

Digitální model povrchu České republiky z obrazové korelace

Mgr. Jindřich Horák,
Mgr. Petr Dušánek,
Zeměměřický úřad

Abstrakt

Stávající Digitální model povrchu ČR 1. generace (DMP 1G), vytvořený z dat leteckého laserového skenování v letech 2009–2013, již vzhledem k absenci aktualizací neodpovídá současným požadavkům na přesnost a aktuálnost. Cílem tvorby nového Digitálního modelu povrchu ČR z obrazové korelace (DMP OK) je poskytovat pravidelně aktualizovaný model povrchu splňující aktuální standardy kvality. Tvorba potvrzuje, že i letecké měřické snímky, jejichž parametry jsou primárně určeny pro tvorbu Ortofota ČR, lze efektivně využít k obrazové korelaci a generování DMP OK. Výsledky dokládají, že tento přístup je vhodný pro průběžnou aktualizaci modelu povrchu.

Digital Surface Model of the Czech Republic from Image Correlation

Abstract

The first-generation Digital Surface Model of the Czech Republic (DMP 1G), created from airborne laser scanning data acquired between 2009 and 2013, no longer meets current accuracy and timeliness requirements due to the absence of updates. The objective of developing the new Digital Surface Model of the Czech Republic from image correlation (DMP OK) is to provide a regularly updated surface model that complies with current quality standards. The study demonstrates that aerial survey imagery, originally acquired for the production of the Orthophoto of the Czech Republic, can be effectively used for image correlation and the generation of DMP OK. The results confirm that this approach enables the continuous renewal of the national surface model.

Keywords: aerial imagery, photogrammetry, point cloud

1. Úvod

Cílem článku je popsat technologii vzniku Digitálního modelu povrchu České republiky z obrazové korelace (DMP OK) a poskytnout informace potřebné pro jeho správné a efektivní využití.

DMP OK představuje zobrazení průběhu georeliéfu včetně všech objektů přírodního i antropogenního původu, které se v době snímkování na povrchu území České republiky (ČR) nacházejí. Přírodní objekty jsou reprezentovány zejména vegetačním krytem, objekty vzniklé lidskou činností jsou pak zejména stavební objekty. DMP OK je zpřístupňován ve formě bodového mračna uspořádaného do pravidelné sítě a dále také jako rastrová datová sada vzniklá interpolací z tohoto mračna.

DMP OK je určen k analýzám výškových poměrů georeliéfu v návaznosti na objekty na něm se nacházející na nadregionální, regionální i lokální úrovni. Uplatnění nachází zejména při analýzách viditelnosti, modelování šíření elektromagnetického záření, nebezpečných škodlivých látek a nečistot v ovzduší či hluku, jakož i při modelování povodňových jevů.

DMP OK je vytvářen technologií obrazové korelace leteckých měřických snímků (LMS – letecké měřické snímkování), která nahradila model odvozený z dat leteckého laserového skenování (LLS). Hlavním důvodem přechodu od technologie LLS k LMS je možnost průběžné a celoplošné aktualizace digitálního modelu povrchu. Tato změna byla zvažována již od roku 2019, její realizaci však do té doby neumožňovala omezená úroveň dostupného programového vybavení a nedostatečný výkon technického zázemí. Současné technologické podmínky již umožňují ploš-

nou tvorbu DMP OK v pravidelné dvouleté periodě; aktualizace DMP OK tak bude probíhat v obdobném časovém intervalu, jaký je uplatňován při aktualizaci Ortofota ČR.

DMP OK je publikován v Souřadnicovém systému Jednotné trigonometrické sítě katastrální (S-JTSK) s nadmořskými výškami ve Výškovém systému Baltském – po vyrovnání (Bpv), a to v rozsahu mapových listů Státní mapy 1 : 5 000 (SM5) o rozměrech 2,5 × 2 km. Dále je publikován v Evropském terestrickém referenčním systému 1989 v univerzálním transversálním Mercatorově zobrazení poledníkových zón, konkrétně v 33. pásu (ETRS89-TM33) s výškami v Evropském výškovém referenčním systému (EVRS), a to ve čtvercových dlaždicích s délkou strany 2 km.

2. Technologie obrazové korelace

Nová verze digitálního modelu povrchu, k níž se tento článek vztahuje, je vytvářena odlišnou technologií než původní verze, zpracovaná v letech 2009–2013. Zatímco původní Digitální model povrchu České republiky 1. generace (DMP 1G) byl odvozen z dat LLS, aktuální verze – DMP OK, pořizovaná od roku 2024, vychází z obrazové korelace leteckých měřických snímků.

Obrazová korelace představuje technologii digitálního zpracování fotogrammetrických snímků, jejímž principem je automatizované vyhledávání odpovídajících si bodů na dvou či více překrývajících se subobrazech. Na základě známých prvků vnitřní a vnější orientace snímků je následně určena výška zkoumaného bodu nad referenční rovinou [1].

2.1 Vstupní data

DMP OK je generován z leteckých měřických snímků pořizovaných primárně pro Ortofoto ČR (viz příslušná Technická zpráva [2]). Periodicita aktualizace DMP OK i oblasti jeho tvorby tak odpovídají tvorbě Ortofota ČR. V lichých rocích je DMP OK produkován v oblasti Západ, v sudých rocích v oblasti Východ, přičemž v překrytu obou oblastí probíhá tvorba každý rok (obr. 1).

2.2 Obrazová korelace

Bodová mračna DMP OK jsou generována obrazovou korelací v programu SURE Aerial od německé společnosti nFrames spadající pod americkou společnost Esri.

Celá série kroků zpracování probíhá vždy v rozsahu jednoho bloku LMS, který je dále dělen na bloky Státní mapy 1 : 50 000 (SM50). Jak oblast Západ, tak oblast Východ se skládají z 24 bloků LMS (na Západě bloky č. 01–24, na Východě č. 25–48; viz obr. 2).

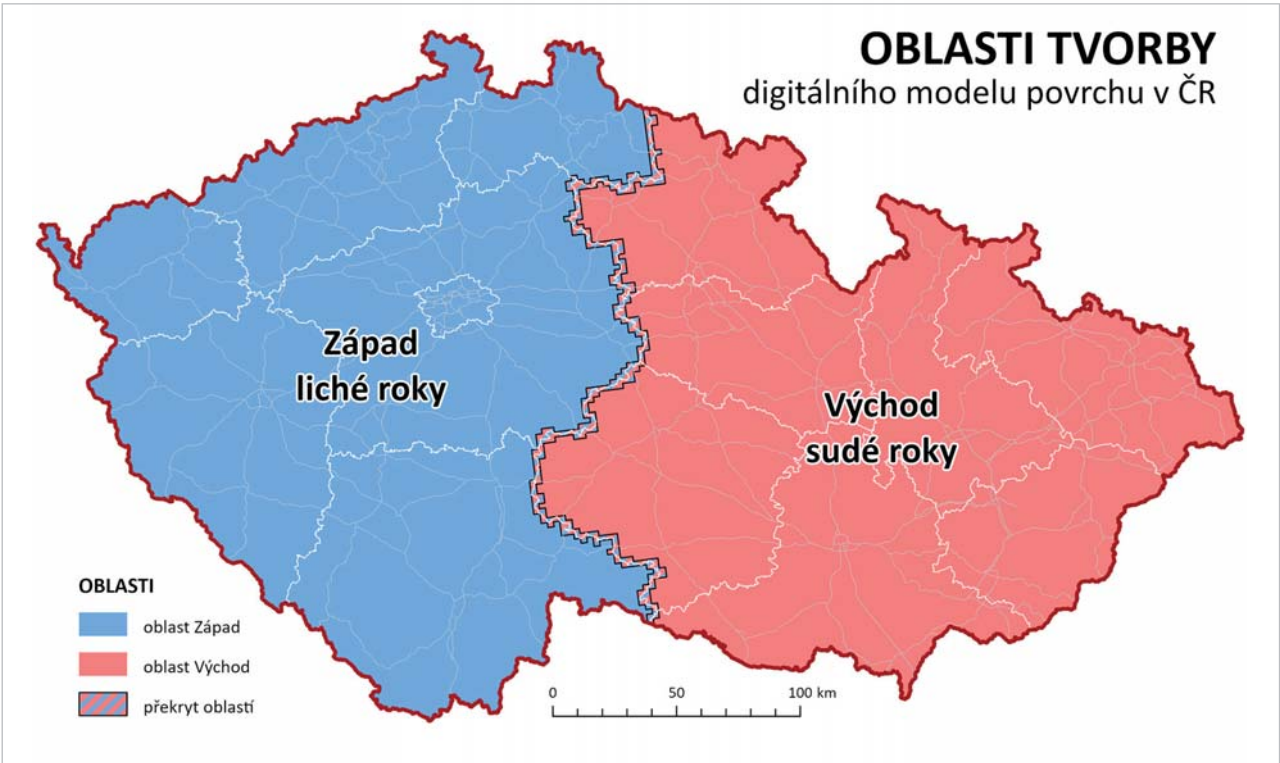
Při zpracování jednoho bloku LMS jsou vstupem do programu SURE Aerial letecké měřické snímky z daného bloku LMS společně se souborem projektu z programu Inpho od americké společnosti Trimble. Tento projekt již obsahuje doplněk MATCH-AT spočítanou automatickou analytickou aerotriangulaci daných leteckých měřických snímků původně pro potřeby tvorby Ortofota ČR. Tímto procesem zpřesněné prvky vnější orientace leteckých měřických snímků jsou využity i při obrazové korelaci v SURE Aerial. Následně jsou nastaveny další parametry zpracování obrazové korelace podle následující tabulky (tab. 1).

Nastavený scénář odpovídá použití leteckých a pouze nadírových měřických snímků. Podélný i příčný překryt

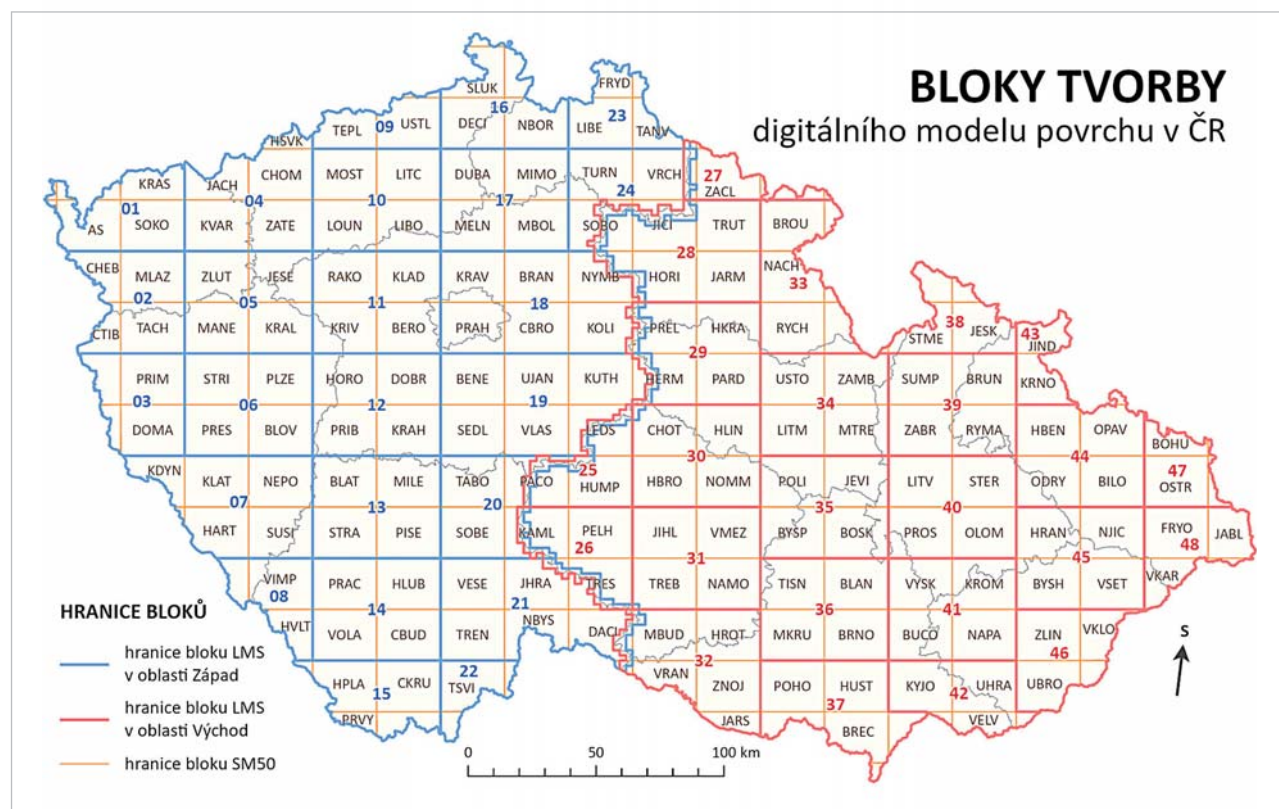
jsou vázány parametry snímkování a délka strany dlaždice je nastavena na 1 000 m (výstupem jsou čtvercové dlaždice). GSD (ground sample distance, v češtině též pozemní vzdálenost vzorků [3]) je hodnota vyjadřující u rastrových produktů lineární vzdálenost mezi středy pixelů na zemi, zde však vyjadřuje vodorovnou a svislou vzdálenost mezi body v pravidelné síti bodového mračna. Současné letecké měřické snímky jsou pořizovány s GSD 0,125 m, avšak pro obrazovou korelaci by měla být volena hodnota vyšší, proto je pro tvorbu DMP OK nastavována hodnota 0,2 m. Kvalita zpracování je volena nejvyšší možná, tedy Ultra. Kromě zmíněných parametrů je programu dodána vektorová 3D polygonová vrstva všech vodních toků a vodních ploch bez mostů v ČR ve formátu shapefile (SHP), oříznutá na zpracovávaný blok LMS. Tato vrstva slouží k opravě a klasifikaci výsledného bodového mračna v místech vodních toků a vodních ploch, neboť v těchto místech obrazová korelace selhává. Jako poslední je vložena vektorová polygonová vrstva hranice zpracovávaného bloku LMS k případnému ořezu výsledného bodového mračna na rozsah daného bloku LMS.

Tab. 1 Parametry programu SURE Aerial

Scénář	AERIAL_NADIR
Podélný překryt snímků	65 %
Příčný překryt snímků	35 %
Délka strany dlaždice	1 000 m
GSD	0,2 m
Kvalita zpracování	ULTRA



Obr. 1 Oblasti tvorby DMP OK



Obr. 2 Bloky tvorby DMP OK

Obrazovou korelací tak vzniká surové bodové mračno digitálního modelu povrchu ve formě pravidelné sítě s vodorovnou i svislou vzdáleností mezi jednotlivými body 0,2 m ve čtvercových dlaždicích o hraně 1 000 m. Kromě bodového mračna vzniká v rámci zpracování v programu SURE Aerial jako vedlejší produkt současně i věrné ortofoto (angl. True Orthophoto; výsledek ortogonalizace leteckých měřických snímků na digitální model povrchu) v totožných čtvercových dlaždicích a s totožnou hodnotou GSD. Každý bod surového bodového mračna obsahuje kromě své polohy (souřadnice X a Y) a nadmořské výšky (souřadnice H) také 16bitové hodnoty ve čtyřech pásmech elektromagnetického spektra – v červeném (Red), zeleném (Green), modrém (Blue) a blízkém infračerveném (Near Infrared – NIR) pásmu – získané z odpovídajícího pixelu věrného ortofota.

Výstupem z programu SURE Aerial je popsán surové bodové mračno ve čtvercových dlaždicích s 16bitovými hodnotami RGB a NIR a v místech vodních toků a vodních ploch s klasifikací do klasifikační třídy 9 – Water (voda).

3. Následné zpracování

Surová bodová mračna z jednoho bloku LMS jsou následně zpracovávána sérií skriptů v programovacím jazyce Python. Skripty využívají nástroje pro operace s bodovými mračny z programového balíku LAStools od německé společnosti rapidlasso a knihovnu ArcPy, spojenou s geografickými informačními systémy (GIS) od americké společnosti Esri, umožňující přístup k nástrojům geoprocessingu z prostředí ArcGIS Pro ve skriptech v jazyce Python.

Nejprve jsou upraveny a očištěny hodnoty v hlavičkách jednotlivých souborů – zaokrouhlení souřadnic na centimetry, nastavení verze LAZ souboru na 1.4, nastavení hodnot *point_type*, *global_encoding* a *global_encoding_gps_bit*. Dále je zjištěno, zda se v bodových mrazech nenacházejí díry. Jestliže se v bodovém mračnu díra nachází, je opravena opakovaným procesem obrazové korelace z menšího počtu příslušných snímků.

3.1 Klasifikace bodového mračna

Zpracované bodové mračno je klasifikováno do klasifikačních tříd definovaných ve specifikaci formátu LAS Americkou společností pro fotogrammetrii a dálkový průzkum Země (ASPRS) [4] potažmo mezinárodní standardizační organizací pro geoprostorová data Open Geospatial Consortium (OGC). Využívány jsou klasifikační třídy viz **tab. 2**.

Samotný proces klasifikace se netýká třídy 9 – Water (voda), neboť tato klasifikace je prováděna již přímo v programu SURE Aerial (viz výše).

Nejprve jsou připraveny vektorové vrstvy pro klasifikaci mostů, stavebních objektů a pro první fázi klasifikace vegetace. Použitá vrstva mostů odpovídá příslušné vrstvě ze Základní topografické mapy ČR 1 : 5 000 v S-JTSK z produkce Zeměměřického úřadu (ZÚ). Vrstva stavebních objektů je vytvářena sloučením několika objektů ze Základní báze geografických dat České republiky (ZABAGED®) rovněž z produkce ZÚ (**tab. 3**).

Vrstva vegetace pro první fázi klasifikace vegetace je složena též z objektů ZABAGED® (**tab. 4**).

Po přípravě vektorových vrstev probíhá samotný proces klasifikace. Prvním krokem je založení klasifikace, tj. na-

hrazení třídy 0 (bez klasifikace) třídou 1 – Unclassified (neklasifikováno).

Dále jsou automatickým nástrojem klasifikovány izolované body jako body šumu do třídy 7 – Low Point; noise (nízký bod a šum). Bod je označen jako izolovaný, pokud

Tab. 2 Použité klasifikační třídy bodových mračen

Číslo třídy	Anglický název	Český název
1	Unclassified	Neklasifikováno
2	Ground	Terén
5	High Vegetation	Vysoká vegetace
6	Building	Budova
7	Low Point (noise)	Nízký bod a šum
9	Water	Voda
17	Bridge Deck	Mostovka

je v jeho okolí – definovaném $3 \times 3 \times 3$ krychli o hraně jedné dílčí krychle 4 m – méně než 5 jiných bodů.

Jako další jsou klasifikovány mosty do třídy 17 – Bridge Deck (mostovka). Klasifikace probíhá přiřazením zmíněné klasifikační třídy všem bodům spadajícím do příslušné vektorové vrstvy.

Následně je klasifikován terén do třídy 2 – Ground (terén) s využitím Digitálního modelu reliéfu 5. generace (DMR 5G) z produkce ZÚ. Jako body terénu jsou klasifikovány takové body DMP OK, jejichž výška (souřadnice H) je v rozmezí ± 2 m od výšky DMR 5G. Zároveň je bodům DMP OK, které se nacházejí 2 m a více pod úrovní DMR 5G, přiřazena třída 7 – Low Point; noise (nízký bod a šum) a bodům s výškou 355 m a více nad DMR 5G (výška věží vysílače Liblice B [5]) je přiřazena třída 18 (rezervovaná pro příliš vysoké body). Tato třída však není využita (proto není uvedena v **tab. 2**), neboť body splňující podmínku klasifikace do této třídy by byly již předchozím krokem klasifikovány jako šum do třídy 7.

Dalším krokem je klasifikace stavebních objektů do třídy 6 – Building (budova). Tento proces probíhá totožným způsobem jako klasifikace mostů. Bodům spadajícím do připravené vektorové vrstvy je přiřazena zmíněná klasifikační třída.

Stejným způsobem probíhá i první fáze klasifikace vegetace do třídy 5 – High Vegetation (vysoká vegetace).

Posledním krokem celé klasifikace bodového mračna je druhá fáze klasifikace vegetace. Ta probíhá pomocí dedi-

Tab. 3 Objekty ZABAGED® tvořící vrstvu budov

Pořadové číslo	Kód typu objektu	Typ objektu
1.02	AL015	Budova jednotlivá nebo blok budov
1.09	AL019	Kůlna, skleník, fóliovník, přístřešek
1.12	AF030	Chladicí věž
1.13	AM070	Nadzemní zásobní nádrž
1.43	AL375	Hrad
1.44	AL371	Zámek
1.45	AL220	Věžovitá stavba
1.46	AK110	Tribuna

Tab. 4 Objekty ZABAGED® tvořící vrstvu vegetace

Pořadové číslo	Kód typu objektu	Typ objektu
6.07	NF106	Lesní půda se stromy
6.08	NF107	Lesní půda s křovinatým porostem
6.09	NF108	Lesní půda s kosodřevinou

kovaného nástroje ke klasifikaci vegetace a budov z programového balíku LAsTools. Z důvodu, že je tento nástroj určen primárně pro klasifikaci dat LLS a není pro data z obrazové korelace optimalizován, slouží zde pouze k doklasifikaci zbytkové vegetace z první fáze. Tomu odpovídá i jeho nastavení – je vyhledávána a klasifikována pouze vegetace, nikoli budovy. Tímto je zbytková vegetace doklasifikována a proces klasifikace bodového mračka je dokončen (obr. 3).

Výsledným klasifikovaným dlaždicím je přiřazeno označení nejbližšího snímku; podle tohoto snímku je všem bodům v dané dlaždici zapsán i čas expozice daného snímku (Adjusted GPS Time).

3.2 Oprava vybraných homogenních povrchů

Dlaždice, kterým bylo přiřazeno označení stejného nejbližšího snímku, jsou podle něj spojeny do „pseudostripů“. Nad těmito daty jsou poloautomatickými nástroji vytipována pole s problematickými kulturami pro obrazovou korelaci. Mezi tyto kultury mohou být zařazeny především brambory, či v menší míře rovněž ječmen a mrkev. Na pravidelných řádcích bramborových polí (vzniklých pravděpodobně technikami precizního zemědělství) obrazová korelace selhává v nalezení polohy odpovídajících si bodů na překrývajících se snímcích. Jedná se o podobnou situaci jako u vodních toků a vodních ploch, kdy je povrch natolik homogenní, že při určování 3D polohy odpovídajících si bodů dochází k chybám.

V takto vytipovaných oblastech je bodům s jinou klasifikační třídou než 2 – Ground (terén) – tedy potenciálně chybovým bodům – vynulována souřadnice H (výška). Z bodů

třídy 2 – Ground (terén) je pro danou oblast interpolován digitální model reliéfu (DMR) a bodům s dříve vynulovanou souřadnicí H je přiřazena výška z interpolovaného DMR v jejich poloze. Tímto způsobem je ve vytipovaných oblastech opraven potenciálně chybový model povrchu pomocí DMR (obr. 4).

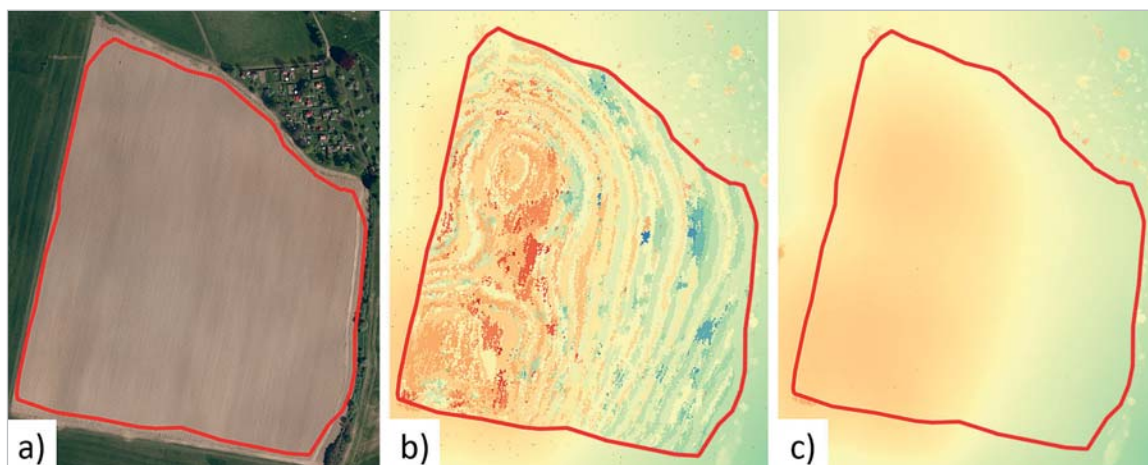
Oprava chybových dat je provedena pouze v místech, kde se hodnoty nadmořské výšky digitálního modelu povrchu a digitálního modelu reliéfu shodují v rámci zvolené tolerance, tedy pouze na polích. Další homogenní a potenciálně chybové povrchy, jako vinice, chmelnice, ovocné sady či fotovoltaické elektrárny, zůstávají nezměněny. Z „pseudostripů“ jsou následně vyřezána finální bodová mračka DMP OK v kladu bloků SM5 ($2,5 \times 2$ km) v souřadnicovém systému S-JTSK/Bpv. „Pseudostripy“ jsou následně transformovány do evropského souřadnicového systému ETRS89-TM33N/EVRS (viz část 4.2.2) a z transformovaných dat jsou vyřezána finální bodová mračka DMP OK ve čtvercovém kladu 2×2 km.

3.3 Interpolace a vznik rastrového produktu

Digitální model povrchu v rastrové podobě vzniká interpolací z bodového mračka pomocí knihovny PDAL (Point Data Abstraction Library). PDAL představuje knihovnu s otevřeným zdrojovým kódem určenou k manipulaci s bodovými mračky [6]. Má podobnou filozofii jako známější knihovna GDAL, která zpracovává rastrová i vektorová data, a částečně s ní spolupracuje. Pro použití knihovny PDAL je nejdříve sestaven pomocný konfigurační soubor „Pipeline“ ve formátu JSON obsahující informace o načtení vstupních dat, prováděných operacích a uložení výstupních dat.



Obr. 3 Klasifikované bodové mračko



Obr. 4 a) chybové pole na Ortofotu ČR, b) povrch s chybovými hodnotami nadmořské výšky, c) povrch s opravenými hodnotami



Obr. 5 Rastrový DMP OK

Soubor Pipeline je sestaven tak, že je při spuštění knihovny PDAL načteno bodové mračno v jednom bloku SM5 a interpolačním algoritmem je z něj vytvořen výstupní rastrový produkt. Soubor Pipeline tak obsahuje parametry interpolace a výsledného produktu. Především je zde nastavena velikost buňky rastru (GSD) na 0,5 m, jsou zde uvedeny souřadnice X a Y levého dolního rohu daného bloku SM5 a rovněž jeho šířka a výška vyjádřená podílem rozměru strany a velikostí buňky rastru. Velikost pravidelného bloku SM5 je 2 500 × 2 000 m, proto jsou šířka a výška uvedeny jako 5 000 a 4 000. U čtvercových dlaždic o straně 2 000 m v Evropském terestrickém referenčním systému 1989 (ETRS89) mají šířka a výška hodnotu 4 000. Interpo-

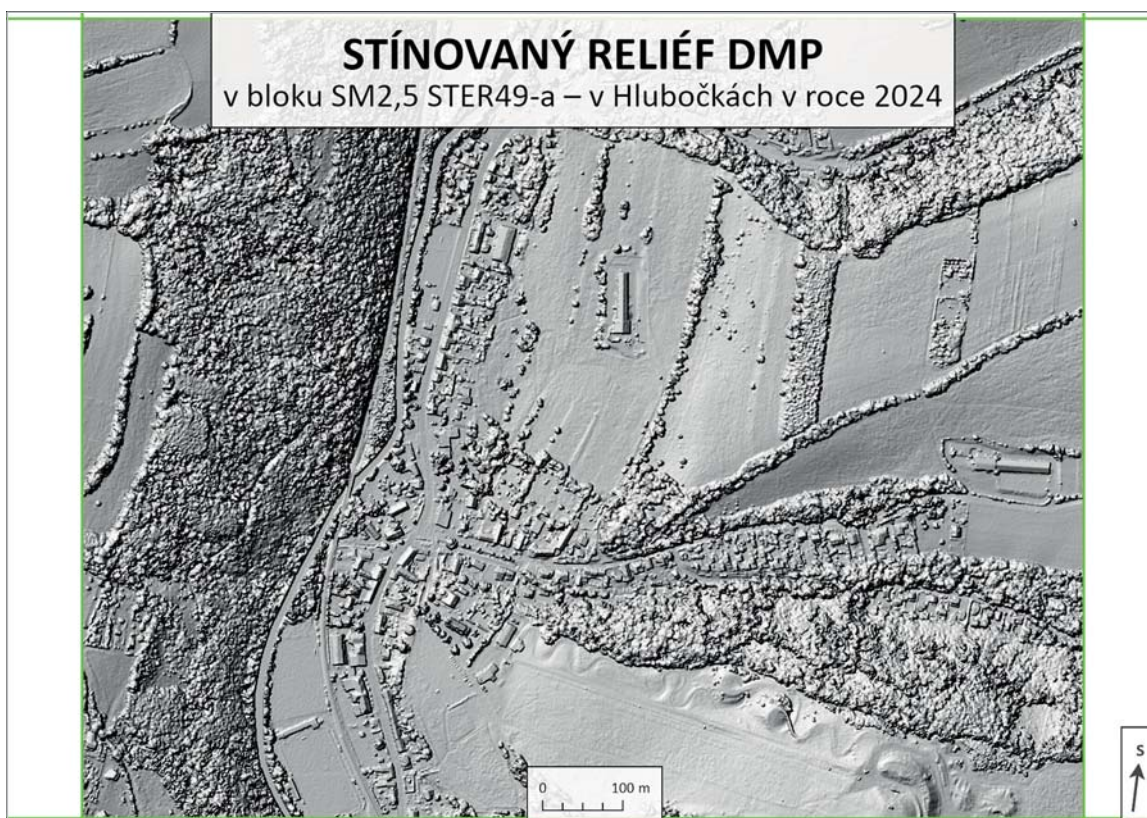
lace je nastavena tak, aby se na výpočtu hodnoty každé buňky rastru podílely všechny body bodového mračna nacházející se uvnitř kruhu o poloměru 0,2 m, jehož středem je střed příslušné buňky. Výsledná hodnota buňky rastru je určena jako aritmetický průměr výšek těchto bodů.

Po automatizovaném sestavení Pipeline souboru pro každý blok SM5 v systému S-JTSK a pro každou čtvercovou dlaždici v ETRS89 je generován digitální model povrchu v rastrové podobě ve všech příslušných blocích a dlaždicích.

Tím jsou dokončeny finální rastry digitálního modelu povrchu (obr. 5). Rastrový DMP OK v podobě stínovaného reliéfu je znázorněn na obr. 6 a obr. 7.



Obr. 6 Rastrový DMP OK v podobě stínovaného reliéfu – Přerov



Obr. 7 Rastrový DMP OK v podobě stínovaného reliéfu – Hlubočky

4. Publikace DMP z obrazové korelace**4.1 Formáty**

DMP OK je publikován ve dvou podobách, kterým odpovídají i použité formáty dat.

4.1.1 Bodové mračno – LAZ

DMP OK v podobě bodového mračna, uspořádaného do pravidelné sítě s GSD 0,2 m, je publikován ve formátu LAZ. Soubor ve formátu LAZ vzniká bezztrátovou komprimací souboru ve formátu LAS (ASPRS/OGC standard) s využitím kompresní knihovny LASzip. Výsledné LAZ soubory mají pouze 7–20 % velikosti původních LAS souborů a lze je dekomprimovat do identických LAS souborů.

Knihovna LASzip je volně dostupný produkt s otevřeným zdrojovým kódem (licence Apache 2.0) vyvinutý v roce 2011 Dr. Martinem Isenburgem – zakladatelem společnosti rapidlasso. V průběhu let se formát LAZ stal de-facto standardem pro komprimovaná bodová mračna [7].

4.1.2 Rastrová podoba – TIF + TFW

Digitální model povrchu v podobě rastru s GSD 0,5 m, vzniklý interpolací z bodového mračna, je publikován ve formátu TIF. Samotný TIF soubor nemá přiřazený souřadnicový systém, proto je ke každému TIF souboru publikován ještě TFW soubor se stejným názvem.

TFW soubor představuje pro formát TIF tzv. „World file“, což je přídatný textový šestiřádkový soubor sloužící ke georeferencování rastrových produktů v prostředí GIS. Specifikaci těchto přídatných souborů původně definovala společnost Esri.

Význam jednotlivých řádků je popsán v tab. 5 [8].

Tab. 5 Význam jednotlivých řádků TFW World file souboru

Číslo řádku	Význam
1	Velikost pixelu ve směru osy X
2	Rotace kolem osy Y
3	Rotace kolem osy X
4	Záporná velikost pixelu ve směru osy Y
5	Souřadnice X středu levého horního pixelu
6	Souřadnice Y středu levého horního pixelu

4.2 Souřadnicové systémy

Obě podoby DMP OK, zmíněné v kapitole 4.1, jsou publikovány ve dvou souřadnicových systémech.

4.2.1 S-JTSK/Bpv

Primárně jsou publikovány rovinné souřadnice DMP OK v S-JTSK v definici podle EPSG kódu 5514 (S-JTSK/Krovak East North), tedy s matematickou orientací souřadnicových os. Osa X tak směřuje na východ a osa Y směřuje na sever; na území ČR mají obě souřadnice záporné hodnoty.

K systému S-JTSK se váže výšková souřadnice v Bpv v definici podle EPSG kódu 8357 (Baltic 1957 height).

4.2.2 ETRS89-TM33N/EVRS

Po vytvoření DMP OK v systému S-JTSK/Bpv jsou rovinné souřadnice bodů bodového mračna transformovány vlastní transformační službou ZÚ do ETRS89-TM33 v definici podle EPSG kódu 3045 (ETRS89/UTM zone 33N (N-E)) – dle INSPIRE: ETRS89-TM33N. Pro usnadnění manipulace jsou data publikována v realizaci souřadnicových os v pořadí Easting-Northing.

Stejnou transformační službou jsou současně transformovány i výškové souřadnice ze systému Bpv do EVRS v definici podle EPSG kódu 5621 (EVRF2007 height).

5. Závěry a doporučení

S ohledem na úroveň přesnosti, úplnosti a aktuálnosti je DMP OK vhodný pro široké spektrum analytických a modelovacích úloh využívajících výškové informace o georeliéfu. Uplatnění nachází zejména při analýzách viditelnosti, modelování šíření elektromagnetického záření, hluku a znečištění ovzduší, stejně jako při simulacích povodňových jevů a dalších aplikacích vyžadujících detailní popis povrchu území. DMP OK tak představuje jednotný podklad pro nadregionální, regionální i lokální výškové analýzy na území České republiky.

Pořízení leteckých měřických snímků v období vegetační sezóny umožňuje detailní zachycení svrchní části lesních porostů a dalších vegetačních struktur. DMP OK je tak vhodný i pro analýzy vegetačního pokryvu a změn v krajině. Zvolená technologie umožňuje periodickou obnovu modelu, čímž vytváří předpoklady pro sledování vývoje povrchu území v časové posloupnosti. Obohacení mračna bodů o RGBI hodnoty navíc umožňuje v určité míře vyhodnocovat spektrální charakteristiky povrchu.

Stejně jako původní DMP 1G odvozený z LLS je i DMP OK reprezentován mračnem bodů, avšak s odlišnými charakteristikami. V oblastech, kde průběh modelu povrchu odpovídá modelu reliéfu, může docházet k nadhodnocení výšek vlivem vzrostlé polní vegetace. Přestože jsou použité programové nástroje pro obrazovou korelaci vysoce kvalitní, mohou se v modelu povrchu ojediněle vyskytovat chyby, zejména v prostorech s pravidelně opakujícími se vzory. V DMP OK se mohou nacházet místa, na nichž zakrytí neumožnilo odvodit povrch pomocí obrazové korelace, v modelu se tak mohou vyskytnout nevyplněné plochy (díry). Ačkoli je LMS prováděno v bezoblačných dnech, mohou se přesto vyskytnout drobná oblaka přírodního původu, pravděpodobnější je však přítomnost kouře či vodních par antropogenního původu (např. nad chladičnými věžemi tepelných a jaderných elektráren). Problematika místa umožňující opravu byla během zpracování identifikována a opravena; ojedinělé nahodilé odchylky však nelze zcela vyloučit.

Při využití DMP OK je nezbytné zohlednit, že georeliéf, výškové parametry staveb a rozsah vegetačního pokryvu se mohly od doby pořízení zdrojových dat změnit v důsledku přírodních procesů či antropogenních zásahů.

Klíčovým přínosem tvorby digitálního modelu povrchu metodou obrazové korelace je možnost jeho pravidelné dvouleté obnovy, která umožňuje dlouhodobé sledování změn povrchu území.

LITERATURA:

- [1] PAVELKA, K.: Fotogrammetrie 20. Praha, Vydavatelství ČVUT, Vyd. 2. přepracované, 2003. ISBN 80-01-02762-7.
- [2] ŠÍMA, J.-DUŠÁNEK, P.-KOUKALOVÁ, B.-BENC, A.: Technická zpráva k ortofotografickému zobrazení území ČR – Ortofoto České republiky. Zeměměřický úřad; Vojenský geografický a hydrometeorologický úřad [online]. 14. května 2025 [cit. 2026-03-11]. Dostupné z: [https://geoportal.cuzk.gov.cz/\(S\(sumiag5ovqt4vgd3aamb314s\)\)/Dokumenty/TZ_Ortofoto_CR.pdf](https://geoportal.cuzk.gov.cz/(S(sumiag5ovqt4vgd3aamb314s))/Dokumenty/TZ_Ortofoto_CR.pdf).
- [3] ČÚZK, VÚGTK: Pozemní vzdálenost vzorků. Terminologický slovník zeměměřictví a katastru nemovitostí. Český úřad zeměměřický a katastrální; Výzkumný ústav geodetický, topografický a kartografický [online]. 2020 [cit. 2026-03-11]. Dostupné z: <https://www.slovníkcuzk.eu/termin.php?&tid=7144>.
- [4] ASPRS: LAS Specification 1.4 – R16. American Society for Photogrammetry and Remote Sensing (ASPRS) [online]. 27 August 2025 [cit. 2026-01-26]. Dostupné z: <https://publicdocuments.asprs.org/las-v14-r16-2025>.
- [5] ŘLP: ENR 5.4 Letecké překážky. Řízení letového provozu České republiky [online]. 06 OCT 22, 08 AUG 24 [cit. 2025-01-20]. Dostupné z: https://aim.rlp.cz/ais_data/aip/data/valid/e5-4.pdf.
- [6] PDAL: About. Point Data Abstraction Library (PDAL) [online]. 2025 [cit. 2026-03-11]. Dostupné z: <https://pdal.io/en/2.9.0/about.html>.
- [7] RAPIDLASSO: LASzip. Rapidlasso GmbH [online]. 2025 [cit. 2025-08-26]. Dostupné z: <https://rapidlasso.de/laszip/>.
- [8] GDAL: WLD – ESRI World File. GDAL documentation [online]. 2025 [cit. 2025-08-26]. Dostupné z: <https://gdal.org/en/stable/drivers/raster/wld.html>.

Do redakce došlo: 13. 3. 2026

Lektorovali:
Ing. Tomáš Dekan,
Mgr. Gabriel Nagy,
GKÚ Bratislava