

VÝSLEDKY DEFORMAČNÝCH MERANÍ PEVNEJ JAZDNEJ DRÁHY

DEFORMATION MEASURING RESULTS OF BALLAST-LESS RAILWAY LINE

Jana IŽVOLTOVÁ¹, Janka ŠESTÁKOVÁ², Jakub CHROMČÁK³

Abstract:

In the frame of Slovak Railways conditions, ballast-less track belongs to the unconventional railway construction with any designing, operating and maintaining experience. Hence, periodical measurements of its representative parts seems to be very useful from the point of view of monitoring their behaviour under traffic loading. Generally, a mechanical stress of railway subgrade assumes to be in the frame of elasticity limits otherwise its permanent deformation occurs and brings about constructional and geometrical deformations of the railway line, which can end in decreasing of railway traffic quality. Such as reason leads to monitor two of ballast-less track localities, which were realized in years 2012-2017 to verify the relative parameters of railway line by KRAB equipment. The absolute parameters of ballast-less railway line has been observed by geodetic methods to define its 3D position and consequently to determine its spatial deformations. The paper is devoted to the summarization of up to date measurements performed in the railway locality Trenčianske Bohuslavice – Trenčín situated on the both of sides of tunnel “Turecký vrch”, which represents a modernized railway line with the designed railway speed 120-160 km/h.

Abstrakt:

Konštrukcia pevnej jazdnej dráhy (PJD) je v podmienkach ŽSR novou konštrukciou, s ktorou do roku 2010 neboli na Slovensku žiadne skúsenosti z pohľadu návrhu, zriaďovania a prevádzkovania, a preto bolo potrebné, pre budúce aplikácie a údržbu, monitorovať jej reprezentatívne časti, hlavne prechodové úseky medzi pevnou jazdnou dráhou a štandardným typom železničného zvršku. Všeobecne sa pre železničné trate požaduje, aby namáhania a deformácie podvalového podložja, respektíve telesa železničného spodku zostali v oblasti pružných deformácií, inak dochádza k vzniku trvalých deformácií, ktorých dôsledkom sú chyby konštrukčného a geometrického usporiadania koľaje, ktoré následne spôsobia zvýšenie účinku dopravného zaťaženia a zníženie kvality jazdnej dráhy. Z uvedených dôvodov sa v rokoch 2012 až 2017 pristúpilo k monitorovaniu dvoch úsekov pevnej jazdnej dráhy, doteraz vybudovaných

¹ Katedra geodézie, Stavebná fakulta, Žilinská univerzita v Žiline, Univerzitná 8215/1 Žilina, 010 26, jana.izvoltova@fstav.uniza.sk, tel.: +421 41 513 5550

² Katedra železničného staviteľstva a traťového hospodárstva, Stavebná fakulta, Žilinská univerzita v Žiline, Univerzitná 8215/1 Žilina, 010 26, janka.sestakova@fstav.uniza.sk, tel.: +421 41 513 5807

³ Katedra geodézie, Stavebná fakulta, Žilinská univerzita v Žiline, Univerzitná 8215/1 Žilina, 010 26, jakub.chromcak@fstav.uniza.sk, tel.: +421 41 513 5563

na Slovensku, kde sa overoval stav konštrukčného geometrického usporiadania koľaje meracím vozňom a systémom KRAB, ktorým sa určili, tzv. relatívne parametre koľaje ako rozchod, prevýšenie, zbornie, smer a krivosť. Pre úplnosť diagnostiky, sa v nezaťaženom stave merala aj absolútna poloha pevnej jazdnej dráhy geodetickými metódami, ktorými sa definovala priestorová poloha koľaje a následne sa zisťovali priestorové deformácie koľajového zvršku. Príspevok sa venuje zhodnoteniu doterajších meraní uskutočnených na úseku železničnej konštrukcie pevnej jazdnej dráhy Trenčianske Bohuslavice – Trenčín, nachádzajúcej sa na oboch portáloch tunela Turecký vrch, ktoré predstavujú modernizovanú železničnú trať s návrhovou rýchlosťou 120-160 km/hod.

1 ÚVOD

Výsledky experimentálnych meraní pochádzajú z meraní v lokalite železničnej vysokorýchlostnej trati s monolitickou doskovou konštrukciou železničného zvršku RHEDA 2000. Geodetické merania sa uskutočnili súčasne s relatívnymi meraniami, z dôvodu využitia systému KRAB_TM-Light ako univerzálneho vozíka, zabezpečujúceho kontinuálne meranie koľajovej dráhy. Popri kontinuálnych meraniach sa realizovali aj diskkrétne polohové merania univerzálnou robotizovanou stanicou TRIMBLE VX a výškové merania digitálnymi nivelačnými prístrojmi LEICA NA3003 a DNA03. Polohové a výškové merania sa realizovali na oboch koľajových pásoch, v každom ôsmom uzle upevnenia (cca 5 m). Z dôvodu zisťovania deformácií doskovej konštrukcie, sa monitorovali aj podrobné body priamo osadené na betónovej doske, každých 10 m z vonkajšej strany koľajnicového pásu. V úsekoch so zabezpečenou viditeľnosťou na družice (portály tunela) bola použitá, vďaka univerzálnemu vozíku aj kinematická metóda GNSS a v celej dĺžke severného portálu sme použili metódu terestrického laserového skenovania. Polohové a výškové merania boli v každej etape vzťahované k referenčnej sieti, ktorú tvorili zaisťovacie značky a referenčné body, stabilizované na pätkách stožiarov.

2 VÝSLEDKY ČIASŤOČNEJ A KOMPLEXNEJ DIAGNOSTIKY

Meranie a hodnotenie čiastočnej a komplexnej diagnostiky konštrukčného a geometrického usporiadania koľaje (KGUK) bolo realizované v zmysle STN 73 6360 pre koľaje s traťovou rýchlosťou od 120 km/h do 160 km/h [1] a Služobnej rukoväť ŽSR 103-7 [2] a ŽSR 103-8 [3]. Konkrétne údaje odmerané meracím vozíkom, definované dovolené odchýlky, grafy odmeraných parametrov, tabuľky lokálnych chýb a tabuľky úsekového hodnotenia, založeného na smerodajných odchýlkach a číslach kvality sú uvedené v súhrnnej správe spracovanej pre ŽSR [3]. Z výsledkov čiastočnej a komplexnej diagnostiky PJD v lokalite Turecký vrch vyplýva:

- a) Známkou kvality s najhoršou tendenciou vývoja sa javí známka kvality výškovej polohy koľajnicových pásov.
- b) Chyby pozdĺžnej výškovej odchýlky koľajnicových pásov sú najčastejšie sa vyskytujúcim nedostatkom vyplývajúcim aj z hodnotenia meraní meracím vozňom ŽSR.

- c) Odchýlky smerovej polohy osi koľaje v prechodových oblastiach sú v rámci dovolených prevádzkových odchýlok 6 mm.
- d) Odchýlky rozchodu od nominálnej hodnoty sú počas celej prevádzky koľaje takmer rovnaké a aj v prechodových oblastiach sa pohybujú v rámci dovolených odchýlok -3 mm/5 mm a dosahujú hodnoty od 0,5 do 2,5 mm. Oprava rozchodu nebola súčasťou opravných činností v novembri 2014.
- e) Odchýlky prevýšenia koľaje od projektovanej hodnoty prevýšenia dosahovali v prechodovej oblasti pred opravou v roku 2014 hodnoty od -3,5 do +2,0 mm. Po oprave tento parameter vyhovuje dovolenej prevádzkovej odchýlke.
- f) Chyby zborovania koľaje patria medzi najviac nebezpečné z hľadiska pohybu železničného vozidla po koľajovej dráhe. V diagnostikovaných úsekoch je zborovanie v rámci dovolených medzných prevádzkových odchýlok.
- g) Výšky pravého koľajnicových pásov v prechodovej oblasti úseku detegujú chybu na úrovni prekročenia prevádzkovej odchýlky definovanej hodnotou 6 mm. Oprava konštrukčného a geometrického usporiadania koľaje, realizovaná v prechodovej oblasti v novembri 2014 čiastočne znížila hodnoty odchýlok.

3 VÝSLEDKY GEODETICKÉHO MERANIA PEVNEJ JAZDNEJ DRÁHY

Geodetické polohové a výškové merania boli vzťahované k referenčnej sieti, ktorú tvoria zaistovacie značky v tuneli a referenčné body, stabilizované na pätkách stožiarov v blízkosti obidvoch portálov tunela. Kritická hodnota pre stanovenie stability referenčnej siete sa určila z testu nameranej polohovej zmeny a bola stanovená ako dvojnásobok strednej hodnoty smerodajných odchýlok zistených v jednotlivých etapových meraniach [5]. Výšková stabilita referenčnej sústavy sa posudzovala metódou Marčáka a Kubáčka [6] a pozostávala z odhadu parametrov regresnej priamky, testovania odľahlých meraní a odhadu aposteriórnej presnosti výškového siete. Z doteraz vyhodnotených výsledkov merania sa polohová ani výšková zmena bodov referenčnej siete nepotvrdila.

Priemerná hodnota priečného posunu ako aj príslušné charakteristiky presnosti doteraz uskutočnených meraní v úseku južného portálu tunela Turecký vrch dlhom 200 m severného portálu dlhom 800 metrov sú uvedené v Tab. 1. Hodnoty intervalov spoľahlivosti v jednotlivých meraniach sú definované pre hladinu významnosti $\alpha=0,05$ a koeficient spoľahlivosti $t_{\alpha}=2$, za predpokladu normálneho rozdelenia chýb meraní.

Z hodnôt vypočítaných priečných posunov (polohovej zmeny) vyplýva, že nebola zistená polohová zmena bodov koľajnicových pásov v priečnom smere, uvedené rozdiely sú v rámci definovanej presnosti merania. Významnosť polohovej zmeny sa posudzovala na základe stanovenia intervalu spoľahlivosti, ktorý predstavuje dvojnásobok presnosti určenia polohy, čo v jednotlivých etapových meraniach na južnom úseku reprezentujú hodnoty v rozsahu 8-12 mm a na severnom úseku hodnoty v rozsahu 12 - 16 mm.

Výškové zmeny sa zaznamenali v prechodových oblastiach v úsekoch nžkm 104,280-104,305 a 104,585-104,600 (železničné mosty), v rozsahu -3,0 mm na koľaji č. 1 a -4,4 mm na koľaji č. 2.

Tab. 1 Priemerná hodnota polohovej zmeny PJD a charakteristiky presnosti v mm

Etapy merania	Južný portál tunela Turecký vrch				Severný portál tunela Turecký vrch			
	Koľaj č.1		Koľaj č.2		Koľaj č.1		Koľaj č.2	
	Δp	σ_p	Δp	σ_p	Δp	σ_p	Δp	σ_p
10.2012	0,7	4,8	0,8	3,2	2,2	4,4	0,9	5,0
04.2013	0,5	2,7	0,6	3,1	1,5	3,0	1,8	8,9
10.2013	0,2	3,0	0,9	5,6	1,8	3,6	0,4	3,6
05.2014	0,3	2,9	0,5	3,2	1,6	3,2	0,5	3,8
03.2015	0,3	7,5	0,3	5,3	1,6	3,2	0,3	3,8
03.2016	-1,2	4,2	1,4	3,8	0,0	1,7	3,4	6,8

Na štandardnej konštrukcii severného úseku trate sa vo všetkých etapových meraniach zaznamenali poklesy koľaje č. 1 a č. 2 až do hodnoty -10 mm. Merania, uskutočnené v rokoch 2015 a 2016 zaznamenali v prechodovej oblasti medzi PJD a štandardnou konštrukciou na koľaji č. 1 výškovú zmenu +15 mm a na koľaji č. 2 -6 mm. Po dodatočnej konzultácii so zodpovednými predstaviteľmi ŽSR sme zistili, že k takejto výškovej zmene prechodovej dosky došlo v dôsledku jej dodatočnej úpravy.

Priemerné hodnoty výškových zmien a smerodajných odchýlok určeného rozdielu prevýšenia od základného merania celého monitorovaného úseku železničnej trate "Turecký vrch" sú uvedené v Tab. 2 a 3.

Tab. 2 Výškové deformácie južného úseku vzťahované k základnému meraniu 10.2012 v mm

Etapy merania	Južný úsek železničnej trate "Turecký vrch"							
	Koľaj č.1		Doska		Koľaj č. 2		Doska	
	Trad.k.	PJD	Pravá	Ľavá	Trad.k.	PJD	Pravá	Ľavá
04.2013	-2,81	0,17	0,14	0,34	-1,64	0,41	0,20	0,13
10.2013	-3,06	0,23	0,29	0,50	-1,85	0,49	0,25	0,17
05.2014	-5,46	-0,05	-0,27	-0,17	-3,77	0,21	0,10	0,01
03.2015	-4,60	0,30	-0,04	0,35	-3,38	0,72	0,23	0,34
03.2016	-5,65	-0,35	-0,68	-0,43	-4,42	0,01	-0,47	-0,08
$\sigma_{\Delta h}$	0,43	0,49	0,36	0,41	0,47	0,23	0,39	0,19

Významnosť výškovej zmeny sa posudzovala na základe dvojnásobku smerodajnej odchýlky určenia prevýšenia v jednotlivých meraniach, ktorá je uvedená v poslednom riadku Tab. 3.

Tab. 3 Výškové deformácie severného úseku vzťahnuté k základnému meraniu 10.2012 v mm

Etapy merania	Severný úsek železničnej trate "Turecký vrch"							
	Koľaj č.1		Doska		Koľaj č. 2		Doska	
	PJD	Trad.k	Pravá	Ľavá	PJD	Trad.k	Pravá	Ľavá
04.2013	-0,14	-1,29	-0,20	-0,15	-0,32	-1,77	-0,21	-0,27
10.2013	-0,26	-2,49	-0,22	-0,26	-0,46	-2,06	-0,36	-0,40
05.2014	0,12	-5,20	-0,06	-0,13	-0,18	-3,60	-0,07	-0,01
03.2015	0,00	-6,53	0,06	0,13	-0,08	-5,68	0,11	0,09
03.2016	0,30	-5,43	0,50	0,45	-0,14	-7,32	0,39	0,51
$\sigma_{\Delta h}$	0,47	0,31	0,47	0,36	0,40	0,43	0,47	0,33

Na základe analýzy meraní a odhadu presnosti možno konštatovať, že sa na južnom úseku PJD nezaznamenala významná smerová ani výšková zmena polohy koľaje č. 1 a 2 a doskovej konštrukcie. Uvedené výškové a smerové posuny sú v stanovenej presnosti merania. Na rovnakom úseku štandardnej železničnej konštrukcie sa diagnostikovali výškové posuny oboch koľají v rozsahu 0-12 mm. V prechodovej oblasti sa zaznamenali výškové posuny pri meraniach v marci 2015 a marci 2016 do rozsahu +0,6 mm. Na severnom úseku železničnej trate nedošlo k polohovým zmenám pevnej jazdnej dráhy. Na štandardnej konštrukcii sa zaznamenali výškové posuny vzniknuté v dôsledku podbitia tradičnej železničnej konštrukcie.

4 ZÁVER

Z výsledkov analýzy komplexnej kontinuálnej a čiastočnej diagnostiky parametrov konštrukčného a geometrického usporiadania koľaje monitorovaného úseku je možné konštatovať, že hodnotené parametre vykazujú kvalitu, ktorá sa výrazne nezhoršuje. Výsledkom geodetického monitorovania polohy pozorovaných úsekov PJD bolo stanovenie smerových a výškových posunov koľají a doskovej konštrukcie. Na základe analýzy geodetických meraní a odhadu ich presnosti možno konštatovať, že výsledky sú porovnateľné s relatívnymi meraniami. Na PJD sa nezaznamenala významná smerová ani výšková zmena polohy koľají ani doskovej konštrukcie. Výškové a smerové posuny sú v stanovenej presnosti merania. Na úsekoch štandardnej železničnej konštrukcie sa diagnostikovali výškové posuny oboch koľají, vzniknuté v dôsledku podbitia koľaje. V prechodovej oblasti južného portálu sa zaznamenali výškové aj smerové posuny pri meraniach v r. 2015 a 2016, ktoré vznikli pravdepodobne ich dodatočnou úpravou. Použitie terestrického laserového skenovania je progresívne a má svoje opodstatnenie aj pri diagnostike KGUK. Dosiahnutie milimetrovej presnosti predpokladá skrátenie observačných dĺžok maximálne na 30 m a domodelovanie antireflexných plôch hlavy koľaje príslušným softvérom v postprocesingu. Podľa predpokladov, metóda RTK s krátkym vektorom, nedosiahla požadovanú presnosť diagnostiky KGUK, ale pre svoju rýchlosť a spoľahlivosť má svoje opodstatnenie pri kontinuálnych meraniach smerových parametrov dlhých úsekov železničnej trate, kde postačuje centimetrová presnosť. Pri zisťovaní výškových zmien doskovej konštrukcie sa potvrdilo, že presná nivelácia

je najvhodnejšou a súčasne najpresnejšou metódou, hoci nezodpovedá požiadavke aplikácie kontinuálnych meraní. Pri porovnaní výsledkov relatívnych a absolútnych meraní možno konštatovať, že získané hodnoty prevýšení koľaje aj smerové pomery trasy sú porovnateľné, pozdĺžne zmeny koľají nebolo možné použitou geodetickou technológiou zachytiť, rovnako ako zmenu rozchodu koľaje.

POĎAKOVANIE

Príspevok vznikol v rámci projektu VEGA 1/0275/17 "Aplikácia numerických metód pri definovaní zmeny geometrickej polohy koľaje", ktorý je podporovaný Ministerstvom školstva, vedy, výskumu a športu Slovenskej republiky a Slovenskou akadémiou vied. Príspevok vznikol vďaka podpore projektu ITMS 26220220156 „Brokerské centrum leteckej dopravy pre transfer technológií a znalostí do dopravy a dopravnej infraštruktúry“, ktorý je podporovaný operačným programom výskumu a vývoja a spolufinancovaný zo zdrojov Európskeho fondu regionálneho rozvoja.

LITERATÚRA

- [1] STN 73 6360 Geometrická poloha a usporiadanie koľaje železničných dráh normálneho rozchodu, SÚTN, Bratislava, 1999 a Zmena 1, SÚTN, Bratislava 2002
- [2] Predpis ŽSR SR 103-7 (S) Meranie a vyhodnocovanie geometrickej polohy koľaje meracím vozíkom KRAB, GR ŽSR, Bratislava, 2008
- [3] Predpis SR 103-8 (S) Všeobecné požiadavky na projektovanie, výstavbu, opravu, údržbu a preberanie stavebných, opravných a udržiavacích prác na konštrukcii pevnej jazdnej dráhy, Bratislava 2012
- [4] Ižvolt, L.: Monitoring časti úseku nekonvenčnej konštrukcie železničného zvršku a jej prechodových oblastí. Modernizácia žel. trate Nové Mesto nad Váhom – Púchov, nžkm 100,500 – 159,100, objekt 24-32-01 Nové Mesto nad Váhom – Trenčianske Bohuslavice. Súhrnná správa, Žilinská univerzita v Žiline 2016
- [5] STN 73 0275 Presnosť geometrických parametrov vo výstavbe. Kontrolné meranie líniových stavebných objektov. Bratislava 1991
- [6] Marčák, P., Kubáček, L.: The Problem of System of Height Reference in Determining the Setting of Foundations and Buildings. *Studia geophysica et geodaetica*, 18, 1974. No. 1, p. 33-46
- [7] Šíma, J., Kořka, V., Pisca, P., Seidlová, A.: Geodetic work for reconstruction and building of narrow-gauge railway. In: XIII. International Slovak-Poland-Russian geodetic days, Liptovský Ján 2007: ISBN 978-80-969692-0-3, p. 84-88
- [8] Gašincová, S., Gašinec, J.: Adjustment of Positional Geodetic Networks by Unconventional Estimations, *Acta Montanistica Slovaca*, 15/1, 2010, ISSN 1335-1788, pp. 71-85.

Lektoroval: Doc. Ing. Jaroslav Šíma, PhD.

Katedra geodézie, Stavebná fakulta ŽU v Žiline