



MOŽNOSTI TVORBY 3D MODELOV HISTORICKÝCH LOKALÍT A OBJEKTOV GEODETICKÝMI METÓDAMI

prof. Ing. Štefan Sokol, PhD., Ing. Ján Ježko, PhD., Ing. Marek Bajtala, PhD.
Katedra geodézie, Stavebná fakulta STU v Bratislave

Résumé

Creation of geodetic base by means of surveying measurements using modern electronic total station and GNSS apparatus. Possibilities of 3D model creation by close-range photogrammetry and terrestrial laser scanner. Specifically measurement of cemeteries locality "Zvonový vršok" in Banská Štiavnica for the passport of the historical heritage objects.

Informácie o území sú dôležitým prvkom nielen v procese plánovania a realizácie dopravných, energetických, priemyselných, ekologických i občianskych stavieb, ale i v procese záchrany a ochrany historických objektov kultúrneho dedičstva. Aj v tomto procese je potrebné poznať priestorovú dimenziu – údaje o polohe a umiestnení týchto objektov na zemskom povrchu a o ich tvare a rozmeroch. Tieto procesy vyžadujú kvalitné mapové podklady, ktoré vzhľadom na súčasné trendy automatického projektovania sú najčastejšie realizované v digitálnej forme v prostredí vhodného interaktívneho grafického systému na PC v tvare 3D.

Dôvodov pre dokumentáciu historických objektov kultúrneho dedičstva (vo forme digitálnych modelov) je niekoľko. Medzi tie najhlavnejšie patrí ich dokumentácia s pohľadom zachovania ich historickej výpovednej hodnoty a vizuálnej podoby, ich rekonštrukcia so zámerom začlenenia do prírodného a kultúrneho prostredia v danej lokalite. Možnosti propagácie a prezentácie týchto historických objektov v tom istom čase na rôznych miestach (internet).

Technické podmienky tvorby geodetických podkladov

Na tvorbu geodetických podkladov v tvare 2D (účelových máp) alebo 3D (účelových máp s výškopisom) je nevyhnutné poznať technické podmienky ich tvorby, medzi ktoré patria hlavné technické parametre, kritériá presnosti a geometrický základ tvorby geodetických podkladov (polohové a výškové bodové pole).

V súčasnosti tvorené geodetické podklady majú najčastejšie formu digitálnej mapy. Výhodou digitálnej mapy je jednoduchá a kontinuálna zmena mierky. Vlastná kresba digitálnej mapy je bezmierková. Mierku má iba grafický výstup na monitore počítača alebo na tlačiarni, resp. plotri. Zmenu mierky výstupu uskutočňujeme len nastavením mierky výstupnej kresby a zmenou veľkosti značiek a popisu. V prípade digitálnej kresby preto požadovaná mierka mapovania udáva najmä mieru podrobnosti zberu priestorových údajov pre tvorbu mapy.



Geodetické podklady sa vyhotovujú v súradnicovom systéme JTSK a vo výškovom systéme Bpv. Použitý súradnicový a výškový systém sa vyznačí na všetkých výstupoch – digitálnych i analógových [1].

Geometrický základ tvorby geodetických podkladov

Geometrickým základom sú:

- ZBPP body ŠTS,
- PBPP 1. až 3. triedy presnosti,
- body výškového bodového poľa (ide o trvalo stabilizované body základného a podrobného bodového poľa),
- pomocné meračské body určené geodetickými metódami priamo pri podrobnom meraní polohopisu (body sú väčšinou stabilizované dočasne).

Presnosť výsledných súradníc a výšok podrobných bodov mapy je daná presnosťou určenia ich súradníc a výšok. Vyjadruje sa vo vzťahu k blízkym bodom podrobného bodového poľa, prípadne základného bodového poľa.

Podrobné meranie polohopisu a výškopisu

Ako podrobné meranie polohopisu a výškopisu označujeme určovanie polohy a výšky predmetov merania voči stanovisku, resp. určovanie ich priestorovej (3D) polohy v záväzných (zvolených) súradnicových systémoch.

Predmetmi merania všeobecne môžu byť nielen inžinierske objekty, ako stavebné objekty a zariadenia (obytné, účelové, priemyselné objekty, stavby trvalého charakteru pevne spojené so zemou), dopravné objekty a zariadenia (pozemné komunikácie, cestné komunikácie, železničné trate a vlečky, dopravné značky, rampy atď.), ale aj hranice rôzneho druhu (správne, hranice katastrálneho územia, hranice zastavaného územia záujmovej lokality, hranice pozemkov vymedzených právnymi vzťahmi a prirodzené objekty). Pre osobitné ciele – účelové mapy – môžeme merať podľa požiadaviek odberateľa aj ekologické objekty, ale aj menšie technické objekty (vstupné šachty, kanalizácie, šúpatká vodovodných a iných sietí, parkovú zeleň) príp. iné objekty a predmety.

Pri podrobnom meraní priestorovej polohy bodov používame geodetické metódy, terestrické laserové skenovacie systémy alebo fotogrametrické metódy podľa vyžadovanej presnosti. Podľa členitosti územia, hustoty zástavby, frekvencie dopravy a mierky môžeme voliť pri meraní polohopisu a výškopisu z geodetických metód:

- a) tachymetrickú metódu s použitím elektronických tachymetrov,
- b) metódy využívajúce GNSS.



Podrobné meranie polohopisu v súčasnej dobe reprezentuje hlavne elektronická tachymetria. Elektronické tachymetre umožňujú priamy automatický záznam meraných priestorových súradníc alebo záznam vypočítaných pravouhlých súradníc priamo na pamäťovú kartu alebo do ich pamäte.

Neustále väčší význam pre podrobné meranie terénu nadobúdajú merania pomocou GNSS (Globálny navigačný a satelitný systém). GNSS sú charakterizované ako družicové navigačné systémy, ktoré využívajú meranie času a pseudovzdialenosti. Tieto systémy pracujú na princípe priestorového pretínania z dĺžok. Meranou veličinou je doba šírenia signálu z družicovej antény k prijímacej anténe. Tento meraný čas je prepočítavaný pomocou rýchlosti šírenia signálu na vzdialenosť. Systém GNSS umožňuje v reálnom čase kedykoľvek a kdekoľvek určiť polohu prijímača v trojrozmerných súradniciach ako aj jeho rýchlosť v reálnom čase, avšak za určitých známych podmienok. Touto základnou podmienkou je, aby v každom mieste na Zemi vo výške 15° nad horizontom boli v každom okamihu pozorovateľné štyri a viacej družíc. Pri prijímaní signálu zo štyroch satelitov je už možné určiť aj nadmorskú výšku.

Technológia GNSS je oproti klasickým geodetickým metódam veľmi úsporná a efektívna, avšak prvotné náklady sú relatívne vysoké. Všetky podrobné body sú merané relatívne, vzhľadom k referenčnej stanici umiestnenej na bode so známymi súradnicami alebo s využitím služby permanentných staníc GNSS (SKPOS) na území SR. Meraním a spracovaním údajov (metódou real-time alebo postprocessing) pomocou príslušného softvérového programu dostávame priestorové súradnice podrobných bodov.

Pre zameranie detailov ale i väčších stavebných objektov i objektov historického významu, ktoré bývajú súčasťou kultúrnych pamiatok, je možné v súčasnosti využiť i metódy blízkej fotogrametrie a terestrického laserového skenovania s následnou tvorbou 3D modelov týchto objektov.

Blízka fotogrametria

Použitie fotogrametrie je v tomto smere výhodné s pohľadu využívania cenovo dostupných digitálnych kamier strednej triedy. Postačujúcu kvalitu po príslušnej kalibrácii (určení prvkov vnútornej orientácie kamery) už aj fotogrametrické kompakty v hodnote do 300 EUR. Každopádne v závislosti od kvality požadovanej textúry, jej vysokého rozlíšenia, geometrie snímok a teda aj kvality požadovaných výstupov je potrebné brať ohľad aj na použitie profesionálnej techniky a prípadne siahnuť po digitálnych zrkadlovkách s rozlíšením 20 a viac megapixelov. Práca v teréne je obmedzená na minimum času v porovnaní s inými geodetickými metódami, hlavnú časť procesu totiž pri fotogrametrii tvorí vždy predovšetkým spracovanie vyhotovených snímok v príslušnom fotogrametrickom softvéri [2].

Pri spracovaní sa využíva softvér Photomodeler Scanner, ktorý okrem použitia najbežnejších fotogrametrických metód, ako sú jednosnímková a konvergentná fotogrametria, ponúka aj možnosť procesu DSM (dense surface modeling), kde je na základe obrazovej korelácie medzi dvomi snímkami možné vypočítať priestorové mračno bodov charakterizujúce snímkovaný objekt príklad dokumentácie náhrobného kameňa - obr. 1.



Obr. 1. Ortosnímka náhrobnej platne podľa [2]

Terestrické laserové skenovanie

Terestrické laserové skenovanie je v súčasnosti často využívaná metóda v geodézii pri tvorbe 3D modelov. Nachádza uplatnenie pri tvorbe modelov historických objektov, umeleckých predmetov. Terestrické laserové skenovanie pracuje na princípe priestorovej polárnej metódy, pričom sa neurčuje priestorová poloha charakteristických bodov objektu, ale na objekte je neselektívne zamerané veľké množstvo bodov rozmiestnených v pravidelnom uhlovom rasti. Výsledkom merania je tzv. mračno bodov, ktoré s vysokou detailnosťou zachytáva skenovaný objekt. Na tvorbu modelu z mračna bodov sa využívajú softvéry, ktoré sú schopné mračnom bodov preložiť plochu, tvorenú buď trojuholníkovou sieťou, NURBS plochami, alebo jednoduchými matematicky preddefinovanými telesami (roviny, guľa, kváder, valec, kužeľ, ihlan) [2]. Príklad zamerania a vytvorený 3D model je na obr. 2 (podľa [2]).



Obr. 2. Hradby (hore), mračno bodov (dole vľavo) a 3D model (dole vpravo)



Tvorba geodetických podkladov v lokalite v Banskej Štiavnici

Banská Štiavnica patrí historicky k najzaujímavejším mestám na Slovensku. V roku 1993 získala najvyššie medzinárodné uznanie zapísaním historického jadra mesta spolu s technickými pamiatkami v okolí na Listinu svetového kultúrneho dedičstva UNESCO. Archeologické nálezy v okolí mesta (na vrchu Glanzenberg) dokazujú, že prvotné baníctvo na území dnešnej Banskej Štiavnice sa rozvíjalo už v období keltského osídlenia. Dejiny mesta sa začali písať od roku 1238, keď boli Banskej Štiavnici udelené privilégia kráľovského mesta [2].

V 18. storočí bola Banská Štiavnica tretím najväčším mestom v Uhorsku. Významným medzníkom v histórii mesta bolo zriadenie baníckej akadémie v r. 1762. Bola to prvá vysoká škola technického charakteru na svete a mesto sa stalo centrom banskej vedy a techniky v Európe. S menami profesorov tejto školy sú spojené mnohé európske i svetové prvenstvá v oblasti vedy a techniky. Vybudovaný banský vodohospodársky systém vodných nádrží – tajchov – je jedinečný svojím poslaním i technickým riešením .

V článku uvádzame výsledky skutočnej aplikácie metód na zamerania a vyhotovenie podkladov pre objekt historického cintorína v Banskej Štiavnici. Východiskovými podkladmi pre tvorbu geodetických podkladov je bodové pole polohové a výškové, budované metódami uvedenými v predchádzajúcom texte.

Tvorba geodetických podkladov v uvedenej lokalite pozostávala :

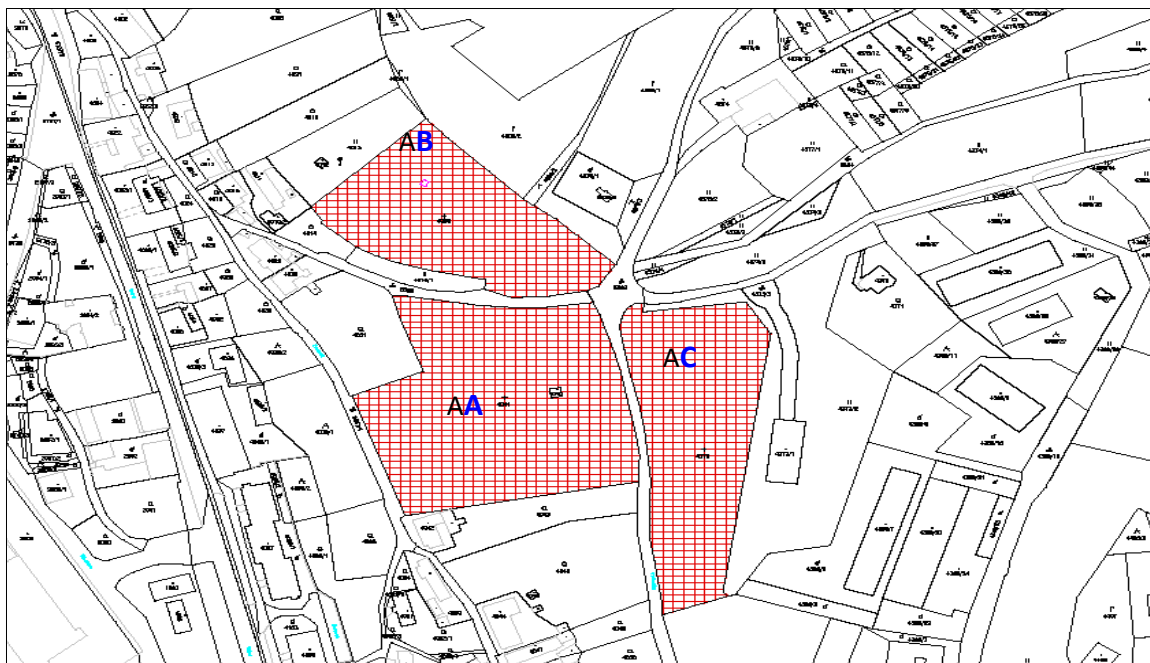
- z vybudovania podrobného polohového a výškového bodového poľa,
- z priestorového zamerania podrobných bodov v záujmových lokalitách cintorínov,
- z výpočtu priestorových súradníc podrobných bodov,
- vyhotovenia vrstevnicového plánu,
- tvorby účelovej mapy v tvare 2D a 3D.

Celá lokalita sa skladá z troch samostatných cintorínov (obr. č.3):

A - katolícky - „Predný“, parc. č. 4041,

B - evanjelický - „Brána pokoja“, parc. č. 4009,

C - katolícky - „Zadný“, parc. č. 4372.



Obr. 3 Lokalita „Zvonový vršok“. (Autori S. Sokol, J. Ježko, M. Bajtala.)

Meračské práce boli realizované v 3. triede presnosti (3TP) v súradnicovom systéme S-JTSK prístrojom TOPCON GTS 6A s internou registráciou a metódou GNSS prístrojom TRIMBLE GNSS R6.

Základné charakteristiky použitej prístrojovej techniky

Univerzálny merací prístroj - TOPCON GTS 6A:

presnosť meranej dĺžky: $m_D = 3 \text{ mm} + 2 \text{ ppm}$,

- presnosť meraného uhla (podľa DIN 18723): $m_r = 15 \text{ mgon}$ (GTS6 – 6 mgon),
- dosah diaľkomera:
 - 1 zrkadlo 1600 - 1800 m,
 - 3 zrkadlá 2200 – 2500 m,
 - 9 zrkadiel 2800 – 3400 m,
- hmotnosť: 6,9 kg,
- batéria: držiadlová BTOQ (asi 6 hod. prevádzky),
- ďalekohľad: zväčšenie 30-násobné,
- citlivosť libely: alidádová 30'', kruhová 10',
- pamäťová karta: 64 Kbyt, (asi 1000 bodov).





Prijímač TRIMBLE GNSS R6 :

72 kanálov GPS L1 C/A kód, L2C kód, plná fáza L1/L2/L5
GLONASS L1 C/A kód, L1 P kód, L2 P kód, plná fáza L1/L2
Odolný a kompaktný prijímač - integrovaný GNSS prijímač,
anténa, rádiomodem (alebo GSM/GPRS modem) a
vymeniteľná Li-Ion batéria. Hmotnosť - celý systém je
umiestnený na výtyčke a kompletný RTK rover 3,71kg.

Interná pamäť v prijímači - pre postprocesné meranie
možno dáta ukladať priamo do prijímača (302 hodín
merania pri 6 družiciach a 15s intervale).

Kontrolná jednotka - operačný systém Windows CE.NET,
farebný dotykový grafický displej, aktívne dxf súbory,
vodotesná, odolná pádu z 1,3 m.

Podrobné meranie a tvorba 3D mapových podkladov

Priestorové určenie podrobných bodov terénu, rohov hrobov, stavebných objektov, plotov, stromov a zelene v uvedených lokalitách bolo realizované metódou elektronickej tachymetrie s prístrojom TOPCON GTS 6A s priamou registráciou parametrov potrebných k výpočtu súradníc podrobných bodov pre potreby automatizovaného (kódového) zberu priestorových informácií.

Tab.1 Počet zameraných bodov v jednotlivých lokalitách – cintoríny na „Zvonovom vršku“

Lokalita cintorín	Počet bodov podrobného bodového poľa	Celkový počet podrobných bodov	Počet bodov na hroboch a pomníkoch	Počet ostatných bodov (zeleň, hranice, terén a iné objekty)
A	9	1690	1378	312
B	10	981	687	294
C	5	661	509	152
Spolu	24	3332	2574	758

Spracovanie meraní a následná tvorba mapových podkladov bolo realizované v počítačovom prostredí programovým systémom WKOKES s grafickým výstupom 2D kresby (obr. 2). Vytvorenie 3D kresby bolo riešené v grafickom prostredí MicroStation s nadstavbou Terramodeler. Nakoniec bol realizovaný export do formátu dwg (AutoCAD) na pamäťové médium [1].



Obr. 2 Ukážka spracovaného mapového podkladu. (Autori Š. Sokol, J. Ježko, M. Bajtala.)

Záver

Tvorba geodetických podkladov pre potreby kultúrnej a technickej rehabilitácie historického objektu môže mať výstup vo forme účelovej mapy - grafický, číselný alebo v súčasnosti najčastejšie požadovaný – digitálny v tvare 2D alebo 3D. Príspevok poukazuje na tieto možnosti tvorby modelov územia (2D, 3D) zaujímavých i z pohľadu zapojenia takýchto historických lokalít do lokálnych i regionálnych plánov hospodárskeho a sociálneho rozvoja .

Na základe dosiahnutých výsledkov, ale aj výsledkov z iných realizovaných meraní a projektov, možno skonštatovať, že realizovaná technológia merania a spracovania i použité prístroje splňujú požiadavky na kvalitu i efektívnosť tvorby geodetických podkladov pre rôzne účely hospodárskej a technickej činnosti.



Pramene

SOKOL, Š. - JEŽKO, J. - BAJTALA, M. (2007). Geodetické metódy zberu priestorových údajov. In Acta Montanistica Slovaca 3/2007. Košice, 2007, ISSN 1335-788, s. 544-553.

HALIČKOVÁ, J. - MARČIŠ, M. Dokumentácia pamiatkových objektov blízkou fotogrametriou a laserovým skenovaním. In: Geodézia, kartografia a geografické informačné systémy 2010 [CD-ROM]. Košice: F BERG TU, 2010, 6 s. ISBN 978-80-553-0468-7.

www.bstiavnica.pagestory.sk