

PRESNOSŤ DIGITÁLNEHO MODELU RELIÉFU ÚZEMIA PVOD KOČÍN

THE ACCURACY OF THE DIGITAL TERRAIN MODEL OF THE PVOD
KOČÍN TERRITORY



Katarína ČULÁKOVÁ¹,



Miloslav OFÚKANÝ²

Abstract: Digital terrain model (DTM) is one of the reference data of the national geographical information infrastructure. The accuracy of DTM is a quality metadata, which is most important for spatial analysis and process modeling. The article is an experiment (the territory of the agricultural enterprise Kočín = PVOD Kočín) on the vertical accuracy between DTM and the geodetic points. Input DTM came from remote sensing data making by digital photogrammetry, visualization and testing using IDW method with 25-meter grid. Final average residuum of DTM PVOD Kočín was 1.17 meter and standard deviation was 1.23 meter.

Keywords: contour lines model, digital elevation model - DEM, digital landscape model - DLM, digital surface model - DSM, digital terrain model -DTM, grid, histogram, INfrastructure for SPatial InfoRmation in Europe - INSPIRE, Inverse Distance Weighting - IDW, kriging, lattice, metadata, National Geographical Information Infrastructure - NGII, National Spatial Network, ortoimagery, reference data, remote sensing data, residuum, splaying, trend, Triangulated Irregular Network - TIN, voxel, vertical accuracy.

¹ Ing. Katarína Čuláková, Katedra mapovania a pozemkových úprav, Stavebná fakulta STU, Radlinského 11, 813 68 Bratislava, tel.: 02/45644544, e-mail: culakova@svf.stuba.sk,

² Mgr. Miloslav Ofúkaný, Geodetický a kartografický ústav Bratislava, Oddelenie rozvoja a medzinárodnej spolupráce, Chlumeckého 4, 827 45 Bratislava, tel.: 02/43334822 kl.252, e-mail: ofukany@gku.sk.

1 Úvod

Začiatok druhého milénia prináša nové poznatky do oblasti informačných a komunikačných technológií, ktoré zlepšujú kvalitu života a ovplyvňujú spôsob, akým sa dnes pripravujú zásadné politické rozhodnutia. Dobrá politika by sa mala opierať o kvalitné informácie, ktoré pomáhajú v súčasnosti riešiť horúce environmentálne problémy.

Na pôde Európskej komisie vznikla iniciatíva INSPIRE (INfrastructure for SPatial InfoRmation in Europe = Infraštruktúra priestorových informácií v Európe), ktorá vychádza z potrieb environmentálnej politiky a postupne sa rozširuje aj do ostatných sektorov (napr. doprava, energia, poľnohospodárstvo, ...). INSPIRE môže v každom štáte pomôcť pri budovaní NGII (National Geographical Information Infrastructure = Národná geografická informačná infraštruktúra). NGII poskytne užívateľom integrované služby o priestorových informáciách, umožní im interoperabilným spôsobom pre rozmanité použitie identifikovať a

získať prístup ku geografickým informáciám od miestnej po globálnu úroveň. Možnými službami sú napr. vizualizácia informačných vrstiev, spájanie informácií z rôznych zdrojov a ich priestorová a časová analýza. Priestorové dáta sú často nevyhovujúcej alebo nedefinovanej kvality, nie sú prístupné verejnosti alebo iným užívateľom.

INSPIRE ponúka zásady sprístupnenia harmonizovaných (zjednotených) datasúborov, vizuálnej prehliadky priestorových javov pomocou prekrývania súborov dát a vytvárania spoločných modelov objektov v prostredí, pre ktoré sa zhromažďujú priestorové dáta, akými sú napr. modely reliéfu, dopravné siete, atď. Iniciatíva sa opiera o **referenčné dáta**, ktoré majú nasledujúce významy [17]:

- sú sériou datasúborov, ktoré každý, kto narába s geografickými informáciami, používa ako referencie svojich vlastných dát,
- poskytujú spoločný spojovací článok medzi aplikáciami,
- sú mechanizmom na zdieľanie poznatkov a informácií medzi ľuďmi.

K definovaným geografickým referenčným dátam európskej iniciatívy INSPIRE patrí aj nadmorská výška, ktorá by mala byť k dispozícii v dvoch formách [8]:

- vrstevnicový model – výšky pomocou izočiar (vrstevníc),
- digitálny výškový model – výškové kóty sú uvedené v pravidelnej mriežke (ďalej grid).

K referenčným dátam neodmysliteľne patria ich príslušné **metadáta** (informácie o obsahu, kvalite, stave a ďalších charakteristikách dát).

Nástupom nových digitálnych technológií vstúpila do tvorby, aktualizácie, spracovania a používania digitálnych modelov potreba hlbšej analýzy priestorovej spoľahlivosti a presnosti dát.

Cieľom príspevku je experimentálne určiť vertikálnu presnosť digitálneho modelu reliéfu územia poľnohospodársko-výrobného a obchodného družstva Kočín (ďalej skrátené DMR PVOD Kočín) na základe výšky geodeticky určených bodov.

2 3D modelovanie reliéfu s využitím GIS

Trojrozmerné (3D) modelovanie s využitím technológií geografických informačných systémov (GIS) je moderný smer rozvoja a používania ako v prírodovedných, tak aj v technických aplikáciách. Nástroje GIS dokážu nielen vizualizovať 3D objekty, ale pomáhajú napr. v geomorfológii alebo meteorológii modelovať procesy v krajine.

Pri štúdiu problematiky modelovania reliéfu sa stretávame s nejednoznačnosťou vo výklade významov pojmov a skratiek:

1) digitálny výškový model – DVM (ang. **digital elevation model – DEM**)

Stretávame sa s ním prevažne v anglicky písaných zdrojoch. Je to digitálny model reliéfu, v ktorom sú za výškové údaje použité nadmorské výšky [16].

Digitálna reprezentácia plynulo sa meniacej hodnoty premennej na dvojrozmernom povrchu. Zvyčajne reprezentovaný ako dvojrozmerné pole "z" hodnôt, vzťahnutých k spoločnému definovaniu polohy [4].

Vžitý termín, popisujúci digitálne zobrazenie topografického povrchu. Hodnoty nadmorskej výšky povrchu môžu byť zobrazené v rôznych formách, napr. vrstevnicami, diskretným bodovým poľom (výškové body), líniami terénnych zlomov, pravidelnou mriežkou, TINom atď. V DEM môžu byť tiež zahrnuté prvky zemského povrchu, ako napr. budovy a porasty. DEM môže byť dvojakého druhu: digitálny model terénu a digitálny model povrchu [17].

2) digitálny model terénu – DMT (ang. **digital terrain model – DTM**)

Ide o digitálny model nadmorských výšok, definujúci prvotný zemský povrch. Vylučuje prvky zemského povrchu ako napr. budovy, lesy, atď. [17].

Slovo terén má korene vo vojenstve a spravidla sa tým rozumie zemský povrch (bez stavieb a vegetačného krytu), vyjadrený na mape generalizovane topografickou plochou. Topografická plocha je definovaná spravidla formou výškových údajov uzlových bodov vhodne zvolenej siete, či mriežky (ang. grid) [16].

3) digitálny model povrchu – DMP (ang. **digital surface model – DSM**)

Zobrazuje vrchnú časť povrchu, vrátane budov, lesov, atď. [17]

Vyjadruje nielen zemský povrch, ale i povrch všetkých objektom na ňom (striech, korún stromov apod.).Vzniká pri automatizovanom vyhodnotení leteckých snímok na princípe obrazovej korelácie [16].

4) **digitálny model reliéfu – DMR**

DMR je digitálna prezentácia reliéfu spojito sa meniaceho v priestore [2].

V českej kartografii sa používa výstižný termín reliéf, takže digital terrain model = digitálny model reliéfu (DMR - túto skratku používa napr. geografická služba armády Českej republiky) [16].

5) digitálny model územia – DMÚ (ang. **digital landscape model – DLM**)

Ide o základnú bázu geografických dát a súbor programových prostriedkov ku zberu, spracovaniu, aktualizácii a distribúciu geografickej informácie o území (v Českej republike napr. ZABAGED a DMÚ25) [16].

6) **digitálny model krajiny – DMK**

Šíma (2002) považuje za nadbytočné zavádzať pre anglické označenie DLM pojem DMK.

Ďalej v článku budeme pracovať s termínom digitálny model reliéfu, čo zodpovedá definícii DMT a charakteru našich vstupných dát (nadmorské výšky sú vzťahnuté k zemskému povrchu), opierajúc sa tak o terminológiu českej kartografickej školy (DMR = DTM). DMR predstavuje veľmi významný nástroj pri aplikáciách, ktoré hodnotia zemský povrch v geomorfológii, hydrológii, kartografii, klimatológii, geológii i ekológii. Za posledných dvadsať rokov bolo v odbore digitálneho modelovania reliéfu spracovaných mnoho štúdií, ktorých výsledkom sú aplikácie nad zemským povrchom [11] a [12].

Zemský povrch je jedným z viacerých existujúcich kontinuálnych povrchov. Povrchom možno vyjadriť každý spojitý priestorový jav (teplota vzduchu, koncentrácia látok v atmosfére apod.), ak sa považuje hodnota veličiny daného javu za hodnotu z trojrozmerného súradnicového systému [1]. Takéto povrchy sa nazývajú štatistické, sú relatívne spojité

a možno ich spracovať, analyzovať i zobrazovať rovnakým spôsobom, ako reliéf zemského povrchu. V prípade zemského povrchu odpovedá hodnote "z" nadmorská výška. Široké využitie digitálnych modelov reliéfu vychádza z nasledujúcich výhod [13]:

- a) presne vyjadrujú reliéf,
- b) sú vhodné pre zhromažďovanie dát o zemskom povrchu,
- c) minimalizujú požiadavky na uloženie dát,
- d) zvyšujú výkonnosť spracovania hypsometrických dát,
- e) sú vhodné k vykonaniu povrchových analýz,
- f) umožňujú dobrú vizualizáciu zemského povrchu.

2.1 Typy digitálnych modelov reliéfu

Aj keď sa názory jednotlivých autorov na možnosti reprezentácie DMR líšia, existujú tri základné spôsoby (typy) reprezentácie reliéfu podľa [13]:

- vrstevnice,
- TIN,
- grid.

Vrstevnice

Tradičné vyjadrenie nadmorskej výšky zemského povrchu je metóda vrstevníc (vrstevnicový model) s doplnením významných výškových bodov. Toto vyjadrenie je však nespojité, pretože vrstevnice reprezentujú len vybrané nadmorské výšky (základný interval vrstevníc). K líniovému popisu reliéfu patria aj vertikálne profily, sieť údolnic a chrbátíc. Líniová reprezentácia sa využíva predovšetkým v tradičných geomorfologických štúdiách na analógových mapách podľa [6] a [15].

V aplikáciách v prostredí GIS slúžia vrstevnice predovšetkým ako podklad pre generovanie zložitejších DMR. Ofúkaný (2003a) vychádzal pri tvorbe digitálneho modelu reliéfu Slovenska z vrstevnicového modelu mierky 1:50 000.

TIN

TIN (ang. Triangulated Irregular Network) patrí k vektorovým topologickým štruktúram. Vychádza z nepravidelnej trojuholníkovej siete, kde je elementárna geometrická plocha zemského povrchu reprezentovaná trojuholníkom. Výškové hodnoty sú priradené vrcholom trojuholníkov. V poli výškových bodov sú trojuholníky zvolené tak, že vo vnútri kružnice opísaného trojuholníka nesmie ležať žiadny iný bod. Ide o Delaunayovo kritérium. Výhodou tohto prístupu je, že hustotu vstupných bodov možno zmeniť podľa členitosti reliéfu (v členitejšom území použiť hustejšiu sieť a naopak) a tým trojuholníkovú sieť maximálne prispôbiť reliéfu. Navyše vizualizácia reliéfu pomocou TIN je názornejšia.

TIN má však i svoje nedostatky. V prípade, že sa TIN vytvára z vrstevníc môžu vzniknúť tzv. umelé terasy (väčšinou v okolí plochých údolí a chrbtov), ktoré znemožňujú následnú automatickú tvorbu línii odtoku alebo rozvodníc [13]. Tento nedostatok možno odstrániť druhotným mechanickým vložením kritických bodov chrbátíc a údolnic [5]. Ďalšou nevýhodou je, že k modelovaniu a analýze nemožno použiť mapovú algebru.

Grid

Grid patrí k pravidelným rastrovým štruktúram, v ktorých je povrch rozčlenený do matice buniek. Najčastejším tvarom buniek je štvorec. Prednosť sa dáva pre väčšiu jednoduchosť výpočtových algoritmov, ale je možné použiť aj obdĺžnik, šesťuholník alebo rovnostranný trojuholník. Každá bunka nesie hodnotu nadmorskej výšky, ktorá sa vzťahuje k stredu bunky (grid) alebo k uzlu mriežky (potom sa hovorí o lattice) vytvorenej bunkami.

Predpokladá sa, že premenlivosť medzi jednotlivými bunkami je matematicky kontinuálna, takže je možné ľahko vykonávať štatistické analýzy pri použití mapovej algebry, ktorá umožňuje vykonávať rôzne operácie na pravidelných štruktúrach (aj grid, aj lattice) rovnakým spôsobom ako sú vykonávané na dvoch číslach.

Naše experimentálne testy presnosti DMR PVOD Kočín, bližšie opísané v podkapitole 3.3, budú analyzované práve nad grid typom digitálneho modelu reliéfu (ďalej skrátene GRID DMR PVOD Kočín).

GRID a TIN nemožno považovať za pravé trojdimenzionálne (3D) údajové modely. Hodnota "z" je v nich definovaná ako pseudoatribút, vzťahnutý k polohe určenej súradnicami x, y. Preto je v literatúre skôr používané označenie 2,5D. Skutočné 3D objekty možno digitálne zaznamenať pomocou tzv. voxelu, kedy je objekt zložený z elementárnych 3D prvkov, najčastejšie kociek. Ich využitie v geografických vedách je zatiaľ z dôvodov výpočtovej náročnosti obmedzené.

V podkapitole 3.2 uvádzame prezentáciu TIN typu digitálneho modelu reliéfu širšieho okolia PVOD Kočín, získaného z leteckých meračských snímok (ďalej LMS) firmy Eurosense (ďalej skrátene TIN DMR Eurosense).

2.2 Presnosť digitálnych modelov reliéfu

V úvode článku sme uviedli, že pre charakteristiku referenčných dát sú dôležité metadáta – údaje o dátach. Tvorca DMR preto potrebuje používateľovi (autorovi priestorových analýz nad modelom) povedať, aké dáta má k dispozícii, na aký účel môžu byť použité, aká kvalita bola pri spracovaní dosiahnutá.

V priestorových dátach sú obsiahnuté neurčitosti a chyby, ktoré môžu ovplyvniť výsledky analýzy údajov a modelovania [1]. Takéto chyby sa môžu dostať do dát v rôznych štádiách spracovania geografických informácií, od merania priestorového prostredia až po jeho prezentáciu v prostredí GIS. Kvalitu priestorových údajov môžeme popísať nasledujúcimi atribútmi [4]:

- pôvod priestorových dát – opis zdroja a použitej metódy odvodenia,
- polohová presnosť (horizontálna a vertikálna) – závisí od skúseností v meraní, použitých metód a výberu mapovej projekcie,
- atribútová presnosť – zmena daného javu, presnosť meracieho prístroja a merania,
- kompletnosť – opis vzťahov medzi objektmi,
- logická konzistencia – vernosť vzťahov zakódovaných v údajovej štruktúre digitálnych priestorových dát,
- sémantická presnosť – význam geografického objektu v realite,
- časová informácia – dátum pozorovania, typ aktualizácie, časové obdobie platnosti záznamu priestorových dát.

V kapitole 3 budeme pozornosť venovať polohovej presnosti (konkrétne vertikálnej) ako jednému z prvkov kvality digitálneho modelu reliéfu.

Od DMR očakávame čo najvernejšie vystihnutie priestorovej pestrosti reliéfu, pričom sa pri jeho tvorbe snažíme vyhnúť nepresnostiam, aby sme napokon získali hodnoverné analýzy na výsledných modeloch.

Voženílek (2001b) upozorňuje, že nie je možné vytvárať presné analýzy z nepresných dát. Príkladom sú DMR tvorené z analógových topografických máp, ktoré môžu byť zastaralé

a vo svojej podstate už zaťažené chybami (generalizáciou, pozn. autorov). Prevodom do digitálnej formy chyba rastie.

Výškové hodnoty v DMR sú zaťažené 3 typmi chýb [13]:

- omyly (ang. blunders) – sú ľahko identifikovateľné a treba ich vylúčiť ešte pred vstupom dát do databázy,
- systematické chyby (ang. systematic errors) – treba eliminovať umelo nereálne t vary reliéfu (vertikálny posun výšok, fiktívne vrcholy, zlomy), spôsobené vrchnou časťou povrchu (napr. koruny stromov),
- náhodné chyby (ang. randomness) – majú normálne rozloženie, pozitívne aj negatívne s rovnakou početnosťou.

Príkladom analýzy presnosti DMR, vytvoreného vektorizáciou analógových vrstevnicových máp sú práce Mojzeš (2001), Ofúkaný (2003a).

V štúdií Ofúkaný (2003b) bol pre územie mapového listu 35-21 v mierke 1:10 000 posúdený digitálny model reliéfu, vytvorený z LMS, ktoré boli spracované analógovou fotogrametrickou technológiou. Testovanie jeho presnosti prinieslo 2 až 3 krát vyššiu kvalitu, ako vykazovali dáta DMR z analógových máp mierky 1:50 000.

Tento článok je príspevkom do testovania presnosti DMR tiež vytvoreného z LMS, ale vyhodnotených už pomocou nástrojov digitálnej fotogrametrie.

2.3 Metódy priestorovej interpolácie

Do procesu tvorby DMR vstupujú najčastejšie izolované výškové body (diskrétné bodové pole) s rôznou hustotou a rozložením. K odhadu hodnôt, kde nie sú k dispozícii dáta, a k nasledovnému generovaniu DMR sa používajú najrôznejšie metódy priestorovej interpolácie, tzv. interpolačné metódy.

Pri výbere interpolačnej metódy sa zvažuje viacero faktorov, napr. druh interpolačného javu, charakter povrchu (výšková a horizontálna členitosť, terénne hrany a pod.) alebo účel DMR. Výber optimálnej interpolačnej metódy je do značnej miery subjektívny a môže veľmi ovplyvniť presnosť výškových hodnôt výsledného DMR.

Metódy priestorovej interpolácie uvádza literatúra [14]:

- 7) Metóda inverzných vzdialeností
- 8) Splajny
- 9) Trend
- 10) Kriging

Metóda inverzných vzdialeností

Metóda inverzných vzdialeností (ang. inverse distance weighting – IDW) sa používa k určeniu nadmorských výšok buniek gridu s využitím váženého priemeru. Interpolovaná hodnota nadmorskej výšky bunky “z” je vypočítaná z nadmorských výšok bodov ležiacich v určenej vzdialenosti od stredu bunky. IDW ako lokálne interpolačná metóda pracuje na princípe filtrovacieho okienka, počítajúceho priemernú hodnotu z bodu v okolí. Vyhľadávací polomer definuje body, ktoré budú zahrnuté do procesu interpolácie.

Splajny

Metóda splajnov využíva matematicky definované krivky, ktoré po častiach interpolujú jednotlivé časti povrchu. Výsledný povrch má minimálnu krivosť. Pre interpoláciu povrchov sa používajú tzv. bikubické splajny – pravidelné (vytvárajú hladšie povrchy) a tesné (vytvárajú členitejší povrch, tesne sa primykajú k vstupným bodom).

Výhodou tejto metódy je, že sa môžu modifikovať časti terénu, bez toho by sa musel prepočítavať povrch. Nevýhodou však je, že výsledný reliéf je nerealisticky hladký vďaka vyhladeniu bariér a skokov. Najlepšie výsledky dosahuje pri interpolácii veľmi hladkých povrchov, znázorňujúcich napr. klimatické javy. Často sa používa k vyhladzovaniu povrchov.

Trend

V prípade spojitej vlastnosti v priestore možno body interpolovaného povrchu vypočítať polynomicou funkciou, tzv. trendom. Interpolácia trendom prispôsobuje povrch množine bodov pri použití viacnásobnej (polynomickej) regresie. Najvhodnejšie koeficienty pre daný polygón n-tého rádu sa vyberajú metódou najmenších štvorcov. Povrch môže byť rovinou (lineárny regresný model – polynóm I. rádu) alebo plochou zložitého telesa (polynóm vyššieho rádu). Výsledný povrch neprechádza žiadnym zo vstupných bodov. Zvyšovaním stupňa polygónu možno vystihnúť zložitejšie tvary a redukovať náhodnú zložku. Je tu ale vyššia pravdepodobnosť výskytu chýb (a tým aj väčších odchýliek) na krajoch územia alebo v územiach mimo meraní.

Kriging

Kriging patrí medzi geostatistické metódy. Predpokladá sa, že susedné body sú priestorovo autokorelované. Interpolovaný povrch je tvorený tromi zložkami: driftom (všeobecný trend povrchu, ktorý závisí od zmeny súradníc), regionalizovanou premenou (kolísanie, ktorého podstatu nemožno vyjadriť matematickou funkciou, ale ktoré sa vyjadruje určitou priestorovou koreláciou) a náhodné šumy (odchýlkami, ktoré nie sú priestorovo korelované a nemôžu sa spočítať). Tieto zložky sú definované pomocou variogramu, ktoré poskytujú kvantifikáciu korelácie ľubovoľnými dvoma premennými. Túto kvantifikáciu kriging využíva k zberu a aplikácii najvhodnejších interpolačných procedúr. Kriging je exaktná metóda interpolácie a pokiaľ nie je podiel šumu veľký, poskytuje veľmi presné výsledky. Výpočtovo je však značne náročný.

V podkapitole 3.2 pri tvorbe DMR PVOD Kočín použijeme metódu IDW.

3 Experimentálne určenie vertikálnej presnosti DMR PVOD Kočín

3.1 Definovanie záujmového územia a podkladov

Experiment bol realizovaný v priestore poľnohospodársko-výrobného a obchodného družstva (PVOD) Kočín, ktoré sa nachádza v Trnavskej pahorkatine v teréne s výškovým rozdielom 208,77 metrov, minimum 168,66 a maximum 377,43 metrov Balt po vyrovnaní (Bpv). PVOD Kočín zasahuje do ôsmich katastrálnych území – Kočín, Lančár, Dolný Lopašov, Veselé, Rakovice, Šterusy, Vrbové a Prašník.

Podklady pre tvorbu a vizualizáciu DMR PVOD Kočín:

- Hranica PVOD Kočín vo formáte *.dgn, zdroj [2]

Hranicu záujmového územia sme previedli na plochu, z ktorej sme stanovili približnú rozlohu PVOD Kočín na 7925185 m².

- Diskrétné pole 72831 bodov (vrcholy TIN modelu) vo formáte *.dgn, zdroj [2]

Firma Eurosense pre účely Slovenského pozemkového fondu vytvorila z LMS mierky 1:8000 (zalietanie 3.5.2001) vlastný digitálny model reliéfu spolu s 3D polohopisnými zložkami širšieho okolia PVOD Kočín (ďalej DMR Eurosense). Vrcholy TIN DMR Eurosense sa stali vstupnými údajmi pre tvorbu DMR PVOD

Kočín. 72831 bodov bolo rozmiestnených v miestach veľmi členitého reliéfu s krokom 15 m, v členitom s pravidelným krokom 25 m, v málo členitom – 40 m, v okrajových častiach boli body nepravidelne účelovo rozmiestnené podľa potreby a vybrané boli tiež zlomové línie. Hodnoty nadmorských výšok sa pohybovali od 168,60 do 403,40 metrov, priemerná hodnota bola 237,23.

- 12 ortofotosnímkov vo formáte *.jpg, zdroj [2]

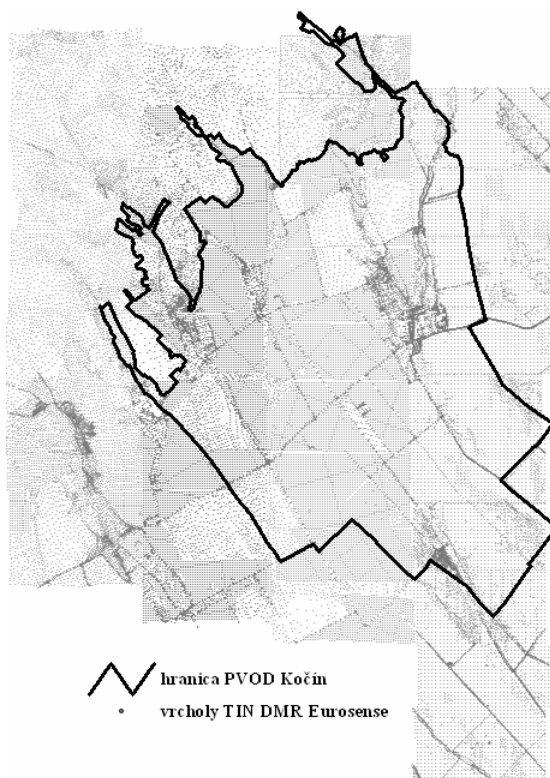
Z DMR Eurosense dodávateľská firma vyhotovila tiež ortofotosnímky s číselným označením: 3960, 3962, 3964, 3966, 3934, 3936, 3938, 3940, 3796, 3800, 3816, 3818 (mierka 1:8000, rozlišovacia schopnosť 20 cm/pixel, zalietanie 3.5.2001).

Podklady pre testovanie DMR PVOD Kočín:

- 11 bodov Štátnej priestorovej siete (ŠPS), zdroj [9]
- 10 identických bodov, zameraných zariadením na určovanie priestorovej polohy (GPS prijímačom) Trimble 4000 SSE, zdroj [3]
- 53 geodeticky určených bodov, zameraných prístrojom Topcon GTS 6, zdroj [3]

3.2 Tvorba DMR PVOD Kočín

V tejto časti opíšeme, ako sme v prostredí ArcView 3.2, pomocou nadstavby 3D Analyst 1.0 z vrcholov TIN DMR Eurosense vytvorili DMR PVOD Kočín. Pri importe vstupného dátového súboru (diskrétno pole 72831 bodov) sme vybrali iba vrstvu bodov, ktorú sme previedli na formát *.shp a niekoľkými úpravami sme získali čistý databázový súbor v tvare [x, y, z], reprezentujúci vstupné body pre tvorbu DMR PVOD Kočín (obr. 1).



Obr. 1 Vstupné body pre tvorbu DMR PVOD Kočín.

Existujú dva postupy vytvorenia DMR PVOD Kočín:

- 1) $[x, y, z] \Rightarrow$ TIN DMR Eurosense \Rightarrow GRID DMR Eurosense \Rightarrow GRID DMR PVOD Kočín

Prvou cestou, ako vytvoriť DMR PVOD Kočín, je z čistého databázového súboru automatizovane vygenerovať TIN DMR Eurosense (obr. 2), ďalej bez definovania interpolačnej metódy a podľa zvolenej mriežky zostrojienie GRID DMR Eurosense, a potom pomocou ArcView nadstavby Milagrid podľa hranice PVOD Kočín orezanie na výsledný GRID DMR PVOD Kočín.

- 2) $[x, y, z] \Rightarrow$ GRID DMR Eurosense \Rightarrow GRID DMR PVOD Kočín

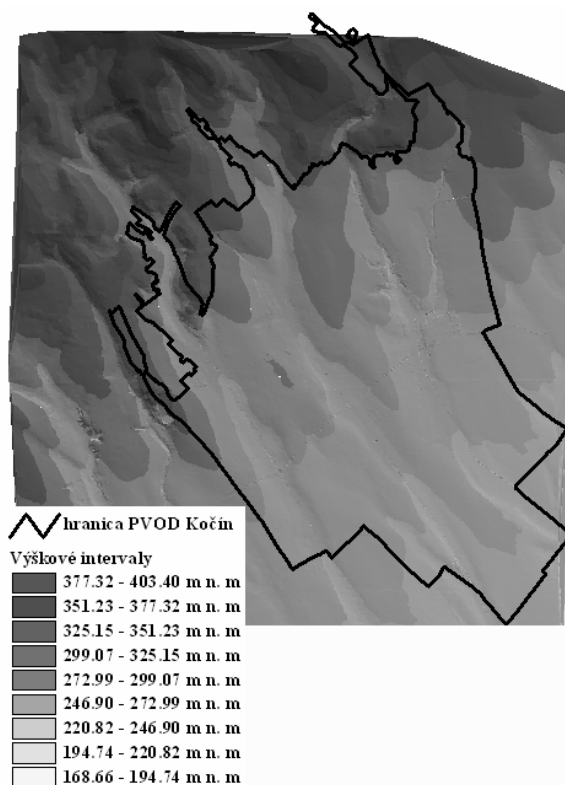
Druhou cestou, ako vytvoriť DMR PVOD Kočín, je pre čistý databázový súbor zvoliť vhodnú interpolačnú metódu, ktorou podľa zvolenej mriežky zostrojíme GRID DMR Eurosense a orezaním dostávame výsledný GRID DMR PVOD Kočín (obr. 3a).

Prvý pracovný postup sme zamietli z nasledujúcich dôvodov:

- nedefinovaná interpolačná metóda,
- pri spracovaní dát dochádza ku strate informácie (generalizácii).

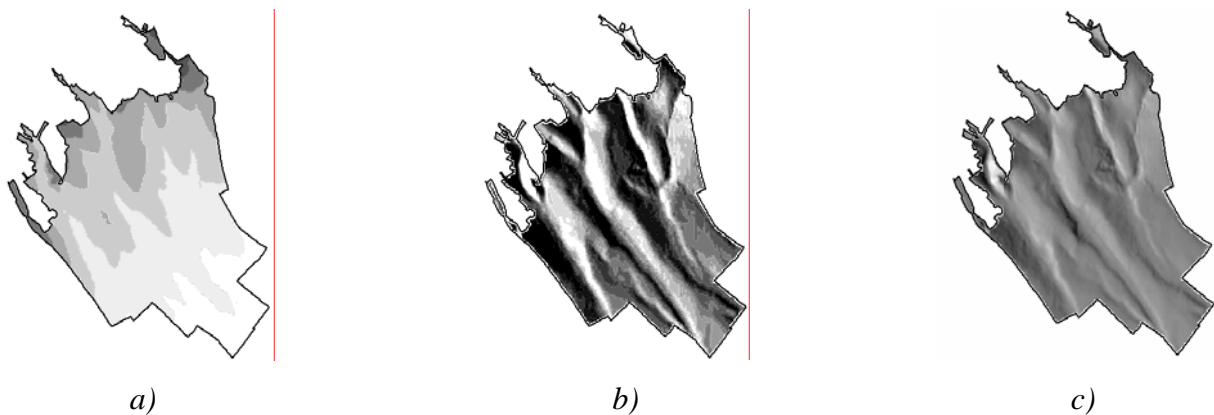
Dokumentujeme to tým, že náš TIN DMR Eurosense je charakterizovaný 59 059 vrcholmi a 118 097 trojuholníkmi, pričom diskkrétne vstupné pole malo 72 831 bodov (počet vrcholov TIN modelu klesol o 13 772). Zo zistenia vyplýva, že TIN DMR Eurosense je len sekundárna (generalizovaná) podoba DMR Eurosense a nie je s ním totožný.

Pre tvorbu DMR PVOD Kočín sme vybrali IDW metódu s preddefinovanými parametrami prostredia ArcView 3D Analyst s gridom 25 x 25 metrov (zvolené vzhľadom na rozloženie vstupných bodov).



Obr. 2 TIN DMR Eurosense.

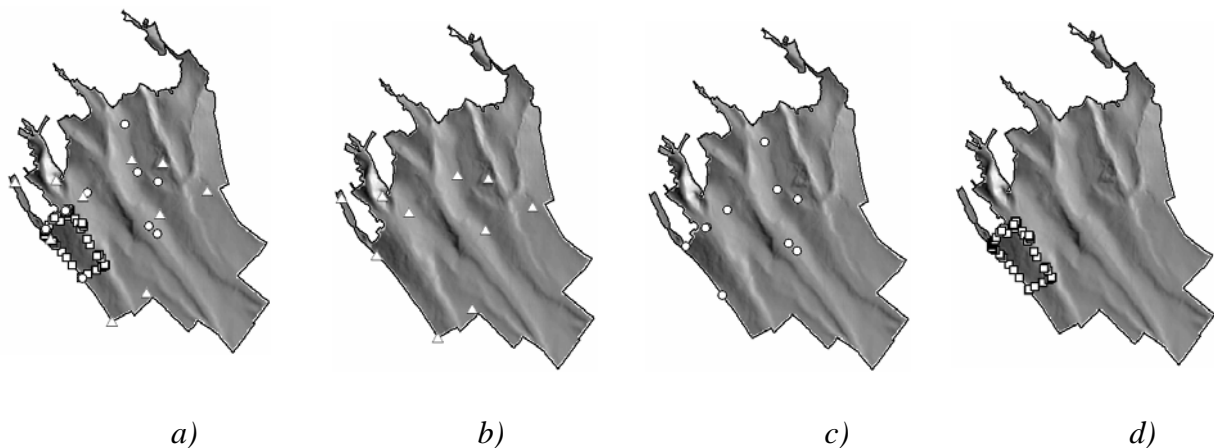
Na ilustráciu a získanie lepšej predstavy o členitosti a priebehu reliéfu záujmového územia sme z GRID DMR PVOD Kočín vytvorili tieňovaný DMR PVOD Kočín (obr. 3b) s azimutom Slnka 250° a jeho výškou 60° nad obzorom.. Kompozíciou vrstiev (3a + 3b) sme získali 2D pohľad s 3D vnemom, ktorú sme si pracovne nazvali DMR PVOD Kočín (obr. 3c).



Obr. 3 a) GRID DMR PVOD Kočín b) Tieňovaný DMR PVOD Kočín c) DMR PVOD Kočín.

3.3 Testovanie presnosti DMR PVOD Kočín

Na testovanie vertikálnej presnosti DMR PVOD Kočín bola za etalón zvolená množina 74 geodeticky určených bodov (obr. 4a), ktoré sme získali pre záujmové územie získať. Referenčné body pochádzajú z rôznych zdrojov: body Štátnej priestorovej siete (obr. 4b), identické body zamerané GPS prijímačom Trimble 4000 SSE (obr. 4c) a body zamerané prístrojom Topcon GTS 6 (obr. 4d). Priestorové pravouhlé súradnice (X, Y, Z) týchto bodov poznáme. Porovnávali sme výšky (Bpv) v daných geodeticky určených bodoch s výškami DMR PVOD Kočín.



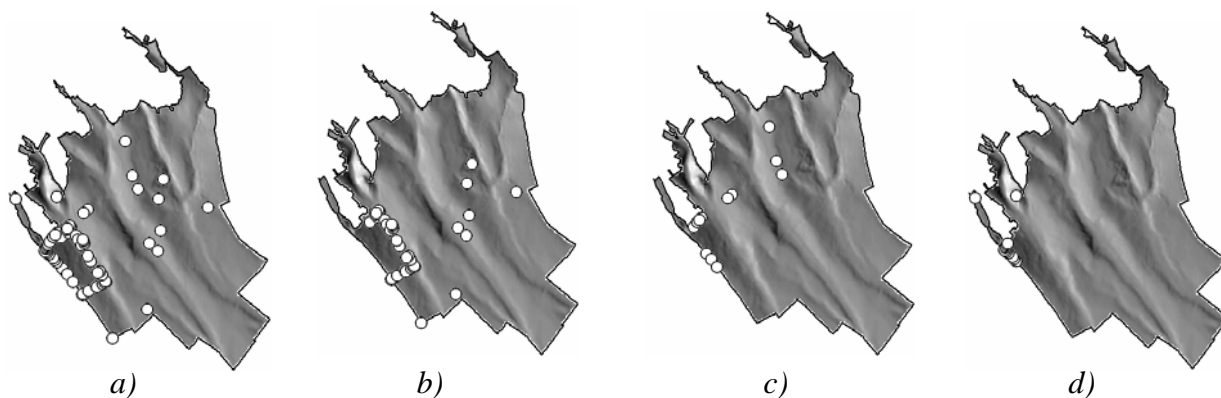
Obr. 4 Zdroje geodeticky určených bodov: a) spolu b) ŠPS c) Trimble d) Topcon.

Pomocou príkazu v Avenue (programovací jazyk v ArcView 3.2) boli pre tieto body vyinterpolované nadmorské výšky z GRID DMR EUROSENSE (je vhodnejší pre body ležiace v tesnej blízkosti hranice PVOD Kočín, má tú istú mriežku ako GRID DMR PVOD Kočín). Vypočítali sme rozdiely (ďalej reziduá) medzi geodeticky určenými bodmi a DMR PVOD Kočín zo vzťahu (3.1)

$$\Delta Z = Z_K - Z_G \quad (3.1)$$

kde: ΔZ – reziduum, Z_K – výška bodu DMR Kočín, Z_G – výška geodeticky určeného bodu, a súčasne platí: ak $Z_K > Z_G \Rightarrow$ kladné reziduum = DMR je nad reálnym stavom, ak $Z_G > Z_K \Rightarrow$ záporné reziduum = DMR je pod reálnym stavom

Na obr. 5 sú zobrazené geodeticky určené body, ktoré sú rozdelené do 3 skupín podľa hodnoty nadmorskej výšky do troch výškových intervalov. Vo výškovom intervale $<205;235)$ m. n. m sa nachádza 40 geodeticky určených bodov (obr. 5a), vo výškovom intervale $<235;265)$ m. n. m. sa nachádza 13 geodeticky určených bodov (obr. 5b) a vo výškovom intervale $<265;296)$ m. n. m. je 21 geodeticky určených bodov (obr. 5c).

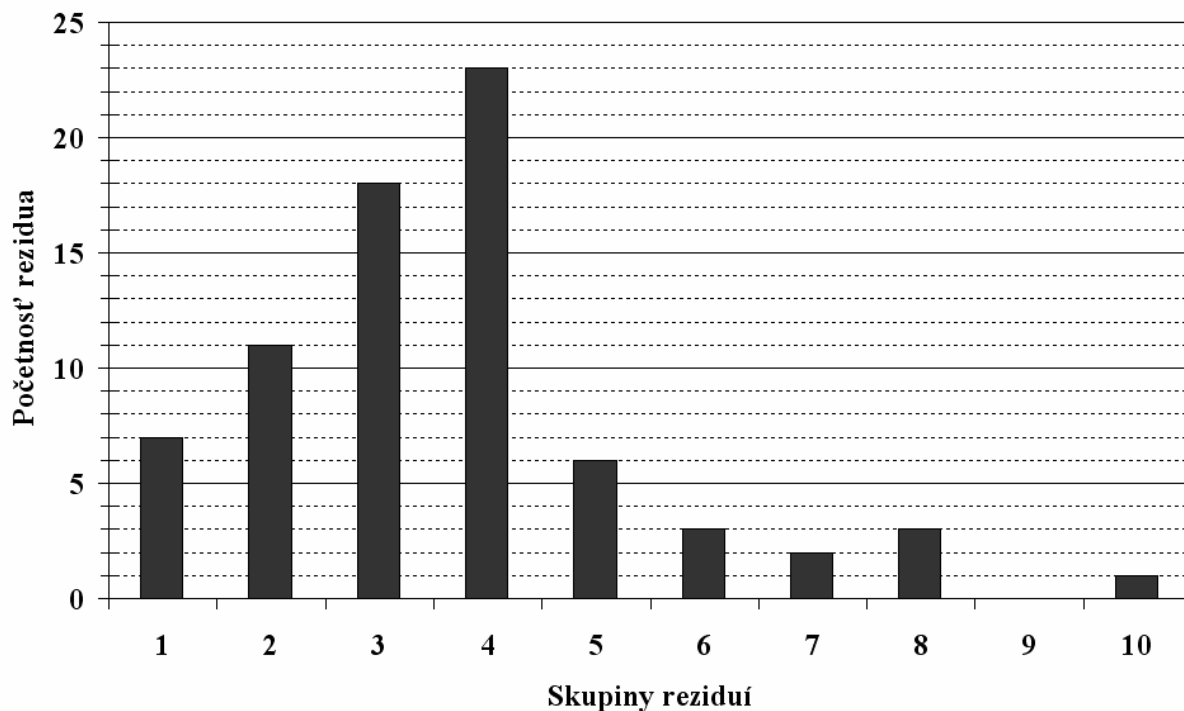


Obr. 5 a) všetky body b) $<205;235)$ m.n.m. c) $<235;265)$ m.n.m. d) $<265;296)$ m.n.m. .

Histogram reziduí DMR PVOD Kočín, ktorý je zobrazený na obr. 6, má variačné rozpätie od -3 m do 7 m. Z histogramu možno konštatovať, že rozloženie reziduí nie je rovnomerné. Najväčšia početnosť reziduí sa nachádza v intervaloch $<-1,0)$ a $<0,1)$. Z histogramu (obr. 6) a z tab. 1 je zrejmé, že stred histogramu nie je nulový a poloha stredu histogramu je prakticky centrická.

Tab. 1 Súhrnný prehľad reziduí DMR PVOD Kočín.

Skupina reziduí	Interval hodnôt reziduí	Početnosť reziduí
1	$<-3;-2)$	7
2	$<-2;-1)$	11
3	$<-1;0)$	18
4	$<0;1)$	23
5	$<1;2)$	6
6	$<2;3)$	3
7	$<3;4)$	2
8	$<4;5)$	3
9	$<5;6)$	0
10	$<6;7)$	1



Obr.6 Histogram reziduí DMR PVOD Kočín.

Tab.2 Základné charakteristiky testu presnosti DMR PVOD Kočín.

Absolútne reziduá DMR Kočín	Všetky reziduá	Reziduá < 2 m	Reziduá < 1 m	Reziduá < 0,5 m
Počet bodov	74	57	41	29
Priemer reziduí (m)	1,17	0,64	0,37	0,24
Štandardná odchýlka (m)	1,23	0,50	0,25	0,16
Minimálne reziduum (m)	0,00	0,00	0,00	0,00
Maximálne reziduum (m)	6,43	1,85	0,90	0,49

Z Tabuľky 2 je zrejmé, že maximálne absolútne reziduum všetkých bodov je 6,43 m a minimálne absolútne reziduum všetkých bodov dosahuje hodnotu 0,00 m.



Obr. 7 Reziduá DMR PVOD Kočín a) < 2 metre b) < 1 meter c) < 0,5 metra.

Tab. 3 Presnosť DMR PVOD Kočín podľa výškových intervalov

Absolútne reziduá DMR Kočín	<205;235) m n. m.	<235;265) m n. m.	<265;296) m n. m.
Počet bodov	40	13	21
Priemer reziduí (m)	0,82	1,87	1,42
Štandardná odchýlka (m)	0,63	1,50	1,62
Minimálne reziduum (m)	0,00	0,38	0,00
Maximálne reziduum (m)	2,33	4,82	6,43

Z Tabuľky 3 je zrejmé, že maximálne absolútne reziduum bodov vo výškovom intervale <205;235) je 2,33 m a minimálne absolútne reziduum dosahuje v tomto výškovom intervale hodnotu 0,00 m.

4 Záver

Experimentálnym testovaním presnosti DMR PVOD Kočín sme určili jeho priemerné reziduum na 1,17 metrov so štandardnou odchýlkou 1,23. V modeli sa vyskytujú chyby, ktoré dosahujú maximálne 6,43 m. Na základe výsledkov konštatujeme, že s rastúcou nadmorskou výškou klesá presnosť DMR PVOD Kočín a najväčšie reziduá vykazujú body, zamerané prístrojom Topcon GTS 6.

Z hľadiska pokračujúceho projektu v území PVOD Kočín navrhujeme rovnomerne po celom priestore rozmiestniť ďalšie geodeticky určené body pre opätovné testovanie, čo by malo poskytnúť nový a lepší výsledok presnosti digitálneho modelu reliéfu.

Na záver uvádzame kompozíciu vrstiev TIN DMR a ortofotosnímok Eurosense v 3D pohľade (obr. 8), ktorý názorne vystihuje ako členitosť reliéfu, tak aj rozloženie polohopisných prvkov v krajine. Výpovednú hodnotu, uvedeného prekrytu kartografických vrstiev, je možné využiť v každej etape projektu pozemkových úprav, do reálnej situácie v digitálnom prostredí, pri posudzovaní možností variantných riešení a rešpektovaní mnohých faktorov (smer obrábania, sklon pozemkov, orientácia na svetové strany) v záujmovom území PVOD Kočín. DMR je vhodný pre modelovanie erózných procesov, určenie protierózných opatrení, výpočet sklonu jednotlivých pôdných celkov a výpočet kubatúr.

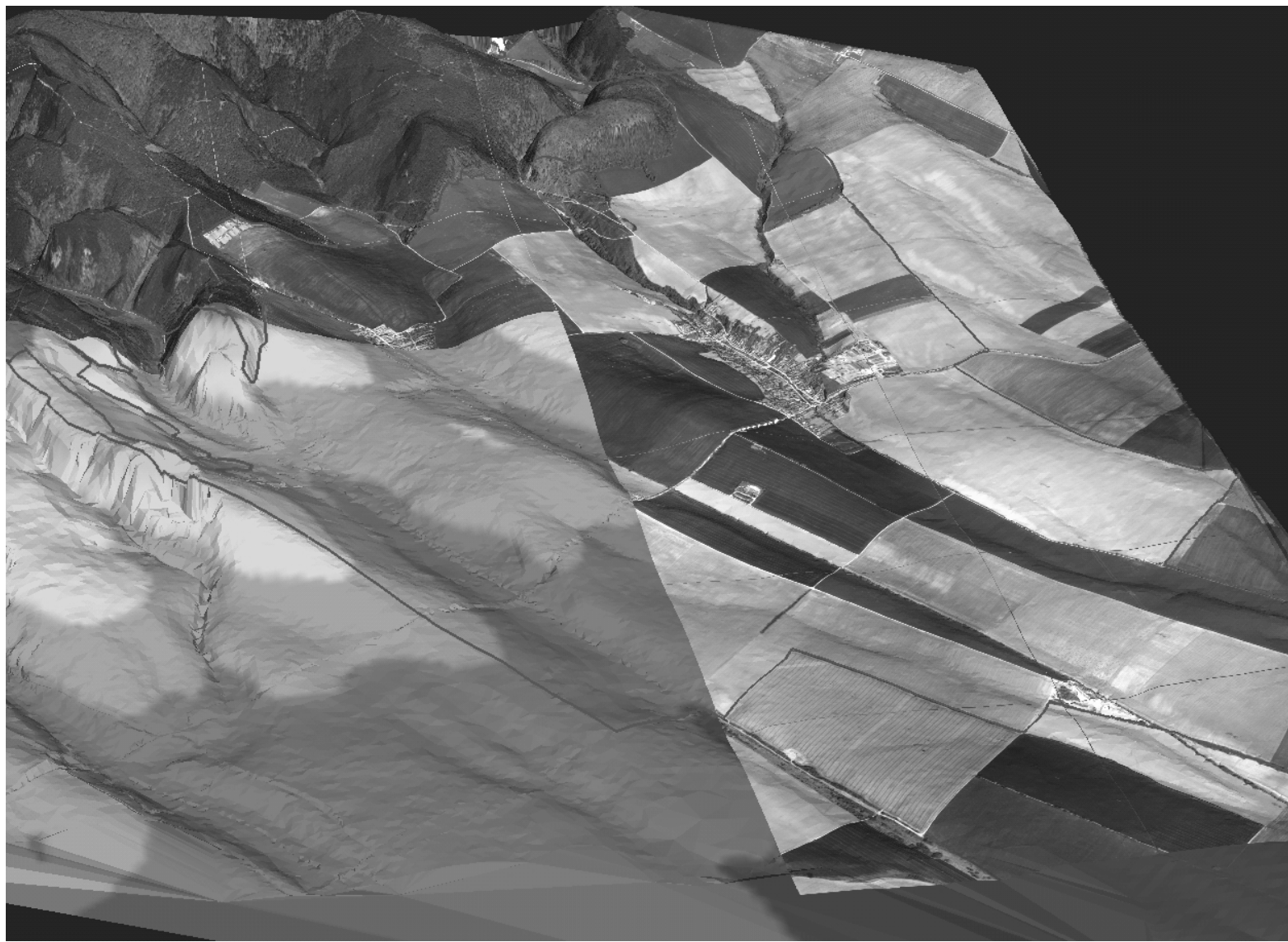
Príspevok je časťou výsledkov riešenia grantovej výskumnej úlohy VEGA č. 1/0213/03 „Nový model poľnohospodárskeho územia založený na identifikácii pozemkového vlastníctva a užívania“.

Literatúra:

- [1] **BURROUGH, P.A., MCDONNELL, R.A:** Principles of geographical information systems. Oxford University Press 1998., 333 s.
- [2] **ČULÁKOVÁ, K.:** Kopceptuálny model územia a jeho geocharakteristiky kvality. Diplomová práca, STU Bratislava 2002, s. 45.
- [3] **FENCÍK, R.:** Polohové určenie objektov pre GIS pomocou GPS. Pedagogické listy 9/2002, STU Bratislava 2002, s. 21-28.
- [4] **FRANK, A. U., RAUBAL, M., VAN DER VLUGT, M.:** Panel-GI Compendium A guide to GI and GIS. INCO-COPERNICUS project no. 977136. Genova – Italy (European Commission) 2000, pp. 63-76.
- [5] **HOFIERKA, J., KONEČNÝ, M.:** Rastrové digitálne modely reliéfu. GEOinfo 1/98, 1998, s. 48-50.
- [6] **KUDRNOVSKÁ, O.:** Morfometrické metódy a jejich aplikace při fyzickogeografické regionalizaci. Studia Geographica, č. 45. Geografický ústav ČSAV Brno 1975, 182 s.
- [7] **MOJZEŠ, M.:** Analýza presnosti digitálneho modelu reliéfu Slovenska DMR-2. Vedecko-technický projekt, VÚGK Bratislava 2001, s.32.
- [8] **OFÚKANÝ, M.:** Záverečná štúdia pracovnej skupiny pre Referenčné dáta a metadáta (WG-RDM) EU iniciatívy INSPIRE. Prezentácia na seminári Dôsledky európskych projektov pre Slovensko a ZB GIS, 2002, <http://www.gku.sk/main.php?src=podujatia>
- [9] **OFÚKANÝ, M.:** Analýza presnosti digitálneho modelu reliéfu Slovenska zo Spojitej vektorovej mapy 1:50 000. Technická správa, GKÚ Bratislava 2003a, s. 14.
- [10] **OFÚKANÝ, M.:** Analýza presnosti digitálneho modelu reliéfu Slovenska z fotogrametrických podkladov 1:10 000. Technická správa, GKÚ Bratislava 2003b, s. 8.
- [11] **VOŽENÍLEK, V.:** Vzhled a geneze georeliéfu v oblasti Moravské brány a jeho zpracování počítačovou technikou. Kandidátská dizertačná práca, MU Brno 1992, 122 s.
- [12] **VOŽENÍLEK, V.:** Generating Surface Models Using Elevations Digitised from Topographic Maps. Paris, Proceedings of EGIS, 1994, s.972-982.
- [13] **VOŽENÍLEK, V.:** Geografické informační systémy I. Pojetí, historie, základní komponenty. 1. vydanie. Univerzita Palackého Olomouc 2001a, 188 s.
- [14] **VOŽENÍLEK, V.:** Integrace GPS/GIS v geomorfologickém výzkumu. Univerzita Palackého, Přírodovědecká fakulta Olomouc 2001b, s. 185.
- [15] **STRAHLER, A. N.:** Dynamic basis of geomorfology. Bulletin of the Geological Society of America 63, 1952, s. 923-938.
- [16] **ŠÍMA, J.:** Musíme používat pracovní slang při prezentacích a v publikacích o geografických informačních systémech?. In. sborník z konference GIS Ostrava 2002, Ostrava 2002, ISSN 1213-239X.
- [17] Reference Data and Metadata Position Paper (2003), <http://inspire.jrc.it>

Lektoroval:

Doc. Ing. Jozef Čizmár, PhD.



Obr. 8 Kompozícia vrstiev TIN DMR Eurosense a ortofotosnímkov v 3D pohľade.