

## POROVNANIE PRIESTOROVÝCH MODELOV ČASTI POVRCHOVÉHO LOMU ZAMERANÉHO GNSS, TACHYMETRIOU A LASEROVÝM SKENOVANÍM

Kamil KYŠEĽA<sup>1</sup>, Peter BLIŠŤAN<sup>2</sup>, Ľudovít KOVANIČ<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Ústav geodézie, kartografie a geografických informačných systémov, Fakulta BERG, Technická univerzita v Košiciach, Park Komenského 19, 043 84, Košice, Slovensko, e-mail: *Kamil.Kysela@tuke.sk*

<sup>2</sup> Ústav geodézie, kartografie a geografických informačných systémov, Fakulta BERG, Technická univerzita v Košiciach, Park Komenského 19, 043 84, Košice, Slovensko, e-mail: *Peter.Blistan@tuke.sk*

<sup>3</sup> Ústav geodézie, kartografie a geografických informačných systémov, Fakulta BERG, Technická univerzita v Košiciach, Park Komenského 19, 043 84, Košice, Slovensko, e-mail: *Ludo.Kovanic@tuke.sk*

### Abstrakt

Častou úlohou riešenou v GIS je 3D modelovanie povrchu terénu. Výsledky modelovania terénu zostrojeného na základe geodetických meraní závisia predovšetkým od typu a hustoty vstupných dát a aj od zvolenej interpolačnej metódy. Cieľom príspevku je prezentovať 3D modely lomovej steny, vytvorené triangulačnou metódou z dát meraných GNSS, univerzálnou meracou stanicou a terestrickým laserovým skenerom.

### Abstract

3D terrain modelling is the common task solved in GIS platform. Results of the terrain modelling constructed on the base of geodetic measurements depends mainly on the type and density of incoming data, and also on the selected method of interpolation. The paper presents 3D models of the fracture wall created by the triangulation method of data measured by GNSS, universal measuring station and terrestrial laser scanner.

**Kľúčové slová:** geodézia, Delaunayova triangulácia, priestorové modelovanie, povrchový lom.

**Keywords:** surveying, Delaunay triangulation, spatial modelling, quarry.

### 1. ÚVOD

Slová model a modelovať sú v súčasnosti stále častejšie používané v súvislosti so spracovaním priestorových dát získaných geodetickými meraniami. Podstatou modelovania v zmysle výskumnej techniky je „náhrada skúmaného systému jeho modelom (systémom, ktorý ho modeluje) s cieľom získať pomocou pokusu s modelom informáciu o pôvodnom skúmanom systéme“. Trendom posledných rokov je aj v procese modelovania komplexné využiť rôzne počítačové programy, predovšetkým ich modelovacie procedúry a nástroje. S pojmom model a modelovanie sa v oblasti geodézie a kartografie stretávame v súvislosti s tvorbou 3D modelov terénu ako aj rôznych objektov vytvorených človekom. Základným a často aj najťažším krokom v procese modelovania je prevod reálnych objektov alebo javov do formy abstraktných modelov. Proces modelovania priestorových javov v zásade rozlišuje [2]:

- *priestorové modelovanie morfológie javov,*
- *modelovanie vnútornej štruktúry - „anatómie“ javov.*

V procese modelovania priestorových javov sa používajú techniky nazývané ako interpolačné a extrapolačné metódy.

### 2. INTERPOLAČNÉ METÓDY POUŽÍVANÉ PRE MODELOVANIE POVRCHU TERÉNU

Termín interpolácia bodových údajov vyjadruje proces výpočtu neznámych hodnôt určitého javu na základe známych bodových údajov. Namiesto označenia interpolácia sa často používa pojem odhad alebo predikcia

neznámych hodnôt. Aby bolo možné bodové údaje interpolovať, musí byť splnená podmienka, že určitý sledovaný jav je spojitý alebo priestorovo závislý (autokorelovaný).

K interpolácii sa viaže aj pojem extrapolácia. Rozdiel medzi týmito postupmi je v tom, že pri interpolácii odhadujeme neznáme hodnoty v rámci tzv. priestorovej domény známych údajov, zatiaľ čo pri extrapolácii odhadujeme hodnoty mimo ich rozsah. Extrapolácia je vo všeobecnosti menej presným postupom, ktorému sa odporúča skôr vyhnúť a to z dôvodu možnosti získania záporných odhadov striktno pozitívnej premennej [4].

## 2.1. Klasifikácia interpolačných metód

Existujú rôzne hľadiská, podľa ktorých môžeme rozdeľovať interpolačné metódy [1]:

### A.) Deterministické a stochastické metódy

- *Deterministické metódy* vykonávajú interpoláciu priamo z nameraných hodnôt vstupných bodov. Nie je tu využitá teória pravdepodobnosti, stále bude vypočítaný rovnaký výsledný odhad.
- *Stochastické metódy* zahŕňajú prvok náhodnosti. Výsledné priestorové predikcie sú chápané ako jedny z mnohých, ktoré mohli byť vytvorené. Metóda je založená na štatistickom modeli, ktorý predpokladá priestorovú závislosť medzi vstupnými bodmi.

### B.) Globálne a lokálne metódy

- *Globálne metódy* zahrnujú všetky merané body do výpočtu odhadu. Jedna matematická funkcia je použitá k popisu skúmaného javu na celom záujmovom území. Zmena jediného vstupného bodu ovplyvňuje výsledný odhad v celej lokalite.
- *Lokálne metódy* aplikujú algoritmus výpočtu opakovane na malú časť z celkového počtu bodov. Zmena vstupnej hodnoty ovplyvňuje iba výsledok lokálnej oblasti.

### C.) Exaktné a aproximujúce metódy

- *Exaktné metódy* presne rešpektujú pôvodné namerané hodnoty, na ktorých je interpolácia založená. Výsledný odhad prechádza všetkými bodmi, ich hodnota je známa.
- V opačnom prípade ide o *aproximujúce metódy*.

### D.) Metódy váženého priemeru a metódy základných funkcií

- *Metódy založené na váženom priemere* hodnôt známych bodov je možné všeobecne vyjadriť ako:

$$\hat{z}(s_0) = \sum_{i=1}^n \lambda_i z(s_i),$$

kde:  $\hat{z}(s_0)$  je hodnota odhadovaná v bode  $s_0$  umiestnenom v  $n$ -rozmernom priestore. V dvojrozmernom priestore platí  $s = f(x, y)$ .  $z(s_i)$  je meraná hodnota v bode  $s_i$ ,  $n$  je počet meraní a  $\lambda_i$  je váha meranej hodnoty v bode  $s_i$ . Predpokladáme, že suma váh je rovná jednej:

$$\sum_{i=1}^n \lambda_i = 1.$$

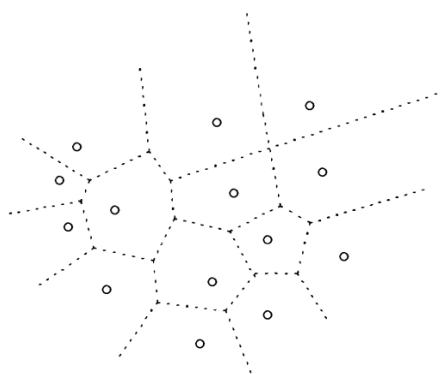
- Druhou skupinou sú *metódy používajúce lineárne kombinácie základných matematických funkcií*. Podľa typu týchto funkcií rozoznávame spline, trend a ďalšie.

Počítačové spracovanie dát prispelo k zdokonaleniu a lepšiemu rozpracovaniu matematických princípov interpolačných metód. Ich implementácia do rôznych modelovacích softvérov je na slušnej používateľskej úrovni a v súčasnosti je možné v jednom softvéri veľmi efektívne spracovať namerané údaje a relatívne

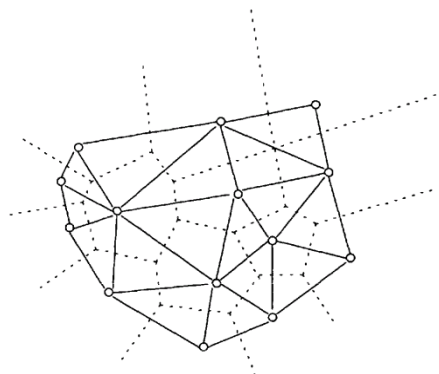
rýchlo vytvoriť potrebný model [6]. Špeciálne softvéry (Surfer, ArcGIS a iné) dnes bežne ponúkajú pri modelovaní výber z viacerých interpolačných metód s možnosťou nastavenia rôznych parametrov interpolačného procesu [9]. Napriek tomu je stále v mnohých profesionálnych modelovacích softvéroch, predovšetkým v CAD softvéroch (MicroStation, AutoCAD a iné) stále využívaná klasická a asi najspôhlivejšia interpolačná metóda – triangulácia s lineárnou interpoláciou. Triangulačná má niekoľko metód - „mutácií“, ktoré boli rozpracované tak, aby vylepšili niektoré jej slabé stránky. K tým najznámejším metódam patrí napr.: Delaunay triangulácia.

## 2.2. Delaunay triangulácia

Koncom 19. storočia Peter Gustav Lejeune-Dirichlet prezentoval, že pre zadaný súbor bodov v 2D priestore je možné tento priestor rozdeliť do konvexných buniek na základe kritéria blízkosti k zadaným bodom. Následne Georgy Fedoseevich Voronoi odvodil koncept elementárneho polyhedronu. Dôsledkom tohto nového prístupu bola možnosť rozšíriť Dirichletove výsledky do 3D priestoru. Koncept Voronoi diagramu bol teda prezentovaný ako súbor buniek odpovedajúcich kritériu blízkosti k zadaným bodom v uvažovanom priestore.



Obr. 1. Voronoi diagram [3].



Obr. 2. Delaunay triangulácia [3].

V tridsiatych rokoch 20. storočia Boris Nikolaevich Delone (Delaunay) dokázal, že z Voronoi diagramu je možné prostredníctvom duality odvodiť špecifický typ triangulácie, ktorej charakteristickou črtou je kritérium prázdnej kružnice (gule). V sedemdesiatych rokoch Lawson prichádza s myšlienkou prehodenia spoločnej diagonály dvoch susedných elementov, čoho dôsledkom je získanie vyššej efektivity Delaunay triangulácie. Ďalším prínosom bol fakt, že Delaunay trianguláciu je možné odvodiť z ľubovoľnej triangulácie za použitia tejto lokálnej modifikácie, ktorá maximalizuje minimálny uhol medzi dvoma hranami elementu. Avšak algoritmus Delaunay triangulácie bol implementovaný až v osemdesiatych rokoch, o čo sa pričínili práve rozvoj v oblasti informačných technológií.

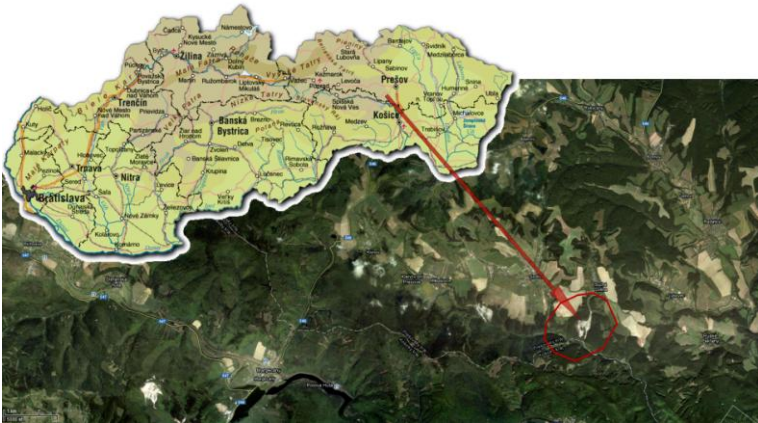
Majme súbor  $S$  bodov alebo strán  $P_i, i=1, \dots, n$  v  $d$ -dimenzionálnom priestore. Voronoi diagram je definovaný ako súbor buniek  $V_i$ . Bunka  $V_i$  je tak zoskupenie bodov nachádzajúcich sa k bodu  $P_i$  bližšie, než ku ktorémukoľvek bodu z množiny  $S$ . Bunky diagramu sú uzavreté neprekrývajúce sa konvexné polygony (polyhedrony v 3D priestore) vytvárajúce v rovine Dirichletovu mozaiku. V obecnnejšom zmysle nazývame takéto usporiadanie buniek Voronoi diagram (obr. 1). Delaunay triangulácia ako dualita k Voronoi diagramu, vychádza z definície, že každá bunka  $V_i$  Voronoi diagramu obsahuje jeden bod  $P_i$  zo súboru  $S$ . Strany buniek nachádzajúce sa presne v polovici vzdialenosti medzi bodmi  $P_i$  a  $P_j$  dvoch susedných buniek predstavujú os kolmú na hranu triangulácie, ako je vidieť na obrázku 2. Inými slovami, spojením dvoch bodov susedných buniek Voronoi diagramu získame hranu Delaunay triangulácie. V každej dimenzii platí okrem iného aj vzájomná ortogonalita [3].

## 3. VYTVORENIE PRIESTOROVÉHO MODELU ŤAŽOBNEJ STENY V LOME SEDLICE

### 3.1. Geografická pozícia a popis záujmovej lokality

Ako modelový príklad na prezentovanie výstupov z procesu zberu dát (využitie rôznych geodetických metód) a následného modelovania zdokumentovaného objektu v počítačovom prostredí bola zvolená ťažobná - lomová stena v lome Sedlice. Ložisko dolomitu Sedlice sa nachádza v extraviláne katastrálneho územia obce Sedlice, približne 1 km vzdialené od obce Suchá (obr. 3). Lom je sprístupnený panelovou cestou napojenou na štátnu cestu III. triedy pred obcou Suchá Dolina v smere od obce Ľubovec. Banské činnosti sa začali realizovať v roku 1982, ktoré prebiehajú na území v plošnom rozsahu  $314\,912\text{ m}^2$  (obr. 4). Základné rozmery dobývacieho priestoru sú  $700\text{ m} \times 500\text{ m}$ . Dobývací priestor lomu Sedlice je pod správou spoločnosti VSK Mineral s.r.o. v Košiciach.

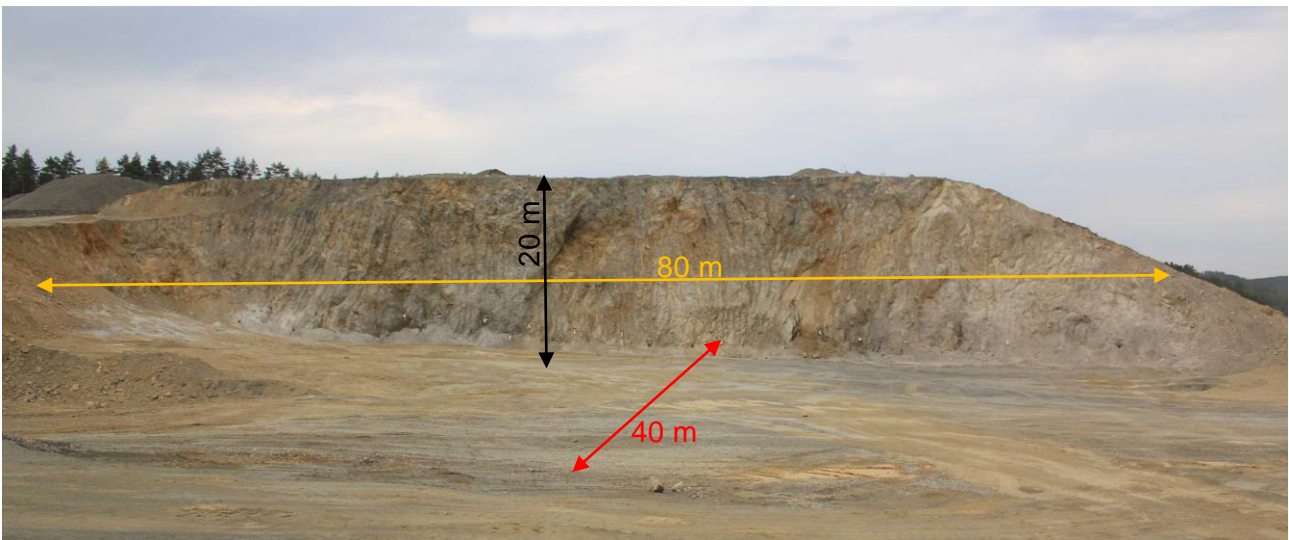
Povrch zvolenej lomovej steny (obr. 5) predstavuje relatívne nepravidelné teleso s rozmermi 80 m (dĺžka) x 40 m (šírka) x 20 m (výška). Jej zameranie bolo realizované využitím globálnych navigačných satelitných systémov (GNSS), elektronickej tachymetrie (UMS) a terestrického laserového skenovania (TLS).



Obr. 3. Geografická pozícia záujmovej oblasti - lom Sedlice.



Obr. 4. Lom Sedlice.



Obr. 5. Ťažobná - lomová stena v lome Sedlice.

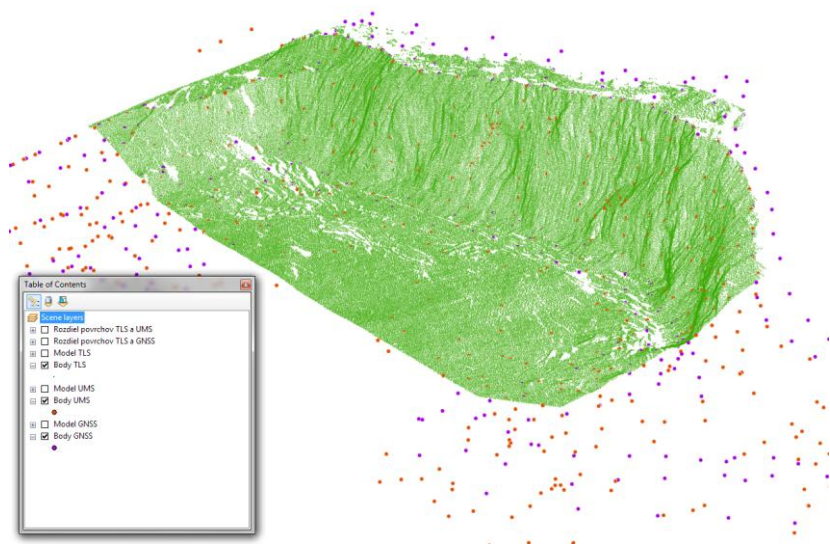
### 3.2. Geodetické zameranie ťažobnej steny

Lomová stena bolo zameraná pomocou spomínaných troch geodetických metód (GNSS, UMS, TLS) využitím nasledujúcich prístrojov:

- 3D laserový skener Leica ScanStation C 10,
- univerzálna meračská stanica Leica FlexLine TS 02,
- GNSS prístroj Leica GPS 900 CS.

Lomová stena bola postupne zameraná každou z vybraných geodetických metód. Získané výsledky – merania, boli následne spracované pomocou softvérového vybavenia Leica GEO Office [10], resp. v programe RealWorks [11]. Celkovo bolo na lomovej stene zameraných metódou (obr. 6):

- terestrického laserového skenovania cca 2 000 000 bodov,
- elektronickej tachymetrie s využitím UMS 467 bodov,
- globálnych navigačných satelitných systémov 389 bodov.



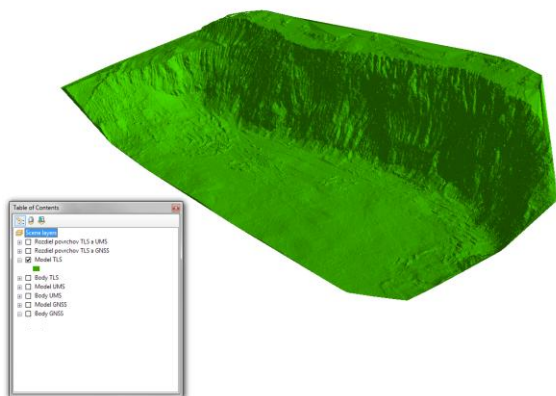
Obr. 6. Body namerané na lomovej stene metódami TLS (zelená), UMS (hnedá) a GNSS (fialová).

### 3.3. Spracovanie dát a vytvorenie 3D modelov

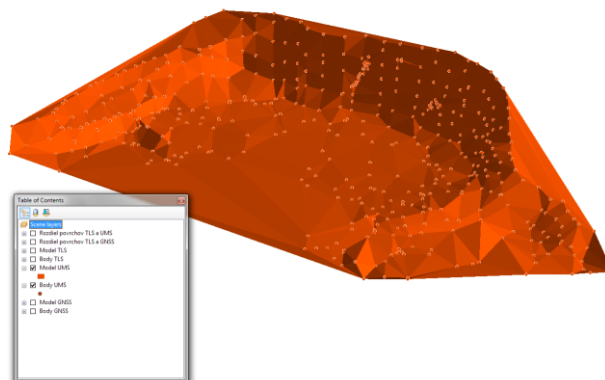
Na vytvorenie 3D modelov lomovej steny a ich vizualizáciu bolo použité prostredie GIS softvéru ArcGIS od spoločnosti ESRI [9]. Merané dáta boli do prostredia ArcGIS importované ako bodové témy a následne symbolizované ako 3D body (obr. 6). Pomocou modelovacích nástrojov extenzie 3D Analyst boli z bodov využitím triangulácie vygenerované všetky tri povrchy vo formáte TIN. Pri tvorbe TIN modelov boli v procese modelovania zohľadnené aj povinné spojnice bodov - break lines, ktoré v teréne predstavovali hrany a päty svahu.

#### 3D model z dát získaných terestrickým laserovým skenerom Leica ScanStation C 10

TIN model z dát získaných laserovým skenovaním bol vytvorený zo 165 000 bodov a vzhľadom na tento počet bodov predstavuje najpresnejší model povrchu lomovej steny (obr. 7). Tento model bol pri ďalších porovnaní použitý ako základ – referenčný model pre hodnotenie presnosti ďalších dvoch modelov.



Obr. 7. 3D model z dát získaných TLS.



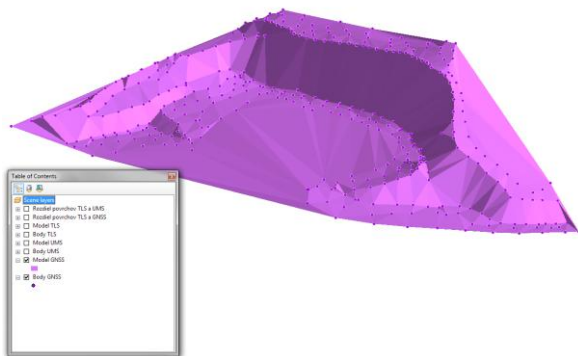
Obr. 8. 3D model z dát získaných UMS.

**3D model z dát získaných elektronickým tachymetrom Leica FlexLine TS 02**

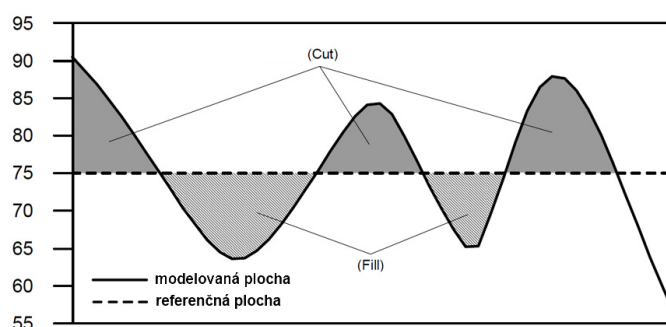
TIN model z dát získaných elektronickým tachymetrom vznikol trianguláciou 467 bodov. Na rozdiel od TIN modelu z dát z TLS je model tvorený trojuholníkovou sieťou s viditeľne väčšími trojuholníkmi, kde v ich rohoch sú merané body – obrázok 8. Body použité na zostavenie modelu predstavujú body na hrane a päte steny, body na samotnej stene a body na úrovni oboch etáží. Vzhľadom na to, že zameraných bolo takmer 500 bodov a body boli zamerané na všetkých častiach steny je predpoklad, že tento model by mal byť relatívne presný. Samozrejme presnosť modelu neovplyvní len počet bodov, ale aj ich správne situovanie na stene, hrane a päte. Ak geodet nevyberie reprezentatívne - charakteristické body na objekte, čo sa pri bezhranolovom meraní môže stať (geodet vzhľadom na relatívne veľkú vzdialenosť od dokumentovaného objektu nemusí správne identifikovať všetky body charakterizujúce zložitú morfológiu objektu), bude výsledný model nereprezentatívny.

**3D model z dát získaných GNSS prístrojom Leica GPS 900 CS**

TIN model z dát získaných GNSS (obr. 9) je podobne ako model z dát z UMS tvorený výrazne nepravidelnou trojuholníkovou sieťou. Keďže na samotnej stene nie sú merané body, je jej tvar veľmi generalizovaný. Model vznikol v podstate spojením bodov päty a hrany steny do trojuholníkov s pretiahnutým tvarom v zvislom smere. Je preto predpoklad, že tento model bude málo reprezentatívny, preto že na jeho generovanie nebolo možné použiť body na zvislej časti steny. Výhodou zberu dát využitím GNSS, je že geodet si fyzicky prechádza celý terén a vyberá miesta kde situuje podrobný bod podľa morfológie terénu - objektu a tak je predpoklad, že výsledný model bude relatívne dobre vystihovať dokumentovaný terén [8]. Toto samozrejme platí len vtedy, ak je celý terén dobre prístupný a neobsahuje metódou GNSS nedokumentovateľné časti ako sú vysoké a strmé steny, zrázy a pod..



Obr. 9. 3D model z dát získaných GNSS.



Obr. 10. Princíp porovnania dvoch modelov terénu na základe rozdielu objemu výkop/násyp (cut/fill) [12].

**3.4. Porovnanie priestorových modelov a zhodnotenie presnosti použitých geodetických metód**

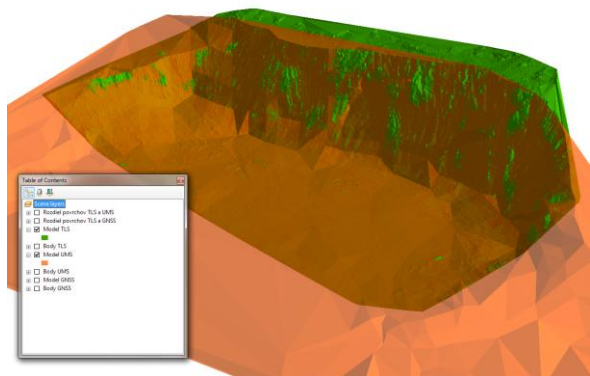
Pre kvantifikovanie rozdielu oboch TIN plôch bola použitá volumetrická analýza cut/fill. Pri tejto analýze je vykonaný analytický výpočet objemu priestoru medzi dvoma plochami – referenčnou a modelovanou, čím získame objem výkopu a násypu (cut/fill) a následne sa určí ich rozdiel. Takéto kvantifikovanie odchýlky dvoch plôch vychádza z nasledujúcich predpokladov:

- časť modelovanej plochy bude pod a časť nad referenčnou plochou (obr. 10),
- celkový objem priestoru pod a aj celkový objem priestoru nad referenčnou plochou by mal byť čo najmenší,
- rozdiel oboch objemov výkop a násyp (priestor pod a nad referenčnou plochou) by sa mal blížiť k nule.

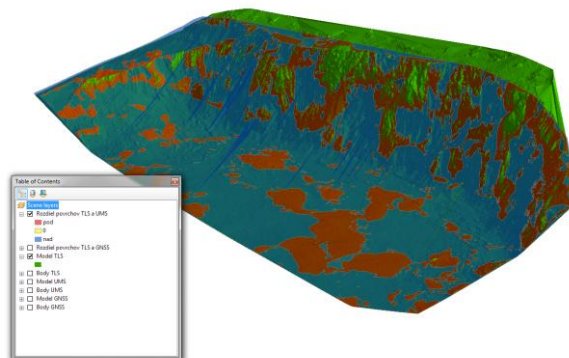
**Porovnanie TIN modelov z dát získaných TLS a UMS**

V prostredí ArcGIS bola vykonaná analýza prekrytia modelov z dát získaných z TLS a UMS (obr. 11). Výsledky analýzy sú na obrázku 12 a poukazujú na skutočnosť, že značná časť modelu vytvoreného na

základe meraní z UMS sa nachádza nad referenčnou plochou – modelom vytvoreným z dát z TLS. Na obrázku 12 je táto časť zobrazená modrou farbou a hnedou farbou je znázornená oblasť pod referenčnou plochou. Z výsledkov výpočtu vyplýva, že objem pod plochou je 129 m<sup>3</sup> a objem nad plochou je 341 m<sup>3</sup>. Rozdiel oboch objemov je +212 m<sup>3</sup>, čo predstavuje objem o ktorý je TIN model z dát z UMS posunutý nad TIN modelom z dát z TLS.



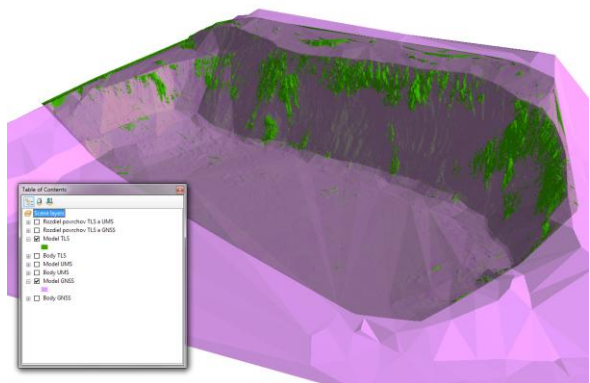
Obr. 11. Vzájomné prekrytie TIN modelu z dát z TLS (zelená) a TIN modelu z dát z UMS (priehľadná hnedá).



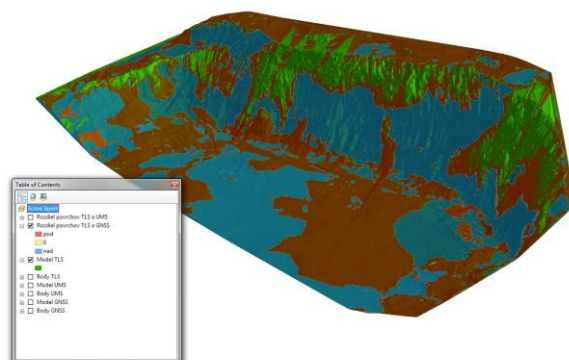
Obr. 12. Analýza prekrytia TIN modelov z dát z TLS a UMS.

### Porovnanie TIN modelov z dát získaných TLS a GNSS

Podobne ako v predchádzajúcom prípade, aj pri hodnotení modelov z dát z TLS a GNSS bola vykonaná analýza v prostredí ArcGIS využitím metódy cut/fill. Na obrázkoch 13 a 14 je porovnanie oboch modelov. Je vidieť, že v tomto prípade je chyba menšia a vytvorený model celkom dobre reprezentuje lomovú stenu. Najväčšia chyba je, ako sme predpokladali, na zvislej stene, ktorú nebolo možné zamerať. Z analýzy cut/fill vyplýva, že objem pod plochou je 264 m<sup>3</sup> a objem nad plochou je 232 m<sup>3</sup>. Rozdiel oboch objemov je -32 m<sup>3</sup>. Tento výsledok je veľmi dobrý a poukazuje na to, že geodet dobre vybral charakteristické body na objekte a model je tak reprezentatívny s malou chybou, v porovnaní s predchádzajúcim modelom.



Obr. 13. Vzájomné prekrytie TIN modelu z dát z TLS (zelená) a TIN modelu z dát z GNSS (priehľadná fialová).



Obr. 14. Analýza prekrytia TIN modelov z dát z TLS a GNSS.

### DISKUSIA

Porovnanie získaných výsledkov vyvracia pôvodné predpoklady, že zameranie objektu využitím UMS by malo priniesť oproti GNSS presnejšie výsledky. Samozrejme toto tvrdenie bolo založené na predpoklade, že geodet kvalitne zameria objekt – vyberie na ňom body, ktoré ho dobre charakterizujú aby vytvorený model

bol reprezentatívny. V našom prípade pravdepodobne nastala chyba už v procese zberu dát, kedy neboli identifikované správne – charakteristické body na objekte a tak výsledný model nedostatočne reprezentuje realitu. Proces identifikácie charakteristických bodov objektu pri meraní v teréne (pre potrebu modelovania jeho tvarových vlastností) by mal byť založený na dobrých znalostiach geodeta, resp. geodeta a figuranta (ak sa jedná o meranie s odrazovým hranolom - výtyčkou). Figurant musí vybrať vhodné body na objekte, resp. geodet ho naviguje tak aby vždy boli vybraté charakteristické body. Presnosť utečenia týchto bodov je potom už závislá predovšetkým na presnosti geodetických prístrojov. Vzhľadom na typ použitého prístroja je presnosť určenia meraných podrobných bodov v polohe - stredná súradnicová chyba  $m_{XY} \leq 25\text{mm}$ , a vo výške - stredná chyba učenia výšky  $m_z \leq 40\text{mm}$ .

Pri samotnom modelovaní objektu sa potom nevhodne zvolené body premietnu do podoby nereálneho povrchu, ktorý sa líši od toho skutočného o určitú chybu. Túto chybu je možné určiť rôznym spôsobom. V našom prípade bol vybraný ten najjednoduchší spôsob - porovnanie vygenerovaných povrchov a ich analýza metódou cut/fill. Tento spôsob hodnotenia kvality modelu je len orientačný, lebo nedáva absolútne výsledky, ale určí len to aký je rozdiel medzi povrchmi v podobe objemu telesa, ktoré medzi nimi vzniklo. Povrch s najmenším výkopom a násypom je ten najpresnejší a povrch s najväčším výkopom a násypom je najmenej presný.

Na detailnejšie porovnanie rozdielov oboch povrchov a identifikovanie miest s najväčším rozdielom by bolo možné použiť hypsometricku mapu rozdielu oboch plôch, ktorá by zobrazovala "hrúbku" výkopu a násypu. Toto je však trochu náročnejšia analýza a vyžaduje si špecializovaný softvér a viac skúsenosti. Cieľom článku bolo prezentovať a použiť na porovnanie povrchov len jednoduchú analýzu, tak aby bola aplikovateľná bežne v praxi aj odborníkmi s nižším stupňom vzdelania pri hodnotení kvality výsledných modelov, resp. hodnotení vhodnosti vstupných údajov z hľadiska ich reprezentatívnosti.

Ako je vidieť, aj napriek výkonnej technike, ktorá umožňuje presné zameranie objektu bezkontaktným spôsobom môžeme dospieť k nereprezentatívnym výsledkom. Práve v tejto súvislosti sa vynára častá poznámka, resp. otázka „laických“ geodetov: *„Je potrebné mať kvalitný a odborne zdatný personál na obsluhu geodetických prístrojov? Ved' dnešné prístroje sú vyrábané tak, aby ich obsluha bola tak jednoduchá aby to zvládol ozaj každý človek bez hlbokých geodetických vedomostí“*. Na základe týchto výsledkov sa črtá jednoznačná odpoveď: *„Áno, je potrebné mať nielen odborne zdatný ale aj skúsený personál, ktorý vie ako správne postupovať pri riešení akéhokoľvek problému“*. Ak podceníme túto fázu riešenia geodetickej úlohy – terénny zber dát, budú všetky ďalšie výsledky zaťažené chybou a dospejeme k nepresným výsledkom, tak ako v našom prípade.

## ZÁVER

Na riešenie špeciálnych úloh ako je detailné dokumentovanie povrchu objektu v rovnomernej sieti bodov [5], alebo zber priestorových údajov pre presné výpočty objemu a pod. je často používané laserové skenovanie. V posledných rokoch sa laserové skenovanie začalo využívať aj na dokumentovanie banských prevádzok, a to hlavne z dôvodu rýchleho zberu veľkého množstva údajov, potrebných na tvorbu 3D modelov používaných pre výpočet stavu a úbytku zásob ťažbou. TLS sú schopné oproti GNSS alebo UMS podstatne rýchlejšie zamerať veľké lomy s dostatočnou presnosťou a vytvoriť mračno bodov z ktorého je možné v špecializovaných softvéroch rôznymi operáciami (filtrovaním, orezávaním a pod.) nakoniec vytvoriť výsledný model. Tento proces spracovania mračna bodov je však oproti spracovaniu dát z GNSS, či UMS nepomerne náročný, zdĺhavý a drahý. Z týchto dôvodov sa oplatí TLS využívať len pre veľké banské prevádzky, kde by zber dát využitím GNSS či UMS bol nepomerne zdĺhavý a celkové náklady na zameranie lomu by sa v konečnom dôsledku vyrovnali nákladom na zameranie lomu TLS.

Pre orientačné porovnanie presnosti TLS oproti UMS a GNSS sme preto realizovali pokus v reálnych podmienkach, ktorý mal ukázať ako sa budú líšiť výsledky – modely zostrojené z dát z TLS, UMS a GNSS. Predpokladali sme, že pomocou UMS získame reprezentatívne údaje a výsledný model sa bude blížiť modelu zostrojenému z dát z TLS. Tento predpoklad sa však nepotvrdil a práve naopak model zostavený z dát z GNSS (aj napriek ich relatívne malému počtu) bol nakoniec presnejší. Chyba v procese zberu dát,



zameranie bodov na lomovej stene, ktoré dostatočné nereprezentovali morfológiu steny, negatívne ovplyvnila presnosť modelu zostrojeného z dát z UMS.

## POĎAKOVANIE

Tento príspevok vznikol za finančnej podpory grantovej agentúry VEGA v rámci riešenia grantovej úlohy č. 1/0887/11.

## LITERATÚRA – REFERENCES:

- [1] *An overview of the interpolation tools*. [OnLine]. [citované 15.3.2013]. Dostupné na: <<http://www.esri.com>>
- [2] BLIŠŤAN, P.: *Analýza a modelovanie kvantitatívnych a kvalitatívnych parametrov vybraných magnezitových ložísk a ich prezentácia v prostredí GIS systémov*. Habilitačná práca. F-BERG, TU, Košice, Manuskript, 2005. 121 s.
- [3] GEORGE, P. - BOROUCHEAKI, H. *Delaunay Triangulation and Meshing. Application to Finite Elements*. Editions Hermes, Paris, 1998
- [4] LAURINI, R. - THOMPSON, D.: *Fundamentals of Spatial Information Systems. The APIC series. Number 37. Academic Press, London, 1994, 680 p.*
- [5] POSPÍŠILOVÁ, L. - POSPÍŠIL, J. - STAŇKOVÁ, H.: *Micro-network creation in industrial surveying, Geodesy and Cartography*, Tailor & Francis, Co - Published with Vilnius Gediminas Technical University, Vol. 38, No. 2, p.70-74, 2029-6991
- [6] PUKANSKÁ, K. - SABOVÁ, J. - RUSNÁKOVÁ, K. - GAJDOŠÍK, J.: *Využitie terestrického laserového skenovania pri zisťovaní morfológických zmien terénov. Uhlí-Rudy-Geologický průzkum*. Vol. 15, no. 3 (2008), p. 28-31. - ISSN1210-7697
- [7] ŠIMČÁK, M. - HARMAN, P.: *Porovnanie výpočtu objemov nepravidelných telies s využitím CAD systému*. In: *Zborník vedeckých prác doktorandov 2011 : číslo 1 : Košice, 2011. - Košice : ÚGKaGIS, F BERG TU, 2011 S. 39-45. - ISBN 978-80-553-0696-4*
- [8] VITÁSKOVÁ, J. - STAŇKOVÁ, H.: *Návody na měření s GPS*. MZLU v Brně, VŠB-TU Ostrava, Brno 2004, ISBN 80-7157-828-2
- [9] www.1: *Welcome to ArcGIS Desktop Help*. [online]. [cit. 20.03.2013]. Dostupné na: <<http://webhelp.esri.com/arcgisdesktop/9.1/index.cfm?TopicName=welcome>>
- [10] www.2: *Leica Geo Office Online Help*. [online]. [cit. 15.03.2013]. Dostupné na: <[http://www.surveyequipment.com/PDFs/LGO\\_80\\_Help\\_en.pdf](http://www.surveyequipment.com/PDFs/LGO_80_Help_en.pdf)>
- [11] www.3: *Trimble RealWorks*. [online]. [cit. 08.03.2013]. Dostupné na: <<http://www.trimble.com/survey/realWorks.aspx>>
- [12] www.4: *Surfer 8: Objemy (volumes)*. [online]. [cit. 19.03.2013]. Dostupné na: <<http://www.dkubinsky.sk/blog/gis/surfer-8-objemy>>