramozne grede. Tirnice so se nato varile v neprekinjeno zavarjen tir.

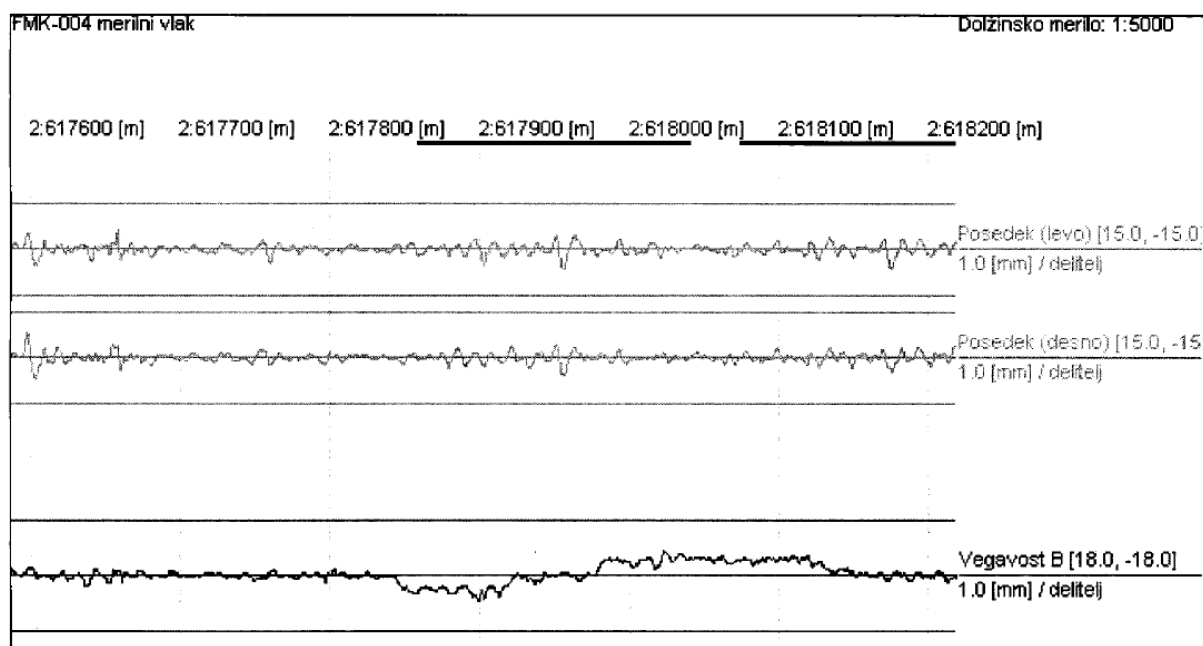
Od km 617+950 do km 621+980 se je izvajalo strojno sejanje materiala gramozne grede po posameznih odsekih:

- strojno sejanje materiala gramozne grede s popolnim izmetom na vagoni s tekočimi trakovi na naslednjih odsekih: od km 618+980 do km 619+060, od km 619+160 do km 619+200, od km 619+850 do km 619+920, od km 620+130 do km 620+160, od km 620+180 do km 620+220, od km 621+000 do km 621+520, od km 621+550 do km 621+630 in od km 621+630 do km 621+850,
- strojno sejanje materiala gramozne grede s popolnim izmetom na vagoni s tekočimi trakovi na naslednjih odsekih: od km 617+950 do km 618+250, od km 618+830 do km 618+980 in od km 621+850 do km 621+980 (predvideno je bilo sejanje z delnim izmetom ob progo),

- strojno sejanje materiala gramozne grede s popolnim izmetom na vagoni s tekočimi trakovi na naslednjih odsekih: od km 619+750 do km 619+850, od km 620+160 do km 620+180 in od km 621+520 do km 621+530,
- strojno sejanje materiala gramozne grede s popolnim izmetom ob progo na odseku od km 619+060 do km 619+160.

Po opravljenem strojnem sejanju se je izvedla dopolnitev gramozne grede z novim tolčencem apnenčastega izvora in strojno smerno ter višinsko uravnavanje tira s strojnim profiliranjem gramozne grede. Na celotnem odseku med postajama Lesce Bled in Žirovnica se je izvršilo tudi varjenje tirnic v neprekinjeno zavarjen tir.

Naslednja meritev geometrijskih parametrov na progovnem odseku Lesce Bled – Žirovnica se je končala 10. 11. 2010. Iz grafikona meritev izhaja, da so se vrednosti posedka na kritičnem območju izboljšale, kar zagotavlja ustrezno stabilnost železniške proge. Zaradi vzdrževalnih del se je izboljšala tudi vegavost. Mejne vrednosti za vegavost na obravnavanem progovnem odseku sicer znašajo [18,0 mm, -18,0 mm]. Meritve so potrdile, da so bili izpolnjeni vsi pogoji za vpeljavo redne vozne hitrosti 100 km/h.



Grafikon 16: Grafikon merilne vožnje Lesce Bled – Žirovnica, km 617+600 do km 618+200

10. 11. 2010

(Vir: SVP Ljubljana)

Prva meritev v letu 2012 ni pokazala nobene napake od km 617+600 do km 621+980 progovnega odseka Lesce Bled – Žirovnica, kar pomeni, da so bila sanacijska dela ustrezno izvedena. Spodnja preglednica dokazuje, da na obravnavanem odseku ni bilo več napak.

Preglednica 46: Napake v geometriji proge Lesce Bled – Žirovnica 2012-1 (Vir: SVP Ljubljana):

Progovni odsek	T i r	Parameter	Stac. od	Stac. do	Dolžina napake [m]	Mesto max napake	Velikost napake [mm]	Dovoljena velikost napake [mm]	Prekoračitev [mm]
Lesce Bled - Žirovnica	E	Stabilnost - desni	617+552	617+554	2,5	617+553	-18,97	-15	-3,97
	E	Stabilnost - levi	617+552	617+555	3	617+553	-21,68	-15	-6,68
	E	Zozitev	622+064	622+066	1,75	622+065	-7,78	-7	-0,78
	E	Zozitev	622+391	622+393	1,5	622+392	-8,24	-7	-1,24
	E	Smer - desni	622+547	622+547	0,25	622+547	-6,25	-6	-0,25

V preglednici je določena tudi omejitev redne vozne hitrosti na 80 km/h.

6.3 Kvaliteta tira na 500 metrov na progovnem odseku Lesce Bled – Žirovnica

Vrednost kvalitete tira na 500 metrov (v nadaljevanju $KT500$) prikazuje stanje tira za 500-metrške odseke. Vrednost $KT500$ je odvisna od vrednosti naslednjih parametrov: stabilnosti leve in desne tirnice, smeri leve in desne tirnice in vegavosti tira. $KT500$ se izračuna po enačbi (Juvan. K., 2007: str. 40):

$$KT500 = (StabL + StabD + SmerL + SmerD + Veg2,5 + Veg6)/3 \quad (19)$$

Vrednost $KT500$ je vsota ploščin med krivuljo posameznega parametra in izhodiščno abscisno črto na 500 metrskem odseku, ki jih dobimo iz grafikona merilne vožnje.

S pomočjo izračunane vrednosti $KT500$ ugotovimo ali je na določenem odseku tir dober, sprejemljiv ali pa so potrebna vzdrževalna dela. Za različne vozne hitrosti so določene različne mejne vrednosti.

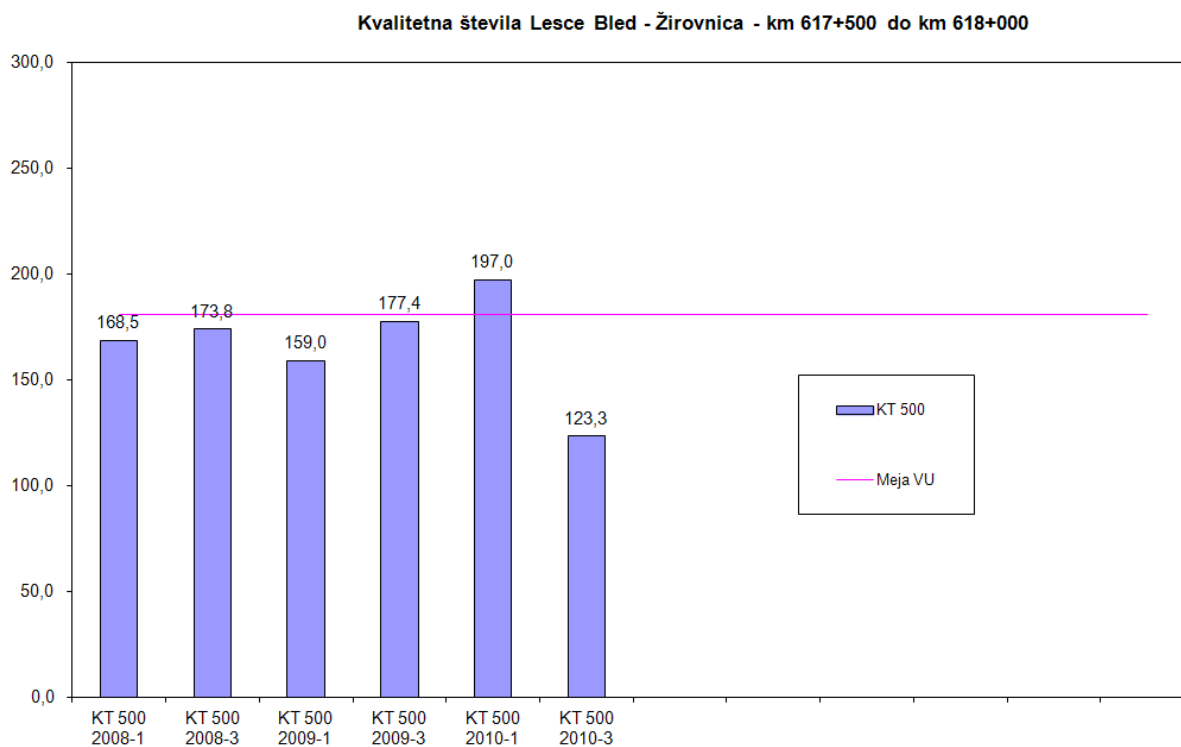
Preglednica 47: Mejne vrednosti $KT500$ za glavne proge (Vir: http://eprints.fgg.uni-lj.si/209/1/GRV_0276_Juvan.pdf)

Hitrostni razred (km/h)	Dober tir	Zadovoljiv tir	Vzdrževalni ukrepi
$V \leq 40$	$KT500 \leq 169$	$169 < KT500 \leq 322$	$322 > KT500$
$40 < V \leq 60$	$KT500 \leq 138$	$138 < KT500 \leq 252$	$252 > KT500$
$60 < V \leq 80$	$KT500 \leq 120$	$120 < KT500 \leq 208$	$208 > KT500$
$80 < V \leq 100$	$KT500 \leq 108$	$108 < KT500 \leq 181$	$181 > KT500$
$100 < V \leq 120$	$KT500 \leq 98$	$98 < KT500 \leq 159$	$159 > KT500$
$120 < V \leq 140$	$KT500 \leq 91$	$91 < KT500 \leq 143$	$143 > KT500$
$140 < V \leq 160$	$KT500 \leq 86$	$86 < KT500 \leq 131$	$131 > KT500$

Vrednosti $KT500$ za progovni odsek Lesce Bled – Žirovnica od km 617+500 do km 622+000, ki sem ga obravnaval že v prejšnji točki, so prikazane s pomočjo programa Excel v grafični in tabelarični obliki. Podatki za izračun $KT500$ so bili vzeti iz meritev v letih od 2008 do 2010. Na tem odseku mejna vrednost za vzdrževalne ukrepe znaša 181.

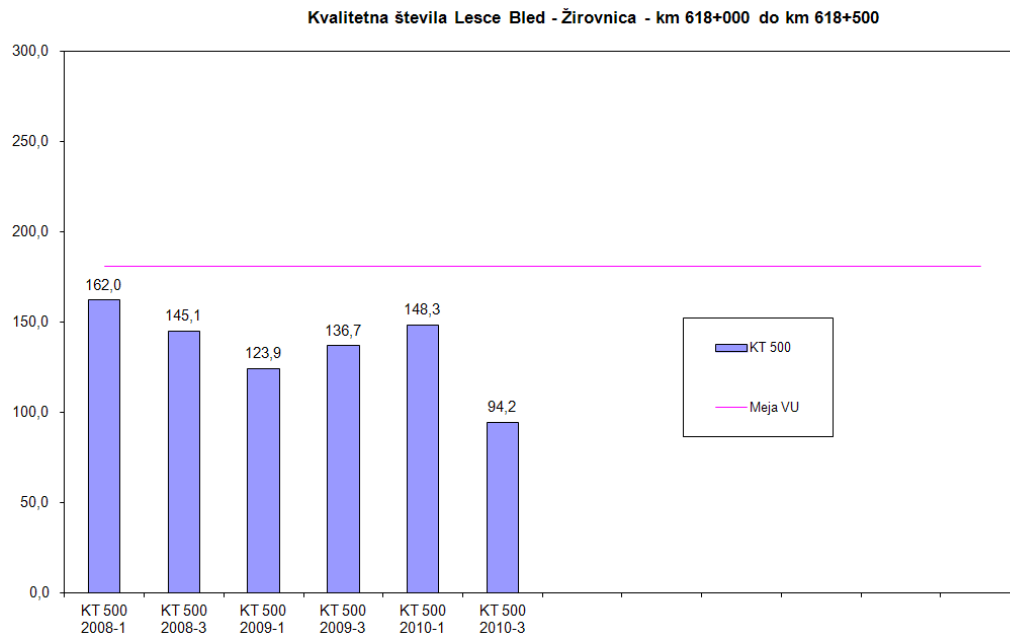
Preglednica 48: Vrednosti *KT500* za progovni odsek Lesce Bled – Žirovnica (Vir: SVP Ljubljana):

Proga	Tir	Stac. od	Stac. do	KT500					
				2008-1	2008-3	2009-1	2009-3	2010-1	2010-3
Lesce Bled - Žirovnica	E	617.500	618.000	168,5	173,8	159,0	177,4	197,0	123,3
	E	618.000	618.500	162,0	145,1	123,9	136,7	148,3	94,2
	E	618.500	619.000	127,5	127,4	106,2	124,2	141,6	101,6
	E	619.000	619.500	121,4	107,1	106,2	121,1	131,7	85,5
	E	619.500	620.000	99,9	81,3	79,4	89,9	105,7	64,1
	E	620.000	620.500	114,4	98,7	112,6	108,5	132,9	79,6
	E	620.500	621.000	98,0	78,5	75,2	84,6	93,4	72,6
	E	621.000	621.500	117,7	91,3	96,6	103,9	117,2	57,0
E	621.500	622.000	165,2	145,1	141,0	160,2	176,2	98,8	

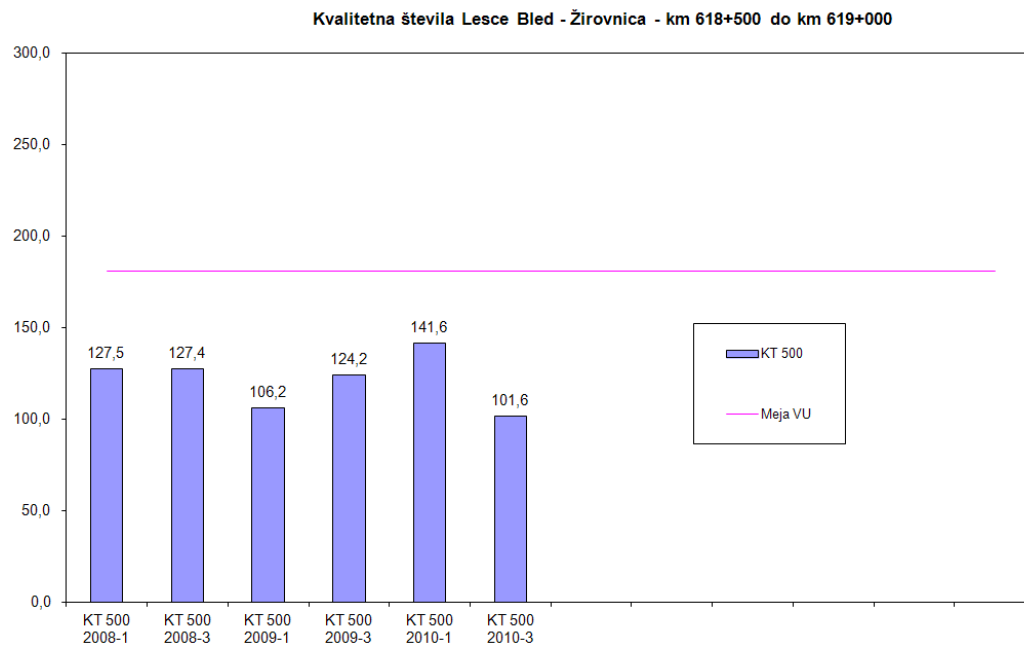


Grafikon 17: Vrednosti kvalitete tira na odseku Lesce Bled – Žirovnica – km 617+500 do km 618+000

(Vir: SVP Ljubljana)



Grafikon 18: Vrednosti kvalitete tira na odseku Lesce Bled – Žirovnica – km 618+000 do km 618+500
(Vir: SVP Ljubljana)



Grafikon 19: Vrednosti kvalitete tira na odseku Lesce Bled – Žirovnica – km 618+500 do km 619+000
(Vir: SVP Ljubljana)

Vrednosti *KT500* na prvih treh odsekih (od km 617+500 do km 618+000, od km 618+000 do km 618+500 in od km 618+500 do km 619+000) sem prikazal tudi v grafični obliki. Iz diagramov je razvidno izboljšanje vrednosti kvalitete tira v letu 2010 po opravljeni tretji letni meritvi. Pred to meritvijo so bila izvedena vzdrževalna dela, ki sem jih opisal že v prejšnji točki. Največja vrednost *KT500* je bila na prvih 500 metrih v času prve meritve v letu 2010, in sicer 197. Ta vrednost je bila najbolj kritična, saj je presegala mejno vrednost 181. Po opravljenih sanacijskih delih se je zmanjšala na 123,3.

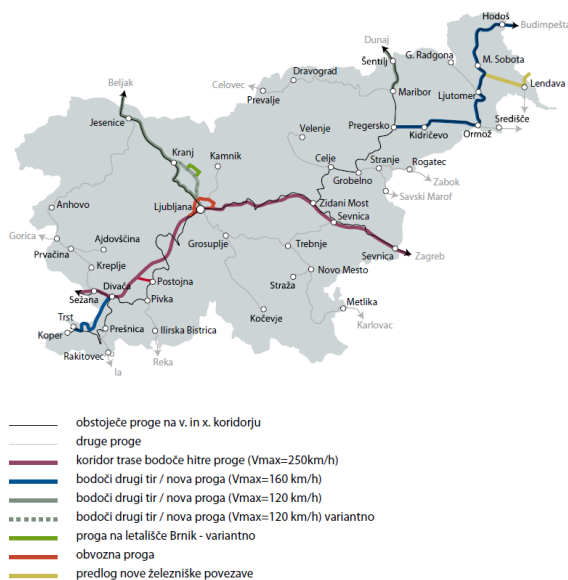
Po zadnji meritvi leta 2010 je imel obravnavani progovni odsek Lesce Bled – Žirovnica dober tir na vseh 500-metrskih odsekih, razen na prvem odseku od km 617+500 do km 618+000, kjer je bil tir zadovoljiv. Mejna vrednost za dober tir je 108.

7. ZAKLJUČEK

V diplomski nalogi Analiza meritev glavnih geometrijskih parametrov na dveh progovnih odsekih slovenskih železnic ugotavljam, da obstoječe mejne vrednosti do hitrosti 160 km/h, ki jih določa Pravilnik o zgornjem ustroju železniških prog, objavljen v Uradnem listu Republike Slovenije št. 92/2010, in merilni vlak EM 120 z oznako FMK 004 še ustrezajo potrebam Slovenije na področju meritev geometrijskih parametrov. Na podlagi rednih letnih merjenj glavnih geometrijskih parametrov, in sicer tirne širine, vegavosti tira, nadvišanja tira, stabilnosti tira in smeri tira, se izvajajo ustrezna vzdrževalna dela in posodabljanje železniških prog na celotnem območju Slovenije. Z geometrijskimi meritvami ugotavljamo napake v geometrijski legi tira. Kvaliteta vozne poti je odvisna od vozniških razmer in reakcij, ki nastanejo med vozilom in tirom. Geometrija med kolesom in tirnico je za obnašanje vozila bistvenega pomena. Za stabilno železniško progo je treba določiti ustrezno obliko profila tirnice, njeno specifično obrabo in z njo povezan premik dotikalne točke, tirno širino, vgrajen naklon tirnic in obrabo tirnic v krivinah. Poleg tega pa je treba upoštevati še posedanje tira, kar je posledica učinkov voznega sredstva in neustreznega gramoza. Iz primerjav izmerjenih vrednosti za posamezen parameter na obravnavanima progovnima odsekoma ugotavljam, da po izvedenih vzdrževalnih delih nove meritve kažejo izboljšane vrednosti.

V dolgoročnem razvojnem načrtovanju Republike Slovenije je predvidenih več projektov na področju železniške infrastrukture in posodobitev V. in X. vseevropskega prometnega koridorja, ki poteka tudi preko Slovenije. Namen izgradnje vseevropskih koridorjev je povezava držav zahodne Evrope z državami srednje, vzhodne in jugovzhodne Evrope. S takšno povezavo se zagotovi trajna mobilnost blaga in oseb med državami članicami Evropske unije in sosednjimi državami, odprava ozkih grl, večja učinkovitost in varnost prometnega omrežja in konkurenčnost evropskega poslovanja.

Predvidene rekonstrukcije in novogradnje železniških prog na smereh V. in X. vseevropskega koridorja v Republiki Sloveniji morajo biti načrtovane in izvedene v skladu s predpisi, ki jih je podalo ministrstvo. Proge bodo morale biti dvotirne in elektrificirane, progovne hitrosti pa do 160 km/h in več (do 250 km/h). Pomembno je zagotoviti povezave z večjimi poselitvenimi centri in da se obstoječe proge po odsekih delno ohranjajo, delno rekonstruirajo ter delno demontirajo. V Republiki Sloveniji se V. koridor obravnava kot prioriteta.



Slika 15: Dolgoročna zasnova javne železniške infrastrukture

(Vir:[http://www.rsrs.si/rsrs/rsrs.nsf/I/K1B6BE903440A4048C12577D10035B449/\\$file/TEN-T-T_SP04-09.pdf](http://www.rsrs.si/rsrs/rsrs.nsf/I/K1B6BE903440A4048C12577D10035B449/$file/TEN-T-T_SP04-09.pdf) (23. 02. 2012))

Z rekonstrukcijo in novogradnjo železniških prog v Republiki Sloveniji se bodo morale v primeru povečanja hitrosti na določenih odsekih določiti strožje mejne vrednosti geometrijskih parametrov prog.

VIRI

2011/275/EU: Sklep Komisije z dne 26. aprila 2011 o tehnični specifikaciji za interoperabilnost v zvezi z „infrastrukturnim“ podsistemom vseevropskega železniškega sistema za konvencionalne hitrosti (notificirano pod dokumentarno številko C(2011) 2741). UL L 126, 14.5.2011, str. 53–120.

Andrade, A. R., Teiweira, P.F. 2010. A Bayesian model for rail track geometry degradation: a decisive step towards the assessment of uncertainty in rail track life-cycle.

<http://intranet.imet.gr/Portals/0/UsefulDocuments/documents/03272.pdf> (Pridobljeno: 23. 08. 2012.)

Roberts, C. 2010. Critical zone improvements. <http://www.track21.org.uk/CriticalZones.htm> (Pridobljeno: 01. 08. 2012.)

Rosi, B. 2009. Ekonomski vidik prometnih sistemov.

http://164.8.132.54/Tarifni_sistemi/pdf/EKONOMSKI%20VIDIK%20PROMETNIH%20SISTEMOV.pdf (Pridobljeno: 15. 02. 2012.)

Šemrov, D. EN 13848-5 Railway applications/Track – Track geometry quality, Part 5: Geometric quality assessment (email). Tomljanovič S. 17. 10. 2011. Osebna komunikacija.

Esveld, C. 2001. Modern Railway Track. 2nd. ed., Zaltbommel. MRT-Productions.

Eurailscout Inspection & Analysis. Introduction. 2012.

http://www.eurailscout.com/introduction_en.html (Pridobljeno: 03. 08. 2012.)

Eurailscout Inspection & Analysis.Track geometry. 2012. http://www.eurailscout.com/1-1-track-geometry_en.html (Pridobljeno: 03. 08. 2012.)

Flerin, G., Slovenske železnice d.o.o. Predstavitveni dokument merilnega vlaka EM 120 z oznako FMK 004 (email). Tomljanovič, S. 22. 11. 2011. Osebna komunikacija.

Godec, A., Jurše, L. 2010. Evropski prometni koridorji preko Republike Slovenije in nova železniška proga Divača – Koper. <http://www.drc.si/Portals/6/prispevki/II/372-385.pdf> (Pridobljeno: 23. 02. 2012.)

Infrastruktura. 2012. <http://www.slo-zeleznice.si/sl/podjetje/infrastruktura> (Pridobljeno: 15. 02. 2012.)

Juvan, K. 2007. Merjenje geometrije tira z mehansko in lasersko merilno drezino. Diplomski naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Oddelek za gradbeništvo, Visokošolski program Gradbeništvo, Prometnotehnična smer (Samozaložba K. Juvan): 64 str.

Letno poročilo 2010. 2011, str. 62, 63. <http://www.slo-zeleznice.si/uploads/pictures/gallery/file/SZ-LP2010.pdf> (Pridobljeno: 03. 08. 2012.)

Letno poročilo 2009. 2010, str. 59, 60. http://www.slo-zeleznice.si/uploads/pictures/gallery/file/LP09_A41287748050789.pdf (Pridobljeno: 03. 08. 2012.)

Letno poročilo 2008. 2009, str. 48, 49. <http://www.slo-zeleznice.si/uploads/pictures/gallery/file/sz-lp08.pdf> (Pridobljeno: 03. 08. 2012.)

Letno poročilo 2007. 2008, str. 46, 47. http://www.slo-zeleznice.si/uploads/pictures/gallery/file/LPA4-08_scr.pdf (Pridobljeno: 03. 08. 2012.)

Letno poročilo 2006. 2007, str. 38, 39. http://www.slo-zeleznice.si/uploads/pictures/gallery/file/SZ_LP_2006.pdf (Pridobljeno: 03. 08. 2012.)

Letno poročilo 2005. 2006, str. 41, 42. http://www.slo-zeleznice.si/uploads/pictures/gallery/file/SZ_Letno_Porocilo_2005_SLO.pdf (Pridobljeno: 03. 08. 2012.)

Letno poročilo 2004. 2005, str. 43. http://www.slo-zeleznice.si/uploads/pictures/gallery/file/LP_2004.pdf (Pridobljeno: 03. 08. 2012.)

Letno poročilo 2003. 2004, str. 36, 37. http://www.slo-zeleznice.si/uploads/pictures/gallery/file/LP_2003.pdf (Pridobljeno: 03. 08. 2012.)

Letno poročilo 2002. 2003, str. 32, 33. <http://www.slo-zeleznice.si/uploads/pictures/gallery/file/LP2002.pdf> (Pridobljeno: 03. 08. 2012.)

Letni načrt investicij in vzdrževanja javne železniške infrastrukture za leto 2010.
www.vlada.si/fileadmin/dokumenti/si/sklepi/seje.../96sv14.DOC (Pridobljeno: 23. 02. 2012.)

Lindahl, M. 2004. Track geometry for high-speed railways.
<http://www.europakorridoren.se/spargeometri.pdf> (Pridobljeno: 04. 09. 2012.)

Measurement Units. 2012. http://www.eurailscout.com/5-measurement-units_en.html
(Pridobljeno: 03. 08. 2012.)

Measuring and inspection trains. 2012. <http://struktonrail.be/en-us/DataSystem/Pages/Measuringandinspectiontrains.aspx> (Pridobljeno: 03. 08. 2012.)

Osnove statistike. 2011. <http://www2.arnes.si/~mpavle1/mp/stat.html> (Pridobljeno: 23. 08. 2012.)

Pervinšek, R., SVP Ljubljana. Analiza napak ranga C v geometriji tira 2012-1 (email).
Tomljanovič, S. 28. 06. 2012. Osebna komunikacija.

Pervinšek, R., SVP Ljubljana. Grafikoni merilne vožnje Jesenice – Bohinjska Bistrica (email).
Tomljanovič, S. 28. 06. 2012. Osebna komunikacija.

Pervinšek, R., SVP Ljubljana. Končno poročilo o izvedenih delih na progovnem odseku
Lesce Bled – Žirovnica (email). Tomljanovič, S. 28. 06. 2012. Osebna komunikacija.

Pervinšek, R., SVP Ljubljana. Vzdrževalna dela na odseku Jesenice – Bohinjska Bistrica v
letu 2011 (email). Tomljanovič, S. 28. 06. 2012. Osebna komunikacija.

Pervinšek, R., SVP Ljubljana. Zbirnik KT 500 (email). Tomljanovič, S. 28. 06. 2012. Osebna
komunikacija.

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

Računsko sodišče Republike Slovenije. Revizijsko poročilo: Razvoj javne železniške infrastrukture. 2010. [http://www.rs-rs.si/rsrs/rsrs.nsf/I/K1B6BE903440A4048C12577D10035B449/\\$file/TENT-T_SP04-09.pdf](http://www.rs-rs.si/rsrs/rsrs.nsf/I/K1B6BE903440A4048C12577D10035B449/$file/TENT-T_SP04-09.pdf) (Pridobljeno: 23. 02. 2012.)

Razne merilne drezine. 2009. <http://www.vlaki.net/dodatno/prava-dre.html> (Pridobljeno: 03. 08. 2012.)

Standardni odklon. 2012. http://sl.wikipedia.org/wiki/Standardni_odklon (Pridobljeno: 23. 08. 2012.)

The EM 250 high-speed track recording coach and the EM-SAT 120 track survey car, as networked track geometry diagnosis and therapy systems, PLASSER & THEURER EM-SAT 120 TRACK SURVEY CAR. 2002.
http://www.plassertheurer.com/pdfs/publications/rei_0003.pdf (Pridobljeno: 03. 08. 2012.)

The Railway track. 2012. <http://www.scribd.com/doc/13044209/The-Railway-Track> (Pridobljeno: 04. 09. 2012.)

Track diagnostics - FMK 004 track geometry measuring car. 2012.
http://www.mavkfv.hu/index.php?f=vaganydiagnosztika_fm004 (Pridobljeno: 03. 08. 2012.)

Track Standards Manual - Section 8: Track Geometry. 2011.
http://www.rgsonline.co.uk/Railway_Group_Standards/Infrastructure/Railway%20Group%20Standards/GCRT5017%20Iss%202.pdf (Pridobljeno: 04. 09. 2012.)

Hanreich. W., Mittermayr. P., Presle. G. 2002. Track Geometry Measurement Database and Calculation of Equivalent Conicities of the OBB Network.
http://www.arena.org/files/library/2002_Conference_Proceedings/00063.pdf (Pridobljeno: 03. 08. 2012.)

UIC 518 Testing and approval of railway vehicles from the point of view of their dynamic Behaviour – Safety – Track fatigue – Ride quality, International Union of Railways, 3rd edition. 2012. <http://wenku.baidu.com/view/d32e764d2b160b4e767fcf77.html> (Pridobljeno: 23. 02. 2012.)

Uvodna izhodišča. 2008.

http://164.8.132.54/Prometni_sistemi/UVODNA%20IZHODI%C5%A0CA.pdf (Pridobljeno: 15. 02. 2012.)

Vodenje prometa. 2012. http://www.slo-zeleznice.si/sl/podjetje/vodenje_prometa
(Pridobljeno: 15. 02. 2012.)

Vlaki. Info. 2012. <http://www.vlaki.info/forum/viewtopic.php?f=1&t=1326> (Pridobljeno: 03. 08. 2012.)

Vlako. Info. 2012. <http://www.vlaki.info/forum/viewtopic.php?t=2691&view=previous>
(Pridobljeno: 03. 08. 2012.)

Zaletelj, M., Flerin, G. 2006. Sodobni trendi pri posodabljanju in vzdrževanju železniške infrastrukture z uporabo "LCC" metode. Ljubljana, DRC, Družba za raziskave v cestni in prometni stroki Slovenije.

Železniški prevoz. 2012. http://sl.wikipedia.org/wiki/%C5%BDelezni%C5%A1ki_prevoz
(Pridobljeno: 15. 02. 2012.)