

Využití GPS a jiných geodetických metod pro měření v oblasti stavby a údržby tratí

Klíčová slova: *GPS, družicový navigační systém, traťové hospodářství, geodetická měření, prostorová poloha koleje.*

1. Úvod

V oblasti traťového hospodářství se stále častěji setkáváme s požadavky na přesná, rychlá a ekonomická geodetická měření. Mnohdy je velmi obtížné rozhodnutí zda ta či ona geodetická metoda je tou nejvhodnější metodou a zda požadovaná přesnost bude dostačující. Naopak “přílišná přesnost” může být zbytečná a bude na úkor rychlosti a ekonomičnosti měření. Rozhodování o vhodné geodetické metodě je současně ovlivňováno přístrojovým vybavením a nezbytně nutnými pomůckami zajišťujícími potřebnou kvalitu měření.

V oblasti traťového hospodářství se většinou setkáváme s měřením polohovým a měřením výškovým. Výsledkem polohových měření bývá obvykle stanovení souřadnic X a Y a výsledkem výškových měření souřadnice Z. Podle přístrojového vybavení můžeme stanovit všechny tři souřadnice měřeného objektu v jednom okamžiku, což je někdy nesporná výhoda nebo dokonce požadavek. V současnosti nám taková měření umožňují “elektronické totální stanice” a “stanice GPS”.

2. Družicový navigační systém

Družicový navigační systém globálního určování polohy GPS (Global Positioning System) se také označuje NAVSTAR (Navigation System using Time and Ranging – navigační systém využívající měření času a vzdáleností) a pracuje na principu jednosměrného dálkoměru. Měřenou veličinou je doba šíření signálu z družicové antény k přijímací anténě. Tento naměřený čas je převáděn pomocí rychlosti šíření signálu na vzdálenost.

Doc. Ing. Pavel Zvěřina, CSc., nar. 1947. Absolvent VUT v Brně. Ústav železničních konstrukcí a staveb, Stavební fakulta, Vysoké učení technické v Brně, Veveří 95, 662 37 BRNO, Česká republika. Tel.: (+420-5) 41147320, e-mail: zkzve@fce.vutbr.cz, vedoucí ústavu, zabývá se teorií železničních konstrukcí, projektováním a stavbou železničních tratí a stanic.

Tento radionavigační systém, který je svázán s družicemi, umožňuje určit polohu přijímače v trojrozměrných souřadnicích a jeho rychlost v reálném čase. GPS je schopen poskytovat údaje nezávisle na počasí, 24 hodin denně po celý rok.

Družice vysílají signály, které jsou přijímány přijímači a zpracovávány pro měřické nebo navigační účely. Každá družice je vybavena přijímačem, vysílačem, atomovými hodinami, procesory a řadou přístrojů, které slouží pro navigaci nebo jiné vojenské účely (kupř. pro detekci výbuchů jaderných náloží).

Družice přijímá, zpracovává a uchovává informace předávané pozemními anténami (GA). Družice sleduje stav vlastních systémů, koriguje svou dráhu raketovými motorky a podává o těchto skutečnostech informace do řídicího centra. Stabilizace a uchování družice na dráze se zajišťuje prostřednictvím setrvačnicků. Palubní baterie jsou dobíjeny dvěma slunečními články o ploše 7,25 m².

Družice vysílá signály pro uživatele v podobě složitěho signálu, který je tvořen řadou koherentních kmitočtů. Každá družice vysílá zprávy o své poloze a přibližné polohy ostatních družic systému. Přesný čas a přesné kmitočty vysílaných frekvencí zajišťují cesiové nebo vodíkové oscilátory (původně to byly rubidiové oscilátory). Stabilita oscilátorů je 1.10⁻¹¹ až 1.10⁻¹³ za 24 hodin.

Technologie určování polohy s využitím GPS je oproti klasickým geodetickým metodám velmi úsporná a efektivní. Nezávisí totiž na vzájemné viditelnosti bodů (tato je nezbytná pro úhlová a délková měření) a nezávisí na denní nebo noční době. V případě, že se pro měření využije více přijímačů, zvyšuje se i produktivita práce (proti triangulaci 2 až 5 krát). Přesnost měření je závislá na mnoho faktorech a orientačně se udává pro

- souřadnicové rozdíly $\Delta x, \Delta y, \Delta z \pm (1 \text{ cm} + 2 \cdot 10^{-6} \cdot D_{km})$
- azimut $\pm (1'' + \frac{5''}{D_{km}})$.

GPS poskytuje běžné výsledky v souřadnicích vztažených k Světovému geodetickému systému z roku 1984 – WGS 84 (World Geodetic System). Výsledky lze převést do běžné kartografické projekce.

I když má dnes systém GPS rozsáhlé civilní využití, byl vyvinut a je dodnes spravován Ministerstvem obrany USA. GPS je tvořen třemi základními segmenty: kosmickým, řídicím a uživatelským.

Kosmický segment je tvořen soustavou družic, rozmístěných systematicky na oběžných drahách a vysílajících navigační signály. Plná konstelace GPS sestává z 24 družic na šesti oběžných drahách ve vzdálenosti cca 20 000 km od zemského povrchu tak, aby z každého místa na Zemi bylo “vidět” 8 satelitů pokud úhel pozorování není z jakýchkoliv příčin zúžen. Toto uspořádání poskytuje uživatelům potřebný signál kdekoliv na Zemi.

Řídicí segment (z pozemních řídicích středisek) aktualizuje údaje obsažené v družicových navigačních zprávách. Vysílá údaje o efemeridách (přesných oběžných drahách) a údaje o nastavení hodin na jednotlivé družice. Tyto družice pak vysílají signály do uživatelských GPS přijímačů.

Uživatelský segment se skládá z GPS přijímačů, uživatelů a vyhodnocovacích postupů. GPS přijímače provedenou na základě přijatých signálů z družic výpočty polohy, rychlosti a času. To nám například umožňuje:

- a) absolutní určování polohy (možnost lokalizace polohy na mapě). Souřadnicová síť systému WGS zobrazená na mapě, umožňuje určit polohu pomocí ručního navigačního přístroje GPS. Přijímač GPS využívá přesný čas a informaci o poloze vysílané satelity pro výpočet polohy. Soustava satelitů umožňuje získat souřadnice polohy kdekoliv a kdykoliv na Zemi. Pro určení polohy lze použít pouze jednu přijímací aparaturu a postačí získat informace ze tří satelitů. Vzdálenosti družice-přijímač jsou určovány pomocí pseudovzdáleností. Přesnost určení polohy je 100 až 150 metrů a ve výšce 200 metrů k absolutní poloze na zemi. Tato přesnost je využitelná např. v námořní a letecké dopravě. Při použití přijímače s C/A kódem lze určit polohu v tzv. standardním režimu (Standard Positioning Service) řádově 10 metrů a při přesném režimu (Precise Positioning Service) s využitím ještě P kódu je dosahovaná přesnost v metrech. Tyto pracovní režimy jsou využitelné např. v silniční dálkové kamionové dopravě a pro navigaci v osobních automobilech ve městech a v regionech.

b) relativní určování polohy. Poloha bodu se určuje vzhledem k referenčnímu bodu, jehož geocentrické souřadnice jsou známy. V tomto případě je třeba uskutečnit simultánní měření dvěma přístroji. Toto řešení má primární význam v geodézii a v železničním stavitelství, protože umožňuje určit délku základny (vektoru) s milimetrovou přesností a využívá se diferenciálních fázových měření.

Obě metody, absolutní i relativní, lze využít jak pro statické tak i kinematické určování polohy. Při statickém určování polohy je přijímač po dobu měření vzhledem k zemskému povrchu v klidu. Při kinematickém měření je anténa stanice GPS vzhledem k zemskému povrchu v pohybu. Přesnost statických metod a rychlost kinematických měření přispěla k vývoji kombinovaných technologií rychlého určování polohy. Jsou to metody “Rychlá statická metoda” (Fast static) a “Stop and Go” (zastav, změř a pokračuj).

Rychlá statická metoda je podobná klasické statické metodě. Doba měření je ale výrazně kratší, poněvadž zkrácení observační (“nastavovací”) doby je umožněno technologií rychlého určování ambiguit (počet celých period mezi satelitem a přijímačem). Pro tuto metodu musí být dvoufrekvenční přijímač s P kódem a výhodná konfigurace družic. Optimální je podle vlastních měření 5 až 6 družic s výškou 15° nad horizontem. V místech zaclonění družic (v hlubokých zářezech, tunelech nebo pod mostními objekty) nelze metody využít přestože druhý nezbytně nutný přijímač (stanice GPS) je na referenčním bodě o známých souřadnicích a po celou dobu měření přijímá družicové signály. Vzdálenost mobilního přijímače (stanice GPS), kterým se uskutečňují vlastní měření na určovaných bodech, má být do 15 km v okruhu zvoleného referenčního bodu.

Metoda Stop and Go se řadí mezi nejrychlejší způsoby měření, která umožňuje určovat souřadnice podrobných bodů avšak s nižší přesností. Pro určení ambiguit před začátkem měření se využije buď měření v kinematickém režimu na koncových bodech známé výchozí základny, nebo se využívá výměny antén mezi dvěma blízkými přijímači (5 až 10 metrů) za předpokladu, že přijímače přijímají signál minimálně ze čtyř družic a po dobu inicializace nedošlo k přerušení příjmu signálu. Na výchozím bodě zůstává referenční přístroj a druhý přístroj se přemísťuje na podrobné body. Anténu lze pochopitelně přenášet, ale i převážet na železničním vozíku nebo i automobilem avšak nesmí dojít k přerušení signálu čímž se ukončí měření (přijímač zvukovým signálem oznámí přerušení spojení). Měřič se

musí vrátit na poslední bod, kde byla splněna podmínka příjmu a vykoná nové měření. Pak může pokračovat na další body.

Kinematický způsob měření lze využít pro určování dráhy pohybujícího se tělesa, na kterém je umístěn mobilní přijímač. Druhý přijímač je na bodě o známých souřadnicích. Pak se hovoří o kontinuální metodě.

Oba přijímače musí permanentně přijímat družicové signály. Mobilní přijímač musí na počátečním bodě sledované dráhy vykonat statické měření (zahrnuje několik dvouminutových sérií příjmu družicového signálu) pro zjištění výchozích souřadnic a pro určení počáteční ambiguity. Po volbě požadovaného časového intervalu, v kterém se bude určovat poloha mobilního přijímače (od 0,5 s výše) bez zastavení nad určeným bodem, je možné zahájit měření. Rychlost, s kterou se přijímač pohybuje, se může použít k posouzení přesnosti měření.

1. Možnosti využití GPS v oblasti traťového hospodářství

Obecně široká možnost využití GPS se v traťovém hospodářství zužuje zatím prakticky do následujících možností:

1. Sledování polohy kolejového vozidla v železniční síti a jeho rychlosti
2. Navádění traťových strojů pro prostorovou úpravu koleje.
3. Stanovení absolutní prostorové polohy koleje.
4. Prostorového určení směru a velikosti deformací železničních objektů
5. Sběru dat pro jednotlivé GIS železniční infrastruktury v DGPS.

První z možností je již rozpracovávána pro podmínky ČD – projekt, jehož zadavatelem je MDS (S205/510/801 – “Inteligentní systém určení polohy vozidel na principu GPS”), u některých vyspělých železničních drah je již aplikována. Druhá možnost je novinkou, kterou se zabývá Ústav železničních konstrukcí a staveb Vysokého učení technického v Brně.

Obě možnosti jsou v konfiguraci DGPS (Differential Global Positioning System). Slovo diferenční znamená, že systém koriguje chybu určení polohy diferenční metodou. K tomu slouží přesná referenční stanice, jejíž poloha je známa s velkou přesností a tato stanice neustále monitoruje polohu satelitů a jejím výstupem je korekční referenční signál. V praxi to znamená, že chyby v měřených pseudovzdálenostech ke stejným družicím dvěma, nepříliš vzdálenými přijímači, jsou silně korelované. Této skutečnosti se využívá k významnému zvýšení přesnosti v určování polohy uživatelských přijímačů.

Systém sledování polohy kolejového vozidla je navíc v konfiguraci I-DGPS, což znamená invertované DGPS. Signály od přijímače GPS umístěného na kolejovém vozidle, tak korekční referenční signál se přivádějí do řídicího centra. Tím je celý systém jednodušší, bezpečnější a výrazně levnější než druhý systém. Přesný údaj o poloze vozidla má větší význam v řídicím centru než pro obsluhu vlastního vozidla.

Do řídicího centra může být poslán signál o poloze každého kolejového vozidla vybaveného přijímačem GPS (lokomotivy, koncové vagóny vlaku, traťové stroje a vozidla pro údržbu), nebo údaje o pohybu pracovních skupin či samostatných měřičů v koleji (jsou-li tito pracovníci vybaveni přijímači GPS – RTK měření) pro zvýšení jejich bezpečnosti, pro projekty vyžadující řešení v terénu v reálném čase, nebo je-li požadován rychlý sběr dat. Přenos dat lze realizovat pomocí radiových vln na různých frekvencích nebo lze využít i telefonní sítě s přenosovou rychlostí od 9,6 kb/s. Vyšší frekvence umožňuje vyšší přenosovou rychlost (nejvýhodnější je pásmo VKV, které je i vhodné pro přenášení rádiového datového systému – RDS). Do řídicího centra se dále přivádí referenční korekční signál z referenční stanice. Tyto signály se zpracovávají speciálním programem na počítači jehož výsledkem je chyba v určení polohy každé jednotky GPS snížena na hodnotu několika desítek centimetrů až jednoho metru.

Kromě polohy lze pomocí GPS měřit rovněž rychlost, zrychlení a směr pohybu kolejového vozidla a v souvislosti s GIS (Geografický Informační Systém), kdy detailní průběh tratě je uložen v paměti palubního počítače to znamená, že zmíněná přesnost určení polohy (zvláště při přejezdu výhybek do jiné koleje ve staničním zhlaví) je dostatečná. Důležitá je rovněž doba odezvy, která je kritická z hlediska bezpečnosti. Například běžný GPS přijímač poskytuje údaje o poloze každé 2 sekundy (při rychlosti 60km/h je to po téměř

17 metrech jízdy vozidla). Je tedy zřejmé, že pro vyšší rychlosti vozidel se bude vyžadovat doba odezvy nižší.

Dalším problémem jsou místa, kde není zajištěn příjem od satelitů (především v tunelech, pod mostními objekty a podle vlastních zkušeností v hlubokých zářezech, při okolní vysoké zástavbě nebo i při příliš hustém a vysokém okolním porostu) a tím znemožněno určení polohy vozidel se může kombinovat DGPS s inerciálními systémy. Princip spočívá v odvození polohy vozidla z otáčení náprav, měřičů zrychlení či gyroskopů. Jedná se o tzv. “dead reckoning”, tj. mrtvé počítání.

Druhá možnost - navádění traťových strojů pro prostorovou úpravu koleje je poněkud odlišná. Signál od GPS jednotky umístěné na traťovém stroji se současně se signálem z referenční stanice přenáší do řídicího centra (pokud toto řídicí centrum není přímo stanovištěm referenční stanice). Následně je přenášen korekční signál na vozidlo, jeho poloha se upřesňuje přímo na vozidle a tato přesná poloha se následně vysílá zpět do řídicího centra. Vhodnou variantou by bylo umístění referenční stanice GPS na zajišťovací značce v blízkosti upravovaného úseku tratě. Tomuto účelu mohou posloužit vybudované pilony s hlavicemi pro osazení stanic GPS (např. traťový úsek prvního železničního koridoru Brno – Česká Třebová), které jsou od sebe vzdáleny cca 2 km a jejichž souřadnice X, Y, Z jsou přesně určeny. Se stejným záměrem v jiných lokalitách byla zajištěna stabilizace ocelovými pažnicemi, zapuštěnými do hlubokého vrtu, vylité betonem a opatřené centračním šroubem. Ve stavební praxi však došlo v několika případech k porušení jejich polohy. Na stavbách tratí u DBB, pravděpodobně ze stejného důvodu, budují dokonce takovéto body s podzemní stabilizací.

Další a zřejmě výhodnější a přesnější možností je umístění referenční stanice na vybudovaných pilonech podle předchozího (krátká délka vektoru) a umístění mobilního přijímače na speciálním vozíku. Tento mobilní přijímač by před traťovým strojem (například strojní podbíječka) načítal údaje o geometrickém uspořádání koleje (průběh směru a průběh výšky koleje) a hlavně údaje o prostorové poloze koleje vzhledem k zajišťovacím značkám a vzhledem k projektované prostorové poloze osy koleje. Po bleskovém výpočtu a korekcích může vysílat signály traťovému stroji tak, jak je tomu například u metody dlouhé tětiny.

Dalším zpřesněním metody může být následující postup: mobilní přijímač načte stejným způsobem údaje o koleji v mezistožárovém úseku. V místě průsečíku spojnice stožárů trakčního vedení s osou koleje budou dopředu stanoveny souřadnice projektované

polohy osy koleje. Mobilní přijímač GPS zjistí skutečnou polohu koleje v tomto bodě, softwarově se provedou korekce a následně vyšlou pokyny pro práci stroje s tím, že v příslušném mezistožárovém úseku bude kolej upravena do absolutní prostorové polohy tak, jak je dána projektem. Celý cyklus se dále opakuje.

Tento druhý systém – navádění traťových strojů pro prostorovou úpravu koleje nabízí nové možnosti pro stanovení aktuálního geometrického uspořádání koleje železničních drah a její prostorové polohy, zvláště pak pro stavbu a přejímku, ale i pro provoz a údržbu.

Třetí možností je stanovení absolutní prostorové polohy koleje. Vezmeme-li v úvahu neustále se zvyšující rychlosti na železnici, pak i nepatrná změna v prostorové poloze koleje může mít nepříjemné následky. Kolejový rošt je namáhán silami vyvolanými teplotními změnami a provozními účinky. Ze zkušenosti víme, že tyto síly vyvolávají napětí která mají tendenci se někde “vybít”. Většinou dojde k prostorovému posunu kolejového roštu. Obdobou je prostorový posun kolejového roštu při práci strojních podbíječek i při zachování geometrických parametrů koleje. Tím vzniká situace, kdy například měřicím vozem vyhodnotíme geometrické uspořádání koleje (směr, podélná výška a sklon koleje) jako vyhovující, ale prostorová poloha koleje, (která je zahrnuta pod geometrickými parametry koleje a je definovaná jako “množina bodů osy koleje jednoznačně určených v projektu polohopisnými souřadnicemi a nadmořskou výškou”) je jiná než projektovaná.

Železniční provoz pak může být ohrožen tím, že není dodržen volný schůdný a manipulační prostor, že pevné stavby a zařízení zasáhnou do průjezdného průřezu, že u dvou a více kolejných tratí nebude dodržena osová vzdálenost kolejí. Okamžitým měřením stanicí GPS určíme odchylku od projektované prostorové polohy koleje bez dalšího nutného ověřování polohy vztažných bodů. Určité problémy však tato metoda přináší, ale o jejich eliminaci je psáno v následující kapitole o experimentálních měřeních.

Čtvrtou možností je prostorové určení směru a velikosti deformací (vektoru deformace) železničních objektů. Opakovaným určením souřadnic X,Y,Z téhož bodu v časové ose tj. po týdnech, měsících nebo letech můžeme určit prostorově směr a velikost posunu (deformace) bodu a při opakovaných měřeních i trend kvantitativní či kvalitativní. Příkladem může být změna polohy kolejového roštu vlivem deformací konstrukčních vrstev tělesa železničního spodku, posuny opěr železničních mostů, vliv účinků traťových mechanismů (zhutňovačů, vibrátorů) na stabilitu konstrukce pražcového podloží.

1. Přesná nivelace

Další z geodetických metod měření využitelných v oblasti traťového hospodářství je nivelace geometrická (vedle nivelace trigonometrické, tachymetrické či barometrické), která používá nivelační přístroj se záměrnou přímkou urovnanou do vodorovné roviny. Podle dosahované přesnosti výsledku měření, hodnocené střední kilometrovou chybou m_0 (tj. střední chybou, připadající na 1 km nivelované vzdálenosti) je to vedle klasické technické nivelace ($m_0 = 7,5$ mm) ještě nivelace přesná ($m_0 = 2,5$ mm) a nivelace velmi přesná ($m_0 = 1,2$ mm). K dosažení uvedených přesností musí být použit odpovídající nivelační přístroj, nivelační latě a také postup měření.

Technická nivelace je charakterizována jako nivelační měření pro běžné technické účely, při kterém se užívají nivelační přístroje technické popř. stavební a obyčejné nivelační latě.

Přesná nivelace je charakterizována dosahovanou vyšší přesností naměřených výsledků se střední kilometrovou chybou m_0 , která se pohybuje v rozmezí 2,5 až 1,2 mm. Aby této přesnosti bylo dosaženo, bývá použita souprava pro přesnou nivelaci skládající se z nivelačního kompenzátorového přístroje (např. ZEISS NI 007), dvou invarových nivelačních latí a měřického slunečníku. Vysokým požadavkům na přesnost byla také přizpůsobena technologie měření.

Přesná nivelace se provádí zásadně geometrickou nivelací ze středu. Nejdříve se každý nivelovaný oddíl nebo úsek rozměří tak, aby obsahoval sudý počet nivelačních sestav k vyloučení chyby z nestejných počátků nivelace (např. podle čísel pražců tak, jak jsou uváděny v dispozičním plánu každé výhybky). Délky záměr volíme v souladu s geodetickými zásadami v rozmezí 25 m až 35 m podle sklonu terénu tak, aby záměra byla minimálně 0,5 m nad terénem (aby se zabránilo vlivu refrakce) a minimálně 0,8 m od horního konce latě (kdy se neuplatní vliv případně nesvislé polohy latě).

Nivelační sestava například pro stanovení podélné výšky kolejnicového pásu (která je definována jako bokorysný průmět temene kolejnicového pásu) se rozměří tak, že na hlavě kolejnice nad každým šroubem upevnění na příslušném pražci se vyznačí bod na nepojížděné hraně hlavy kolejnice.

Měření v nivelační sestavě má tento průběh. Pro postavení přístroje se volí pevná místa. Po horizontaci přístroje podle alhidádové libely se zacílí na lať postavenou na zaměřovaném bodě (nejdříve na příslušných fixech) a urovnanou do svislé polohy krabicovou libelou. Klínová ryska záměrného kříže se nastaví na levou stupnici na lati. Působením mikrometrického šroubu přivedeme klínovou rysku na nejbližší dílek stupnice. Před odečtením se znovu přesvědčíme, zda nivelační libela se nevychýlila z urovnané polohy a teprve potom provedeme první čtení na lati. Potom jemnou ustanovkou alhidády posuneme dalekohledem tak, aby klínová ryska záměrného kříže se promítla na pravou stupnici na lati. Mikrometrickým šroubem nastavíme klínovou rysku na nejbližší dílek latě a po kontrole nivelační libely přečteme čtení na pravé stupnici.

Zapisovatel ověří, zda rozdíl obou čtení dává konstantní laťový rozdíl (např. 60650). Jestliže je větší než ### 2, opakuje se čtení na levé i pravé stupnici přístroje.

Podle geodetických zásad musíme ověřit, zda poloha přístroje se během měření nezměnila. Proto musí být vždy prováděno zaměření na fixní body a to před měřením v daném úseku a po měření. Jestliže se lišilo druhé čtení od prvního čtení o více než ### 2 dílky (například po průjezdu těžkého nákladního vlaku při postavení stroje v blízkosti koleje) opakuje se měření celé sestavy.

Jestliže byl nesouhlas malý (menší než ### 2 dílky), utvoříme z poslední a předcházející záměry aritmetický průměr. Teprve když je ověřena správnost měření v nivelační sestavě, může být pokračováno v měření dalšího úseku. Zpracování výsledků měření se provádí zavedením oprav podle geodetických rovnic. Opravená převýšení se potom vyrovnávají podle zásad metody nejmenších čtverců.

Aby bylo možno dosáhnout žádané přesnosti, je třeba vyloučit nebo alespoň omezit zdroje chyb při měření a to zejména :

- chybu v odhadu desetin dílku nebo v zacílení na dílek,- chybu z urovnání záměrné přímky kompenzátorem,
- chybu z urovnání krabicové libely na lati,
- chybu z nepřesného osazení latě na měřený bod,
- chybu z vlivu teplotních změn na přístroj,
- chybu ze změny výšky přístroje v průběhu měření,
- chybu ve změně výšky fixních bodů.

Většina nastíněných chyb majících vliv na přesnost měření byla při našich experimentálních měření v koleji v průběhu měření, ale i v jednotlivých etapách měření důsledně sledována a eliminována. Jako příklad uvádím, že k eliminování chyby z nepřesného osazení latě na měřený bod, byl zkonstruován speciální nosič invarové latě s hrotem upevněným ve spodní části latě tak, aby nasazování latě na měřený bod nabylo plošné, ale bodové.

2. *Experimentální měření v terénu*

Metoda GPS byla naším pracovištěm ve spolupráci s Ústavem geodézie na železnici použita poprvé. V rámci jiných úkolů souvisejících se stabilitou a spolehlivostí geometrických parametrů koleje byly zaměřeny pokusné úseky v různých lokalitách ČD (Havlíčkův Brod, Libice, Nymburk aj., kolej v přímé, v oblouku, ve stoupání, ale i na náspu či v zářezu). Kolejnicové pásy byly pomocí vlastní metodiky označeny, očíslovány a proměřovány totální geodetickou stanicí TOPCON GTS 6a a přesnou nivelací ZEISS Ni 007. Zjištěné údaje o geometrických parametrech koleje a její prostorové poloze byly neocenitelnými informacemi pro stanovení přesnosti měření metodou GPS.

Pro účely experimentu s GPS bylo nutno sestrojít speciální vozík. Toto zařízení umožňuje pohyb přimontované antény GPS po temeni kolejnice, její přesnou centraci a horizontaci. K centraci slouží rysky na boku vozíku a k horizontaci kovový profil tvaru T, kterým je možno vozík naklánět do kolmého směru. V podélném směru se anténa horizontuje při inicializaci stavěcími šrouby na trojnožce vozíku. Kontroler aparatury byl na dlouhém kabelu, aby obsluha nerušila příjem družic.

Byly použity kombinované technologie určování polohy bodů a to jak Rychlá statická metoda, tak Stop and Go. V poslední fázi experimentu byl prováděn kinematický způsob měření, tedy aplikace kontinuální metody. Jako referenční byly použity dva přijímače osazené na bodech A a B, které byly umístěny na začátku a konci pokusného úseku. Naměřené údaje se zaznamenávaly v paměti kontroleru aparatury.

Pro měření bylo použito 3 aparatur GPS System a zpracování dat z kontroleru aparatur GPS probíhalo po “přetažení” pomocí kabelu do PC ve firemním softwaru SKI v. 2.2. proto, že přijímá data ve vnitřním formátu přístroje. Program SKI se skládá z několika programových bloků, které jsou řazeny za sebou v logickém sledu výpočtu – Configuration

(nastavení konfigurace), Preparation (plánování měření), Project (správa dat), Import (přenos měřených dat), Data Processing (početní zpracování dat), Compute (vlastní výpočet), View/Edit (prohlížení a editace), Adjustment (vyrovnání), Datum/Map (transformace), Utilities (aktualizace SW vybavení senzoru a kontroleru) a Help (nápověda). Početní zpracování dat (Data Processing) je vlastní výpočetní modul, který vyhodnocuje měřená GPS data a poskytuje výstupní údaje v systému WGS – 84.

V našem případě byly výsledné souřadnice WGS transformovány vždy do místní souřadnicové soustavy s osou X v přímce bodů AB. Ze souřadnic získaných metodami GPS, totální stanicí TS a přesnou nivelací PN bylo možné ověření velikosti odchylek při použití transformačních metod a analýz. Protože cílem experimentu bylo i srovnání daných metod, byly výsledky jednotlivých měření zpracovány tak, aby hodnoty názorně ukazovaly vzájemné difference metod na jednotlivých bodech.

3. Přesnost a technické parametry

Přesnost je jedním z nejobtížnějších požadavků systému jak pro sledování polohy kolejového vozidla v železniční síti (pravděpodobnost určení polohy vozidla s GPS musí být větší než 0,99999), tak pro navádění traťových strojů pro prostorovou úpravu koleje, ale i pro stanovení absolutní prostorové polohy koleje či určení deformací. Technické parametry uváděné jednotlivými renomovanými výrobci GPS (WILD, LEICA, TRIMBLE, TOPCON) jsou přibližně shodné a záleží především na typu stanice pro jaký účel bude použita a způsobu měření. Například přijímač Garmin GPS 38TM, který je určen jako pomůcka pro orientaci v přírodě nebo na moři má přesnost určení polohy ± 20 až 100 m, doba nutná k získání potřebných dat je cca 2 minuty a který má velikost mobilního telefonu (15,6 x 5,1 x 3,1 cm) lze pořídit za 10 tisíc korun.

Jiným příkladem je jednofrekvenční přijímač GPS TOPCON GP-SX1, který při měření Post processing v módu Statická & Rychlá statická metoda má udávanou horizontální přesnost 5 mm + 1 ppm a vertikální přesnost 10 mm + 2 ppm (při krátké délce vektoru do 10 km) a v módech Stop & Go, Kontinuální kinematická metoda je horizontální přesnost 20 mm + 2 ppm a vertikální přesnost 40 mm + 2 ppm při krátké délce vektoru a křížové dipólové anténě, ale při anténě Microstrip jsou již hodnoty poloviční. Při měření Real – time kinematic v módech Stop & Go a Kontinuální kinematická metoda je horizontální přesnost 10 mm + 2

ppm a vertikální přesnost 20 mm + 2 ppm. Inicializace je menší než 15 sekund na známém bodě nebo inicializačním pásu. Vyžaduje RTK volbu a FS/2 kontrolér se softwarem a vhodný datový rádio/modem. Výkon měření v reálném čase je funkcí počtu sledovaných satelitů, délky určovaného vektoru, "multipath", přesnosti pozice referenčního přijímače a různých vlivů prostředí. Takovéto typy stanic jsou pochopitelně podstatně dražší a pohybují se v cenových relacích od 500 tisíc korun výše.

4. Závěr

Experimentální měření metodou GPS bylo na železnici naším pracovištěm provedeno poprvé a tudíž není možnost porovnání výsledků s větším, statisticky přijatelným souborem. Střední jednotková chyba vypočtená z regresní analýzy pravoúhlých transformovaných GPS souřadnic byla $m_0 = 0,0118$ m. Pro tentýž kolejnicový pás a metodu TS byla $m_0 = 0,0343$ m. V jiném zkušebním úseku byly hodnoty $m_0 = 0,0304$ m a $m_0 = 0,0294$ m, přičemž se jednalo o zdeformované oblouky s poloměry pod 300 m. Výškové odchylky se pohybovaly v rozmezí $\pm 0,010$ m a nepřekročily mez $\pm 0,025$ m od přesné nivelace. Mohu konstatovat, že v současnosti při využití všech možností zpřesnění, která nám dávají metody měření a vlastní stanice GPS je možné dosáhnout polohopisné přesnosti $\pm 0,020$ m až $\pm 0,006$ m a ve výškové poloze $\pm 0,025$ m až $\pm 0,009$ m. Podle ČSN 73 6360 – 2 Konstrukční a geometrické uspořádání koleje železničních drah a její prostorová poloha, Část 2: Stavba a přejímka, provoz a údržba:

- absolutní polohová odchylka osy koleje (SKa) od její projektované polohy nemá být při přejímce dokončených prací před zahájením trvalého provozu v přímé koleji větší než $\pm 0,015$ m a v oblouku větší než $\pm 0,020$ m, přičemž absolutní polohová odchylka SKa je definována jako odchylka osy koleje od její projektované polohy, nezátížená chybami ve vytyčení hlavních bodů trasy !!,
- absolutní výšková odchylka nivelety temene nepřevýšeného kolejnicového pásu (VKa) od její projektované nadmořské výšky nemá při přejímce dokončených prací před zahájením trvalého provozu v koleji překročit hodnoty pro RP4 a RP3 (Rychlostní pásma) + 0,005 m a - 0,010 m, pro RP2 a RP1 + 0,010 m a - 0,015 m v hlavních kolejích a v ostatních kolejích pro RP4 a RP3 + 0,010 m a - 0,010 m, pro RP2 a RP1 + 0,010 m a - 0,020 m,

- provozní odchylky prostorové polohy koleje od její projektované polohy, které nemají být za provozu překročeny jsou pro RP4 a RP3 $\pm 0,025$ m (SKa) a + 0,020 m, - 0,030 m (VKa), pro RP2 a RP1 jsou $\pm 0,030$ m (SKa) a + 0,020 m, - 0,050 m (VKa).

Z uvedeného je zřejmé, že v daném rozsahu přesnosti lze metodu GPS na železnici použít spolehlivě pro určení 2D souřadnic a při kombinaci s PN metodou spolehlivě i pro 3D, samozřejmě s omezením lokalit, kde to nebude umožňovat sama metoda GPS.

Nepopiratelnou výhodou je určení WGS souřadnic a ne jen souřadnic v místní souřadnicové soustavě a přenos těchto dat a informací do GIS, který se stane nepostradatelnou součástí technického rozvoje.

Experimentální měření a práce byly provedeny v rámci řešení výzkumného záměru fakulty s reg.č. CEZ: J22/98:261100007 s názvem “Teorie, spolehlivost a mechanismus porušování staticky a dynamicky namáhaných stavebních konstrukcí”.

Literatura:[1] Švábenský, O., Fixel, J., Weigel, J.: Základy GPS a jeho praktické aplikace. Akademické nakladatelství CERM, s. r. o. Brno 1995[2] Zvěřina, P.: Výzkumné zprávy z měření v rámci CEZ. VUT Brno, 1999 [3] Firemní literatura a prospekty

V Brně, březen 2000

Lektoroval: Ing. Pavel Loskot
hlavní geodet ČD
ČD DDC O7