

VYUŽITIE METÓD GNSS PRE ENVIRONMENTÁLNY MONITORING

USING GNSS METHODS FOR ENVIRONMENTAL MONITORING

Roman CHOVANEC

ABSTRAKT

Environmentálny monitoring je možné vykonávať rôznymi metódami, spôsobmi a technológiami, v závislosti na celi, pre ktorý namerané hodnoty chceme použiť. GNSS (Global Navigation Satellite System) a zvlášť GPS (Global Positioning System) patria medzi technológie, ktoré môžu byť pre monitoring využité. Ich prednosťou je, že sledovaným a meraným veličinám dodávajú priestorový rozmer – teda lokalizujú ich v priestore. Tým je splnená požiadavka pre napĺňanie údajov do GIS systémov, keďže k nameraným dátam máme ako atribútové (popisné), tak aj polohové informácie (súradnice). Tie sú dôležité pri analýze dát – sledovaní priestorového rozšírenia fenoménov, ich vzájomná interakcia, premenlivosť v priestore a čase. Autor sa zameriava na podanie prehľadu meracích metód a posúdenie ich vhodnosti pre monitorovanie rôznych fenoménov životného prostredia.

Kľúčové slová: GNSS, GPS, environmentálny monitoring, priestorové údaje

ABSTRACT

Environmental monitoring can be performed by various methods, ways and technologies, depending on the objective for which the measured values are used. GNSS (Global Navigation Satellite System) and specifically GPS (Global Positioning System) belong among technologies that can be used for such monitoring. Their advantage is that they add spatial dimension to the surveyed and measured data - locate them in space. Thus, the requirement for filling data into GIS systems is accomplished, since we have for measured data attribute (descriptive) information, as well as localization information (coordinates). These are important for data analysis - monitoring of spatial phenomena extension, their interaction, variability in space and time. The author focuses on providing an overview of measurement methods and evaluates their suitability for monitoring various environmental phenomena.

Key words: GNSS, GPS, environmental monitoring, spatial data

ÚVOD

Článok pojednáva o kvantitatívnych a kvalitatívnych údajoch, ktoré môžu byť zhromažďované pomocou GNSS technológií a tým zodpovedať otázku, ako môže byť prospešné a čo užitočné môže GNSS poskytnúť pre monitorovanie životného prostredia. Rôznorodosť parametrov nevyhnutných pre monitoring životného prostredia je veľmi vysoká a závisí na tom, aké ukazovatele (indikátory) sa sledujú. Niektoré z nich sú fyzikálne veličiny, ako napr. zmeny v pôdnej pokrývke, vegetácii, rozloženie a intenzita dažďových zrážok, hladina vody, teplota, odlesňovanie, slnečné či UV žiarenie. Iné sú chemické, napr. pH, salinita, obsah živín, kovov, pesticídov a ďalšie majú biologický charakter, napr. rozmanitosť druhov, zdravie a stav ekosystémov či výskyt indikačných druhov. Ďalej sú GNSS satelity užitočné pri meraní fyzikálnych veličín, ako sú atmosférické teploty, tlak, hrúbka tropopauzy, potrebné pre monitorovanie počasia a klimatických zmien.

Pre chemické a biologické premenné, hlavným parametrom pre monitorovanie životného prostredia je poloha, ktorá umožňuje lokalizáciu sledovaných indikátorov a ich parametrov. Súradnice sú dôležité nielen pri určení polohy, kde sa fyzicky sledovaný parameter nachádza, ale aj pri meraní priestorovej variability a diferenciácie v sledovaných premenných. Napríklad použitím GNSS, sledovanie pobrežnej erózie môže byť vykonávané nepretržitým meraním pobrežnej línie v rôznych časových obdobiach. Iné príklady použitia pre monitorovanie životného prostredia, polohy získané z GNSS dopĺňajú a tým vylepšujú iné monitorovacie.

Medzi prerozdeľovanie a pohyb hmoty patria zmeny v povrchových a podzemných vodách na miestnej, regionálnej či celosvetovej úrovni. Pri dynamických environmentálnych javov, ako je napr. postupujúce odlesňovanie, GNSS poskytujú efektívne nástroje pre meranie týchto zmien možnosťou vytvorenia časových radov priestorových zmien.

NÁVRH MONITOROVACIEHO VÝSKUMU POMOCOU GNSS

Za účelom maximalizácie výhod poskytovaných GNSS pre monitorovanie životného prostredia, je nevyhnutné, aby boli vypracované správne postupy merania s jasným smerovaním a cieľom. Rovnako ako pri všetkých meraniach bude kvalita pozorovania závislá od účelu a cieľu a zvlášť od požiadaviek objednávateľa. Tieto ciele a potreby budú určovať metódy zvolenej pre zber dát, frekvenciu zberu dát, časový a priestorový rozsah.

Dizajn monitoringu by mal preto stanoviť monitorované parametre požadované od GNSS, kde, kedy a kým budú tieto údaje zhromažďované. Rovnako ako ostatné monitorovacie techniky životného prostredia, výskum pomocou GNSS tiež vyžaduje určité základné prieskumy alebo informácie na základe ktorých sa dejú procesy a zmeny v životnom prostredí. V prípade určovania polohy, takéto základné údaje zvyčajne zabezpečuje sieť stálych referenčných staníc, ktorých pozície sú presne známe. Každá priestorová zmena (t.j. zmena parametru životného prostredia, ktorá je sledovaná s ohľadom na svoje stanovisko v danom čase), bude potom prislúchať k daným bodom. Meranie môže byť vykonávané opakovane v rôznych časových intervaloch (časové rozlíšenie) v závislosti na rozpočte a požadovanej presnosti. Výsledná presnosť zozbieraných údajov bude závisieť na tom, ako sú spracované chyby a ich korekcie.

Pre monitoring pomocou GNSS tieto chyby môžu byť externé (t.j. mimo pôsobnosti užívateľa) alebo vnútorné (t.j. počas samotných meraní). V tejto kapitole sú uvedené postupy meraní pomocou GNSS, ktoré minimalizujú chyby a napomáhajú dosiahnuť zmysuplné a relevantné výsledky. GNSS prieskumy možno rozdeliť do troch častí:

- **Plánovanie a rekognoskácia.** Tento krok je nevyhnutnou súčasťou každej monitorovacej akcie. Pre GNSS prieskum je nevyhnutné, aby plánovanie postupu merania bolo vykonané s ohľadom na minimalizáciu chýb. Napr. je vhodné, aby boli načrtnuté viditeľnosť oblohy a dráhy satelitov počas doby trvania monitoringu. Výhoda spočíva v tom, že počet viditeľných satelitov počas plánovanej doby a prípadné prekážky viditeľnosti satelitov sú vopred stanovené. Hlavným cieľom je zabezpečiť priamu viditeľnosť najmenej štyroch satelitov s dobrým geometrickým rozložením. Tento počiatočný prieskum zahŕňa získanie informácií o sieti, dostupnosti a prístupnosti existujúcich referenčných staníc, identifikovať potenciálne zdroje chýb (ako sú budovy a stromy), ktoré môžu spôsobiť multipath efekt, ešte pred samotným GNSS prieskumom. Vykonanie a plánovanie môže významne prispieť k zníženiu finančných nákladov a eliminácii rôznych logistických problémov.
- **Samotné vykonanie monitorovacieho prieskumu.** Po identifikácii účelu, cieľov a prvotného plánovania environmentálneho monitorovacieho projektu, môže byť prieskum vykonaný prostredníctvom vhodne zvoleného GNSS a metódy určenia polohy. Výhodou je mať odborný dohľad a starostlivosť o priebeh počas samotného postupu prieskumu, čím sa dosiahne minimalizácia chýb a nepresností tam, kde je to možné (napr. nastavenia prijímača v otvorenom priestore, ktorý nie je v tesnej blízkosti budov, aby sa znížila pravdepodobnosť multipath chýb).
- **Spracovanie dát.** Za účelom získania monitorovacích parametrov z GNSS observovania, dáta môžu byť spracované v reálnom čase alebo po meraní (post-processing).

METÓDY A ICH VYUŽITIE

Meranie jednotlivých bodov (Single Point Positioning)

V závislosti na celi monitorovacej úlohy, meranie jednotlivého bodu môže nadobudnúť podobu merania absolútneho bodu. V tomto prípade, pseudovzdialenosti musia byť merané na satelity, ktorých polohy sú známe. Presnosť lokalizovaného bodu spočíva v tom, ako presne sú merané pseudovzdialenosti a ako presne sú známe pozície satelitov. Opakované merania, aj keď sú redundantné, môžu celkovo zlepšiť presnosť vzdialeností (US Army Corps of Engineers 2007). Ak si úloha vyžaduje len približné súradnice, napr. umiestnenie vrtu na pôdnu analýzu, presnosť niekoľkých metrov je úplne dostatočná, takže nízkonákladový ručný GNSS prijímač bude úplne postačovať. Tieto druhy prijímačov pracujú na báze kódového merania pseudovzdialeností a sú bežne používané pre osobnú navigáciu v autách, na lodiach, zber dát pre GIS, kde postačuje nízka presnosť, atď. Ručné prijímače poskytujú absolútne súradnice s horizontálnou presnosťou asi 5-15 m. Decimetrové presnosti môžu byť dosiahnuté umiestnením prijímača v bode záujmu po dobu 30-45 minút. S modernizáciou GNSS družíc je možné očakávať rádové zlepšenie polohovej presnosti (obr. 1). Toto zlepšenie bude dosiahnuté

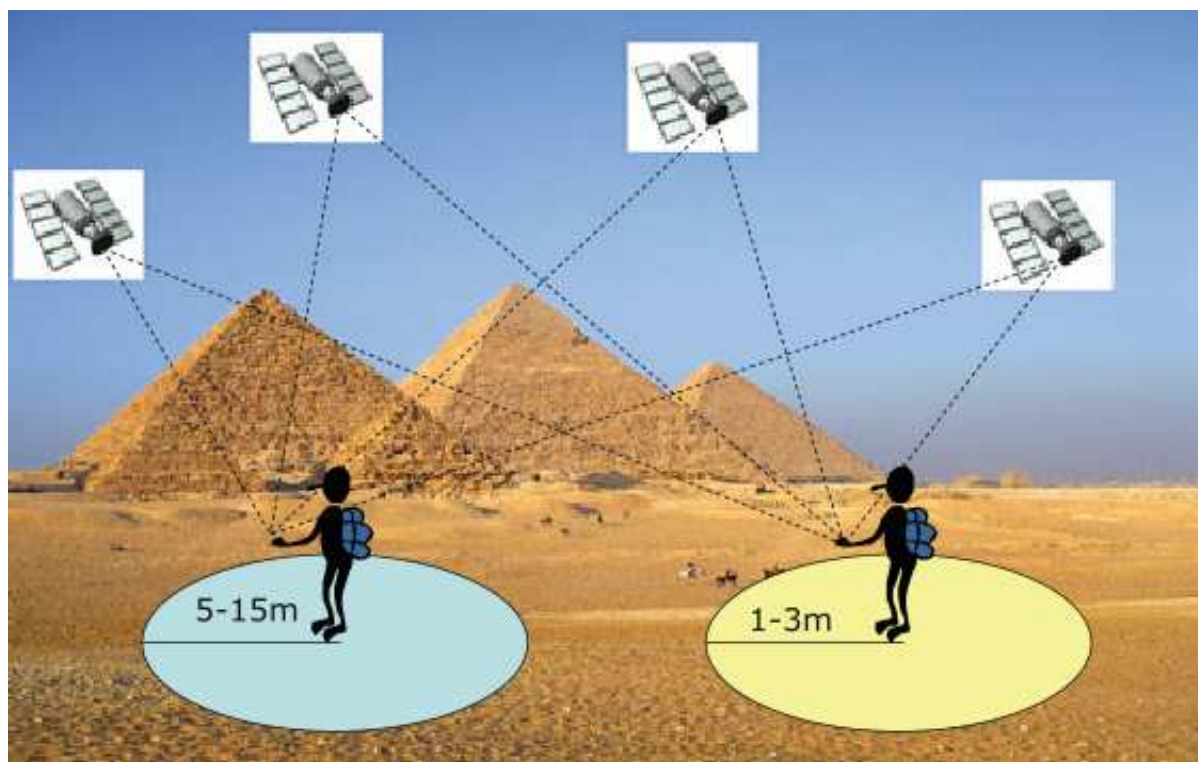
v dôsledku schopnosti presnejšieho stanovenia polohy družice, zlepšenia technológií pre prijímače, prídavného užívateľského signálu premodelovanie ionosférických chýb a zahusťovanie pozemnej siete monitorovacích staníc.

Statické relatívne meranie

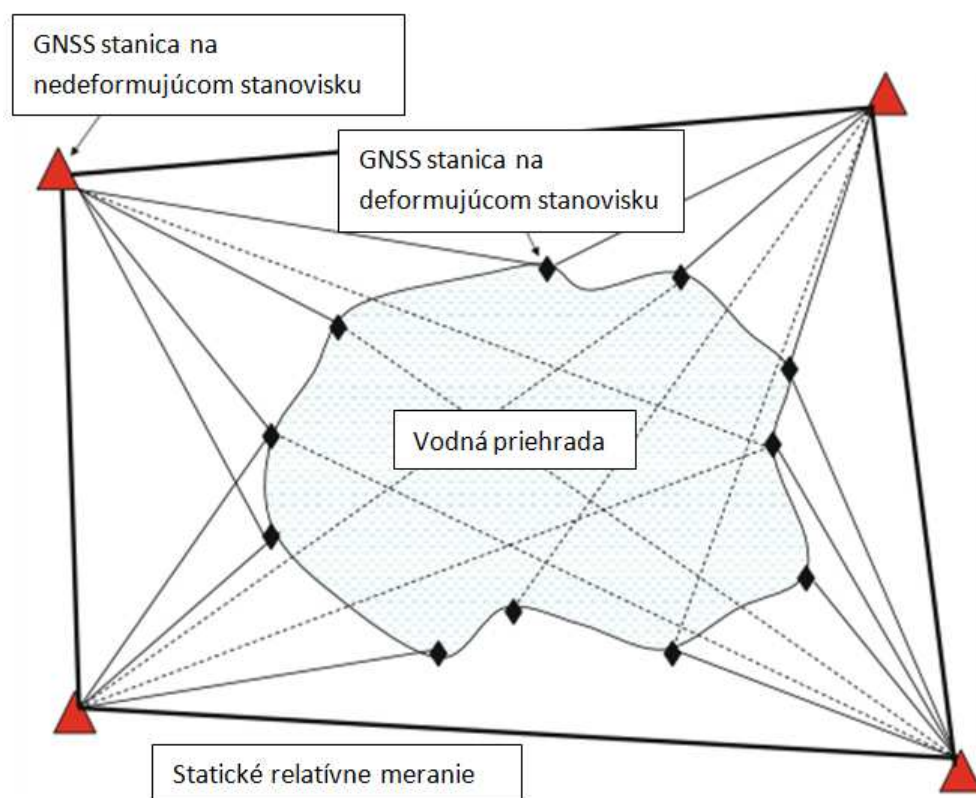
Tam, kde existujú referenčné stanice so známou polohou, odporúča sa metóda statického relatívneho merania, ktorou sa dosahuje vyššia polohová presnosť. V tomto prevádzkovom režime sa vyžadujú dva alebo viaceré GNSS prijímače, ktoré observujú ten istý satelit súčasne. Hoci sú s tým spojené dodatočné náklady na ďalšie vybavenie, výhoda oproti absolútnemu meraniu polohy bodu, je schopnosť eliminovať alebo minimalizovať chyby spojené s atmosférou a obežnými dráhami satelitov prostredníctvom diferenciálnych techník. Táto metóda je účinnejšia pre krátke základne (menej ako 20 km), kde sa predpokladá, že atmosférické chyby sú rovnaké. Pomocou tejto metódy je jeden prijímač umiestnený na referenčnej (kontrolnej) stanici, zatiaľ čo druhý prijímač meria polohu požadovaného bodu. Sledovanie družíc musí byť potom simultánne a synchronizované.

Čas pozorovania by mal za normálnych okolností trvať od 20 minút do 1 hodiny, pričom údaje sa zaznamenávajú v intervaloch 10-15 sekúnd. Opäť, pri dlhších pozorovacích časoch sa dosahujú presnejšie výsledky. Ak sú minimalizované chyby vďaka správne plánovaniu, táto metóda je schopná poskytnúť odchýlky súradníc na centimetrovej až milimetrovej úrovni.

Táto metóda je využiteľná pri vytváraní kontrolných sietí s vyššou presnosťou (základňové referenčné siete). Statická relatívna lokalizácia je potenciálne veľmi užitočná pre monitorovanie environmentálnych priestorových variácií, napr. deformácie alebo poklesy terénu (obr. 2). Post-processing umožňuje použitie presných efemeridov získaných počas nasledovných jedného až dvoch týždňov po samotnom meraní a tým poskytnúť veľmi presné výsledky. Tým je túto metódu možné a vhodné použiť na monitoring deformácií priehradných múrov, densifikáciu existujúcich kontrolných sietí, monitorovanie zemetrasení meraním posunov tektonických dosiek, pohybu a dynamiky zemskej kôry, či posun ropné vrtných plošiny (Schofield a Breach, 2007, s. 339).



Obr. 1 Vylepšená presnosť bodového merania súvisí s modernizáciou GNSS satelitov a technológiami prijímačov: v roku 2002 bolo možné tou istou metódou dosiahnuť presnosť 5 – 15 m, pokiaľ v roku 2012 sa tou istou metódou dala dosiahnuť presnosť 1 – 3 m (dosiahnuté modernizáciou GPS satelitov a prídavnými signálmi).



Obr. 2 Monitorovanie deformácia hrádze pomocou statickej relatívnej metódy. Červené trojuholníky označujú kontrolné stanovišťa na nedeformujúcom povrchu, ktoré poskytujú vzťažné monitorovacie dáta. Čierne body označujú GNSS stanice v okolí priehrady, ktoré sledujú horizontálne a vertikálne pohyby (posuny) voči kontrolným bodom (červeným trojuholníkom)

GNSS meranie v reálnom čase (Real-Time GNSS – RTGNSS)

Stále viac užívateľov požaduje dosiahnutie vyššej presnosti výsledkov v reálnom čase, t. j. nemôže observovať na jednom mieste viac ako 30 minút, resp. nemôže ani spracovať dáta post-processingom. Na takéto požiadavky výrobcovia reagujú ponukou prístrojov schopných merať s centimetrovou presnosťou v reálnom čase. V súčasnosti sú schopní poskytnúť riešenia, kde centimetrová presnosť sa dá dosiahnuť v priebehu niekoľkých sekúnd a milimetrová v priebehu dňa (Hammond et al. 2011). Príkladom je globálny diferenciálny GPS (GDGPS) z NASA, ktorý je plne funkčný od roku 2000. Je to kompletne, veľmi presné a extrémne robustné real-time GPS, ktoré využíva rozsiahlu pozemnú sieť regionálnych a globálnych real-time prijímačov GNSS referenčných prijímačov, inovatívnu sieťovú architektúru a výkonný softvér pre spracovanie dát v reálnom čase, takže decimetrová presnosť (10 cm) je dosiahnutá v sub-nanosekundovom čase kdekoľvek na svete, na zemi, vo vzduchu aj vo vesmíre, nezávisle od miestnej infraštruktúry (zdroj: <http://www.gdgps.net/>). Tieto technológie sú použité v projektoch pre monitorovanie zemetrasení a tsunami, ďalej v ručných mobilných zariadeniach (Mobile Mapper 100 od Ashtech), ktorý disponuje internou vysoko kvalitnou anténou a schopnosť dosiahnuť centimetrovú presnosť. Tento ručný prijímač je vhodný na sledovanie zmien v oblastiach životného prostredia, v ktorých dochádza k priestorovej zmeny. Týmto spôsobom je možné varovať obyvateľstvo (napr. prostredníctvom SMS notifikácie) žijúce v rizikových územiach pred zemetrasením v priebehu niekoľkých minút.

Diferenčné GNSS (DGPS)

Táto metóda je v podstate zhodná post-processingom statického relatívneho merania pomocou kódových pseudovzdialeností, ibaže sa to deje v reálnom čase. Sú však potrebné dva prijímače a rádio alebo mobilný

telefón. Účelom dátové prepojenia je odovzdať korekcie pseudovzdialeností (PRC) od referenčnej stanice do mobilného prijímača, aby opravil svoje vlastné namerané pseudovzdialenosti.

Môže byť k dispozícii niekoľko referenčných staníc, ktorých súradnice sú známe v systéme DGPS a rozdeľujú sa na 2 skupiny:

1. vlastná užívateľská nezávislá referenčná stanica, čo v podstate znamená, že užívateľ musí dokúpiť prijímač, čím vznikajú ďalšie náklady;
 2. komerčne vlastnené referenčné stanice, ktoré účtujú užívateľom prístup k prenášaným signálom.
- Metódou DGPS sa dosiahnuté presnosti pohybujú v rozmedzí 3-5 m (US Army Corps of Engineers 2007). Táto presnosť je však závislá na blízkosti mobilného užívateľa a referenčných staníc. Vzdialenosť by mala byť v ideálnom prípade nižšia ako 50 km, aby sa mohlo predpokladať, že signály zo satelitov pre mobilnú aj referenčnú stanicu sú ovplyvnené rovnakými chybami. Časová latencia (oneskorenie) pri komunikácii na prijímanie opráv je asi 0,25 - 2 sekundy.

Posilnené GNSS

Pri aplikáciách, ktoré sú vzdialené viac ako 50 km od referenčnej stanice, je použitie DGPS obmedzené, čím vznikla požiadavka na vytvorenie Wide Area Differential GPS (WADGPS) – diferenčné GPS so širokou oblasťou pôsobnosti. WADGPS má globálne alebo regionálne pokrytie referenčných staníc potrebných pre modelovanie atmosférickej a orbitálnej chyby, ktoré je dostatočné pre dlhé základne a sú rozdelené na Ground-Based Augmented Systems (GBAS) alebo Satellite-Based Augmented Systems (SBAS).

GBAS, ktorý používa pozemné stanice, sú vhodné pre real-time aplikácie a ich dosah je do 400 km. Presnosť mobilného prijímača, podobne ako u metódy DGPS bude závisieť od jeho vzdialenosti od referenčnej stanice. V niektorých krajinách sú takéto siete štátne a za určitých podmienok ich služby poskytované bezplatne.

SBAS posielajú korekcie do vzdialených oblastí (napr. oblasti mimo dosahu obyčajných DGPS alebo GBAS, ako sú oceány). Na rozdiel od DGPS, kde sa prenos dát deje rádiovým spojením, SBAS prenáša dáta prostredníctvom geostacionárnych komunikačných satelitov. Primárne sú používané v leteckej navigácii a pre civilné aplikácie nevyžadujúce vysokú presnosť (do 7 m).

Metódy rýchlej lokalizácia (Rapid Positioning)

Rapid positioning využíva pseudovzdialenosti fázového nosiča a je aplikovateľné pri rýchlom statickom meraní, „stop-and-go“ meraniach a kinematických meraniach. Rýchle statické merania sú zvyčajne post-procesované, zatiaľ čo stop-and-go a kinematické merania môžu byť vyhodnotené tak post-procesovaním ako aj v reálnom čase. Vyvinuté boli rôzne varianty a metódy na urýchlenie observovania (US Army Corps of Engineers 2007), medzi ktoré patrí:

- statické observovania známeho bodu (napr. predtým lokalizované body, základňové línie) viac ako 30 sekúnd
- statické merania na inom známom bode na základni
- statické meranie neznámej základne
- statické meranie na neznámej základni, pričom referenčné a mobilné prijímače sa vymieňajú každé 2-4 min (t.j. medzi známymi a neznámymi body).

Matematický prístup používaný vo väčšine systémov GPS rieši pokiaľ možno čo najviac úloh spôsobom „on-the-fly“ (za pochodu). Rýchle statické merania sú v podstate rovnaké ako statické prieskumy, len na observovaní na stanovišti využívajú kratšieho času. Pri tomto prístupe, jeden alebo viac GPS prijímačov sa pohybuje po všetkých neznámych stanovištiach a minimálne jeden prijímač (referenčná stanica) stojí na známom riadiacom stanovišti po celú dobu (obr. 3). Hoci rýchla statická relatívna metóda je relatívne presná a ekonomická, kde je možné zmerať viac bodov než konvenčným statickým relatívnym meraním, jej presnosť je zvyčajne mierne nižšia na centimetrovej úrovni. Je vhodná pre krátke základňové línie, kde môžu byť systematické chyby považované za konštantné. Potrebná je kontinuálna naviazanosť na 4 satelity.

Pre monitorovanie životného prostredia, napríklad eróziu pôdy (obr. 3), môže byť rýchla statická metóda použiteľná.

Stop-and-go metóda je kombináciou kinematickej a statickej lokalizácie. Série bodov sú lokalizované s ohľadom na referenčný prijímač a merané pohybom prijímača postupne po bodoch (obr. 4).

Na inicializáciu prieskumu musí prijímač zostať nehybný (napr. na prvom stanovisku) po určitú dobu, aby bolo možné načítať riešenie chýb (keďže sú považované za konštantné, nemusia tým pádom počítať zvlášť na každom stanovisku). O niečo dlhšia doba potrebná pre inicializáciu umožní získať vylepšenú geometriu satelitov.

Mobilný prijímač obvykle zbiera dáta po dobu 30 s frekvenciou 1-2 s a pokračuje do ďalšieho stanoviska (El-Rabbani 2006, str.75). Podobne ako rýchla statická metóda, aj stop-and-go technika si vyžaduje najmenej štyri nepretržite naviazané satelity.

Táto metóda má výhodu oproti statickému meraniu znížením pozorovacieho času a je ideálna pre topografické merania, ako je mapovanie biotopov, pretože ponúka presnosť 2-3 cm pri základňových líniah 10 -15 km (real-time alebo post-procesované).

Nevýhodou tejto metódy je závislosť na naviazanosti na satelity a potreba novej inicializácie pri strate jedného z nich. Jej použitie je možné aj pri mapovaní líniových prvkov.



Obr. 3 Sledovanie rozsahu erózie pomocou rýchlej statickej metódy. Trojuholník označuje referenčnú stanicu, zatiaľ čo body označujú pozície observované mobilným prijímačom



Obr. 4 Monitorovanie rozsahu erózie pomocou stop-and-go metódy. Trojuholník označuje kontrolné stanovisko, zatiaľ čo body označujú pozície observované mobilným prijímačom. Inicializácia musí byť vykonaná na prvom stanovišti naviazanosti na štyri alebo viac spoločných satelitov musí byť udržiavaná po dobu merania.

Výhodou rýchlej statickej metódy je kratší observovací čas (napr. 30 s, v porovnaní s 2-10 min). Nevýhodou je, že pri strate naviazanosti na spoločné satelity je nutná nová inicializácia

Kinematické meranie v reálnom čase (Real-Time Kinematic - RTK)

Už z názvu vyplýva, že RTK je schopný dávať výsledky v reálnom čase priamo v teréne. Podobne ako ostatné rýchle polohovacie techniky, aj RTK vyžaduje viac ako dva prijímače, s jedným je umiestneným na referenčnej stanici. Na rozdiel od rýchleho statického a stop-and-go merania, RTK používa podobný princíp ako DGPS, s tým rozdielom, že namiesto kódových pseudovzdialeností sú použité merania fázového nosiča.

Základňový prijímač je pevný a vysielá rádiové spojenie, zatiaľ čo prijímač je v pohybe a prijíma rádiové. Základňový prijímač zbiera dáta každú sekundu a prenáša tieto surové údaje spolu s jeho pozíciou cez komunikačnú linku (napr. satelit, mobilné telefóny alebo rádio) na mobilný prijímač. Metóda si vyžaduje inicializáciu pred začatím merania. Opäť, pri strate naviazanosti na satelity vďaka prekážkam je nutná reinicializácia. Táto meracia technika, umožňuje vykonávať niektoré presné monitorovacie úlohy pre životné prostredie, napr. zameranie navrhovanej líniovej stavby (cestná komunikácia) za účelom posudzovania vplyvov na životné prostredie (EIA).

Presnosť tejto metódy je 2 až 5 cm s možnosťou zlepšenia, pokiaľ sa použije dlhšia doba pozorovania (30 s) (El-Rabbani 2006, s 78.). RTK uľahčuje vytvorenie radu bodov v otvorených oblastiach avšak je použiteľná aj

v oblastiach s občasnými prekážkami. Na spojenie sú požadované vysoké prenosové rýchlosti a vysoké rádiové frekvencie, ktoré obmedzujú rozsah merania.

Sieťové RTK: keďže väčšina RTK systémov vyžaduje, mobilné prijímače boli v okruhu 10 km od referenčnej stanice (za predpokladu podobných atmosférických podmienok), použitie viacerých referenčných staníc poskytuje alternatívu pre základňové línie nad 10 km. Tak sa môžeme dostať až na 50-100 km, no v tomto prípade už treba zvážiť orbitálnych a atmosférických chýb (troposférických a ionosférických).

Rizos et al. (2001) spomína niektoré výhody sieťových RTK s jednou základňovou líniou:

- môžu byť použité na základňových líniách o dĺžke niekoľko desiatok kilometrov.
- v danej meracej časovej perióde je algoritmus riešenia chýb konštantný. To zaručuje ich použiteľnosť pre GPS meranie a súčasne zaisťuje vysokú presnosť, dostupnosť a spoľahlivosť pre kritické aplikácie.
- pre rýchle statické metódy je možné použiť nízkonákladové, jednofrekvenčné GPS prijímače, a to aj pre základňové línie s dĺžkou desiatok kilometrov.

Lokalizácia presných bodov (Precise Point Positioning - PPP)

Na rozdiel od prístupov DGPS a RTK, ktoré vyžadujú, aby užívatelia mali prístup k najmenej dvom prijímačom, metóda lokalizácie presných bodov (PPP) používa iba jeden prijímač k dosiahnutiu cm presností. Kľúčom k tomuto úspechu je jeho schopnosť využívať presné GNSS obežné dráhy a hodiny pri post-procesingu.

Presné orbity a údaje o hodinách sú poskytované, napr. Medzinárodnou GNSS službou (IGS – International GNSS Service), leteckými laboratóriami (JPL – Jet Propulsion Laboratory), či iných komerčných zdrojov. PPP je založené na použití presných orbít a hodín za účelom spracovania nediferencovaného kódového a fázového merania bez ionosférického skreslenia, čoho výsledkom sú odvodené pozície, chyby, hodinová odchýlka prijímača a troposférický efekt.

Výhody oproti DGPS a RTK sú (Gao 2006):

- použitie iba jedného prijímača na dosiahnutie centimetrových presností, čím sa eliminuje požiadavka mať referenčné stanice a súčasného naviazania na rovnaké satelity z oboch mobilného a referenčného stanoviska. Ohraničenie dosahom referenčnej stanice tým pádom prestáva byť problém.
- globálne použitie, čo dodáva údajom oveľa väčšiu konzistentnosť ako DGPS, ktorých pôsobnosť je ohraničená na miestne referenčné stanice.
- použitie jedného prijímača znižuje náklady na zariadenia a prácnosť.
- okrem poskytovania polohovo orientovaných údajov, PPP musí odhadnúť hodinové a troposférické vplyvy z rovníc, a tým poskytuje ďalšie možnosti na presné posuny času alebo odhad výparu vodných pár pomocou jediného GNSS prijímača. Údaje o výpare môžu byť použité na predpovedanie počasia.

DISKUSIA

Monitorovanie životného prostredia, okrem poskytovania lokalizačných údajov a údajoch o výpare, môže byť nápomocné aj pri leteckom mapovaní, keď pozemné stanice nie sú k dispozícii. Medzi jej obmedzenia patrí dlhý inicializačný čas (20 min), obmedzujúce jej použitie v real-time aplikáciách a potreba prístupu k zariadeniam na určenie presnej orbity a času, čo pre niektorých užívateľov môže byť problém (Gao 2006).

Dynamické údaje môžu byť post-spracované (post-processing kinematika – PPK) alebo dávať výsledky v reálnom čase (real-time kinematika – RTK).

PPK líši od RTK nasledujúcimi spôsobmi:

- PPK prieskumy zaznamenáva surové GNSS kódy a údaje fázového nosiča na pevných diskoch na základni a prijímači. Pri RTK, základňové stanice nezaznamenávajú dáta, ale iba prijímače zbierajú súradnice navštívených bodov a prijímajú dáta z referenčnej stanice cez komunikačnú linku.
- Pre systémy RTK sa vyžaduje komunikačné spojenie medzi referenčnou stanicou a mobilným prijímačom, zatiaľ čo pre PPK, to nie je nutné.

- Akonáhle boli surové dáta prijaté mobilným prijímačom RTK, všetko pracovanie a analýza údajov sa vykonáva za pochodu, zatiaľ čo PPK spracúva údaje v kancelárii pomocou spracovateľského softvéru.
- Komunikačné linky si vyžadujú ďalší hardvér a firmvér, ktorý robí RTK systémy v porovnaní s PPK systémami drahšie.
- Post-processing v PPK umožňuje použitie presných efemeridy z IGS a možnosť odstránenia niektorých chýb, čím sa dosahujú presnejšie výsledky v porovnaní s RTK, ktorá používa vysielané efemeridy.
- Výhodou RTK pre monitorovanie životného prostredia je rýchly a účinný zber dát, ktorý poskytuje výsledky v reálnom čase.

Vo všeobecnosti možno určovaním polohy v reálnom čase dosiahnuť v tri úrovne presnosti.

- Nízka presnosť, súradnice sú v reálnom čase získané akýmkoľvek samostatným prijímačom.
- DGPS poskytuje presnosti na úrovni 2-5 m a $0,1 \text{ m.s}^{-1}$ pre presnosť rýchlosti na mobilného prijímača. Používa sa pri vzdušných magnetických meraniach alebo diaľkovom prieskume Zeme. V reálnom čase je DGPS výkonný vďaka použitiu jednoznačných kódov, ktoré nie sú závislé od straty spojenia so satelitom.
- Najvyššie požiadavky na presnosť v reálnom čase, 10 cm a $0,01 \text{ m.s}^{-1}$ pre rýchlosť, sú v reálnom čase poskytované čisto kinematickými relatívnymi GPS. Jej aplikácia je využiteľná pri presnej námornej a vzdušnej navigácii a presnom hydrografickom mapovaní. Pri terestrických meraniach, použitím podrobných meracích sietí sa dosahuje presnosť menej ako 5 cm. Príkladom je RTK, kde na výsledky v reálnom čase postačuje jedno meranie v teréne.
- Kinematické prieskumy používajúce fázový nosič, môžu lokalizovať mobilné prijímače s ohľadom na stacionárny referenčný prijímač s presnosťou pod 10 cm.

Nasledovný zoznam poskytuje GPS presnosti lokalizácie v závislosti na meracom režime a type merania:

- Kinematická bodová lokalizácia (kódová) $\sim 15\text{-}20 \text{ m}$
- Statická (autonómna) bodová lokalizácia (kódová) $5\text{-}15 \text{ m}$
- Kinematická relatívna lokalizácia (DGPS) $3\text{-}5 \text{ m}$
- Kinematická relatívnej lokalizácia (fázový nosič) $<10 \text{ cm}$.
- Statická relatívna lokalizácia (kódová) $0,5\text{-}1 \text{ m}$
- Statická relatívna lokalizácia (fázový nosič) mm až cm úroveň
- RTK merania 10 cm .
- WADGPS má presnosť asi 7 metrov.

Pri každom meraní, je teda nutné zvážiť účel, cieľ, na ktoré budú výsledky použité, časové a finančné možnosti. Podľa týchto parametrov budú aj dosiahnuté výsledné presnosti merania.

ZÁVER

Z uvedeného vyplýva, že metódy GNSS ponúkajú širokú škálu použitia, v rôznych oblastiach životného prostredia a na rôznych úrovniach presnosti. Vhodnú metódu je teda potrebné zvoliť na základe požiadaviek na výstupy, presnosť, či sú údaje potrebné v reálnom čase, alebo môžu byť spracované neskôr, či meriame statický alebo dynamický fenomén životného prostredia.

ZOZNAM BIBLIOGRAFICKÝCH ODKAZOV

- [1] Awange JL (2012) Environmental Monitoring Using GNSS. Springer-Verlag Berlin Heidelberg
- [2] Awange JL, Grafarend EW(2005) Solving algebraic computational problems in geodesy and geoinformatics. Springer, Berlin
- [3] El-Rabbany A (2006) Introduction to GPS Global Positioning System, Artech House 2nd edn.
- [4] Gao Y (2006) Precise point positioning and its challenges. Inside GNSS November/December issue, pp. 16–18 Hammond WC, Brooks BA, Bürgmann R, Heaton T, Jackson M, Lowry AR,
- [5] Anandakrishnan S (2010) The scientific value of high-rate, low-latency GPS data, a white paper. [online] Available on - URL:

http://www.unavco.org/community_science/science_highlights/2010/realtimeGPSWhitePaper2010.pdf. Accessed 06 Jun 2011

- [6] Rizos C (2001) Alternatives to current GPS-RTK services and some implications for CORS infrastructure and operations. GPS Solution 11(3):151–158. doi:10.1007/s10291-007-0056-x
- [7] Schofield W, Breach M (2007) Engineering Surveying. 6th edn. Elsevier, Amsterdam
- [8] US Army Corps of Engineers (2007) NAVSTAR Global Positioning System surveying Engineering and Design Manual, EM 1110-1-1003

ADRESA AUTORA

Roman CHOVANEC, Ing., Technická Univerzita v Košiciach, Fakulta BERG, Ústav geodézie, kartografie a geografických informačných systémov, Park Komenského 19, 043 84 Košice, Slovenská republika, e-mail: info@emap.sk

RECENZENT

Ružena KRÁLIKOVÁ, Doc. Ing. PhD., Technická univerzita v Košiciach, Strojnícka fakulta, Katedra environmentalistiky, Park Komenského 5, 042 00 Košice, Slovenská republika, e-mail: ruzena.kralikova@tuke.sk.