

Aktualizácia siete vodných tokov na podklade Digitálneho Modelu Reliéfu 5.0

Ing. Kinga Dombiová,
Výskumný ústav geodézie
a kartografie v Bratislave

Abstrakt

Letecké laserové skenovanie Slovenskej republiky (SR) začalo v roku 2017 pod záštitou Úradu geodézie, kartografie a katastra Slovenskej republiky (ÚGKK SR) za účelom vytvorenia Digitálneho modelu reliéfu 5.0 (DMR 5.0) celého územia SR. S príchodom vysoko presného a podrobného DMR sa postupne rozširujú možnosti jeho použitia a uplatnenia s výrazným vplyvom na kvalitu výsledných produktov. Cieľom príspevku je overiť možnosti aplikovania DMR 5.0 okrem iného aj na spresnenie vodných tokov, ktoré pozitívne ovplyvnia ďalšie výpočty, analýzy a modelovania nad týmito spresnenými údajmi.

Updating the Watercourse Network on the Basis of Digital Terrain Model 5.0

Abstract

Geodesy, Cartography and Cadastre Authority of the Slovak Republic launched in 2017 the airborne laser scanning of the Slovak Republic. The aim of the project is to create a high-resolution digital terrain model 5.0 (DTM 5.0) of the whole territory of the republic. With the availability of highly accurate and detailed DTM, the possibilities of its use and application are gradually expanding with a significant impact. The aim of this article is to verify the possibilities of DTM 5.0 and its suitability for watercourse network improvement, which will positively affect the further calculations, analyses and modelling based on these refined data.

Keywords: airborne laser scanning, high resolution, digital terrain model, watercourse network, data quality

1. Úvod

Meračské metódy a údaje získané pomocou diaľkového prieskumu Zeme (DPZ) poskytujú široké spektrum ich využitia a uplatnenia v oblasti geografických informačných systémov (GIS). Letecké laserové skenovanie (LLS) využívajúce technológiu Light Detection And Ranging (LiDAR) predstavuje jednu z množstva metód DPZ, ktoré dokáže zabezpečiť zber trojrozmerných (3D) údajov o zemskom povrchu s vysokou presnosťou. Umožňuje zmapovať okrem prírodného prostredia aj človekom umelo vytvorené priestorové objekty a odfiltrovaním vegetácie a objektov na povrchu Zeme vymodelovať priebeh samotného reliéfu. DMR získaný z LLS má obzvlášť veľký potenciál na modelovanie, resp. detegovanie potencionálnych korýt vodných tokov. S využitím vhodných postupov a nástrojov v dostupných softvéroch GIS sa vieme dopracovať ku kvalitným a užitočným výsledkom, ktoré môžeme následne aplikovať v praxi.

2. Súčasný stav

Základným súborným mapovým dielom v oblasti vodného hospodárstva je Vodohospodárska mapa SR v mierke 1 : 50 000 (VHM 50 000, obr. 1). VHM slúži na rozhodovacie a koncepcnú činnosť v oblasti ochrany a hospodárenia s vodnými zdrojmi. Určená je nielen pre širokú vodohospodársku komunitu, ale aj pre rôzne iné rezorty, inštitúcie, organizácie, vrátane podnikateľskej sféry [1].

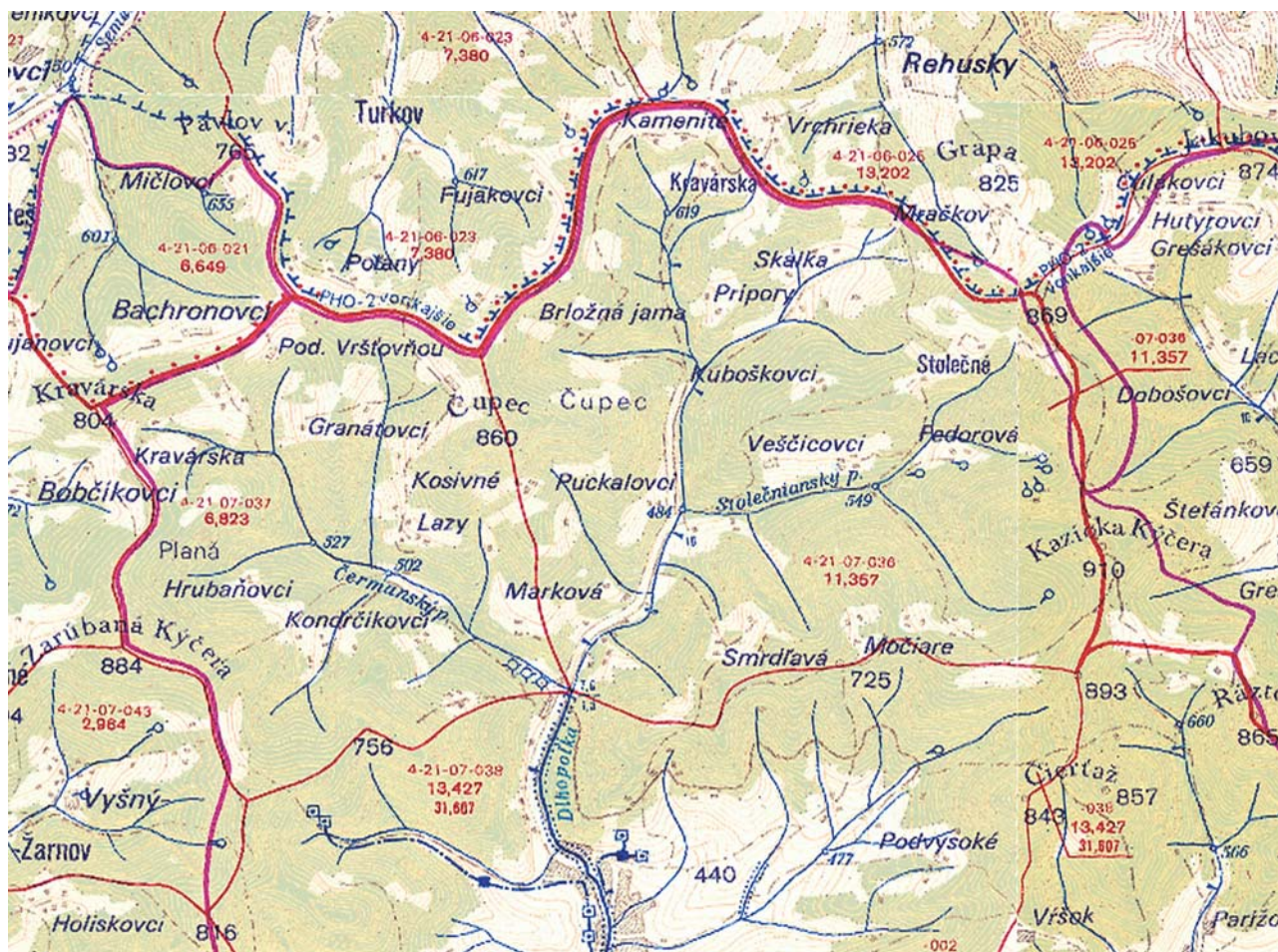
Vydania VHM:

- 1. vydanie ukončené v roku 1984 (VHM SSR);
- 2. vydanie spracované a vytlačené v rokoch 1987-1992 podľa Pokynov pre 2. vydanie VHM SSR z roku 1984;

- 3. vydanie pripravované od roku 1995 a vytlačené v roku 1997.

VHM je vyhotovená a spracovaná na podklade Základnej mapy (ZM) v mierke 1 : 50 000 v súradnicovom systéme Jednotnej trigonometrickej siete katastrálnej (S-JTSK) a použitý je výškový systém Baltský po vyrovnaní (Bpv). VHM zobrazuje celé územie SR celkovo na 134 mapových listoch. Tematický obsah mapy tvoria vodné toky, kanály a vodné nádrže (vrátane ich kilometráže), objekty, zariadenia a údaje na nich, využívané a nevyužívané vodné zdroje a ich ochranné pásma, rozvodnice povodí a hydrologické poradie vodných tokov, hranice chránených vodohospodárskych oblastí (CHVO), chránené krajinné oblasti (CHKO), národné parky (NP) a ďalšie objekty a údaje [1].

Z legislatívneho hľadiska správa a ochrana vôd prináleží Ministerstvu životného prostredia SR (MŽP), resp. jeho podriadeným organizáciám: Výskumný ústav vodného hospodárstva (VÚVH) a Slovenský vodohospodársky podnik, štátny podnik (SVP, š. p.). Podľa Vyhlášky č. 242/2016 Z. z. [2] sa v §5 bod 1 uvádzajú záväzné podklady na zhodnotenie vplyvov a dopadov ľudskej činnosti na stav útvarov povrchovej vody a na stav útvarov podzemnej vody a identifikáciu predbežných vodohospodárskych problémov, kde sa nachádza medzi ostatnými štátnymi mapovými dielami určenými na verejné použitie aj VHM 50 000. ÚGKK SR je zodpovedný za prevádzkovanie informačného systému geodézie, kartografie a katastra v SR (IS GKK), ktorého súčasťou je správa priestorových informácií o topografických objektoch. IS GKK tvorí okrem informačného systému geodetických základov a informačného systému katastra nehnuteľností aj Základná báza údajov pre geografický informačný systém (ZBGIS®). ZBGIS® je priestorovou objektovo orientovanou bázou údajov, ktorá je referenčným základom národnej infraštruktúry priestorových informácií. Vytvára lokalizačný a geometrický základ na



Obr. 1 Výrez z Vodohospodárskej mapy 1 : 50 000 – 3. vydanie (1997)

tvorbu tematických nadstavbových geografických informačných systémov a je záväzná na tvorbu základných a tematických štátnych mapových diel. Rozsah údajov o objektoch spravovaných v rámci ZBGIS[®] určuje katalóg tried objektov (KTO ZBGIS[®]) [3].

Charakteristika priestorových údajov ZBGIS[®] z hľadiska obsahu, aktualizácie a presnosti [4]:

Obsah

Referenčné údaje ZBGIS[®] pozostávajú z:

- údajov ZBGIS[®] definovaných KTO ZBGIS[®], vrátane:
 - geografického názvoslovía (štandardizovaného a neštandardizovaného),
 - administratívneho členenia,
 - geodetických referenčných bodov,
- ortofotosnímkov,
- digitálneho modelu reliéfu.

Aktualizácia

Metódy aktualizácie priestorových údajov sú [4]:

- plošná aktualizácia,
- selektívna aktualizácia.

Plošná aktualizácia priestorových údajov ZBGIS[®] predstavuje 3 etapy:

- fotogrametrický zber (spracovanie digitálnych fotogrametrických údajov – fotogrametria),
- miestne prešetrovanie (spolu s možnosťou geodetického zamerania objektov) – práce prebiehajú priamo v teréne a následne sa údaje spracujú v databáze,
- kontrola kvality.

Selektívna aktualizácia priestorových údajov ZBGIS[®] pozostáva z 3 etáp [4]:

- preberanie údajov z rezortných systémov a od ostatných povinných osôb (webové mapové služby/poskytnuté databázy/ortofotomozaika),
- miestne prešetrovanie,
- kontrola kvality,
- aktualizácia generalizovaných a ostatných údajov.

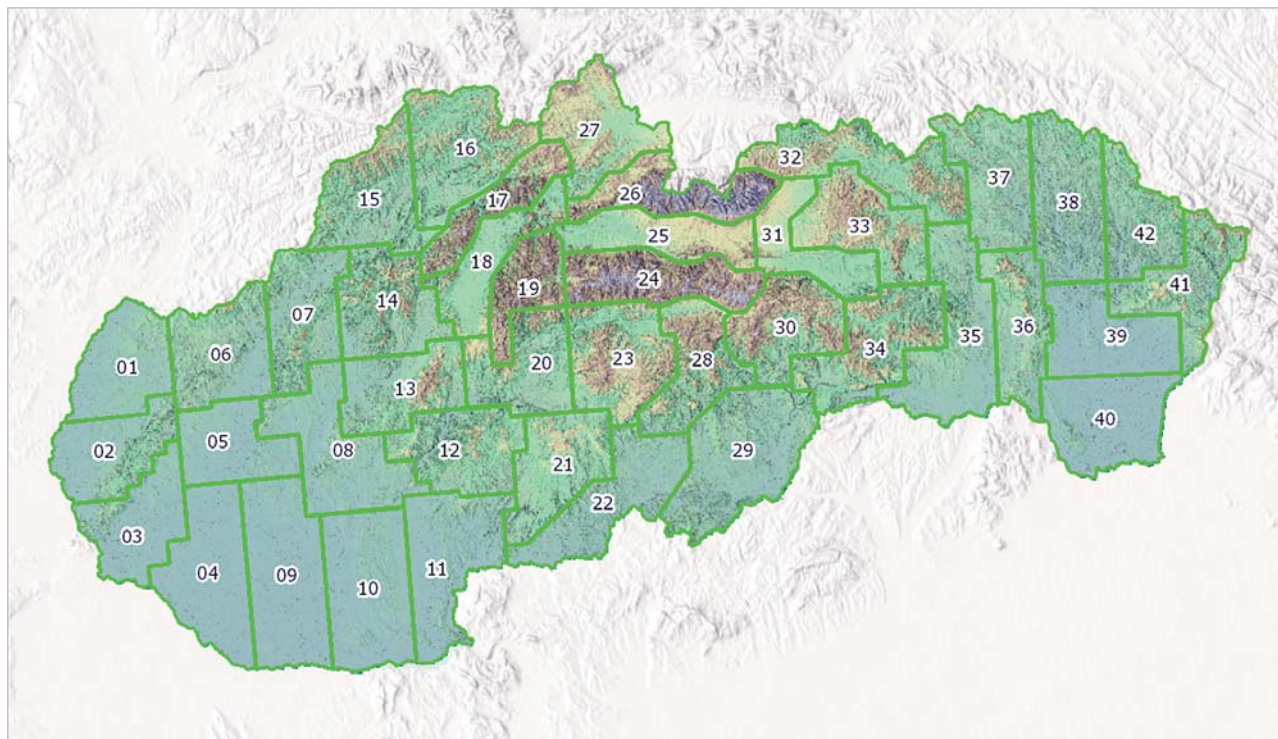
Presnosť

Podľa KTO ZBGIS[®] jednotlivé objekty sú charakterizované atribútom ACH pre horizontálnu presnosť a atribútom ACV pre vertikálnu presnosť. Pre horizontálnu presnosť sú používané/povolené nasledujúce hodnoty [5]:

- geodetická, s presnosťou < 0,1 m (ACH=1),
- do 1 m (ACH=2),
- do 5 m (ACH=3),
- odhadovaná poloha, priebeh – používa sa pokiaľ priebeh objektu nie je možné určiť s presnosťou lepšou ako 5 m (ACH=997),
- neaplikuje sa – používa sa pre objekty, ktorých presnosť sa neeviduje alebo je nepotrebná (ACH=998).

Obdobne pre vertikálnu presnosť sú používané/povolené nasledovné hodnoty [5]:

- geodetická, s presnosťou < 0,1 m (ACV=1),
- do 1 m (ACV=2),
- do 5 m (ACV=3),
- na reliéfe – používa sa pre objekty ZBGIS[®], ktorých



Obr. 2 Prehľad lokalít 1. cyklu projektu leteckého laserového skenovania

z-súradnica bola prebratá z platného výškového modelu (ACV=4),

- odhadovaná – používa sa pokiaľ priebeh objektu nie je možné určiť s presnosťou lepšou ako 5 m (ACV=997),
- neaplikuje sa – používa sa pre objekty, ktorých presnosť sa neeviduje alebo je nepotrebná (ACV=998).

2.1 Digitálne modely reliéfu 3.0 a 3.5

DMR 3.0 sa vytvoril vektorizáciou výškopisu (vrstevníc) najmä topografických máp v mierke 1 : 10 000, niektoré územia SR v mierke 1 : 25 000 (tam, kde nebola k dispozícii mapa v mierke 1 : 10 000) a pre niektoré územia sa použili ZM v mierke 1 : 10 000 [6].

DMR 3.0 je vytvorený lineárnou interpoláciou z vrstevnicového modelu, je reprezentovaný ako rastrový model nadmorských výšok územia SR vo výškovom systéme Bpv a v súradnicovom systéme S-JTSK, v sieti výškových bodov 10 x 10 m [7].

DMR 3.5 bol realizovaný na tvorbu vrstevníc na kartografickú reprezentáciu výškopisu v kombinácii s údajmi ZBGIS®. Na jeho tvorbu bol použitý DMR 3.0. Krok rastrového modelu je rovnaký ako u DMR 3.0, teda 10 x 10 m.

DMR 4.0 sa začal vytvárať fotogrametrickou metódou v roku 2004, ale pre veľkú časovú náročnosť a nízky výkon bola táto úloha začiatkom roku 2009 zastavená [7].

Testovaním a používaním DMR 3.0 a DMR 3.5 bolo overené, že ich výšková presnosť je nedostatočná, pohybuje sa na úrovni niekoľkých metrov, čo už nevyhovuje ani súčasným, ani perspektívnym potrebám orgánov verejnej správy SR, najmä v oblasti ochrany životného prostredia, plánovania územného rozvoja a stavebných investícií [8].

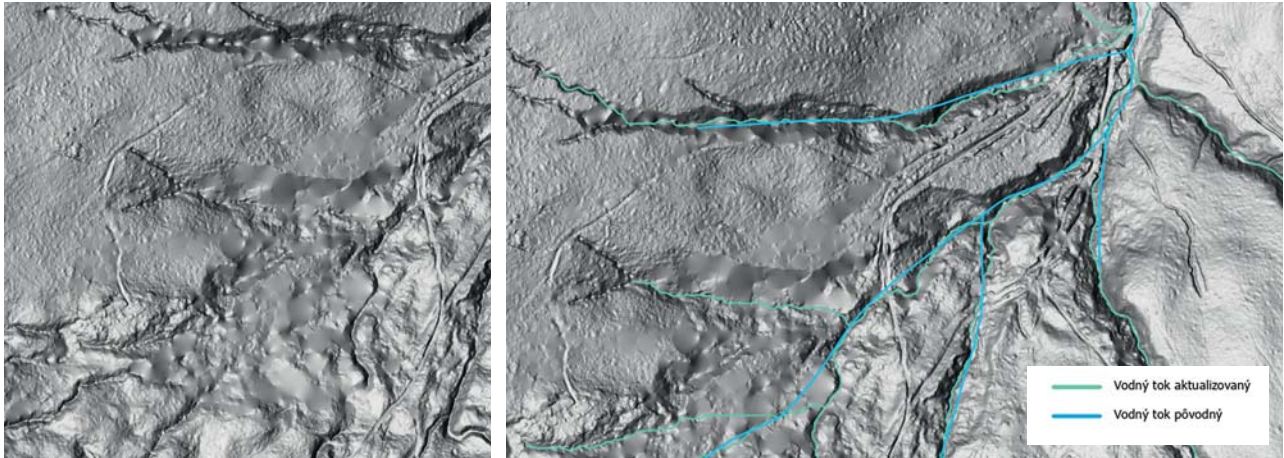
2.2 Digitálny model reliéfu 5.0

DMR 5.0 je vytvorený interpoláciou z klasifikovaného mračna bodov (z bodov triedy „ground“) získaného pomocou LLS v rozlíšení 1 x 1 m. Interpolácia bola vykonaná s využitím algoritmu Inverse Distance Weighting (IDW) s hodnotou exponentu 2 a maximálnym počtom bodov z okolia 12 [7]. Od júla 2023 je dostupný DMR 5.0 v súradnicovom systéme S-JTSK (realizácia JTSK03) a vo výškovom systéme Bpv pre celé územie SR. Jeho výšková presnosť v Bpv je $m_h \leq 0,11$ m. Polohová presnosť mračna bodov $m_{xy} \leq 0,30$ m [9]. V súčasnosti je 1. cyklus projektu LLS SR ukončený a produkty zo všetkých lokalít (42) sú dostupné pre verejnosť (obr. 2) na stránkach Geoportálu. Od októbra 2022 sa plynule pokračuje v 2. cykle skenovania.

V rámci 1. cyklu projektu LLS boli lokality zalietavané mimo vegetačného obdobia, okrem lokalít 37 a 38, ktoré boli zalietavané na začiatku vegetačného obdobia, a to zapríčinilo nižšiu kvalitu DMR. Reliéf v zarastených oblastiach bol dotvorený metódou interpolovania z dôvodu malej penetrácie laserových lúčov na zemský povrch (obr. 3). Na základe prvotných analýz môže tento nedostatok aktualizáciu vodných tokov v týchto lokalitách výrazne spomaliť, resp. zhoršiť presnosť priebehu vodných tokov. Avšak po zhodnotení, výsledná aktualizovaná sieť vodných tokov na lokalitách 37 a 38 bude stále presnejšia ako priebeh súčasnej siete vodných tokov ZBGIS®.

3. Ciele výskumu

VHM je dôležitým tematickým štátnym mapovým dielom, ale dynamické zmeny, v prípade vodných tokov obzvlášť, si vyžadujú priebežnú aktualizáciu nad presnými a aktuál-



Obr. 3 Priebeh pôvodnej a aktualizovanej siete vodných tokov na lokalite 37

nými podkladmi a hlavne vo vyšších mierkových úrovniach ako je súčasná VHM 50 000.

VHM v mierke 1 : 50 000 je stále legislatívne záväzná, avšak približne od roku 2017 sú realizované aktivity na aktualizáciu vodných tokov a prechod na mierkovú úroveň 1 : 10 000.

Na základe vzájomnej medzirezortnej dohody medzi SVP, š. p., VÚVH a Geodetickým a kartografickým ústavom (GKÚ) Bratislava za účelom zabezpečenia kvalitnejších údajov pre hydrografiu sa poskytuje zo strany GKÚ Bratislava priestorová poloha (priebeh) vodných tokov, ktorá je následne obohatená atribútmi zo strany SVP, š. p. a VÚVH.

Z hľadiska riešenia problematiky aktualizácie siete vodných tokov metóda fotogrametrického zberu údajov hlavne v zalesnených oblastiach je nepresná a častokrát samotná aktualizácia nad týmito fotogrametrickými údajmi je komplikovaná až nemožná. Takisto pre účely a potreby tohto projektu z hľadiska presnosti nie sú vyhovujúce ani DMR 3.0 a 3.5.

Príchodom DMR 5.0 tieto aktivity dokážeme zrýchliť a čo sa týka polohovej a výškovej presnosti posunúť o niekoľko úrovní vyššie oproti súčasnému stavu [10]. Z tohto dôvodu od roku 2022 prebieha intenzívna spolupráca medzi vyššie spomenutými rezortmi v problematike aktualizácie a spresňovania vodných tokov.

Cieľom výskumných aktivít Výskumného ústavu geodézie a kartografie (VÚGK) v Bratislave je analýza vhodných postupov generovania vodných tokov nad DMR 5.0, ktorých priebeh bude mať korektnú priestorovú polohu, vrátane výškového profilu. Práce na tomto projekte sú v súčasnosti vo fáze obsahovej aktualizácie metodiky a zároveň prebieha spresňovanie vodných tokov pilotných území určených SVP, š. p.

4. Pilotné územia

Na účely projektu aktualizácie a spresnenia vodných tokov boli vybrané nasledovné tri pilotné územia na základe svahovitosti reliéfu:

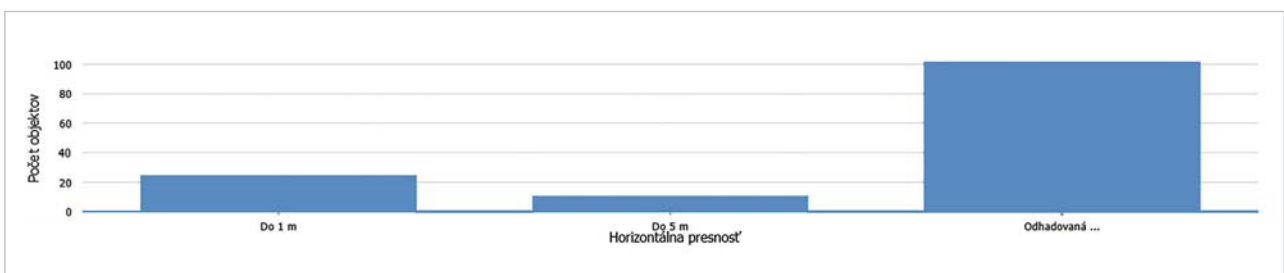
- Dlhé Pole – rozsah územia je 41 km² s počtom 135 vodných tokov o celkovej dĺžke 65 km,
 - Klubina – rozsah územia je 15 km² s počtom 73 vodných tokov o celkovej dĺžke 36 km,
 - Dedina Mládeže, Kameničná a Kolárovo (ďalej iba pilotné územie Komárno) – rozsah územia je 154 km² s počtom 250 vodných tokov o celkovej dĺžke 235 km.
- Horizontálna poloha vodných tokov ZBGIS[®] definovaná fotogrametrickou metódou na väčšine pilotných území bola určená s presnosťou horšou ako 5 m. Vertikálna poloha vodných tokov ZBGIS[®] na pilotných územiach bola definovaná s presnosťou DMR 3.5, čo predstavuje presnosť rádo vo metroch.

Nasledujúce grafy na obr. 4, 5 a 6 zobrazujú horizontálnu presnosť určenia vodných tokov na pilotných územiach.

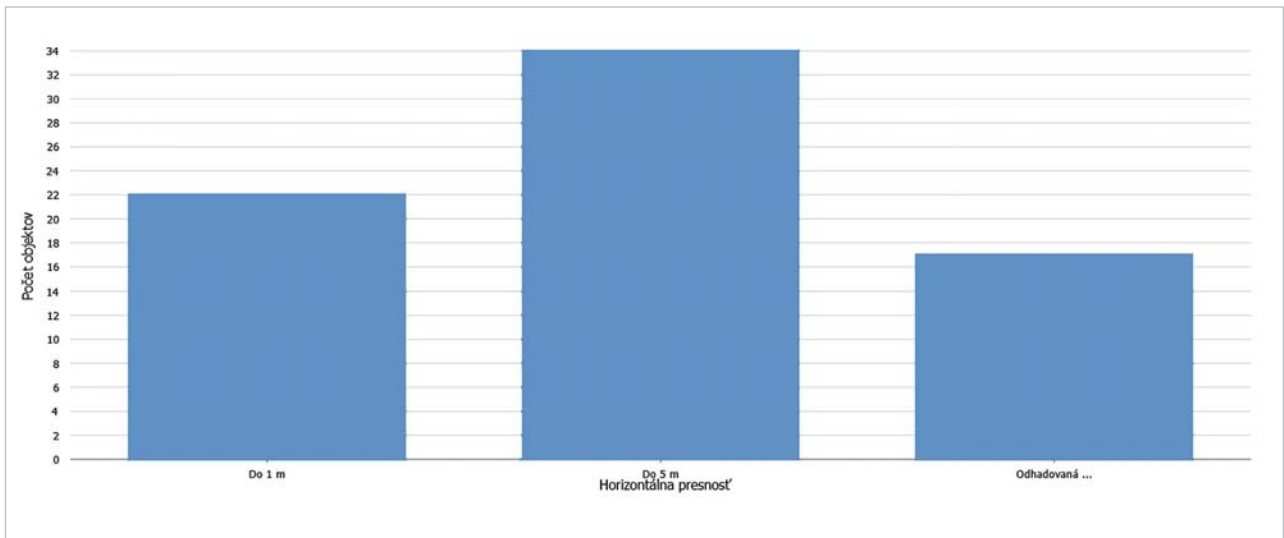
Na charakteristiku pilotných území boli zvolené nasledujúce dva parametre:

- vegetačný index,
- sklon reliéfu.

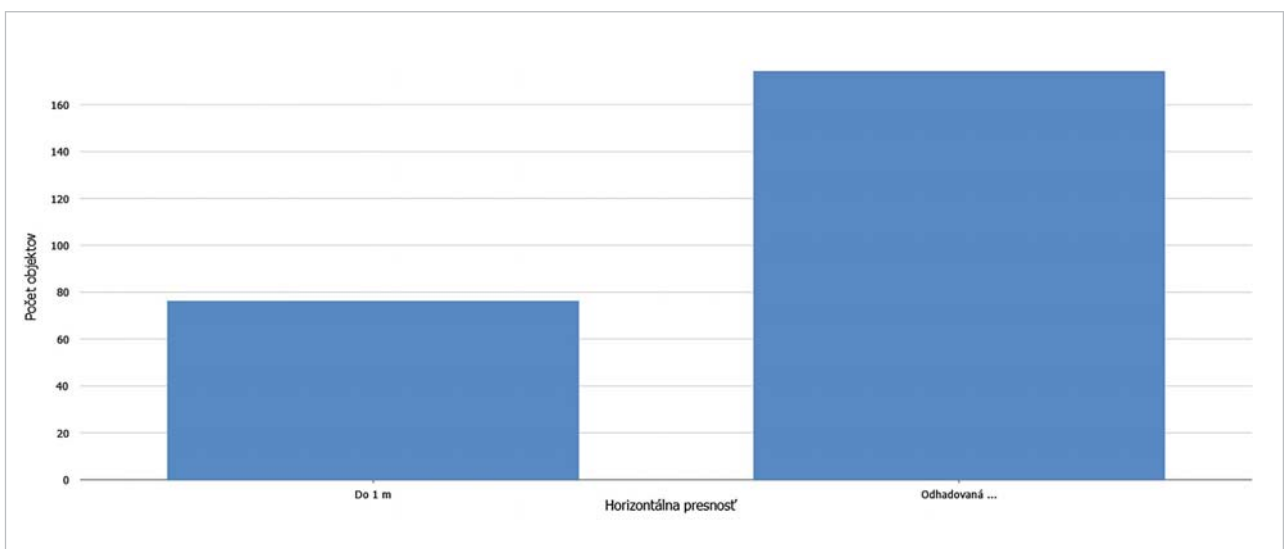
GKÚ Bratislava v spolupráci s Národným lešnickým centrom (NLC) vo Zvolene od roku 2017 vytvára ortofotomozajku celého územia SR aj so spektrálnym pásmom blízko infračerveného žiarenia (NIR). Tieto verejne dostupné prostriedky nám umožňujú vykonávať okrem iného aj analýzu množstva a stavu vegetácie na pilotných územiach. Na vytvorenie komplexného obrazu a presnejšiu charakteristiku daných území sme použili široko využívanú metódu



Obr. 4 Horizontálna presnosť vodných tokov na území Dlhé Pole



Obr. 5 Horizontálna presnosť vodných tokov na území Klubina



Obr. 6 Horizontálna presnosť vodných tokov na území Komárno

hodnotenia vegetačného krytu pomocou vegetačného indexu Normalized Difference Vegetation Index (NDVI; normalizovaná diferencia vegetačného indexu), ktorý sa bežne využíva v oblastiach lesného hospodárstva, poľnohospodárstva, pri monitoringu sucha a pod.

NDVI index kvantifikuje vegetáciu meraním rozdielu medzi blízkym infračerveným svetlom (ktoré vegetácia silne odráža) a červeným spektrom svetla (ktoré vegetácia absorbuje) [11]. Je definovaný nasledovným vzťahom:

$$NDVI = \frac{(NIR - Red)}{(NIR + Red)} \quad (1)$$

kde

NIR je spektrálna odrazivosť (miera medzi dopadajúcim a odrazeným žiarením) v blízkom infračervenom spektrálnom pásme,

Red je spektrálna odrazivosť v červenom spektrálnom pásme.

Hodnoty NDVI indexu sa udávajú v rozsahu $\langle -1; 1 \rangle$. Hodnoty nižšie ako 0,1 prislúchajú neúrodným plochám

a skalnatým povrchom, prípadne územiu pod snehovou pokrývkou. Hodnoty v intervale $\langle 0,2; 0,5 \rangle$ indikujú prítomnosť roztrúsenej riedkej vegetácie, lúk a pasienkov. Vysoké hodnoty vegetačného indexu v intervale $\langle 0,6; 1 \rangle$ označujú územia s hustým vegetačným krytom (les, vegetácia alebo poľnohospodárske plodiny počas ich vrcholu vegetačného obdobia).

Ďalším charakteristickým parametrom je sklon reliéfu daného územia. Na jeho zobrazenie nám poslúži práve DMR. Sklon reliéfu predstavuje uhol zovretý terénou čiarou alebo čiastkovou plochou reliéfu s vodorovnou rovinou. Udáva sa v stupňoch, príp. tangentou alebo v percentách [12]. Je kľúčovým morfológickým parametrom určujúcim okamžitú intenzitu gravitačne podmienených geomorfologických procesov [13].

Na určenie sklonu reliéfu sme použili DMR 5.0 a stupnicu definovanú Národným poľnohospodárskym a potravinárskym centrom – Výskumným ústavom pôdozvedectva a ochrany pôdy (NPPC - VÚPOP), podľa ktorej sa rozdeľuje sklon reliéfu do 7 kategórií:

- 0 – 1° – rovina bez prejavu plošnej vodnej erózie
- 1 – 3° – rovina s možnosťou prejavu plošnej vodnej erózie
- 3 – 7° – mierny svah
- 7 – 12° – stredný svah
- 12 – 17° – výrazný svah
- 17 – 25° – príkry svah
- nad 25° – zrás [14].

4.1 Charakteristika pilotného územia Dlhé Pole

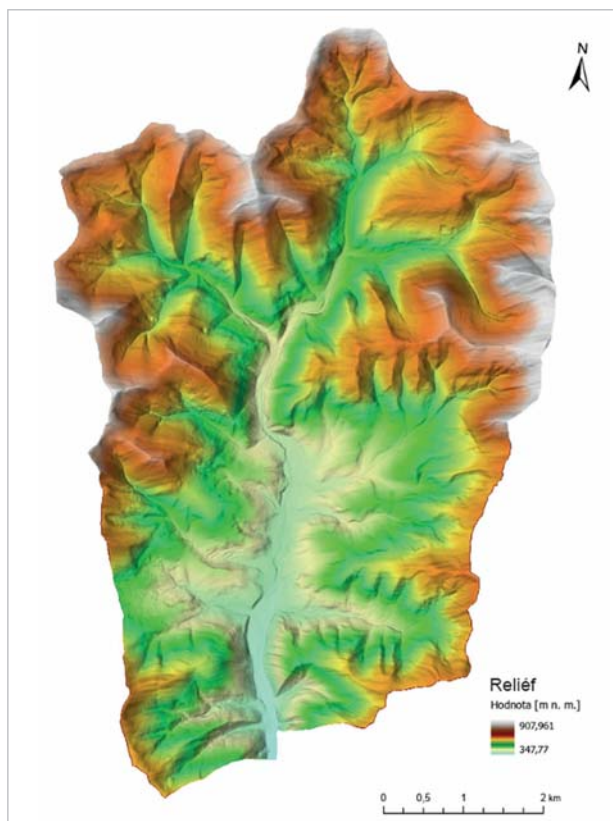
Obec Dlhé Pole sa nachádza v regióne Horné Považie a Kysuce v Žilinskom kraji, okres Žilina. Výškové rozpätie pilotného územia Dlhé Pole sa pohybuje od 348 do 908 m n. m. (obr. 7).

V prípade pilotného územia Dlhé Pole NDVI index (meanNDVI = 0,234) reflektuje, že sa jedná o územie, kde prevláda riedka vegetácia, resp. sú vo väčšom zastúpení lúky, pasienky alebo trvalé trávne porasty a zároveň je charakterizované nízkou mierou urbanizácie (obr. 8 a 9).

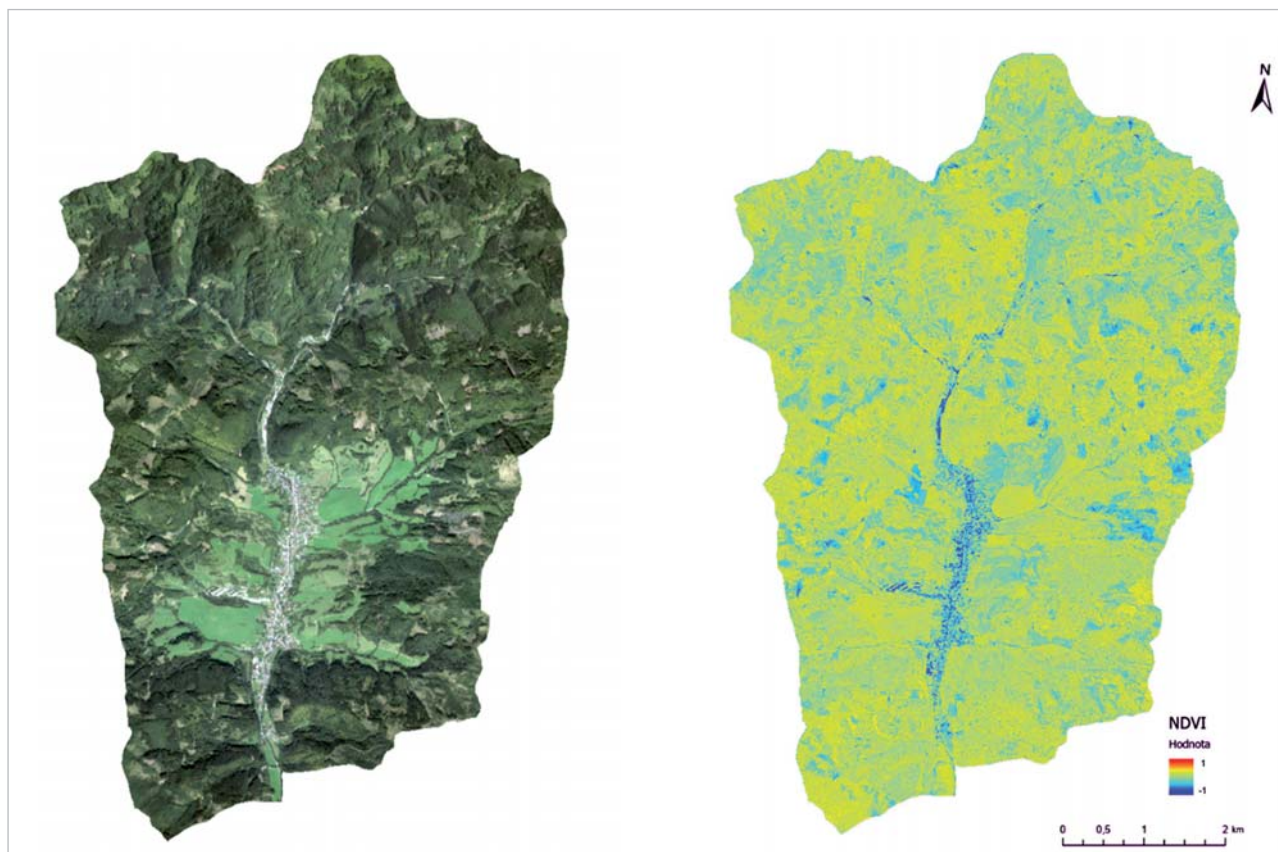
V lokalite Dlhé Pole z hľadiska sklonu reliéfu prevládajú výrazné až príkry svahy (obr. 10 a 11).

4.2 Charakteristika pilotného územia Klubina

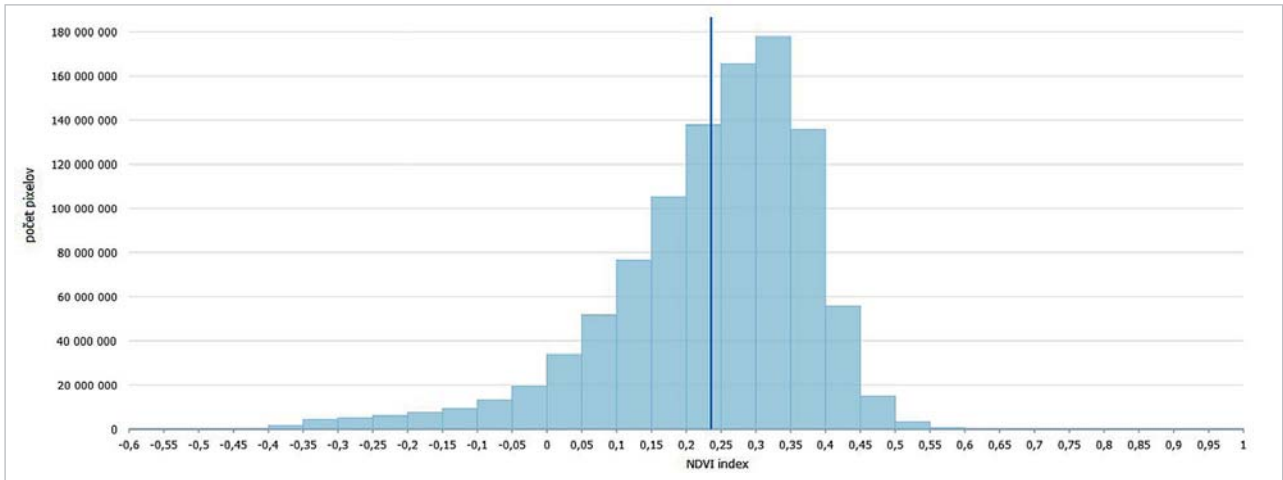
Obec Klubina sa nachádza v regióne Horné Považie a Kysuce v Žilinskom kraji, okres Čadca. Výškové rozpätie pilotného územia Klubina sa pohybuje od 429 do 1 236 m n. m. (obr. 12).



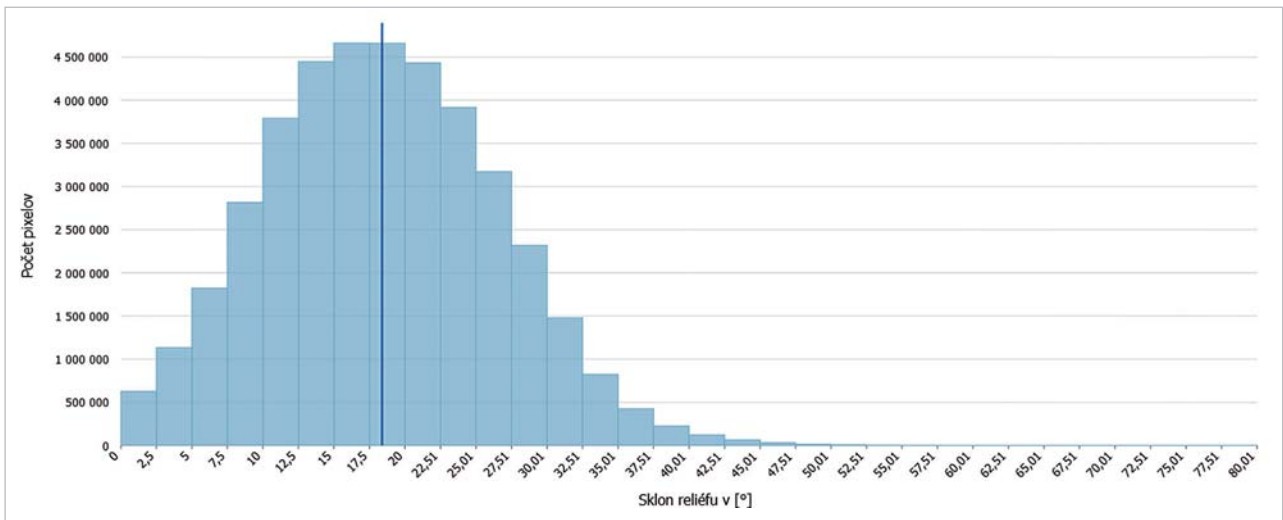
Obr. 7 Vizualizácia reliéfu územia Dlhé Pole farebnou hypsometriou



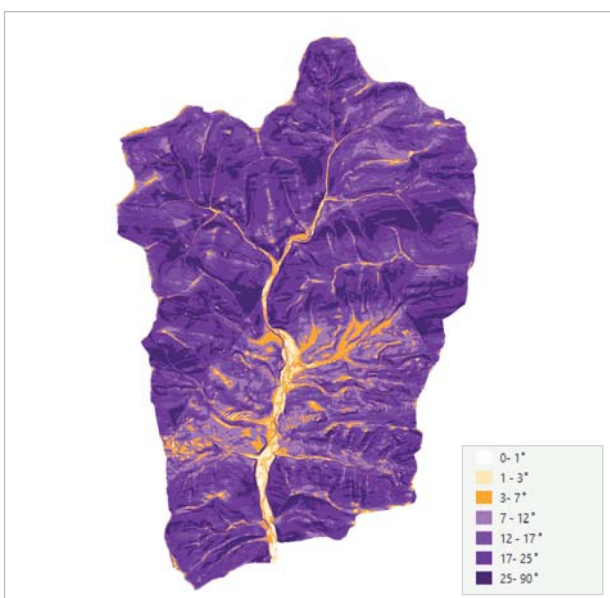
Obr. 8 Charakteristika územia Dlhé Pole z hľadiska NDVI



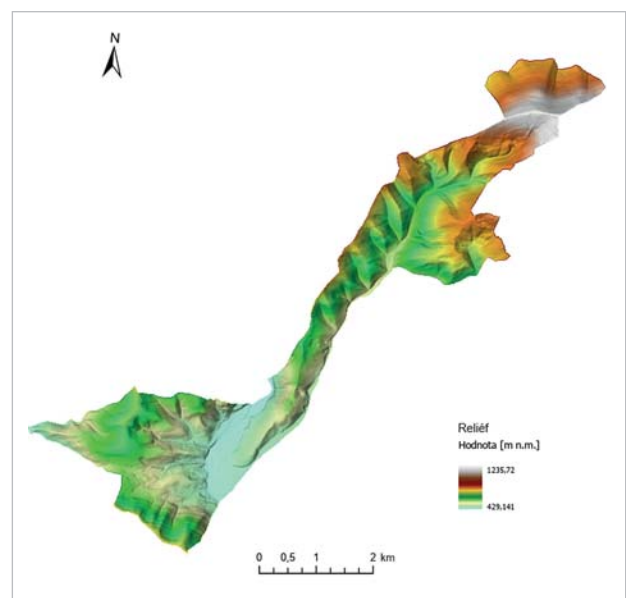
Obr. 9 Charakteristika územia Dlhé Pole z hľadiska NDVI (histogram)



Obr. 10 Charakteristika územia Dlhé Pole z hľadiska sklonu reliéfu (histogram)



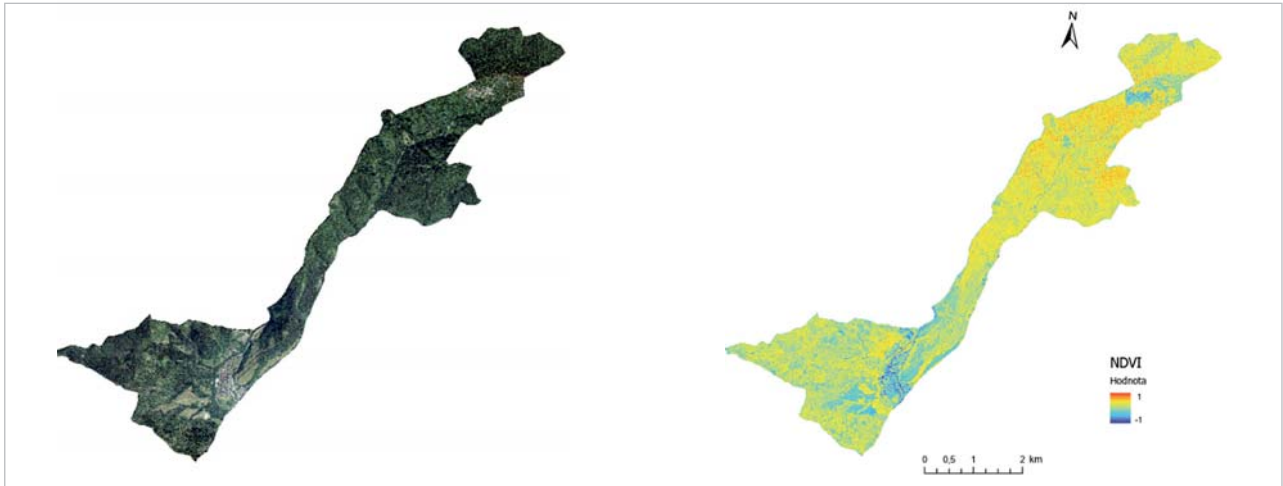
Obr. 11 Charakteristika územia Dlhé Pole z hľadiska sklonu reliéfu



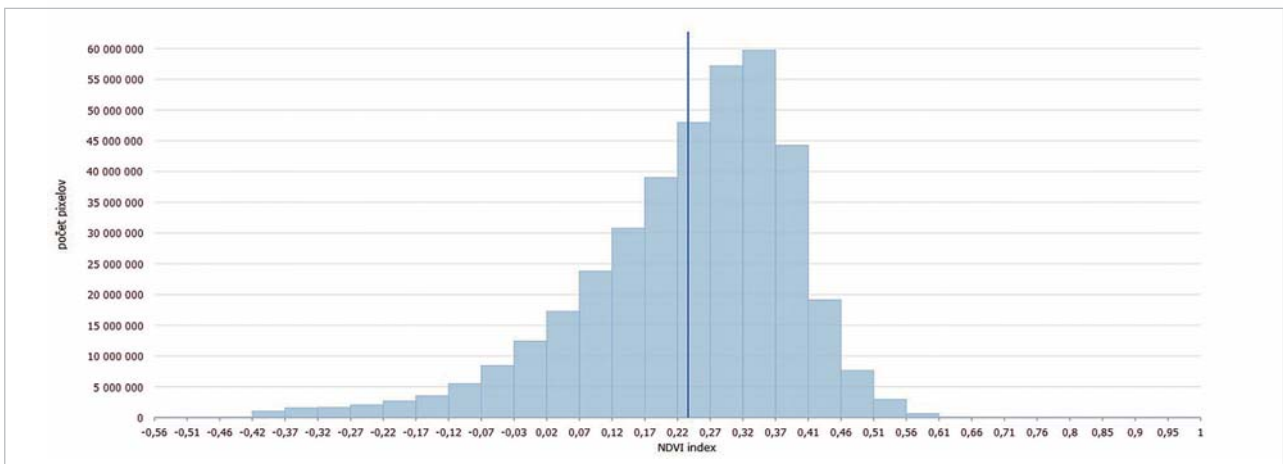
Obr. 12 Vizualizácia reliéfu územia Klubina farebnou hypsometriou

NDVI index (meanNDVI = 0,235) reflektuje, že sa jedná o územie, kde prevláda riedka vegetácia, resp. sú vo väčšom zastúpení lúky, pasienky alebo trvalé trávnaté porasty a zároveň je charakterizované nízkou mierou urbanizácie (obr. 13 a 14).

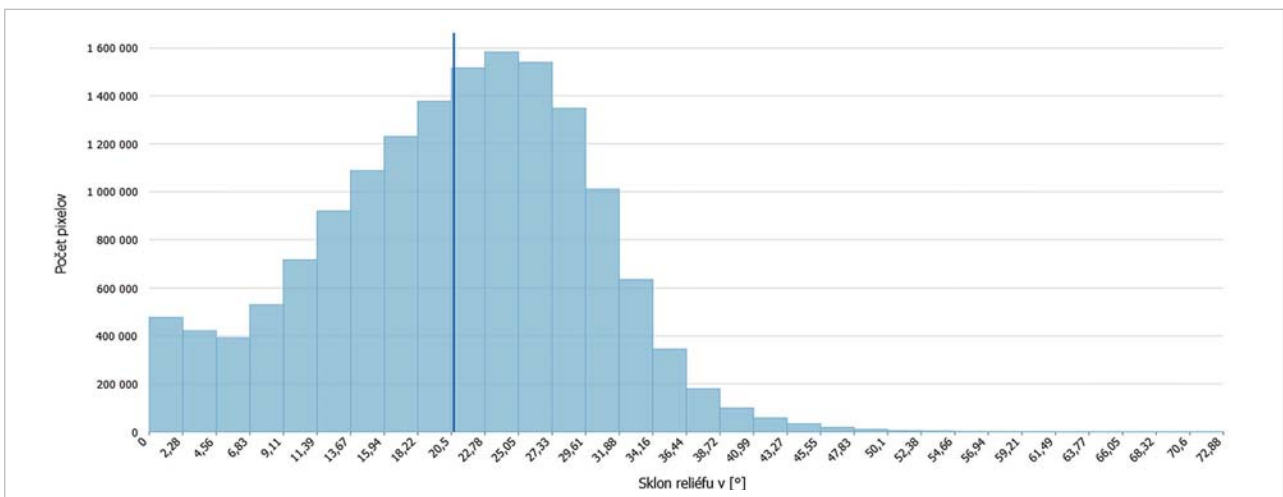
Územie Klubina, z hľadiska sklonu reliéfu sa zaraďuje do šiestej kategórie, ktorá je charakterizovaná príkrymi svahmi (obr. 15 a 16).



Obr. 13 Charakteristika územia Klubina z hľadiska NDVI



Obr. 14 Charakteristika územia Klubina z hľadiska NDVI (histogram)



Obr. 15 Charakteristika územia Klubina z hľadiska sklonu reliéfu (histogram)

4.3 Charakteristika pilotného územia Komárno

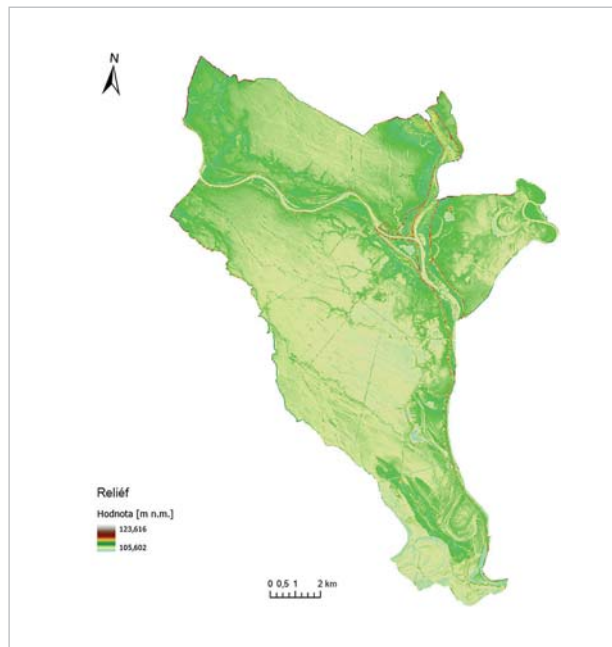
Obce Dedina Mládeže, Kameničná a Kolárovo sa nachádzajú v Podunajskom regióne v Nitrianskom kraji, okres Komárno. Výškové rozpätie pilotného územia sa pohybuje od 106 do 124 m n. m. (obr. 17).

NDVI index (meanNDVI = 0,229) reflektuje, že sa jedná o územie, kde prevláda riedka vegetácia, resp. sú vo väčšom zastúpení lúky, orné pôdy, pasienky alebo trvalé trávne porasty a zároveň je charakterizované vyššou mierou urbanizácie (obr. 18, 19).

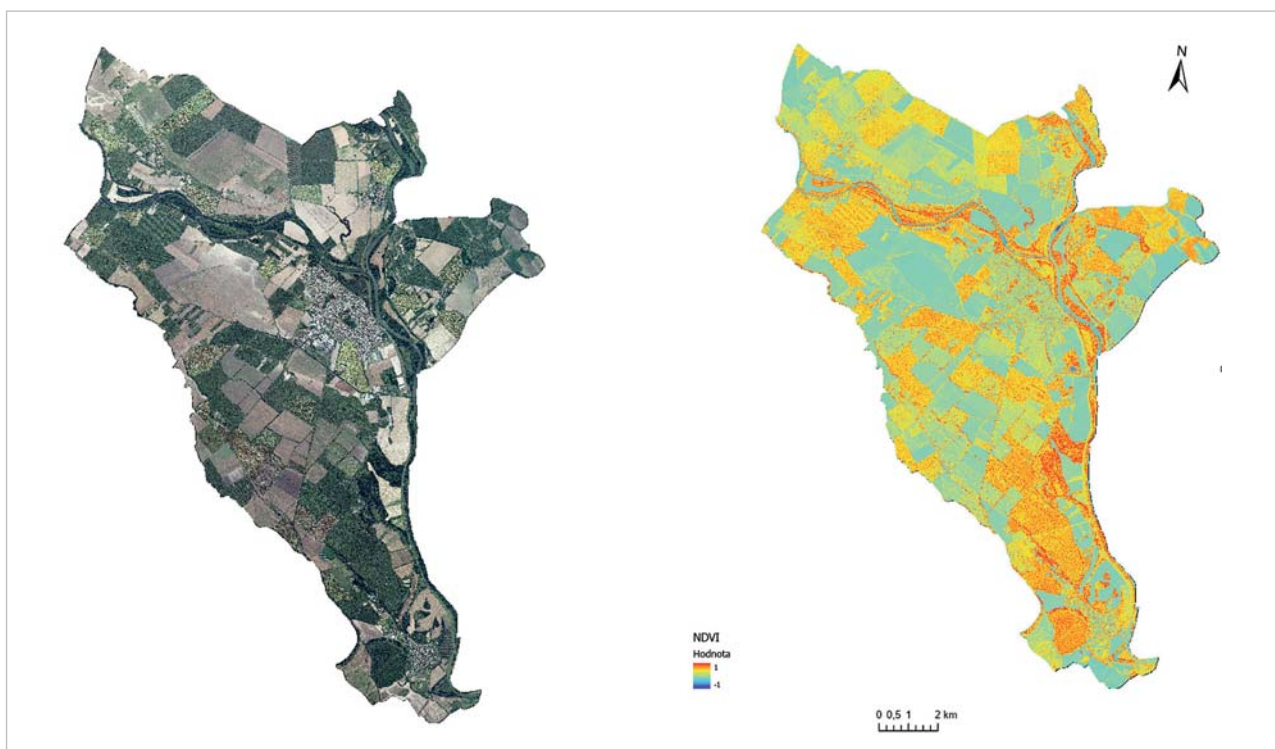
Na území, z hľadiska sklonu reliéfu prevláda rovina (obr. 20, 21).



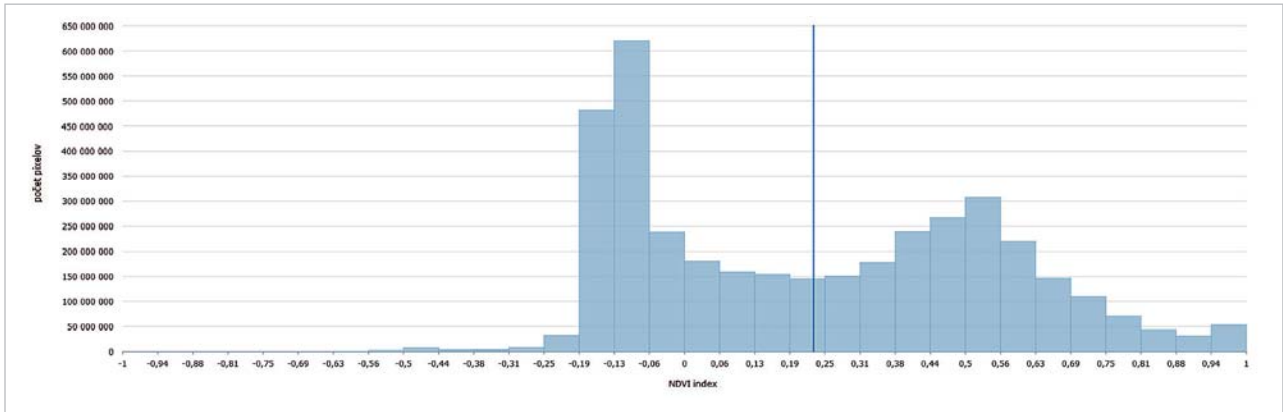
Obr. 16 Charakteristika územia Klubina z hľadiska sklonu reliéfu



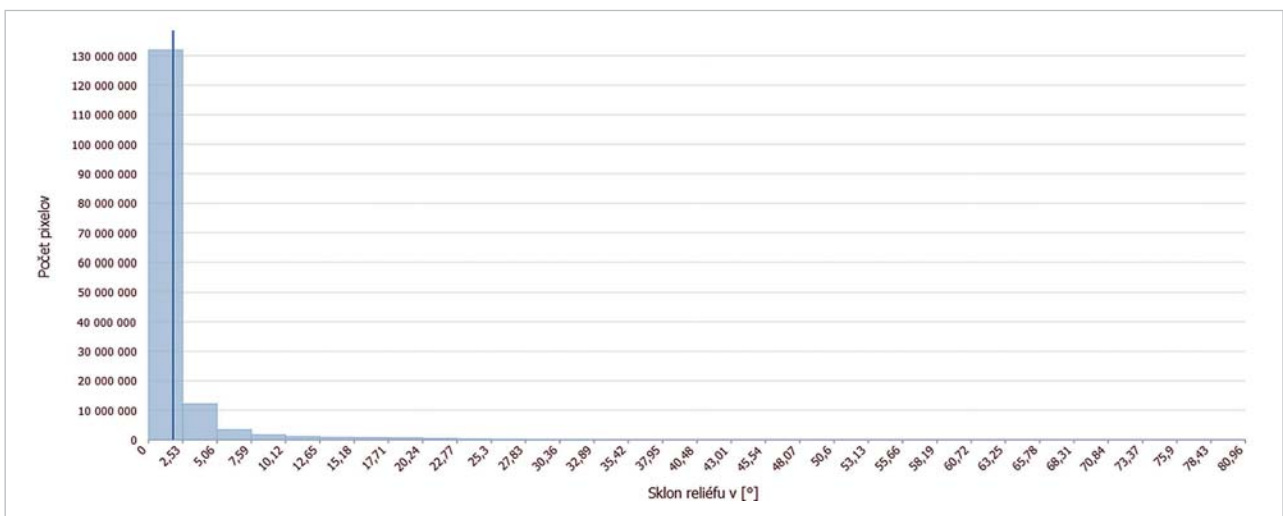
Obr. 17 Vizualizácia reliéfu územia Komárno farebnou hypsometriou



Obr. 18 Charakteristika pilotného územia Komárno z hľadiska NDVI



Obr. 19 Charakteristika pilotného územia Komárno z hľadiska NDVI (histogram)



Obr. 20 Charakteristika pilotného územia Komárno z hľadiska sklonu reliéfu (histogram)



Obr. 21 Charakteristika pilotného územia Komárno z hľadiska sklonu reliéfu

5. Postup aktualizácie vodných tokov

Na aktualizáciu vodných tokov boli použité nasledovné vstupné údaje:

- DMR 5.0 vo formáte TIF,
- údaje ZBGIS® pre kategóriu objektov „Vodný tok“,
- údaje SVP pre segmenty vodných tokov.

V rámci tvorby návrhu metodiky aktualizácie vodných tokov v ZBGIS® boli navrhnuté nasledovné fázy aktualizácie:

- tvorba tieňovaného DMR 5.0,
- automatizované generovanie spádnic,
- manuálna vektorizácia a aktualizácia vodných tokov so zachovaním atribútov,
- aktualizácia výškových súradníc na podklade DMR 5.0.

Vyššie navrhnuté fázy a všetky práce na aktualizácii vodných tokov boli vykonané v prostredí ArcGIS Pro, verzia 3.0.3. Tento desktopový GIS softvér slúži na tvorbu a správu údajov a databáz, na ich priestorovú analýzu a na vizualizáciu údajov v 2D, 3D aj v 4D. Obsahuje mnoho analytických nástrojov, prostredníctvom ktorých dokážeme získať ďalšie informácie z údajov. Taktiež obsahuje nástroje pre profesionálnu tvorbu tlačenej máp, tvorbu 3D vizualizácií aj interaktívnych analytických grafov. ArcGIS Pro dokáže pracovať aj s údajmi z leteckých snímok, LLS a následne ich analyzovať a vizualizovať. V rámci GIS softvérov predstavuje silný geopriestorový nástroj na prácu s údajmi [15], [16].

5.1 Tvorba tieňovaného DMR 5.0

Prvým krokom pri aktualizácii bolo generovanie tieňovaného DMR 5.0. Pracovalo sa s dvoma metódami tvorby tieňovaného reliéfu. Prvá metóda využíva nástroj balíka 3D Analyst, resp. Spatial Analyst a druhá v rámci kategórie Imagery balík nástrojov Raster Functions. V prípade nástroja Spatial Analyst – Surface - HillShade si používateľ vie sám nadefinovať uhly zdroja osvetlenia a zvoliť si vhodný Z faktor. Pri nástroji balíka Imagery – Raster Functions – Surface – Hillshade má používateľ možnosť, okrem nastavenia uhlov zdroja osvetlenia a Z faktoru, zvoliť si viacsmerné osvetlenie a škálovanie.

Daná metóda sa zvolí na základe charakteristiky územia a dostupných parametrov nastavenia nástroja (obr. 22). Vytvorenie tieňovaného reliéfu je potrebné pre účely ďalších analytických postupov na detekciu potenciálneho priebehu vodných tokov.

5.2 Automatizované generovanie spádnic

Na generovanie spádnic, resp. potenciálneho priebehu vodných tokov boli použité nasledovné nástroje balíka Hydrology:

- Fill – nástroj na detegovanie a vyhľadanie nedokonalosti reliéfu,
- Flow Direction (metóda D8) – nástroj na určenie smeru toku,
- Flow Accumulation – nástroj na vytvorenie rastra akumulovaného toku.

Na odfiltrovanie terénnych nerovností od potenciálnych koryt vodných tokov bol aplikovaný nástroj Map Algebra – Raster Calculator. Výsledkom týchto krokov bol raster, ktorý obsahoval potenciálny priebeh vodných tokov. Následne bol použitý nástroj Stream Order, ktorý má za úlohu priradiť číselné poradie jednotlivým segmentom vetiev siete vodných tokov.

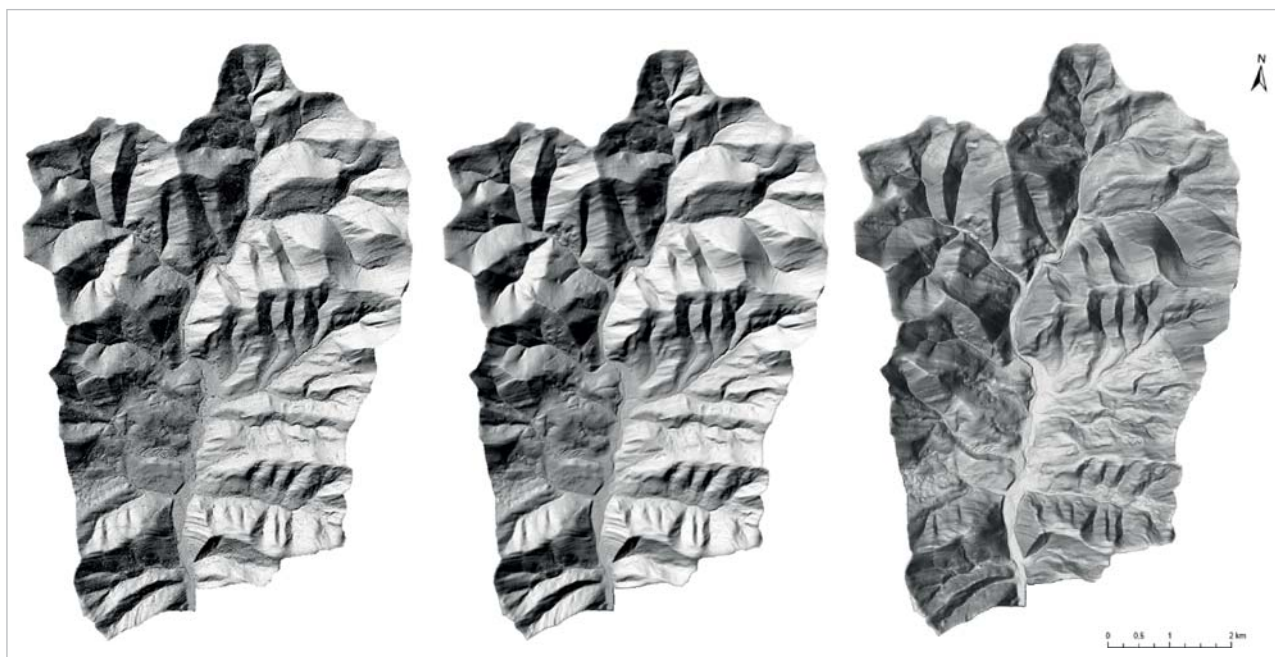
Všetky vyššie vymenované úkony a nástroje pracovali s rastrovými údajmi. Na vektorizáciu a aktualizáciu bolo potrebné tieto údaje konvertovať do vektorovej formy. Pre tento účel bol použitý nástroj Stream to Feature. Výsledkom bola vektorová vrstva siete vodných tokov generovaná na podklade DMR 5.0, ktorá poslúžila v ďalšej fáze procesov (obr. 23).

5.3 Manuálna vektorizácia a aktualizácia vodných tokov

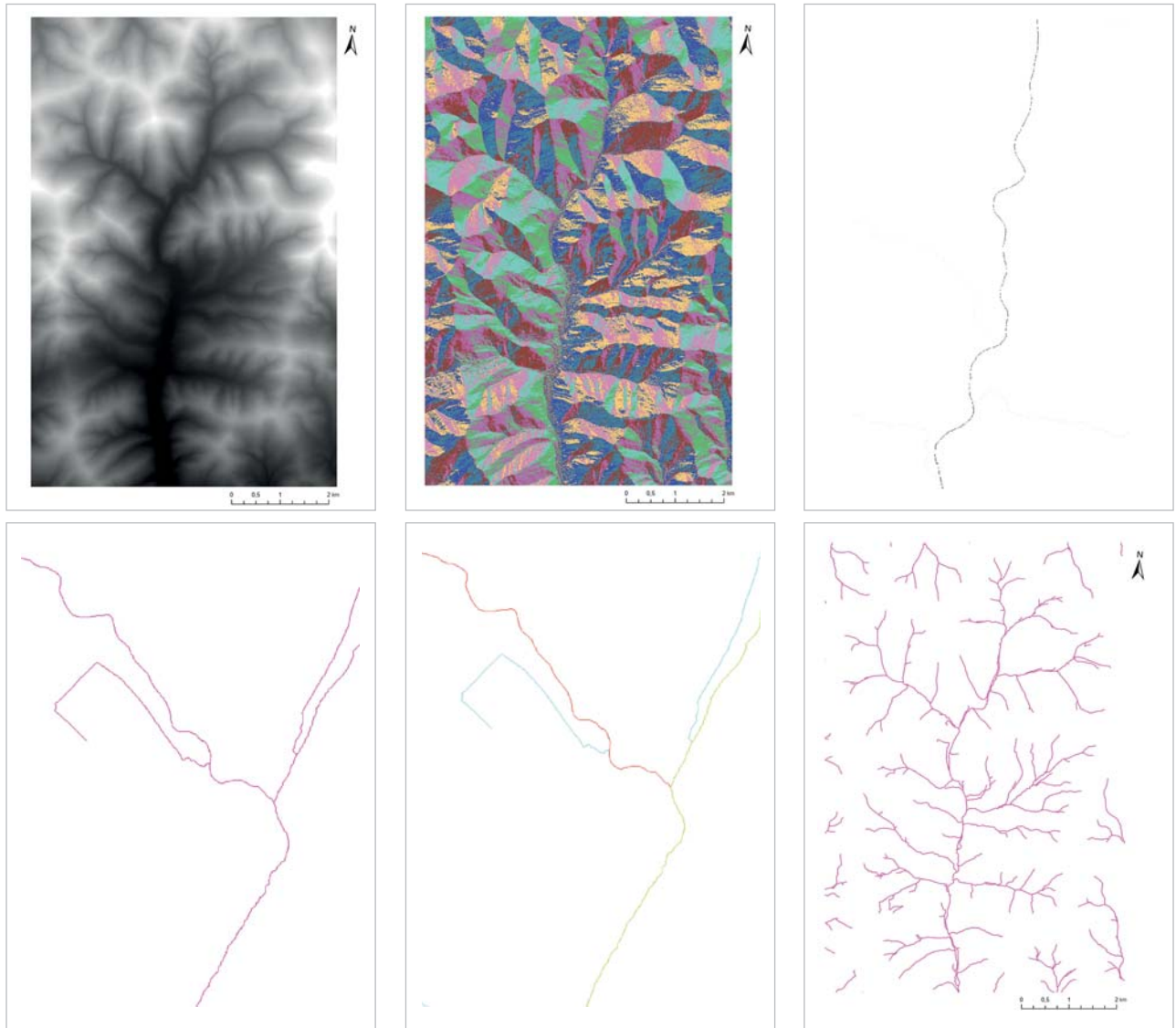
Sieť vodných tokov vygenerovaná z kroku Stream to Feature (konvertovanie do vektorovej podoby) môže obsahovať spádnic, ktoré reálne netvorí súčasť vodných tokov, navyše je potrebné zachovať všetky existujúce atribúty obsiahnuté v databáze ZBGIS® – kategória objektov „vodné toky“. Z tohto dôvodu sa pristúpilo k časovo náročnejšiemu spôsobu tvorby siete vodných tokov nad DMR 5.0, a to k manuálnej vektorizácii vodných tokov. Výsledok z automatizovaného generovania spádnic bol použitý ako podkladová vrstva k vektorizácii. Aktualizovaná, resp. spresnená sieť vodných tokov vznikla modifikovaním priestorovej polohy (x, y) siete vodných tokov z databázy ZBGIS® (obr. 24). Následne bolo vykonané aj spresnenie výškových súradníc (z) aktualizovanej siete vodných tokov pomocou DMR 5.0 a použitím nástroja 3D Analyst – Update Feature Z a zvolenej bilineárnej interpolačnej metódy (obr. 25).

6. Výsledky a zhrnutie

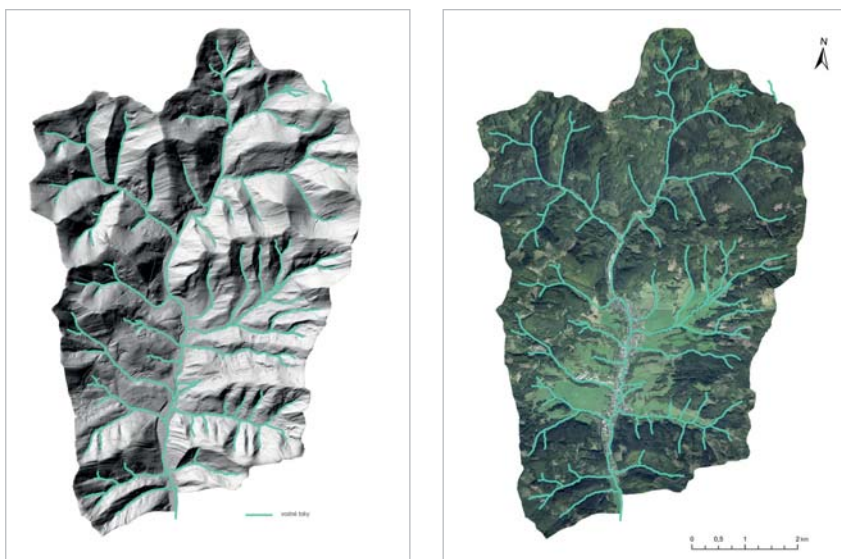
Výsledky dosiahnuté uvedenými metodickými krokmi v mierne sklonitom až sklonitom území sú čo sa kvality a presnosti týka veľmi uspokojivé. Nový DMR 5.0 pomohol rádo vo metroch spresniť priebeh (polohovo aj výškovovo) vodných tokov (obr. 26 a 27).



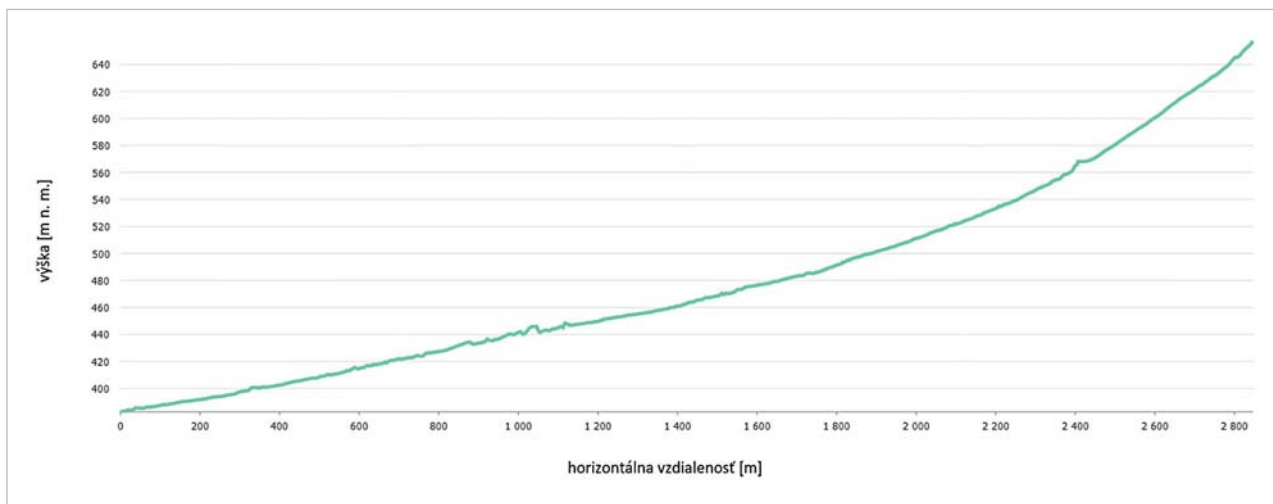
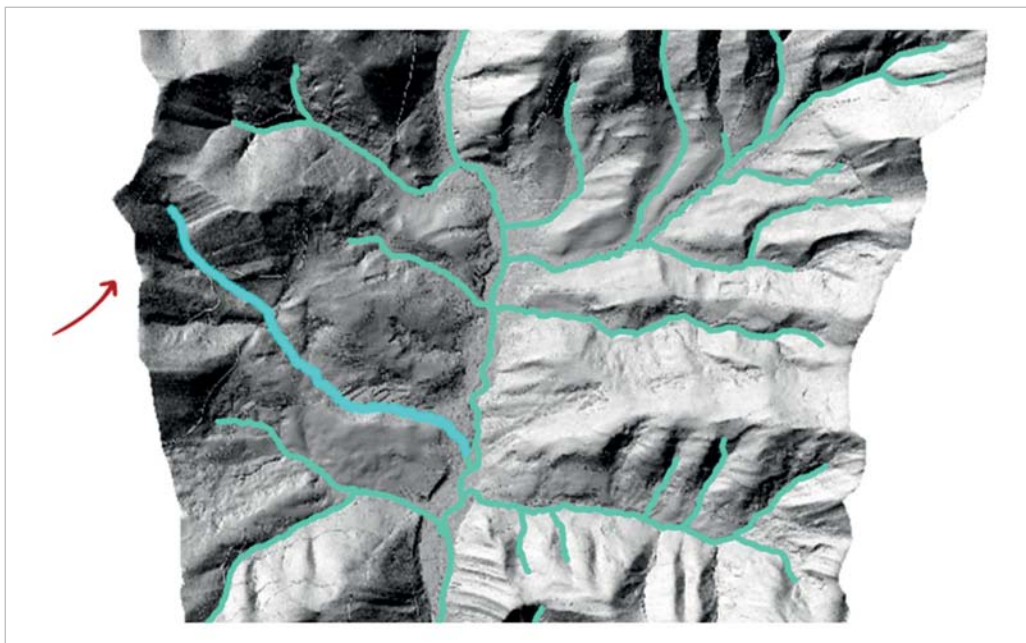
Obr. 22 Tieňovaný reliéf - metóda 1 (Spatial Analyst – jednosmerný – Z faktor 2), metóda 2 (Raster Functions – jednosmerný – Z faktor 2), metóda 3 (Raster Functions - viacsmerný – Z faktor 2)



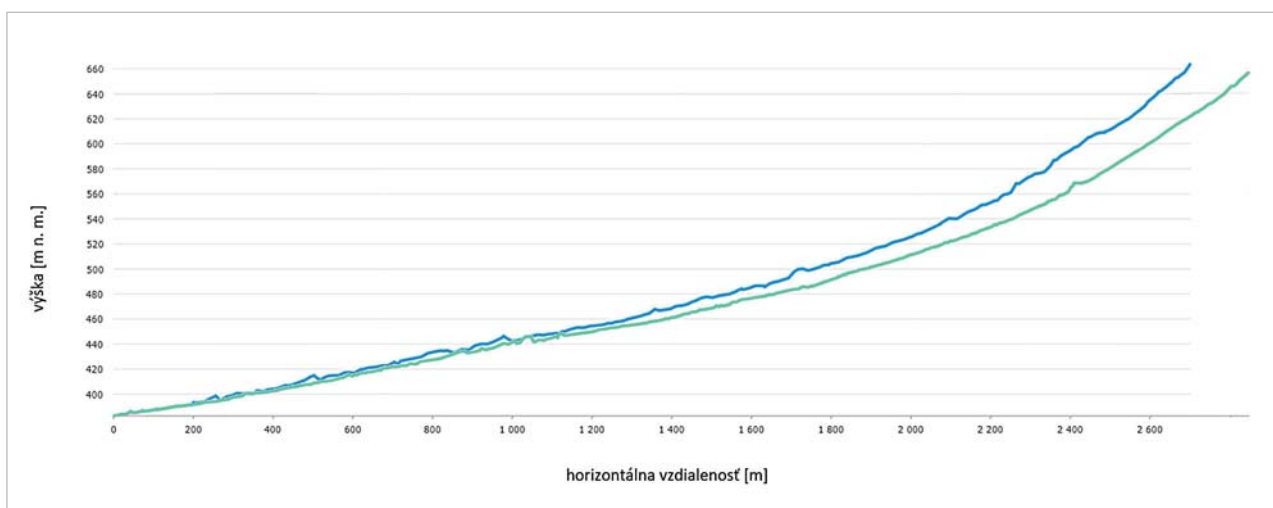
Obr. 23 Nástroje balíka Hydrology (horný rad zľava- Fill, Flow Direction, Flow Accumulation; dolný rad zľava - Raster Calculator, Stream Order, Stream to Feature)



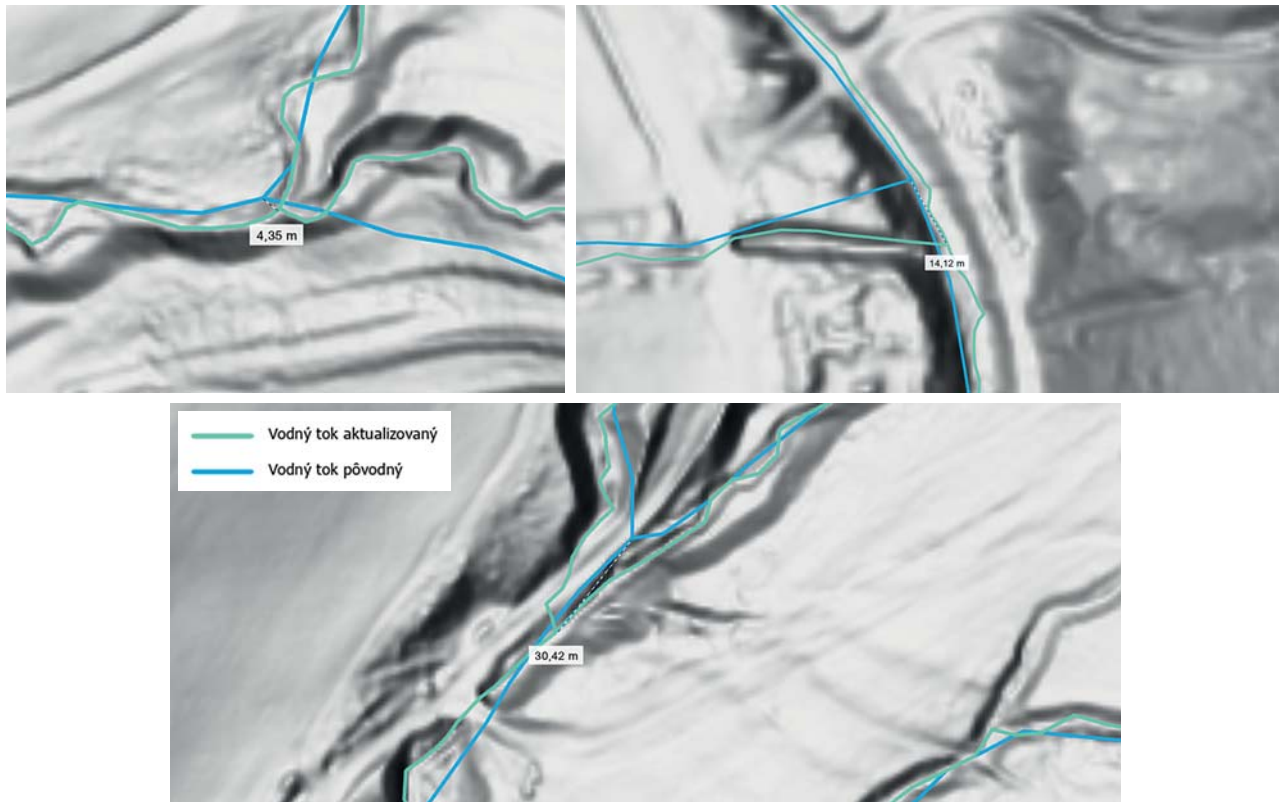
Obr. 24 Aktualizovaná sieť vodných tokov na území Dlhé Pole



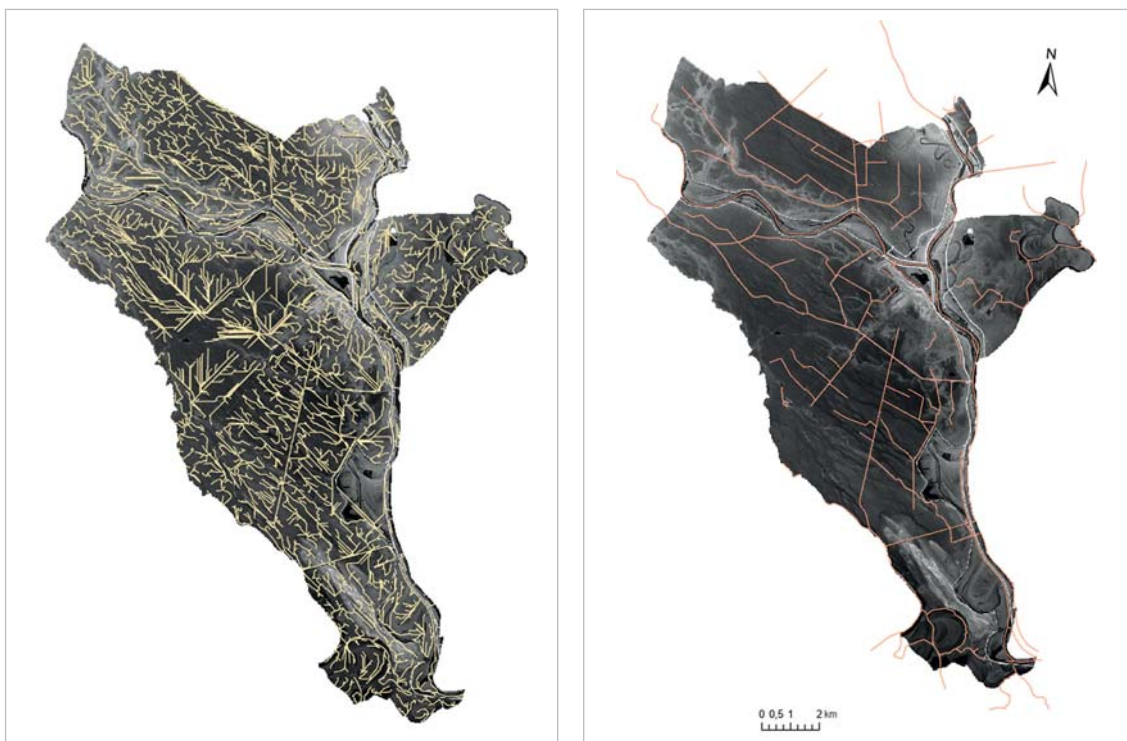
Obr. 25 Aktualizácia výškových súradníc a výškový profil vybraného vodného toku



Obr. 26 Rozdiel vo výškovom profile pôvodného a aktualizovaného vodného toku



Obr. 27 Rozdiely v priebehu pôvodných a aktualizovaných vodných tokov



Obr. 28 Generovaná sieť vs. pôvodná (ZBGIS®) sieť vodných tokov

V prípade rovinatého, resp. mierne zvlneného územia, ako je pilotné územie Komárno, sa tieto postupy osvedčili iba čiastočne. Na území, kde prevláda poľnohospodárska pôda a s ním súvisiaca veľká miera antropogénnych vply-

vov (zásahy človeka), vzniká pri automatizovanom generovaní spádnic veľa nezrovnalostí a chýb (obr. 28). Tým pádom ďalšie kroky aktualizácie aj korektná detekcia vodných tokov sú oveľa náročnejšie aj z časového hľadiska.

7. Záver

Príchodom vysoko kvalitných produktov z LLS, medzi ktoré, okrem mračna bodov a digitálneho modelu povrchu, patrí aj DMR 5.0, sa rozšírili možnosti ich aplikovania v rôznych tematických sférach, ako napr. v archeológii pri výskumoch a odhalovaní nálezísk, ale taktiež v geológii pri modelovaní zosuvov pôdy, a pod. [17], [18]. Najväčším prínosom pre rezort geodézie, kartografie a katastra je práve skvalitnenie súčasných údajov ZBGIS®. Okrem projektu aktualizácie vodných tokov v rezorte geodézie, kartografie a katastra, sa nová generácia DMR používa aj na spresnenie polohy vrchov (sedieli) a aktualizáciu umiestnenia ich geografických názvov.

Projektu aktualizácie vodných tokov sa priraduje vysoká dôležitosť nie iba v rámci rezortu, ale aj z medzirezortného hľadiska, keďže výsledný produkt má výrazne pomôcť pri vykonávaní činností vodohospodárskych inštitúcií (napr. SVP, š. p. alebo VÚVH).

Cieľom tohto projektu je vykonávať aktualizáciu vodných tokov postupne, vyvíjať, inovovať a optimalizovať navrhované metodické návod.

Do budúcnosti je potrebné optimalizovať súčasne nastavené pracovné procesy a zvýšiť počet pracovných síl na redukovanie časovej náročnosti celkového procesu aktualizácie. Aktualizáciu priebehu vodných tokov navrhovanými metódami sa kvôli korektnosti údajov odporúča podrobnejšie overenie v teréne, ktoré majú zabezpečiť povinné organizácie a inštitúcie.

LITERATÚRA:

- [1] HUSÁKOVÁ, K.: Vodohospodárske mapové diela na Slovensku, Kartografické listy 4, Bratislava, 1996, s. 101-104.
- [2] Vyhláška Ministerstva životného prostredia Slovenskej republiky č. 242/2016 Z. z., ktorou sa ustanovujú podrobnosti o vymedzení správneho územia povodia, environmentálnych cieľoch, ekonomickej analýze a o vodnom plánovaní, v aktuálnom znení.
- [3] Základná báza údajov pre geografický informačný systém (ZBGIS®) [online]. Dostupné na: <https://www.geoport.sk/sk/zbgis/>.
- [4] Smernica Úradu geodézie, kartografie a katastra Slovenskej republiky č. 0 84.11.13.31.63 na spravovanie informačného systému Základnej bázy údajov pre geografický informačný systém, Bratislava, 2016, s. 8, 12.
- [5] Katalóg tried objektov – KTO ZBGIS® [online]. Dostupné na: https://www.skgeodesy.sk/files/sk/slovensky/ugkk/geodezia-kartografia-zb-gis/kto_zbgis.pdf.
- [6] FIČOR, D.-MAREK, J.: Kniha o mapách. Slovenská spoločnosť geodetov a kartografov, Bratislava, 2014, 322 s.
- [7] LEITMANNOVÁ, K.-KALIVODA, M.: Projekt leteckého laserového skenovania Slovenskej republiky. Geodetický a kartografický obzor, ročník 64(106), 2018, č. 5, s. 101-102 [online]. Dostupné na: https://egako.eu/wp-content/uploads/2018/05/gako_2018_05.pdf.
- [8] MIČIETOVÁ, E.-IRING, M.: Hodnotenie kvality digitálnych výškových modelov. Geodetický a kartografický obzor, ročník 57(99), 2011, č. 3, s. 45-60 [online]. Dostupné na: <https://uazk.cuzk.cz/mrimage/vademecum/proxy/cz/others/zeus/knih/dao/documents/0001/fe0cd0e6-6b95-4d78-ae8-8c6589319f87.pdf>.
- [9] Letecké laserové skenovanie [online]. Dostupné na: <https://www.geoport.sk/sk/zbgis/lis/>.
- [10] LEITMANNOVÁ, K.-GÁLOVÁ, L.: Slovensko už má digitálny model reliéfu z celého územia. Geodetický a kartografický obzor, ročník 69(111), 2023, č. 12, s. 265-273 [online]. Dostupné na: https://egako.eu/wp-content/uploads/2023/12/gako_2023_12.pdf.
- [11] Vegetačný index (NDVI) [online]. Dostupné na: <https://gisgeography.com/ndvi-normalized-difference-vegetation-index/>.

- [12] Sklon terénneho reliéfu. Terminologický slovník zeměměřictví a katastru nemovitostí [online]. Dostupné na: <https://www.slovníkuczku.eu/termin.php?&tid=4400&l=sklon-terenniho-reliefu-sklon-georeliefu>.
- [13] MINÁR, J.-MACHOVÁ, Z.: Morfografia a morfometria [online]. Dostupné na: https://fns.uniba.sk/fileadmin/prif/geog/kfg/Studium/predmety_1._stupen/geomorfoskripta_len_lit/2_morfografia_morfometria.pdf.
- [14] Zastúpenie kategórií svahov. Pôdny portál [online]. Dostupné na: http://www.podnemapy.sk/portal/reg_pod_infoservis/svah/svah.aspx.
- [15] Produkty Esri – ArcGIS Pro [online]. Dostupné na: <https://www.arcdata.cz/cs-cz/produkty/arcgis/arcgis-pro/prehled?resource=https%3A%2F%2Fwww.arcdata.cz%2Fprodukty%2Farcgis%2Fdesktopovy-gis%2Farcgis-pro>.
- [16] Produkty Esri – ArcGIS Pro [online]. Dostupné na: <https://www.esri.com/en-us/arcgis/products/arcgis-pro/overview>.
- [17] LEITMANNOVÁ, K.-GÁLOVÁ, L.-LIESKOVSKÝ, T.-BISTÁK, P.-ZACHAR, J.: Projekt leteckého laserového skenovania Slovenskej republiky a jeho využitie v manažmente ochrany archeologického dedičstva. Geodetický a kartografický obzor, ročník 68(110), 2022, č. 3, s. 53-68 [online]. Dostupné na: https://egako.eu/wp-content/uploads/2022/03/gako_2022_03.pdf.
- [18] LIŠČÁK, P.-PAUDITŠ, P.-BYSTRICKÁ, G.-TEŤÁK, F.-MAGLAY, J.-DANANAJ, I.-ONDRUS, P.-MAŠLÁR, E.-MAŠLÁROVÁ, I.-OLŠAVSKÝ, M.-PELECH, O.-VI TOVIČ, L.-LEITMANNOVÁ, K.-FRAŠTIA, M.-PAPČO, J.: Využitie DMR 5.0 z leteckého laserového skenovania pri riešení geologických úloh ŠGÚDŠ. Geodetický a kartografický obzor, ročník 68(110), 2022, č. 8, s. 149-159 [online]. Dostupné na: https://egako.eu/wp-content/uploads/2022/08/liscak_aj_2022_08.pdf.

Do redakcie došlo: 27.10. 2023

Lektoroval:
Ing. Róbert Fencik, PhD.,
Stavebná fakulta STU v Bratislave