

# Diagnostika a vytýčenie koľaje z výsledkov meraní GPS

*Bitterer Ladislav<sup>1</sup> a Šíma Jaroslav<sup>2</sup>*

## *The Diagnostics and layout of railway track from the results of GPS measurements*

*The diagnostics and layout of the railway track from the results of GPS measurements, possibilities and consideration of using the GPS technology in the railway geodesy. Integrating the GPS into the rail diagnostics and repairs technologies with focusing on the modernized increased-speed railway tracks. A spatial view in the reference positional and altitudinal system enables to determine the stationing, transverse rail advancement and the superelevation of the rail in relation to the analytically defined spatial shape of the rail. Diagnostics of the spatial shape of the rail in a continuous GPS measurement with the receiver placed on a measurement truck in order to determine a trend of the spatial shape of the rail development. Experiences with using terrestrial and GPS rail measurement methods. Integrating the spatial shape of the rail measurement by the GPS methods into the analytic design of the rail for purposes of reconstruction design and continual repair of the rail. The rail diagnostics is the first step to the planning the repair of the rail towards the shape designed.*

**Key words:** GPS, diagnostika koľaje, oprava koľaje, geometrický tvar koľaje, štátna priestorová sieť.

## Úvod

V súčasnom období skončilo dokazovanie merania metódami GPS pomocou kvality absolútnej a relatívnej presnosti. V minulosti sa objavovali publikácie o využití metód meraní GPS, ktoré súvisia s diagnostikou a vytýčovaním tvaru koľaje. Na obrázkoch publikácií sa nachádzali prijímače GPS umiestnené na meracích vozíkoch i na železničných vozňoch. K priamemu využitiu metód GPS pre účely projektovania opravy koľaje a vytýčovania koľaje zatiaľ nedošlo. Dôvody nie sú v presnosti metód GPS. Chýba technologické prepojenie výsledkov meraní s priestorovým tvarom koľaje. Technológia prepojenia bola zverejnená už v roku 1993 [1] ale doteraz nebola praxou aplikovaná i keď má počítačovú podporu. Merania GPS v železničnom staviteľstve v súčasnosti sa používajú iba na zhusťovanie bodového poľa. Zaradenie GPS do technológií diagnostík a opráv koľaje so zameraním sa na modernizované trate so zvýšenými rýchlosťami, bude ich novým prvkom aplikácií.

## Analytická definícia priestorového tvaru koľaje

Diagnostika priestorového tvaru koľaje je absolútna a relatívna. Absolútna diagnostika tvaru koľaje je vyhodnocovanie opakovaných meraní tvaru koľaje vo vzťahu k etalónu, ktorým je analyticky definovaný priestorový tvar koľaje vo vzťažnom súradnicovom systéme. Relatívna diagnostika je vyhodnocovanie geometrického tvaru koľaje podľa výsledkov získaných z meracieho voza. Spojenie absolútnej a relatívnej diagnostiky vyžaduje účelové prepojenie meraní GPS s výsledkami meraní meracím vozíkom (napr. KRAB, Leica, GPR-3000 – rozchod koľaje, staničenie, prevýšenie koľaje, atď.). Predstavuje perspektívu spoľahlivej údržby priestorového tvaru koľaje.

Analytická definícia priestorového tvaru koľaje predstavuje súradnicové určenie hlavných bodov oblúka (ZP, KP  $\equiv$  ZO, KO  $\equiv$  ZP, KP), definíciu funkcie tvaru prechodnice (kubická parabola, klotoida, medziľahlá prechodnica, parabola 5°), vzostupnice (priama vzostupnica, druh zaoblenej vzostupnice) a zakružovacieho oblúka [2]. Priestorové vyjadrenie je vo vzťažnom polohovom a výškovom systéme (perspektívne štátna priestorová sieť - ŠPS). V takto vyjadrenom priestorovom tvare koľaje meranie GPS na jej ľubovoľnom mieste analyticky dovoľuje určiť staničenie, priečny posun koľaje a prevýšenie koľaje vo vzťahu k jej analyticky definovanému priestorovému tvaru.

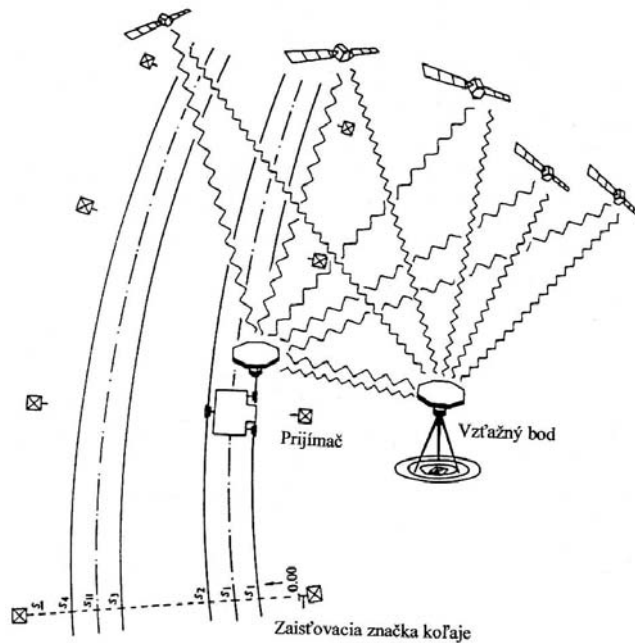
## Diagnostika priestorového tvaru koľaje

Využitie výsledkov meraní GPS je možné použiť na diagnostiku tvaru koľaje a na jej opravu.

Predpokladajme kontinuálne meranie GPS v ideálnych podmienkach (ktoré sa dajú obtiažne dodržať) s prijímačom umiestneným napr. na meracom vozíku nad osou koľaje vo výške neprevýšeného koľajnicového pásu alebo nad zvoleným koľajnicovým pásom obr. 1.. Takto súradnicovo vyjadrený bodový rad diskretných meraní GPS optimalizovaný na priamych úsekoch, oblúkoch a v priamych sklonoch prepojený definovanými prechodnicami a vzostupnicami, predstavuje trend priestorového tvaru koľaje. Porovnanie tvaru trendu s jeho analytickým tvarom, napr. na obrazovke PC, predstavuje absolútnu diagnostiku priestorového tvaru koľaje, ktorá

<sup>1</sup> prof. Ing. Ladislav Bitterer, PhD., Katedra geodézie, Stavebná fakulta, Žilinská univerzita, Komenského 52, 010 26 Žilina

<sup>2</sup> doc. Ing. Jaroslav Šíma, CsC., Katedra geodézie, Stavebná fakulta, Žilinská univerzita, Komenského 52, 010 26 Žilina  
(Recenzovaná a revidovaná verzia dodaná 17. 5. 2005)



sa dá využiť na plánovanie opravných prác na koľaji. Identifikácia lokálnych deformácií je možná podľa staničenia koľaje. O tento druh diagnostiky sa usilujú mnohé pracoviská, ktoré aplikujú meranie GPS na diagnostiku koľaje. V našom prípade bola aplikovaná na trati Žilina – Rajec s použitím prístroja ASHTECH Z-MAX obr. 2. Trend, ktorý nie je vyjadrený vo vzťahu k osi koľaje a neprevýšenému koľajnicovému pásu a nemá obraz analytickej definície tvaru koľaje je nepoužiteľným na absolútnu diagnostiku koľaje.

Obr. 1. Kontinuálne meranie.  
Fig. 1. Continual measurement.

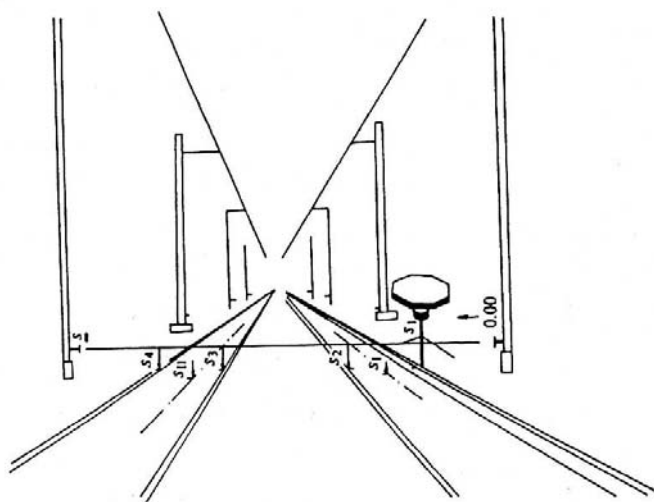
Na absolútnu diagnostiku priestorového tvaru koľaje, bola dlhodobo využívaná terestrická i GPS metóda merania [3]. Metóda pozostáva z merania v osi koľaje vo vzťahu k neprevýšenému koľajnicovému pásu alebo nad zvoleným koľajnicovým pásom tak, že v priamom úseku koľaje sa odmerajú min. 2 body a na oblúku 1 bod. Ak na priamom úseku odmeriame viac ako 2 body a na oblúku viac ako 3 body, priamy úsek a oblúk optimalizujeme. Medzi optimalizované úseky vkladáme projektované prechodnice. Analogicky postupujeme aj pri optimalizácii nivelety koľaje. Takto získaný optimalizovaný priestorový tvar koľaje porovnáme s aktuálnym tvarom v meraných bodoch koľaje. Pričné a zvislé odchýlky predstavujú pseudoabsolútnu diagnostiku tvaru koľaje. Napr. na železničnej trati v Okoličnom, na zloženom oblúku podľa projektu o troch polomeroch sme identifikovali zložený oblúk o štyroch polomeroch.

### Vytýčenie tvaru koľaje

Výsledky meraní GPS, ako aj terestrických meraní, okrem zistenia aktuálneho priestorového tvaru slúžia aj na modernizáciu trate. Použitie vzostupnice v tvare paraboly  $3^\circ$  poskytuje najväčšiu možnosť zväčšenia prevýšenia, následného zväčšenia polomeru oblúka, a tým aj zvýšenia traťovej rýchlosti. Projekt novej vlakovej cesty je potrebné vytýčiť. Efektívne vytýčenie využíva výsledky primárnych meraní, ktoré sa zaisťujú na pevné železničné objekty (trakčné stožiare, oporné múry). Meranie technicky prebieha na priesečnici osi koľaje a spojnice zaisťovacích značiek stabilizovaných na trakčných stožiaroch obr. 3. Miesto merania predstavuje aktuálnu polohu koľaje. Ak vyjadríme polohu projektovanej osi na spojnici zaisťovacích značiek, vytvárame medzi bodmi dlhé tetivy na podrobné vytýčenie koľaje, resp. na rektifikáciu aktuálneho tvaru na projektovaný tvar [1].



Obr. 2. Experimentálne kontinuálne meranie tvaru koľaje.  
Fig. 2. Experimental continual measurement of the rail shape

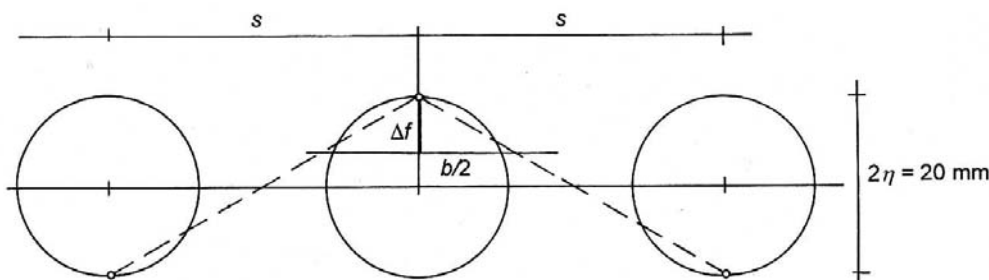


Obr. 3. Zaistenie meraní GPS.  
Fig. 3. Providing GPS measurements.

Na základe experimentálnych meraní [2], [3] prijímame absolútnu presnosť terestrických a GPS meraní vo vzťažnom systéme ŠPS  $\eta = \pm 10$  mm pre  $DOP \geq 5$  satelitov. Neistota v určení polohy bodu má vzťah k vzdialenosti medzi odmeranými bodmi, aby z dôvodov neistoty priečného posunu koľaje nedošlo k neprístupným lomom v smere osi koľaje a prekročeniu rozdielu susedných odchýlok vzopätí. Výpočet minimálnej dĺžky vykonáme podľa vzťahu [2] obr. 4.

$$s_{\min} = \frac{b}{2\Delta f} 2\eta = 20 \text{ , [m]},$$

kde  $2\eta = 20$  [mm] je maximálna priečna odchýlka troch po sebe odmeraných bodov,  $b = 10$  [m],  $\Delta f = 5$  [mm] je kritérium prevádzkovej odchýlky od projektovaného vzopätia pre rýchlostné pásma RP1 až RP4 pre oblúk, prechodnicu a priamy úsek koľaje [4].



Obr. 4. Minimálna vzdialenosť odmeraných bodov GPS.  
Fig. 4. Minimum distance between measured GPS points.

### Meranie tvaru koľaje metódami GPS pre účely projektovania a opravy koľaje

Meranie priestorového tvaru koľaje metódami GPS zapájame do analytického projektovania koľaje. Analytické projektovanie prebieha na matematicky vyjadrenom všeobecnom modeli priestorového tvaru koľaje. Matematický model programovo popísaný postupnosťou výpočtových krokov je abstraktný model priestorového tvaru koľaje. Obsahuje všetky možnosti analytického vyjadrenia priestorového tvaru koľaje, ktoré prax používa v súlade s normou. Abstraktný model doplnený diskretnými výsledkami GPS meraní, ktoré charakterizujú priestorový tvar koľaje, vytvára simulačný model. Analytické projektovanie smerovej a výškovej polohy koľaje potom predstavuje experimentovanie so simulačným modelom daného úseku železničnej trate dovtedy, pokiaľ nie je splnený vyžadovaný projekčný zámer opravy koľaje [1].

Analyticky spracovaný priestorový tvar koľaje sa meria pre účely projektovania rekonštrukcie a súvislej opravy koľaje (súvislé prepracovanie koľaje, stredné opravy koľaje). Pre každý druh opravných prác sa odporúča iný rozsah meračských prác. Vychádzame pritom z technológie merania GPS a na ňu nadväzujúcej metódy dlhých tetív a z existencie zaisťovacích značiek už stabilizovaných na pevných železničných objektoch. Aplikácia metód merania GPS vyžaduje vybudovať pozdĺž tratí vzťažné bodové pole, ktoré v budúcnosti môže predstavovať ŠPS.

Pre rekonštrukciu koľaje sa vykoná komplexné meranie. Bude sa pri tom rozlišovať, či sa jedná o rekonštrukciu s modernizáciou trate, alebo o opakovanú rekonštrukciu, pri ktorej sa záväzne dodržiavajú predchádzajúce projekčné parametre trate. Pri rekonštrukcii s modernizáciou trate sa projekčné parametre meria v súlade s plánovanou traťovou rýchlosťou.

Metódou GPS sa na spojnici medzi zaisťovacími značkami koľaje odmeria os koľaje a zaisť na zaisťovacie značky (obr. 3). Výšky zaisťovacích značiek a aktuálna niveleta sa určí trigonometrickou alebo geometrickou niveláciou.

Pri opakovanej rekonštrukcii koľaje projekčný výpočet prebehne len raz. Iba v prípade, ak vo vzťahu k nerekonštruovanej koľaji dôjde k nedodržaniu prechodového prierezu, je potrebné zmeniť projekčné parametre.

Výpočtová technika z terestrických i GPS meraní umožňuje získať informácie o priečných a výškových posunoch koľají pre opravy koľají v terénnych podmienkach. Terestrickým meraním sa overí stabilita zaist'ovacích značiek. Odmeria sa poloha koľaje k zaist'ovacím značkám, vypočítajú sa posuny koľaje projektované vzopätia k dlhej tetive v súlade s krokom automatickej strojnej podbíjačky (ASP). Vytýčia sa dlhé tetivy a porovnajú sa aktuálne vzopätia s projektovanými. Rozdiely vzopätí predstavujú posuny koľaje, ktoré vyhodnocujeme v kroku ASP. Zistené posuny sa k dlhej tetive zostavia do súboru, ktorý sa preniesie do palubného počítača ASP na automatizované riadenie opravy koľaje. Výšková oprava koľaje ASP je plne automatizovaná a v praxi zavedená.

Zaradenie geodetických prác v harmonograme rekonštrukcie koľaje nie je možné zmeniť. Musia prebehnúť v takom predstihu pred rekonštrukciou, aby technický projekt rekonštrukcie bol včas k dispozícii v montážnej základni. Meračské práce pre kombinované opravy prebehnú tesne pred opravou, čím sa zaisťujú aktuálnosť tvaru koľaje pred jej opravou.

### Záver

Z technického hľadiska nezáleží na tom aká metóda merania sa používa, pokiaľ spĺňa vyžadované kritéria presnosti výsledkov pre úlohy v železničnom staviteľstve. Z ekonomického hľadiska je významná rýchlosť získania cieľových výsledkov a hospodárnosť metódy. Aj v metódach merania GPS je výber, nie je efektívne nasadenie všetkých metód pri diagnostike a projektovaní opravy koľaje. Z metód GPS má najperspektívnejšie využitie metóda RTK GPS, v spojení s analyticky definovaným tvarom koľaje. Výsledkom zapojenia tejto metódy GPS do pracovného cyklu diagnostiky budú priečne a zvislé odchýlky od projektovaného tvaru v mieste merania obr. 1..

Diagnostika koľaje slúži ako prvý impulz na plánovanie opravy koľaje. Ak budeme predpokladať, že priestorový tvar modernizovaných tratí bude vyjadrený analytickým projektom, kontinuálnym meraním metódou GPS určený trend tvaru koľaje identifikuje deformované úseky koľaje.

Novým ťažiskom prác geodézie v železničnom staviteľstve je určovanie nemennej jazdnej dráhy, čo predstavuje opakované opravy koľaje do projektovaného tvaru. Realizácia opráv koľaje do projektovaného tvaru podľa výsledkov meraní GPS vyžaduje účelne dobudovať pozdĺž železničných tratí nové geodetické základy ŠPS.

S ohľadom na možné horizontálne a vertikálne prekážky pozdĺž železničných tratí je potrebné uvažovať so spojením družicového a terestrického merania do hybridného meracieho systému. Geodetické práce sú iba jednou časťou komplexu prác v železničnom staviteľstve. Vývoj meracích technológií nemôže prebiehať bez súčinnosti informačného systému železníc a technológií opráv ASP. Efektívne prepojenie týchto zložiek s metódami GPS a terestrickými meraniami zaväťší zvýšenie pracovného výkonu pri diagnostike a oprave koľaje.

Technológiu analytického projektovania priestorovej opravy koľaje [1, 2], v rámci grantového výskumu dopĺňame o kontinuálne meranie GPS, ktorého výsledky využijeme na diagnostiku tvaru koľaje.

*Príspevok je jedným z výstupov riešeného grantového projektu č. 1/0345/03 za podpory Slovenskej grantovej agentúry VEGA.*

### Literatúra – References

- [1] Bitterer, L.: Analytické projektovanie opravy koľaje. [Doktorská dizertačná práca] ŽU 1993. 202 s.
- [2] Bitterer, L.: Geometria koľaje, ES ŽU. 1997. 167 s.
- [3] Bitterer, L.: The using of GPS Methods and the Automatic Follow Target Method on the Diagnostics and Reconstruction of the Track Design. In: INGENEO '98, STU Bratislava 1998. s. 77-82.
- [4] STN 73 6360 Geometrická poloha a usporiadanie železničných dráh normálneho rozchodu. Časť 2 – Stavba a prevzatie, prevádzka a údržba 1997, s. 35.