

Porovnání kvality schematizace údolnice extrahované z dat DMR 4G, DMR 5G a jeho derivátů

LUDEK BUREŠ, RADEK ROUB, LUCIE POLÁKOVÁ, TOMÁŠ HEJDUK, ŠTĚPÁN MARVAL, MARTIN ŠTICH

Klíčová slova: DMT – vodní tok – sklon – spád

ABSTRAKT

Určení spádu vodních toků v případě lokálních aplikací bývá běžným problémem, který je nejčastěji řešen jejich geodetickým zaměřením. Určení spádu všech vodních toků na území České republiky (ČR) je však výzvou. Použití geodetických metod v takovémto rozsahu je zpravidla nereálné. Proto je nutné zvolit jiný přístup, jímž může být extrakce linií spádu z jiného, již existujícího výškopisného podkladu. Pro území ČR jsou v současnosti dostupné výškopisné modely DMR 4G a DMR 5G. Pro potřebu extrakce spádových linií je nutné z dostupných datových sad vytvořit digitální model terénu (DMT). K tomu jsou využívány různé interpolační metody. Která z dostupných interpolačních metod je ale nevhodnější? Jakou roli hraje velikost prostorového rozlišení z hlediska kvality výškopisné reprezentace a následné velikosti skladovaných DMT? Pro nalezení odpovědi na tyto otázky jsme zvolili čtyři pilotní lokality (povodí IV. řádu) v povodí Otavy. Na každé lokalitě pak bylo vytvořeno osm různých DMT, jež byly porovnávány. Výsledky ukazují, že volba velikosti rastru má v případě tvorby DMT z dat DMR 5G výrazně větší vliv na výslednou kvalitu spádových linií než volba interpolační metody. DMT z dat DMR 4G poskytuje horší výsledky než z DMR 5G při stejném rozlišení rastru.

ÚVOD

Určení podélného sklonu koryta vodního toku je důležité z hlediska široké škály inženýrských a vědeckých aplikací, jako jsou analýza stability dna, detekce příčných překážek, návrh úpravy koryta nebo posouzení hydroenergetického potenciálu vodních toků. Lokální studie vyžadující sklon dna vodního toku ve většině případů přistupují k jeho zaměření pomocí geodetických metod (tachymetrie, zaměření bodů GPS). Geodetické přístupy vynikají svou přesností, nicméně jejich využití v případě regionálních, krajských nebo celorepublikových projektů není reálné. K zaměření území o rozloze ČR je možné využít metody plošného sběru dat. K tomu jsou využívána především satelitní měření nebo metody leteckého laserového skenování (LLS). Satelity i v současné době stále produkují výškopisná data s chybou v řádu jednotek m [1]. Oproti tomu jsou metody LLS schopny dosahovat chyby jen několik málo desítek cm [2, 3]. Novější studie v tomto směru uvádějí dokonce přesnost v řádu několika cm [4]. Nejčastěji jsou pro snímání zemského povrchu používány skenery s paprskem o vlnové délce blízké infračervenému spektru. Specifikem užití infračervených paprsků je neschopnost měřit pod vodní hladinou, jelikož infračervený paprsek je vodní hladinou absorbován. V takovémto místě nedochází k návratu paprsku

do měřicího zařízení, a tím ani k určení výškového módu. Výhodou je jasné rozlišení vodní plochy a pevného zemského povrchu [5]. Existují však varianty LLS, jež kombinují laserové paprsky s různou vlnovou délkou (infračervený se zelenomodrým), které je možné využít i pro snímání terénu pod vodní hladinou [6].

Metodou LLS bylo v letech 2009–2013 provedeno zaměření celého území ČR. Měření probíhalo pomocí přístroje LiteMapper 6800 firmy IGI mbH s využitím leteckého laserového skeneru RIEGL LMS – Q680. Měřicí aparatura byla umístěna ve speciálním letounu typu L 410 FG. Skenování bylo provedeno z průměrné výšky 1 200 m nebo 1 400 m [7]. Laserový skener RIEGL LMS – Q680 používá ke snímání povrchu paprsek o vlnové délce blízké infračervenému spektru [8]. Produkty tohoto zaměření jsou datové sady DMR 5G, DMR 4G a DMP 1G. Prvním produktem dostupným pro uživatele byla data DMR 4G. Data lze nalézt ve formě bodů XYZ v pravidelném rozestupu 5 × 5 m. Výšková přesnost těchto dat je 0,3 m v otevřeném terénu a 1 m v husté zástavbě nebo lesním porostu. Jistým omezením této datové vrstvy může být snížená schopnost popisu lomových hran, která vychází z minimálního rozestupu bodů [9]. Data DMR 5G jsou dostupná ve formě bodů XYZ s nepravidelným rozestupem. Výšková přesnost těchto dat je 0,18 m v otevřeném terénu a 0,3 m v husté zástavbě nebo lesním porostu. Data DMR 5G jsou schopna lépe popsat terénní zlomy a hrany. Nevýhodou může být jejich objem, který je spjat s jejich bodovou hustotou [10]. Data DMP 1G zobrazují digitální model povrchu. To znamená, že v sobě obsahují také lesní porosty a lidské stavby (uvedené v katastru nemovitostí). V otevřeném prostoru jsou ale data totožná s daty DMR 5G [11].

Přímé porovnání kvality reprezentace zemského povrchu daty DMR 4G a DMR 5G není zpravidla možné provést. Důvodem je rozdílná poloha zdrojových bodů v jednotlivých datových sadách. Řešením tohoto problému bývá použití interpolačních metod, na jejichž základě jsou vytvořeny DMT s identickým rozlišením, které jsou pak vzájemně porovnány. Další možností je využití 3D kontrolních linií. Běžně používanými interpolačními metodami jsou Delaunay triangulace (TIN), inverzní vzdálenosti (IDW), minimální křivosti (Spline), přirozený soused (Natural Neighbor) či krigování (Kriging) [12]. Při hodnocení porovnání vlivu použití interpolační metody na výslednou kvalitu DMT založených na datech DMR 5G se ukazuje, že různé interpolační metody dosahují srovnatelných výsledků jak v otevřeném, tak i v zalesněném terénu. Důvodem je vysoká hustota dat DMR 5G [13].

MATERIÁL A METODY

Pilotní lokality

Novosedelský potok – lokalita č. 1

Lokalita se nachází jihozápadně od města Strakonice a je součástí Šumavského podhůří. Z morfologického hlediska se území rozkládá v nadmořských výškách v rozmezí od 446,75 m n. m. do 864,131 m n. m. s celkovým výškovým rozdílem 417,38 m n. m. Nejvyšší bod území se nalézá v jihovýchodní části a naopak nejnižší bod se vyskytuje v severovýchodní části lokality. Průměrná nadmořská výška lokality činí 636,386 m n. m.

Živný potok – lokalita č. 2

Lokalita se rozléhá jihovýchodně od zastavěného území města Prachatice a též je součástí Šumavského podhůří. Nadmořská výška se pohybuje v rozmezí od 546,89 do 1 094,06 m n. m. s celkovým výškovým rozdílem 547,17 m n. m. Nejvyšší bod v území tvoří vrch Libín ve východní části lokality a nejnižší nadmořské výšky se vyskytují v údolnici, kudy protéká Živný potok. Průměrná nadmořská výška lokality je 766,67 m n. m.

Širovská stoka – lokalita č. 3

Území se nachází jižně od města Vodňany a je součástí Českobudějovické pánve. Z morfologického hlediska se území nalézá v nadmořských výškách v rozmezí od 388,49 m n. m. do 619,36 m n. m. s celkovým výškovým rozdílem 230,86 m n. m. Nejvyšším bodem v území je vrch Holička v jihovýchodní části lokality. Naopak nejnižší bod se vyskytuje v její severovýchodní části. Průměrná nadmořská výška lokality činí 451,23 m n. m.

Vydra – lokalita č. 4

Pilotní území leží jižně od obce Modravy, která je součástí Národního parku Šumava. Z morfologického hlediska se nachází v nadmořských výškách v rozmezí od 1 035,32 m n. m. do 1 372,32 m n. m. s celkovým výškovým rozdílem 336,995 m n. m. Nejvyšší body území ohraničují jižní část zájmové lokality a jsou tvořeny vrchem Blatný, Studená hora, Špičnick, Hraniční hora či Velká a Malá Mokrůvka. Směrem k severu lokality dochází k výraznému snížení nadmořské výšky souběžně s procházejícím korytem vodního toku Vydry. Průměrná nadmořská výška lokality činí 1 195,12 m n. m.

Celkový přehled vodních toků v pilotních lokalitách je uveden v tab. 1. Obr. 1 ukazuje umístění pilotních lokalit v rámci ČR.

Tab. 1. Specifikace vodních toků v pilotních lokalitách

Tab. 1. Specifications of watercourses at study sites

	Plocha povodí [km ²]	TOK ID	Název toku	Délka úseku vodního toku [m]
LOC_1	41,1	120900000100	Novosedelský potok	13 946
LOC_2	17,75	122180000100	Živný potok	7 587
LOC_3	12,46	122650000100	Širovská strouha	8 582
LOC_4	19,36	119650000100	Vydra	8 562

Popis dat

V případě definování vhodného digitálního modelu reliéfu (DMR) pro stanovení spádu na jednotlivých vodních tocích byly použity dva základní produkty Zeměměřického úřadu – Digitální model reliéfu České republiky

4. generace (DMR 4G) a Digitální model reliéfu České republiky 5. generace (DMR 5G) [7].

Digitální model reliéfu České republiky 4. generace představuje zobrazení přirozeného nebo lidskou činností upraveného zemského povrchu v digitálním tvaru ve formě výšek diskretních bodů v pravidelné síti (5 × 5 m) s úplnou střední výškovou chybou 0,3 m v odkrytém terénu a 1 m v zalesněném terénu [9].

Digitální model reliéfu České republiky 5. generace představuje zobrazení přirozeného nebo lidskou činností upraveného zemského povrchu v digitálním tvaru ve formě výšek diskretních bodů s úplnou střední výškovou chybou 0,18 m v odkrytém a 0,3 m v zalesněném terénu [10].

Osy vodních toků pro pilotní lokality byly převzaty z Digitální báze vodohospodářských dat (DIBAVOD). Jedná se o vodohospodářskou nadstavbu Základní báze geografických dat (ZABAGED). Konkrétně byla použita vrstva A03 – vodní tok (hrubé úseky), poslední aktualizace 5. června 2006. Jde o úsekový říční model páteřních vodních toků povodí IV. řádu. Data jsou vektorově orientována ve směru toku. Poskytována jsou ve formátu ESRI [14].

Všechna data použitá v této práci byla v souřadném systému S-JTSK / Krovak East North (EPSG 5514) a výškovém systému balt po vyrovnání (EPSG 5705).

METODIKA

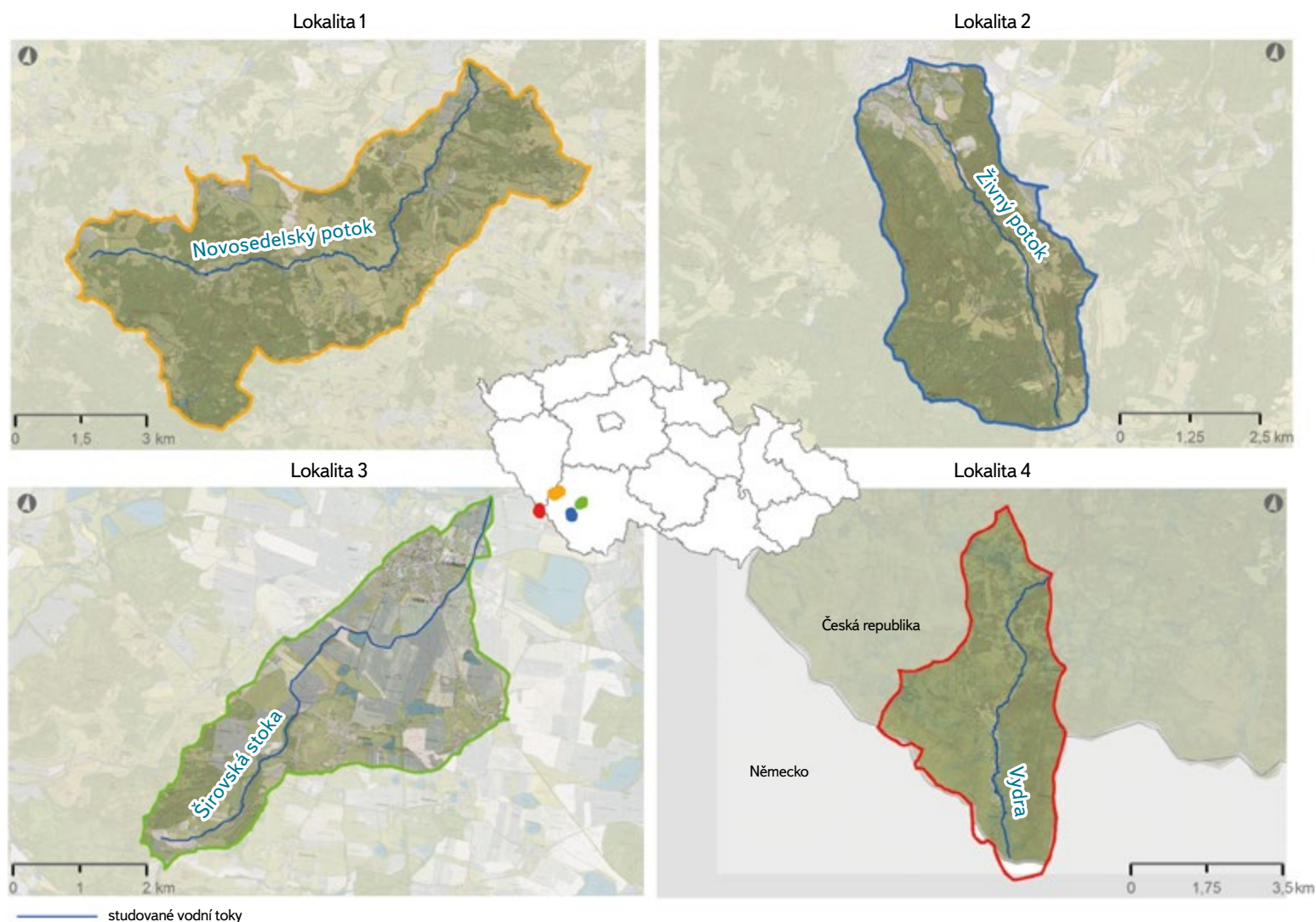
Tvorba digitálních modelů terénu

Tvorba modelů terénu probíhala v prostředí ArcGIS Desktop. Datové sady DMR 4G a DMR 5G byly použity jako vstupní data pro tvorbu DMT. Pro každou lokalitu bylo vytvořeno 8 DMT, celkem tedy 32 DMT. Modely lze rozdělit do čtyř skupin dle použití jejich datového zdroje a interpolační metody využitě pro jejich tvorbu. První skupina modelů vznikla z datové sady DMR 4G. Jejím zástupcem je model ras4G_5. Jde o rastrový model s rozlišením rastru 5 × 5 m vyrobený metodou Inverse Distance Weighting (IDW). Druhá skupina modelů vznikla také metodou IDW, ale z dat DMR 5G. DMT v této skupině se navzájem liší pouze rozlišením rastru. Jsou použity tři velikosti rastru 1 m, 5 m a 10 m. Modely jsou pak označeny IDW_1, IDW_5 a IDW_10. Třetí skupinu modelů tvoří tin5G. Jedná se o TIN model terénu vytvořený z dat DMR 5G. Čtvrtá skupina modelů je založena na TIN modelu z třetí skupiny, který byl následně převeden na rastry pomocí funkce *TinToRaster*. Modely nesou označení TTR_1, TTR_5 a TTR_10. Navzájem se liší pouze výslednou velikostí rastru, na niž byly modely transformovány při jejich konverzi z formátu TIN do rastrového formátu. Jednoduchý přehled DMT pro každou lokalitu a jejich specifikace jsou uvedeny v tab. 2.

Tab. 2. Modely terénu sestavené pro každou pilotní lokalitu

Tab. 2. List of terrain models built for each study site

DMT	Typ	Rozlišení [m]	Zdroj dat
ras4G_5	rastr	5	DMR 4G
IDW_1	rastr	1	DMR 5G
IDW_5	rastr	5	DMR 5G
IDW_10	rastr	10	DMR 5G
tin5G	TIN	–	DMR 5G
TTR_1	rastr	1	DMR 5G
TTR_5	rastr	5	DMR 5G
TTR_10	rastr	10	DMR 5G



Obr. 1. Vybraná povodí IV. řádu a jejich lokalizace v rámci ČR. Barevně (oranžová, modrá, zelená, červená) jsou vyznačeny rozsahy (rozvodnice) jednotlivých povodí k příslušným vodním tokům. Stejnou barvou, jako mají rozvodnice, je pak vyznačena poloha daného povodí v rámci ČR. Tenká tmavě modrá linie ukazuje průběh vodních toků v rámci jejich povodí Fig. 1. Selected 4th order basins and their localization in the Czech Republic. The extents (watershed boundaries) of individual watersheds to the relevant watercourses are marked in color (orange, blue, green, red). The location of the watershed within the Czech Republic is marked with the same color as its watershed boundary. The thin dark blue line shows the position of the given watercourse in its catchment

Extrahování 3D osy vodních toků

3D osy nejvýznamnějších vodních toků v pilotních lokalitách (obr. 1) byly z přípravných DMT extrahovány za pomoci funkce *Interpolate Shape*. Pro všechny extrahované 3D osy byl nastaven totožný parametr *Sampling Distance*, což zaručovalo, že výšková hodnota na linii vodního toku byla programem stanovena vždy pro identické staničení. Toto je základní podmínkou pro možnost porovnávání různých výškových linií jednoho vodního toku mezi sebou. 3D linie byly pomocí funkce *Profile Graph* exportovány do textového souboru, kde byly připraveny pro další porovnání.

Hodnocení 3D linií

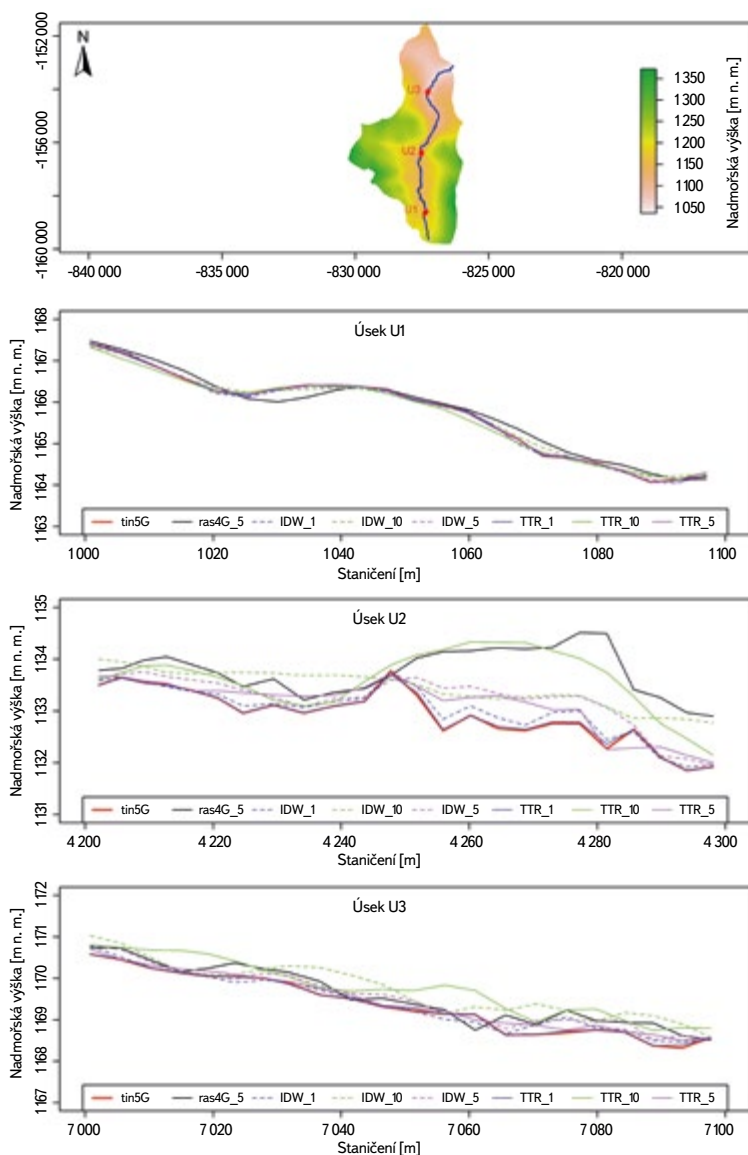
Vlastní zpracování bylo provedeno v programu R. 3D osy vodního toku byly načteny po jednotlivých lokalitách a zpracovány. DMT tin5G byl vždy zvolen jako referenční pro ostatní rastrové DMT dané lokality. Pro stanovení míry shody byly použity metriky Mean Absolute Error (MAE) a Root Mean Square Error (RMSE).

$$MAE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |Elev_{DEM} - Elev_{Ref}| \quad 1)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (Elev_{DEM} - Elev_{Ref})^2} \quad 2)$$

kde:

- $Elev_{DEM}$ je hodnota nadmořské výšky (m) extrahovaná z každého DMT (ras4G_5, IDW_1, IDW_5, IDW_10, TTR_1, TTR_5, TTR_10)
- $Elev_{Ref}$ její odpovídající nadmořská výška z referenčního DMT (tin5G)
- N počet výškových záznamů na dané linii vodního toku



Obr. 2. Vizuální porovnání kvality průběhu spádových linií extrahovaných ze srovnávaných DMT na lokalitě Loc_4

Fig. 2. Visual comparison of the quality of the slope lines extracted from the compared DTMs at the Loc_4 site

Porovnání velikosti DMT při jeho uložení na Hard Disk Drive

Při tomto porovnání byla zjišťována velikost jednotlivých DMT při jejich uložení na Hard Disk Drive (HDD). Následně byly vypočteny relativní velikosti rastrových modelů oproti srovnávacím modelům TIN.

VÝSLEDKY

Při porovnání kvality výškové reprezentace bylo zjištěno, že nejnižší průměrné chyby vykazovaly DMT s velikostí rastru 1 m (DMT TTR_1 a IDW_1). Nejhorších výsledků dosahovaly DMT s velikostí rastru 10 m (TTR_10, IDW_10) a podobně špatných výsledků dosahoval i model ras4G_5.

Vizuální porovnání kvality topografického popisu pro vybrané úseky vodního toku v lokalitě Loc_4 je uvedeno na obr. 2. V úseku U1 všechny DMT vykazují

podobnou kvalitu schematizace. Jediným výrazněji se odlišujícím DMT je ras4G. U úseků U2 a U3 lze vidět výraznější odchýlení modelů s rozlišením 10 m a modelu ras4G.

Nejnižší průměrnou velikost chyb (MAE) vykazovaly modely TTR_1 a IDW_1. Průměrná chyba u TTR_1 činila 0,02 m. Rozsah hodnot se pohyboval v rozmezí 0,01 m (Loc_1 a Loc_4) až 0,03 m (Loc_3). IDW_1 pak dosáhl průměrné chyby 0,09 m s rozsahem 0,06 m (Loc_4) až 0,11 m (Loc_2). Naopak nejvyšší průměrné chyby byly nalezeny u modelů IDW_10 a TTR_10 (u obou shodně 0,36 m), s minimálními hodnotami 0,24 m. IDW_10 a TTR_10 měly téměř identické hodnoty chyb i pro navzájem si odpovídající lokality. Modely TTR_5 a IDW_5 dosáhly průměrné MAE okolo 0,2 m. Oproti tomu model ras4G_5 (stejně rozlišení) poskytl chybu 0,31 m. Celkový přehled hodnot MAE je uveden v tab. 3.

Tab. 3. Kompletní přehled dosažených hodnot MAE
Tab. 3. Summary of achieved MAE values

	TTR_5	TTR_10	TTR_1	IDW_5	IDW_10	IDW_1	ras4G_5
Loc_1	0,12	0,24	0,01	0,15	0,26	0,1	0,25
Loc_2	0,19	0,39	0,02	0,22	0,41	0,11	0,42
Loc_3	0,29	0,52	0,03	0,3	0,5	0,08	0,32
Loc_4	0,11	0,27	0,01	0,13	0,28	0,06	0,23
Průměr	0,18	0,36	0,02	0,2	0,36	0,09	0,31

Také výsledky RMSE ukazují, že nejlepšími hodnotami bylo dosaženo u modelu TTR_1, kde průměrná chyba RMSE měla hodnotu 0,03 m. Nejhorší výsledky byly opět detekovány u modelů TTR_10 a IDW_10. Ostatní hodnoty kopírují podobné trendy jako u hodnot MAE. Celkový přehled hodnot RMSE je uveden v tab. 4.

Tab. 4. Kompletní přehled dosažených hodnot RMSE
Tab. 4. Summary of achieved RMSE values

	TTR_5	TTR_10	TTR_1	IDW_5	IDW_10	IDW_1	ras4G_5
Loc_1	0,18	0,36	0,03	0,21	0,38	0,15	0,34
Loc_2	0,26	0,55	0,03	0,31	0,56	0,18	0,59
Loc_3	0,38	0,68	0,04	0,39	0,64	0,12	0,41
Loc_4	0,14	0,35	0,02	0,18	0,36	0,09	0,33
Průměr	0,24	0,49	0,03	0,27	0,49	0,14	0,42

Hodnocena byla rovněž fyzická velikost jednotlivých DMT při jejich uložení na HDD. Největší nároky na uložení mají modely TIN. Jediná výjimka je u lokality Loc_3, kde rastrové modely s rozlišením 1 m mají větší velikost. Ostatní DMT s rastrem 1 m mají velikost v rozsahu 50–75 %. Modely s rastrem 5 m mají shodnou velikost pohybující se v rozmezí 1,9–5,2 %. Modely s rastrem 10 m mají velikost v rozmezí 0,5–1,3 %. Kompletní výčet absolutních i relativních hodnot velikostí DMT při uložení na disk je uveden v tab. 5.

Tab. 5. Porovnání velikosti paměti potřebné pro uložení daného DMT na HDD
 Tab. 5. Comparison of the amount of memory needed to store a given DTM on HDD

	TTR_5	TTR_10	TTR_1	IDW_5	IDW_10	IDW_1	ras4G_5	tin5G
Absolutní velikost [MB]								
Loc_1	15,37	3,84	384,33	15,39	3,85	384,41	15,39	524
Loc_2	4,35	1,09	108,73	4,36	1,09	108,77	4,36	226
Loc_3	4,69	1,16	116,25	4,66	1,17	116,29	4,66	90
Loc_4	5,14	1,28	128,4	5,15	1,29	128,44	5,69	251
Relativní velikost [%]								
Loc_1	2,9	0,7	73,3	2,9	0,7	73,4	2,9	100
Loc_2	1,9	0,5	48,1	1,9	0,5	48,1	1,9	100
Loc_3	5,2	1,3	129,2	5,2	1,3	129,2	5,2	100
Loc_4	2	0,5	51,2	2,1	0,5	51,2	2,3	100

DISKUZE

Jako referenční DMT byl zvolen model tin5G. Tento model využívá maximální potenciál datové sady DMR 5G, tedy všechny body a jejich absolutní hodnoty pro tvorbu celistvého digitálního modelu terénu. Oproti tomu rastrové modely průměrují dostupné bodové hodnoty v rámci svého rastru. K této volbě přispěl také fakt, že velké množství vodních toků IV. řádu protéká zalesněnou oblastí. V takovýchto podmínkách pak TIN model terénu poskytuje nejlepší výsledky [13].

Existuje více interpolačních metod pro tvorbu DMT. V této práci byly použity metody IDW a kombinovaný přístup tvorby DMT, kdy byl nejdříve vyhotoven TIN model, který byl následně transformován na rastr dané velikosti. Důvodem volby IDW a kombinovaného přístupu byla rychlost tvorby těchto modelů terénu v programovém prostředí R, jež je plánováno využít ke zpracování dat pro celou ČR. Zohledněn byl i fakt, že interpolační metody při vysoké bodové hustotě podávají stejné výsledky [13].

Na území ČR je kromě dat DMR 4G a DMR 5G možno využít k tvorbě DMT také 3D vrstevnice z datové vrstvy ZABAGED. Tato data nebyla do studie zahrnuta, přičemž rozhodnutí vycházelo z rozboru literatury. Základem pro ZABAGED 3D je mapa ZM 10 z let 1971–1988. Tato data jsou zatížena větší mírou neaktuálnosti (i když některé mapové listy prošly aktualizací). Další jejich nevýhodou je systematické nadhodnocování, které v průměru činí 0,23 m oproti datům DMR 5G. Popis pomocí vrstevnic rovněž naráží na problematiku schematizace drobných terénních útvarů (malé hřbety a údolí) [15].

Výsledky této práce ukazují, jakou mají jednotlivé DMT schopnost výškové schematizace vodních toků (údolnic). Primární nejistota výškové schematizace vychází ze specifikací zdrojových dat [7, 9]. Těchto specifikací jsou si autoři vědomi. Stejně tak jsou si vědomi omezení, jež vyplývají ze samotné technologie LLS, která byla použita pro jejich pořízení (neschopnost zaměřit dno vodních toků). Další nejistotou je kvalita schematizace osy vodních toků v databázi DIBAVOD, zejména v zalesněném terénu. V těchto místech může být osa vodního toku vedena mimo skutečné koryto vodního toku. Pro potřeby této studie by bylo možno osy vodních toků vytvořit manuálně, ale pro aplikaci na území celé ČR je to nereálné.

Při porovnání MAE lze dojít k předpokládanému závěru, že rastrové modely s velikostí rastru 1 m vykazují lepší výsledky než modely s větší velikostí rastru. Překvapením pak bylo, že model ras4G_5, jenž má velikost rastru 5 m, podává obdobné výsledky jako modely s velikostí rastru 10 m (IDW_10, TTR_10). Při dodržení této míry kvality schematizace by stálo za úvahu, zda místo modelu ras4G_5 nezvolit jiné modely s rastrem 10 m, které jsou navíc menší (ve smyslu uložení na disk). Z toho pak vyplývají nižší nároky na jejich počítačové zpracování. Nejlepších výsledků bylo dosaženo modelem TTR_1, jenž překonával i model IDW_1. V tomto případě zřejmě hraje roli metoda použitá pro tvorbu daného terénu, zejména samotná podstata techniky IDW.

Hodnoty RMSE do jisté míry kopírují hodnoty MAE. To je dáno tím, že RMSE vychází z MAE a je upravena tak, aby více reflektovala výskyt extrémních odchylek [16]. V našem případě lze tedy konstatovat, že ani jeden z testovaných DMT v sobě při srovnání nenesou extrémní hodnoty chyb.

Porovnání fyzické velikosti jednotlivých rastrů, tedy velikosti, jakou zabírají na disku, ukazuje, jak změna jejich prostorového rozlišení (např. z 1 m na 5 m) dramaticky redukuje jejich velikost na disku. Výjimku tvoří modely IDW_1 a TTR_1 na Loc_3. Zde velikost rastrového modelu převyšuje velikost TIN modelu, což může být zapříčiněno rovinatým charakterem Loc_3. V případě rovinatých lokalit poskytuje DMR 5G menší hustotu bodů než ve svažitých lokalitách [10]. Nižší hustota bodů snižuje velikost TIN modelu.

Tento příspěvek vznikl v rámci projektu TA ČR č. TK04030223 a jako takový sleduje jeho cíle. Jedním z nich je vytvořit 3D linie vodních toků IV. řádu pro území ČR. K tomuto účelu je nutné využít dostupné datové sady pokrývající území celé ČR, vhodně je zpracovat a vyhodnotit. Vzhledem k rozsahu zpracování a hodnocení je pak nutné strojové zpracování dat. Rovněž je nezbytné přihlížet k fyzické velikosti produkovaných DMT z důvodu jejich následného skladování. Článek tak má primárně pomoci se zodpovězením otázek, které dostupné datové sady jsou pro potřeby projektu nejhodnější a jaké prostorové rozlišení rastrů produkovaných DMT bude vhodné, zejména s ohledem na jejich přesnost a skladovatelnost.

ZÁVĚR

Výsledky porovnání kvality výškové schematizace osy vodního toku, produkované různými DMT, ukazují, že modely vycházející z dat DMR 4G dosahují horších výsledků než modely se stejným rozlišením, založené na datech DMR 5G. Při vzájemném porovnání modelů se stejným prostorovým rozlišením založených na datech DMR 5G a tvořených jinou interpolační metodou, je patrné, že volba metody pro tvorbu DMT hraje roli zejména u rastrů s vyšším rozlišením. Se snižujícím se rozlišením význam vlivu interpolační metody klesá. Nejlepších hodnot MAE dosáhl model TTR_1, s průměrnou chybou 0,02 m. Nejhorších výsledků pak shodně modely TTR_10 a IDW_10, s průměrnou chybou 0,36 m. Hodnoty RMSE jsou s mírným odstupem od hodnot MAE. Lze tedy předpokládat, že ani jeden z DMT neobsahuje extrémní hodnoty reziduálních chyb.

Porovnání fyzické velikosti DMT na disku ukazuje, jak se velikost rastrových DMT zvětšuje s jejich rozlišením. Rastry s rozlišením 1 m dosahují 50–70 %, s 5 m 1,9–5,2 % a s 10 m 0,5–1,3 % velikosti odpovídajícího TIN DMT. Pro rastry s rozlišením 1 m však tato redukce nemusí platit vždy – týká se to zejména povodí rovinného charakteru, kde je nízká bodová hustota dat DMR 5G.

Poděkování

Tento příspěvek vznikl za podpory Technologické agentury ČR v rámci projektu č. TK04030223 „Stanovení hydroenergetického potenciálu Pico-Hydropower v současných i předpokládaných klimatických podmínkách ČR“.

Literatura

- [1] UUEMAA, E., AHI, S., MINTIBELLER, B., MURU, M., KMOCH, A. Vertical Accuracy of Freely Available Global Digital Elevation Models (ASTER, AW3D30, MERIT, TanDEM-X, SRTM, and NASADEM). *Remote Sensing*. 2020, 12(21), 3482.
- [2] BALTSAVIAS, E. P. Airborne Laser Scanning: Basic Relations and Formulas. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*. 1999, 54(2–3), s. 199–214.
- [3] DOLANSKÝ, T. *Lidary a letecké laserové skenování*. 1. vyd. Ústí nad Labem: Univerzita J.E. Purkyně, 2004, 100 s. Acta Universitatis Purkynianae. ISBN 80-704-4575-0.
- [4] GALLAY, M. et al. High Resolution Airborne Laser Scanning and Hyperspectral Imaging with a Small UAV Platform. The International Archives of the Photogrammetry. *Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. 2016, 41, s. 823–827.
- [5] BURES, L. et al. Comparison of Bathymetric Data Sources Used in Hydraulic Modelling of Floods. *Journal of Flood Risk Management*. 2019, 12, e12495.
- [6] HILLDALE, R. C., RAFF, D. Assessing the Ability of Airborne LiDAR to Map River Bathymetry. *Earth Surface Processes and Landforms*. 2008, 33(5), s. 773–783.
- [7] BRÁZDIL, K. Projekt tvorby nového výškopisu území České republiky. In: *GIS Ostrava 2010*. 24.–27. 1. 2010 Ostrava ČR [vid. 22. září 2023]. Dostupné z: http://gis.vsb.cz/GIS_Ostrava/GIS_Ova_2010/sbornik/Lists/Papers/CZ_5_2.pdf
- [8] RIEGEL. *Long-Range Airborne Laser Scanner for Full Waveform Analysis LMS-Q680i* [on-line]. Horn, Austria: RIEGL Laser Measurement Systems GmbH, 2012. [vid. 22. září 2023]. Dostupné z: https://aerial-survey-base.com/wp-content/uploads/2020/11/RIEGL_LMS-Q680i_Datasheet.pdf
- [9] ČÚŽK. *Technická zpráva k Digitálnímu modelu reliéfu 4. generace (DMR 4G)* [on-line]. Pardubice, ČR: Zeměměřičský úřad, 2012 [vid. 22. září 2023]. Dostupné z: https://geoportal.cuzk.cz/Dokumenty/TECHNICKA_ZPRAVA_DMR_4G.pdf
- [10] ČÚŽK. *Technická zpráva k Digitálnímu modelu reliéfu 5. generace (DMR 5G)* [on-line]. Pardubice, ČR: Zeměměřičský úřad, 2012 [vid. 22. září 2023]. Dostupné z: http://geoportal.cuzk.cz/Dokumenty/TECHNICKA_ZPRAVA_DMR_5G.pdf
- [11] ČÚŽK. *Technická zpráva k Digitálnímu modelu povrchu 1. generace (DMP 1G)* [on-line]. Pardubice, ČR: Zeměměřičský úřad, 2016 [vid. 22. září 2023]. Dostupné z: https://geoportal.cuzk.cz/Dokumenty/TECHNICKA_ZPRAVA_DMP_1G.pdf
- [12] LI, Z., ZHU, CH., GOLD, CH. *Digital Terrain Modeling: Principles and Methodology*. Boca Raton, London, New York, Washington, D. C.: CRC press, 2005. 318 s.
- [13] MIKITA, T., CIBULKA, M., JANATA, P. Hodnocení přesnosti digitálních modelů reliéfu ČR 4. a 5. generace v lesních porostech. *Geodetický a kartografický obzor*. 2013, 59/101(4), s. 76–85.
- [14] FOJTÍK, T., JAŠIKOVÁ, L., KURFIŘTOVÁ, J., MAKOVCOVÁ, M., MAŤAŠOVSKÁ, V., MAYER, P., NOVÁKOVÁ, H., ZAVŘELOVÁ, J., ZBOŘIL, A. GIS a kartografie ve VÚV TGM. *Vodohospodářské technicko-ekonomické informace*. 2022, 64(1), s. 47–52. ISSN 0322-8916.
- [15] ČADA, V., ŠILHAVÝ, J. Porovnání přesnosti produktu ZABAGED výškopis – vrstevnice 3D s daty leteckého laserového skenování celého území České republiky. *Geodetický a kartografický obzor*. 2013, 59/101(8), s. 173–181.
- [16] CHAI, T., DRAXLER, R. Root Mean Square Error (RMSE) or Mean Absolute Error (MAE)? – Arguments against Avoiding RMSE in the Literature. *Geoscientific Model Development*. 2014, 7(3), s. 1 247–1 250.

Autoři

Ing. Luděk Bureš, Ph.D.¹

✉ buresl@fzp.czu.cz

ORCID: 0000-0002-8358-8932

Ing. Radek Roub, Ph.D.¹

✉ roub@fzp.czu.cz

ORCID: 0000-0002-6838-2047

Ing. Lucie Poláková^{1,2}

✉ polakoval@fzp.czu.cz

Ing. Tomáš Hejduk, Ph.D.²

✉ hejduk.tomas@vumop.cz

ORCID: 0009-0007-8702-5911

Ing. Štěpán Marval²

✉ marval.stepan@vumop.cz

Ing. Martin Štich³

✉ stich@vrv.cz

¹ Česká zemědělská univerzita v Praze, Fakulta životního prostředí

² Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, Praha

³ Vodohospodářský rozvoj a výstavba, a. s.

Příspěvek prošel lektorským řízením.

DOI: 10.46555/VTEI.2024.01.001

ISSN 0322-8916 (print), ISSN 1805-6555 (on-line)

© 2024 Autoři. Tuto práci je kdokoli oprávněn šířit a využívat za podmínek licence CC BY-NC 4.0.