

**Z E M Ě M Ě Ř I C K Ý Ú Ř A D
V O J E N S K Ý G E O G R A F I C K Ý
A H Y D R O M E T E O R O L O G I C K Ý Ú Ř A D**

**TECHNICKÁ ZPRÁVA
K
DIGITÁLNÍMU MODELU POVRCHU 1. GENERACE
DMP 1G**

PROSINEC 2016

Úvod

Tato technická zpráva je určena pro uživatele digitálního modelu povrchu České republiky 1. generace (DMP 1G). Jejím cílem je popsat postupy zpracování výškopisných dat z leteckého laserového skenování a definovat základní charakteristiky tohoto modelu.

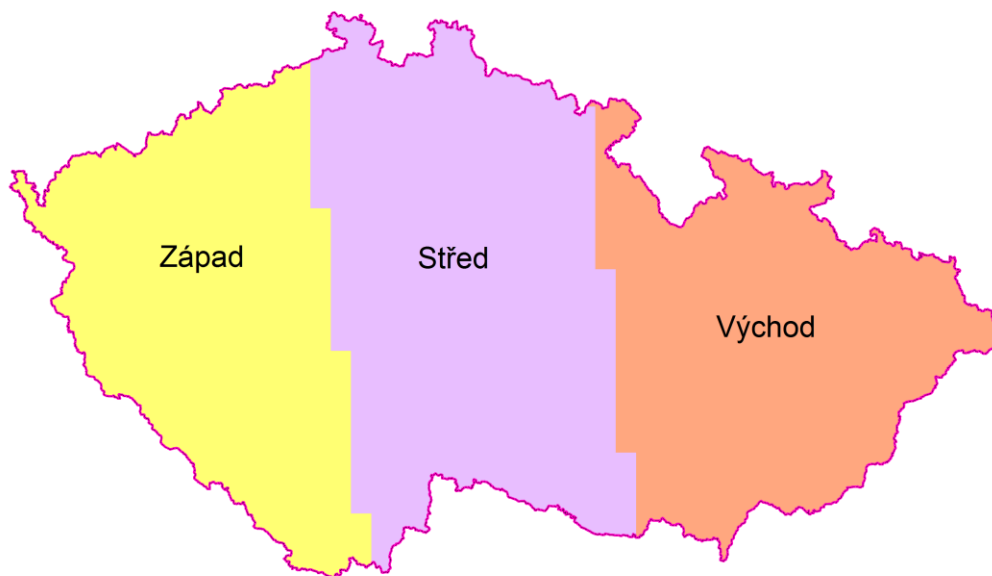
DMP 1G je jedním z realizačních výstupů společného projektu Českého úřadu zeměměřického a katastrálního (ČÚZK), Ministerstva obrany (MO) a Ministerstva zemědělství (MZe) České republiky s názvem „Projekt tvorby nového výškopisu České republiky“ (Praha: Zeměměřický úřad, 2008). Metodickým a procesním východiskem pro zpracování dat byl „Realizační projekt zpracování výškopisných dat“ (Praha: Zeměměřický úřad, 2009).

1 Technologie zpracování leteckých laserových dat

1.1 Letecké laserové skenování

Letecké laserové skenování (LLS) bylo realizováno v letech 2010-13 systémem LiteMapper 6800 firmy IGI mbH s využitím leteckého laserového skeneru RIEGL LMS – Q680 s příslušenstvím pro autonomní určování polohy skeneru GPS (Global Positioning System) a IMU (Inertial Measurement Unit). Popis základních parametrů jednotlivých zařízení je uveden v Realizačním projektu zpracování výškopisných dat, kapitola 8. Nosičem leteckého laserového skeneru byl speciální letoun MO typu L 410 FG. Vlastní skenování se uskutečnilo z průměrné výšky 1200 m nebo 1400 m nad střední rovinou terénu v jednotlivých blocích dle realizačního projektu a v závislosti na vzrůstu vegetace, přičemž bloky (převážně o šířce 10 km) s podobnou členitostí a v určitém rozmezí nadmořských výšek se pro realizaci LLS spojily do bloků s maximální délkou 60 km.

Skenování pásma Střed se uskutečnilo v období od 22. března do 10. října 2010, skenování pásma Západ se uskutečnilo v období od 9. března do 27. června 2011. Skenování pásma Východ se uskutečnilo v období od 8. dubna do 11. listopadu 2013. V současnosti je tedy naskenováno 100 % území ČR. Konkrétní údaje o skenování jednotlivých bloků, resp. řad (pásů) lze získat v Zeměměřickém odboru Zeměměřického úřadu (ZÚ) v Pardubicích.



Obr. 1 Rozdělení území ČR na 3 pásma LLS

1.2 Předzpracování leteckých laserových dat

Účelem tohoto procesu zpracování leteckých laserových dat je analýza surových (nezpracovaných) dat, s cílem nalezení jednotlivých odrazů laserového paprsku, jejich georeferencování a transformace polohových souřadnic do pracovního souřadnicového referenčního systému UTM/WGS 84-G873 a výškových údajů do výškového referenčního systému Bpv po vyrovnání (Bpv).

Pro řešení byly použity následující softwarové aplikace:

- IGIplan Mission Planning Software,
- AEROoffice Software,
- GrafNav GNSS Postprocessing Software,
- RiPROCESS 560,
- RiWORLD 560,
- RiANALYZE 560.

Pro georeferencování byla používána referenční data ve standardizovaném formátu RINEX nebo ve formátu Leica ze systému permanentních referenčních stanic CZEPOS, dále ze stanic spravovaných vědeckými a akademickými pracovišti v rámci výzkumné sítě VESOG a částečně také ze stanice POLOM, spravované Vojenským geografickým a hydrometeorologickým úřadem (VGHMÚř). Výsledkem řešení jsou mračna výškových bodů georeferencovaná v souřadnicovém referenčním systému UTM (Universal Transversal Mercator) na elipsoidu GRS 80 (ETRS89) a v referenčním systému elipsoidických výšek vztaženému k elipsoidu GRS 80.

Veškeré následné zpracování dat se po dohodě s MO uskutečnilo v souřadnicovém referenčním systému UTM33 (E, N) na elipsoidu WGS 84-G873 a ve výškovém referenčním systému Bpv.

Pro transformace rovinných souřadnic ze systému UTM/GRS 80 do UTM/WGS 84-G873 byly použity transformační klíče VGHMÚř, verze 2010. Přesnost této transformace je charakterizována úplnými středními chybami souřadnic $m_E = m_N = 0,02$ m.

Pro transformace výškových údajů elipsoidických výšek vztažených ke GRS 80 do výškového referenčního systému Bpv byly použity údaje kvazigeoidu CZ-2005 Výzkumného ústavu geodetického, topografického a kartografického (VÚGTK) autorů Ing. Ivana Peška, CSc. a prof. Ing. Jana Kosteleckého, DrSc., verze 2010. Přesnost transformace je charakterizována střední chybou $m_H = 0,06$ m.

Vzhledem k tomu, že bylo nutné integrovat transformační postup do ucelené technologie zpracování laserových dat, byly algoritmy naprogramovány do aplikace s názvem LASER SUPPORT 2010. Přípravu aplikace zajistil VGHMÚř ve spolupráci s VÚGTK a pracovníky ZÚ.

Testování absolutní přesnosti výškového měření bylo provedeno na 178 komparačních základnách rozmístěných po celém pásmu Střed. Komparační základny tvoří geodeticky zaměřená lokální polohová a výšková pole. Kontrolní body byly zaměřeny aparaturami GPS v režimu RTK se středními chybami souřadnic a výšky do 0,03 m. Rozměry komparační základny jsou zpravidla kolem 50 x 50 m (případně i větší), minimálně však 30 x 30 m. Z těchto důvodů byly voleny rovné plochy fotbalových hřišť, tenisových kurtů, náměstí (bez parkovišť) nebo jiných veřejných prostranství s antukovým, škvárovým, asfaltovým, či

dlážděným povrchem nebo s ošetřovaným nízkým trávníkem. Jednotlivé kontrolní body jsou mezi sebou vzdáleny průměrně 10 m, přičemž převýšení terénu mezi sousedními kontrolními body nemá být větší než 0,15 m.

Vyhodnocením absolutní výškové přesnosti leteckého laserového skenování v roce 2010 byla zjištěna systematická složka chyby měření po vyrovnání sousedních pásů a bloků v pásmu Střed $c_H = -0,034$ m. Tato systematická chyba byla z dat DMR 5G hromadně odstraněna.

1.3 Robustní filtrace

Cílem robustní filtrace je separovat (s využitím sofistikovaných automatizovaných metod) body, ve kterých dopadl laserový paprsek na terén (včetně skal), vegetaci, stavby a výškové překážky leteckého provozu (dále kategorie) a přitom identifikovat chybná měření (např. letící pták). Pro řešení byl použit software SCOP++ verze 5.4 firmy INPHO GmbH.

Výsledkem tohoto procesu jsou samostatné soubory dat (kategorie) rozříděné podle dopadu paprsku na vyjmenované druhy půdního krytu a objekty na zemském povrchu. Úspěšnost automatizovaných postupů správné klasifikace výškových bodů značně závisí na ročním období, ve kterém byla data pořízena, tj. na stupni rozvinutí vegetace. Orientačně lze klasifikovat úspěšnost automatického zatřídění dat, pořízených v období **bez rozvinuté vegetace** (březen – květen), na 90 % a naopak, v oblastech skenovaných později (červen – září), pouze na 30-40 %. Některá hustá zakmenění lesních stromů byla automaticky klasifikována chybně jako budova a naopak, některé body na okrajích budov byly zatříděny do kategorie vegetace.

1.4 Manuální kontrola výsledků robustní filtrace

K eliminaci chyb, vzniklých v místech nespolehlivé robustní filtrace, je prováděna následná interaktivní vizuální kontrola dat. Cílem je odhalit a přeřadit chybně zařazené body do odpovídajících kategorií. Pro tuto úlohu je používán software DT Master firmy INPHO GmbH.

Výsledkem tohoto procesu jsou samostatné soubory výškových bodů ležících skutečně na terénu, vegetaci, stavbách a body reprezentující možnou výškovou překážku. Nově vznikla třída „mostovky“.

1.5 Výběr reprezentativního výškového bodu povrchu (reliéfu) v zemědělsky obhospodařovaných oblastech

Vzhledem ke skutečnosti, že v některých oblastech, zejména naskenovaných v hlavním vegetačním období, nebylo možné provést manuální přeřazení všech bodů, jež neleží přímo na terénu (jde zpravidla body na nízké vegetaci), do kategorie vegetace a tyto body tedy zůstaly nesprávně zařazené v kategorii reliéf, byla v této části technologie řešena generalizace modelu uvnitř určených polygonů v zemědělsky obhospodařovaných oblastech výběrem reprezentativních výškových bodů v síti 5 x 5 m. K řešení byl zvolen přístup, kdy jednotlivé zpracovávané oblasti (polygony) byly „rozřezány“ na čtverce 5 x 5 m a v každém čtverci byl vybrán pravděpodobný reprezentativní bod reliéfu jako bod s nejnižší výškou. Přitom se kontrolovalo, zda se tento bod extrémně neodlišuje výškou od okolních bodů. Pokud ano, pak se předpokládá, že se jedná o „zbloudilý“ paprsek a v tomto případě byl vybrán jiný reprezentativní výškový bod, který splňoval podmínky přiměřené odchylky výšky od okolních výškových bodů. O těchto bodech se s maximální pravděpodobností předpokládá, že reprezentují terénní reliéf a lze je považovat i za body digitálního modelu povrchu v území bez jiných objektů a vzrostlé vegetace.

Polygony, v nichž byly uzlové body takto vybírány, byly vymezeny dvěma způsoby:

- byly využity polygony orné půdy pocházející z databáze LPIS (Land Production Information Systém) dodané Ministerstvem zemědělství;
- byly vytvořeny nové polygony manuální digitalizací areálů nad stínovaným zobrazením reliéfu, a to na základě takto stanovených kritérií:
 - jedná se o areály zemědělsky obhospodařované (louky, pastviny a orná půda),
 - nerovnosti terénu mají zjevně dočasný charakter,
 - v definované oblasti se nevyskytují žádné ostré zlomy (strouhy a terénní hrany), které by tato metoda mohla z modelu odstranit.

K řešení byla použita aplikace naprogramovaná pracovníky ZÚ.

Výsledkem popsaného procesu je množina nerovnoměrně rozložených skutečně měřených výškových bodů terénního reliéfu.

1.6 Výběr reprezentativního výškového bodu terénu v ostatních areálech vyjma stavebních objektů a areálů se vzrostlými stromy

Vzhledem k nekonzistentní hustotě dat, ale i s cílem odstranění nepodstatných nerovností terénu, byla dále řešena generalizace modelu výběrem reprezentativních výškových bodů v síti 1 x 1 m. K řešení je zvolen přístup, kdy jednotlivé zpracovávané oblasti jsou „rozřezány“ na čtverce 1 x 1 m a v každém čtverci je vybrán pravděpodobný reprezentativní bod reliéfu jako bod s nejnižší výškou.

Pro řešení byl použit software SCOP++ verze 5.4 firmy INPHO GmbH.

Výsledkem popsaného procesu je množina nerovnoměrně rozložených skutečně měřených výškových bodů terénního reliéfu, které jsou též body digitálního modelu povrchu.

1.7 Interpolace výškového modelu terénu v oblastech neobsahujících naměřená data

Cílem interpolace výškového modelu v místech, kde nebyla pořízena data terénního reliéfu (např. vodní plochy), bylo interpolovat z nepravidelné sítě okolních blízkých výškových bodů reliéfu body reprezentující výšku v těchto místech. Model byl v této fázi zpracování doplněn o uměle vytvořené body, a to v pravidelné síti 5 x 5 m zobrazeného souřadnicového referenčního systému UTM/WGS 84-G873.

Body jsou generovány softwarem SCOP++, a to algoritmem Fill-Void Areas, který je nastaven tak, že pokud se v datech nachází oblast s minimální plochou 25 m², kde není žádné LLS měření, je popsaným způsobem generován náhradní bod. V oblastech vodních ploch je takto interpolován model pouze do vzdálenosti 15 m od břehové čáry dovnitř vodní plochy¹.

Pro plošnou interpolaci je použita interpolační funkce adaptabilní lineární predikce.

Výsledkem popsaného procesu je množina nerovnoměrně rozložených skutečně měřených výškových bodů reliéfu doplněná o takto interpolované body.

¹ Perspektivně se předpokládá, že u splavných vodních toků bude model doplněn ve spolupráci s podniky Povodí hloubnicemi.

1.8 Zjednodušení modelu reliéfu při zachování maximální úplné výškové chyby

Vzhledem ke skutečnosti, že model je po předcházejících úpravách velmi detailní a jednotlivé body mohou být zatíženy drobnými chybami v důsledku nízké vegetace, je dále prováděno ředění bodů reliéfu metodou „hoblování“ vyvinutou firmou Atlas, spol. s.r.o. Při řešení dochází jednak k odstranění nadbytečných bodů a jednak k úpravě výšky bodů, přičemž je povolena maximální úprava výšky o 0,16 m. Na budovách zůstává mračno bodů v původní hustotě.

Pro řešení byl použit software Atlas DMT verze 5.9.0 firmy Atlas spol. s.r.o.

Výsledkem popsaného procesu je redukováná množina nerovnoměrně rozložených výškových bodů reliéfu se skutečně měřenou polohou a výškou modifikovanou v limitě přesnosti požadované pro kvalitu DMR 5G a bodů interpolovaných dle oddílu 1.7.

1.9 Identifikace bodů modelu povrchu stavebních objektů (budov) a vzrostlé vegetace (stromů)

Pro řešení byla v ZÚ vyvinuta speciální aplikace. Aplikace pracuje výhradně v souřadnicovém systému WGS 84-G873/UTM zóna 33.

1.9.1 Vstupní data

- Vrstva čtverců 2 x 2 km
Slouží k definování zpracovávané oblasti. Plošný rozsah odpovídá zpracovávané oblasti. Data se mohou nacházet v jedné či více vrstvách pokrývajících beze zbytku a bez překrytí požadované území. Formát shp.
- Vrstva budov v ZABAGED[®]
Slouží k určení oblastí pravděpodobné polohy budov, ve kterých jsou v laserových datech detekovány střešní roviny. Formát shp.
- Vrstva budov v DKM
Slouží rovněž k určení oblastí pravděpodobné polohy budov, ve kterých jsou v laserových datech detekovány střešní roviny. Formát shp.

1.9.2 Výstupní data

- DMP 1 G
Výstupem celé aplikace je textový soubor .xyz se souřadnicemi všech bodů náležejících do DMP 1G. Soubor je pojmenován předponou pp, názvem listu SM5 (pro WGS84/UTM33 souřadnicemi levého dolního rohu, čtverce 2x2 km) a příponou 1g.xyz (př. pp_SOBO00_1g.xyz). V tomto souboru nejsou body DMP 1G klasifikovány zvlášť do kategorií terénní reliéf, střechy a stromová vegetace.

1.9.3 Algoritmus tvorby DMP 1G

Byl vytvořen tak, aby výsledný model odpovídal specifikaci uvedené v Realizačním projektu zpracování výškopisných dat (Praha: Zeměměřický úřad, 2009). Nejprve je načtena vstupní vrstva čtverců 2x2 km a vrstvy budov v ZABAGED[®] a DKM, které do této oblasti zasahují. Poté aplikace postupně prochází čtverce 2x2 km (ve kterých je území zpracováno) a pro každý čtverec provede následující operace:

- Načtení laserových bodů
Laserové body se načítají z textových souborů XYZ. Každý textový soubor obsahuje data ze čtverce 2x2 km včetně přesahu 100 m na každou stranu, čímž je zajištěna návaznost jednotlivých čtverců výsledného modelu. Body se načítají zvlášť pro nezpracované (surové) objekty (budovy, vegetace, výškové objekty) a zvlášť pro

DMR 5G, který je součástí DMP 1G v místech, kde se nevyskytují žádné významné objekty předchozího typu.

– Příprava dat

Z mračna bodů objektů se odstraní body ležící příliš nízko nad zemí (nevýznamné nízké objekty) a body ležící příliš vysoko (chybné odrazy od mraků, kouře apod.). Poté se načtou obrysy budov ZABAGED[®] a DKM a v souboru laserových bodů se detekují obrysy budov. Všechny vrstvy se spojí do jedné a takto hrubě nalezené obrysy budov určují oblasti, ve kterých jsou poté detekovány střešní roviny.

– Budovy

Algoritmus postupně prochází vrstvu budov získanou v předchozím kroku, ořízne mračno bodů náležící objektům a pomocí prokládání rovin se snaží detekovat body ležící na střešním pláště. Body ležící mimo takto proložené roviny jsou odstraněny. Kolem zbývajících bodů je vytvořena nekonvexní obálka (s dírami) určující obrys budovy.

U budov s komplikovaným tvarem střešního pláště (označené v databázi ZABAGED[®] jako kostel, věž, apod.), kde není možné dostatečně spolehlivě proložit rovinu, se ponechává vždy nejvyšší neextrémní bod v proložené mřížce.

– Vegetace

Body objektů, které nebyly zahrnuty do kategorie budov, jsou dále považovány za vegetaci. Kolem bodů je vytvořena nekonvexní obálka (s dírami). Z této oblasti jsou poté vyříznuty všechny oblasti, kde se již nacházejí budovy. Zbývající plochy, které velikostí odpovídají specifikaci, jsou zařazeny do DMP 1G.

Z bodů ležících v této oblasti jsou odstraněny body ležící extrémně vysoko nad svým okolím (pravděpodobné chyby) a naopak, body ležící příliš nízko (odrazy od spodních vrstev) jsou vyzdviženy na své okolí (vrchní vrstva korun stromů).

– Terénní reliéf

Podle specifikace je DMP 1G v místech bez objektů tvořen DMR 5G. Z bodů DMR 5G jsou proto odstraněny všechny body ležící v oblastech s budovou či vegetací (viz výše) a ostatní body jsou zařazeny do DMP 1G.

– Zlomové linie

Aby byly stěny budov tvořeny (přibližně) kolmými stěnami, jsou do vyfiltrovaného mračna laserových bodů přidány i zlomové linie ležící na spodní (patě) a horní hraně (okapu) budov. V případě horní hrany jde o propojené body ležící na okraji střešního pláště. Pro získání paty budovy je k obrysu budovy přidán drobný buffer (obalová zóna) a výška 3D linie je určena z dat DMR 5G. Vzhledem k tomu, že DMP 1G je reprezentován pouze množinou diskrétních výškových bodů (XYH) je následně zlomová linie rozložena na jednotlivé výškové body. Výsledný DMP 1G je tedy tvořen sjednocením množin výškových bodů na terénu (výběr bodů z DMR 5G), na budovách a na vegetaci.

1.10 Transformace bodů DMP 1G do S-JTSK

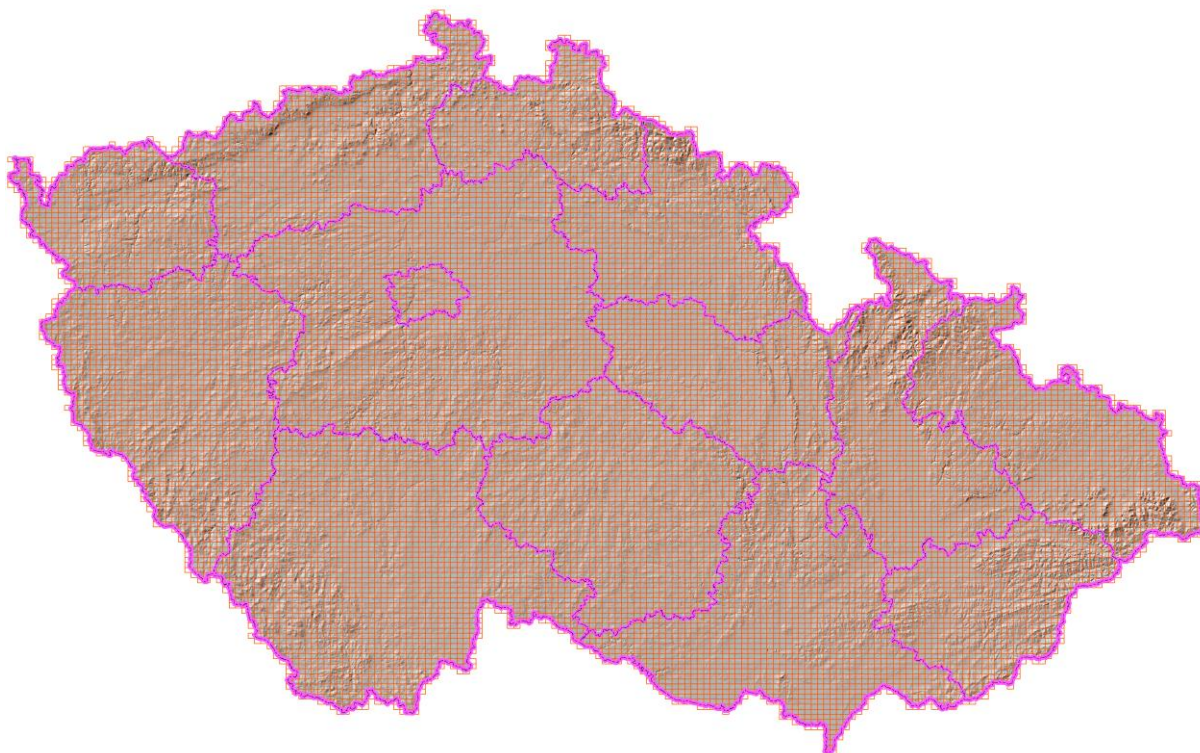
S ohledem na skutečnost, že produkt DMP 1G určený pro civilní sektor, má být zpracován v souřadnicovém referenčním systému S-JTSK a ve výškovém referenčním systému Bpv, byly souřadnice jednotlivých bodů DMP 1G transformovány v této fázi zpracování do tohoto systému (výšky jsou v Bpv již od počátku zpracování, viz oddíl 1.2).

K transformaci souřadnic ze systému UTM/WGS 84-G873 do systému S-JTSK byly využity vztahy použité v aplikaci LASER SUPPORT VGHMÚř, naprogramované s využitím koeficientů lokální dotransformace, které poskytl VÚGTK, v.v.i.

Výsledkem jsou georeferencované soubory výškových bodů DMP 1G reprezentované souřadnicemi X, Y v souřadnicovém referenčním systému S-JTSK (realizace S-JTSK/Krovak East North – EPSG:102067, kdy $X = -Y_{\text{JTSK}}$, $Y = -X_{\text{JTSK}}$) a výškou H v systému Bpv.

2 Obsah datových sad DMP 1G

K 31. 8. 2016 byla dokončena datová sada DMP 1G z území celé ČR (viz obr. 2). Stav aktualizace DMP 1G lze získat na Geoportálu ČÚZK. www.geoportal.cuzk.cz



Obr. 2 Pokrytí ČR daty DMP 1G k 22. 12. 2016

2.1 Uložení dat na předávacích médiích

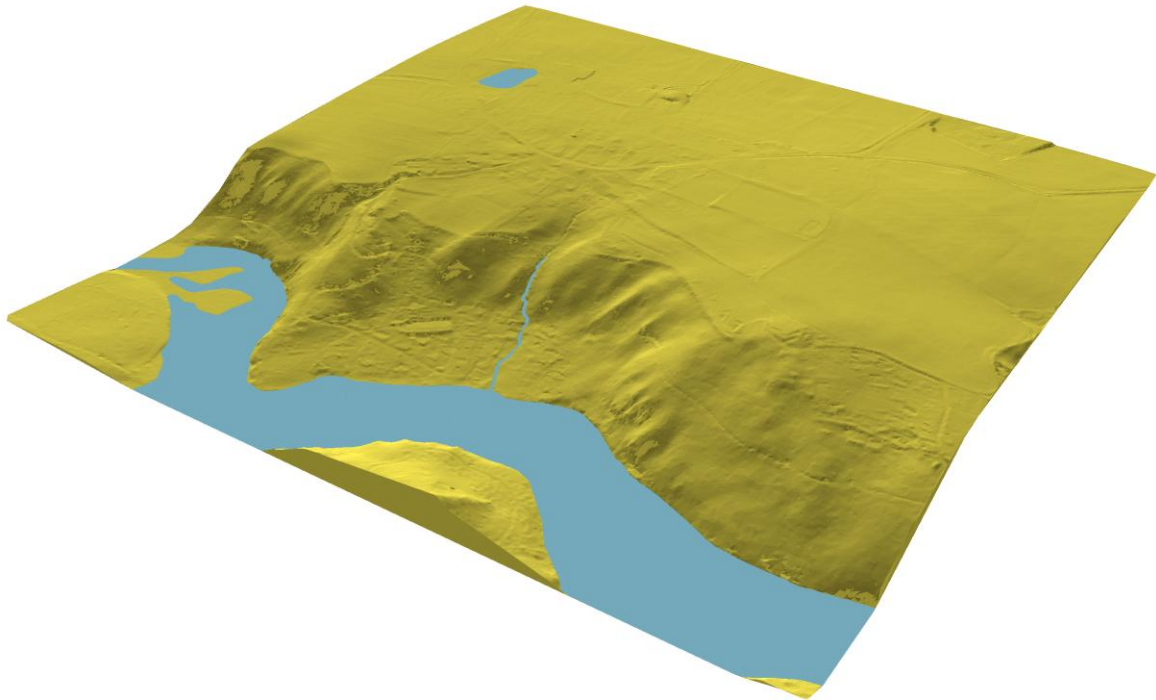
Data DMP 1G jsou uložena v ZÚ úřadě v bezešvé databázi. Při distribuci jsou ukládána do výdejních jednotek odpovídajících kladu listů Státní mapy 1 : 5000 (SM 5). Data jsou ukládána v textovém formátu. Soubory jsou dále na médiích ukládány v adresářích (složkách) po větších celcích pokrývajících listy Státní mapy 1:50 000 (SM 50).

- Příklad názvu adresáře: pp_sobo (pro list mapy SM 50 Sobotka).
- Příklad názvu souboru: pp_sobo00_5g.xyz (pro list mapy SM 5 Sobotka 00).

3 Charakteristika přesnosti a kvality DMP 1G

Přesnost dat DMP 1G v území **mimo zástavbu a souvislé lesní porosty** je prakticky totožná s přesností DMR 5G (viz obr. 3). K ověření a definování charakteristik přesnosti a kvality dat DMR 5G byly využity tři zdroje referenčních dat:

- soubory kontrolních bodů na komparačních základnách,
- výšky vybraných bodů základního polohového bodového pole (trigonometrických a zhušťovacích bodů),
- kontrolní geodetická měření realizovaná lokálně pro ověření přesnosti DMR 5G na plochách s různým typem terénu a vegetačního krytu.



Obr. 3 Digitální model reliéfu 5. generace (DMR 5G)

3.1 Ověření přesnosti DMR 5G na komparačních základnách

Pro účely ověření přesnosti DMR 5G byly kontrolní výškové body komparačních základů transformovány do souřadnicového referenčního systému S-JTSK a výškového referenčního systému Bpv. Pro každý geodeticky zaměřený bod o souřadnicích X, Y, H_{GEO} (S-JTSK, Bpv) byla pomocí bilineární interpolace vypočítána odpovídající výška H_{5G} z DMR 5G a výškový rozdíl ΔH . Bilineární interpolace proběhla v trojúhelníkové síti vytvořené pomocí Delaunayho triangulace.

$$\Delta H = H_{5G} - H_{GEO}$$

Statistickým zpracováním byly stanoveny následující parametry přesnosti DMR 5G:

Systematická chyba podle vzorce:

$$c_H = \frac{\sum_{i=1}^n \Delta H_i}{n}$$

Úplná střední chyba podle vzorce:

$$m_H = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \Delta H_i^2}{n}},$$

kde n je počet geodeticky zaměřených bodů komparační základny a ΔH_i rozdíl výšky interpolované z DMR 5G a geodeticky zaměřené na i -tém kontrolním bodě komparační základny.

Výše uvedené parametry přesnosti DMR 5G byly postupně vypočítány na 152 komparačních základnách v pásmu „Střed“, přičemž průměrná hodnota systematické chyby dosáhla velikosti $c_H = 0,002$ m (při maximální chybě - 0,220 m) a průměrná hodnota úplné střední chyby $m_H = 0,058$ m.

3.2 Ověření výškové přesnosti DMR 5G na vybraných bodech základního polohového bodového pole

Cílem řešení bylo ověřit výškovou přesnost DMR 5G na rozsáhlém území a případně odhalit výrazné nehomogenity tohoto modelu. Pro tento účel bylo podle místopisů geodetických bodů vybráno 1026 trigonometrických a zhušťovacích bodů rovnoměrně rozložených po území pokrytém DMR 5G v pásmu Střed. Body byly vybírány tak, aby pokud možno ležely v rovině nebo v mírně sklonitém terénu bez lokální členitosti okolního reliéfu a mimo lesní porosty. V úvahu však je nutné vzít, že místopisy jsou často i třicet let staré, a že výškové poměry v blízkosti vybraného bodu se mohly výrazně změnit. Provádět fyzickou kontrolu bodů v terénu však bylo kapacitně a finančně nereálné.

Pro každý takto vybraný bod o souřadnicích X, Y, H_{GEO} (S-JTSK, Bpv) byla bilineární interpolací vypočítána odpovídající výška H_{5G} z DMR 5G a výškový rozdíl ΔH . Bilineární interpolace proběhla v trojúhelníkové síti vytvořené pomocí Delaunayho triangulace.

$$\Delta H = H_{5G} - H_{GEO}$$

Následně pak byly pomocí dříve uvedených vzorců vypočítány parametry přesnosti

$$c_H = -0,09 \text{ m}$$

$$m_H = 0,20 \text{ m}$$

Dosažené výsledky vypovídají, že DMR 5G se zdá být položen systematicky o 0,09 m pod úrovní horní plochy kamenů trigonometrických bodů při úplné střední chybě 0,20 m. Dosažené hodnoty korespondují s logickým vysvětlením, že geodetické body jsou zpravidla osazeny kamennými mezníky, jejichž horní ploška je často 10-15 cm nad zemí a dále, že jsou zpravidla umístěny na lokální vyvýšenině terénu. Cílem tohoto ověření však nebylo zjištění absolutní přesnosti DMR 5G, nýbrž homogenity přesnosti DMR 5G na celém kontrolovaném území. Proto byly odchylky výšek pro jednotlivé body vyznačeny do mapy v měřítku 1:250 000 a pohledově kontrolováno, zda se nevyskytují výrazné lokální extrémy odchylek. Z provedené analýzy lze konstatovat, že nebyly zjištěny lokální anomálie a že bylo dosaženo v zásadě homogenní úrovně přesnosti DMR 5G na celém dosud zkontrolovaném území (cca 20 % ČR).

3.3 Ověření přesnosti kontrolním geodetickým měřením v terénu

Cílem tohoto postupu bylo alespoň na menších vzorcích dat dokumentovat přesnost interpolace výšky bodu z DMR 5G v terénu s různým sklonem, členitostí, vegetačním krytem, zástavbou, nebo s častým výskytem terénních tvarů s hranami v území přetvořeném lidskou činností.

Při měření výšek kontrolních bodů v terénu byla využita metoda trigonometrické nivelace pomocí totálních stanic Leica TC 1010 a Nikon DTM 310. Z blízkých bodů základního polohového bodového pole (výškově ověřených metodou GNSS) nebo z dočasných stanovišť nově zaměřených metodou RTK GNSS bylo zaměřeno celkem 3014 podrobných bodů v 21 lokalitách.

Současně byla u jednotlivých bodů zaznamenána charakteristika povrchu a půdního krytu v době LLS. Povrchy byly rozděleny do pěti kategorií:

- terénní hrany (zlomové linie) zpravidla u cest, silnic a železnic,
- zpevněné plochy,
- orná půda,
- louky a pastviny,
- křoviny, stromořadí a lesy.

Pro každý takto zaměřený podrobný bod o souřadnicích X, Y, H_{GEO} (S-JTSK, Bpv) byla pomocí bilineární interpolace vypočítána odpovídající výška H_{5G} z DMR 5G a výškový rozdíl ΔH . Bilineární interpolace proběhla opět v trojúhelníkové síti vytvořené pomocí Delaunayho triangulace.

$$\Delta H = H_{5G} - H_{GEO}$$

Statistickým zpracováním byly stanoveny následující parametry přesnosti DMR 5G v níže uvedených kategoriích povrchu a půdního krytu:

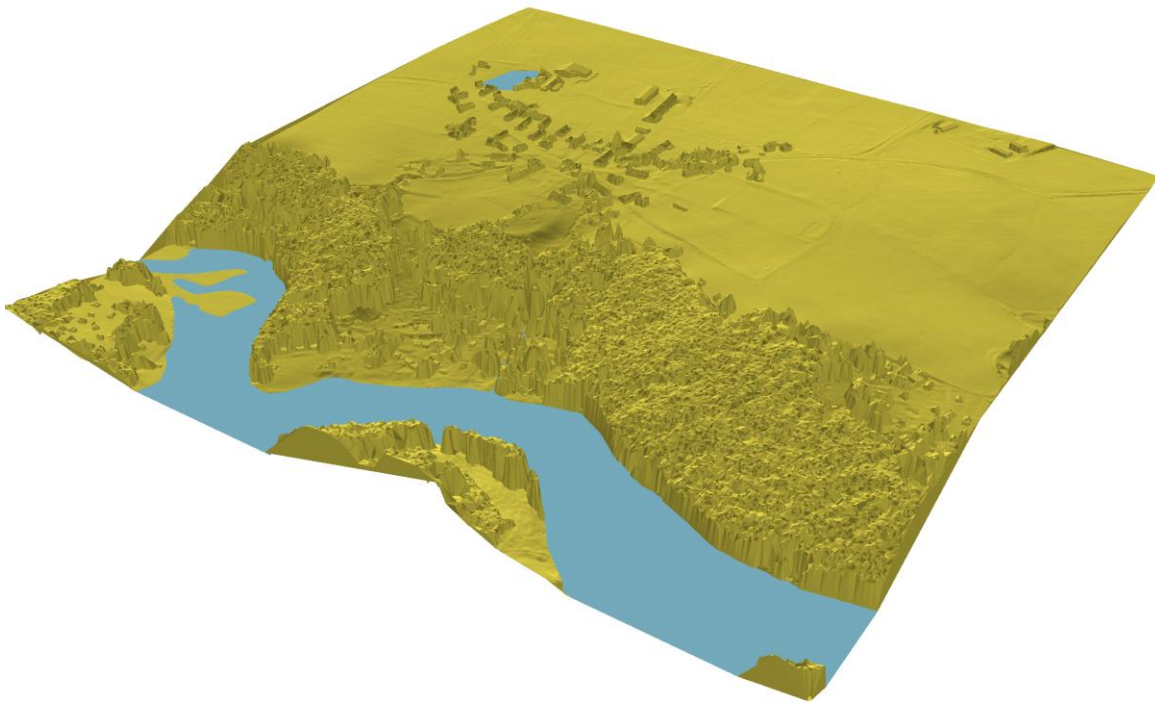
Tab. 1 Charakteristiky přesnosti DMR 5G na různém povrchu a půdním krytu

Kategorie povrchu a půdního krytu	systematická chyba [m]	úplná střední chyba [m]	maximální chyba [m]
terénní hrany u komunikací	-0,11	0,18	0,66
zpevněné plochy	-0,09	0,13	0,37
orná půda	-0,07	0,14	0,56
louky a pastviny	-0,03	0,21	0,42
křoviny, stromořadí a lesy	-0,06	0,13	0,46
Průměrná hodnota	-0,07	0,14	0,49

Z tabulky 1 je zřejmé, že vlivem generalizačních a filtračních metod dochází k výskytu systematické chyby -0,11 m u terénních hran u komunikací, přičemž úplná střední chyba činí 0,18 m. Nápadný soulad s původně deklarovanou přesností modelu není náhodný, nýbrž zjevně souvisí s nastavenými generalizačními a filtračními parametry v procesu zpracování dat LLS. Deklarovaná úplná střední chyba 0,18 m je překročena v kategorii povrchu louky a pastviny. Tato skutečnost je dána zjevně tím, že ještě nebyla nalezena vhodná metoda pro odstranění (přeřazení) bodů (paprsků), které dopadly na nízkou vegetaci a trávy do kategorie

vegetace. Naopak bodů (paprsků), které pronikly nízkou hustou vegetací až k rostlému terénu je v těchto oblastech velmi málo.

Ověření přesnosti bodů DMP 1G (viz obr. 4) **na budovách a vrchních plochách souvislé vzrostlé vegetace** je prakticky nerealizovatelné ve větším a reprezentativním objemu a proto byla deklarovaná přesnost $m_H = 0,40$ m na pevných plochách (převážně střech budov a povrchu mostovek) a $m_H = 0,70$ m (na vrchních plochách korun stromů) odvozena kvalifikovaným odhadem jako 2,3 násobek úplné střední výškové chyby bodů DMR 5G (0,18 m a 0,30 m). Tato přesnost může být lokálně ovlivněna roční dobou skenování (např. listnatých lesů časně z jara) nebo klimatickými podmínkami (při jarním skenování brzy ráno nebylo zachyceno až 30 % střech budov).



Obr. 4 Digitální model povrchu 1. Generace (DMP 1G)

4 Perspektivní aplikace DMP 1G

Ve vojenství:

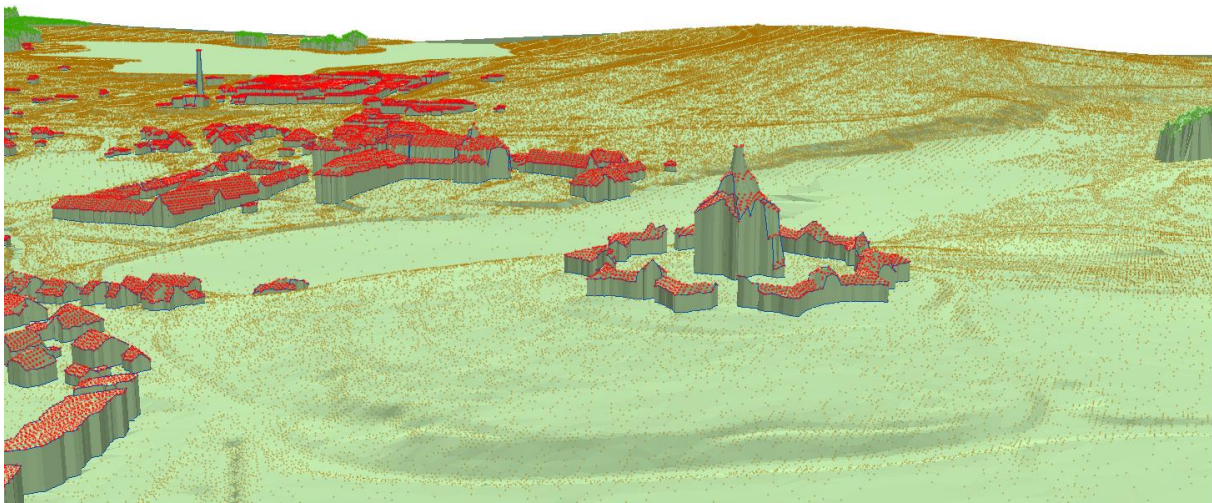
- optická viditelnost a dohlednost v terénu, identifikace zakrytých prostorů,
- analýzy průchodnosti terénem,
- létání vojenských vrtulníků a letadel za omezené viditelnosti (v kombinaci s databází výškových překážek).

Telekomunikace:

- šíření elektromagnetického záření a signálů v území,
- prostory bez příjmu televizního signálu.

Zeměměřictví:

- podklad pro tvorbu 3D modelů území a objektů s rozlišením bodů DMP 1G do kategorií terénní reliéf, střechy a stromová vegetace (viz obr. 5).



Obr. 5 3D model DMP 1G s rozlišením kategorií bodů

5 Závěry a doporučení

DMP 1G je prioritně určen pro potřeby MO, respektive pro vojenské aplikace. Řešitelé projektu jsou si vědomi toho, že dosavadní množství použitých kontrolních dat nemůže garantovat, že se v DMP 1G nemohou ojediněle vyskytnout i větší lokální chyby, které by však podle zde aplikovatelného normálního rozdělení statistických veličin neměly překročit dvojnásobek úplné střední chyby v jednotlivých kategoriích terénu (v 95 % případů) a trojnásobek úplné střední chyby (v 99,7 % případů). Výraznější odchylky od „roslého“ terénu (reliéfu) se mohou vyskytovat v místech, kde byly body uměle vytvořeny interpolací (viz oddíl 1.7).

Vzhledem ke značné podrobnosti je distribuovaný model DMP 1G poměrně datově objemný. S ohledem na výkonnost současného hardware (2016) se proto doporučuje zpracovávat najednou pouze úlohy lokálního charakteru. V případě zpracování větších územních celků je vhodné území rozdělit do několika částí, případně vhodným algoritmem data zředit.

Při užívání DMP 1G je též nutné vzít v úvahu skutečnost, že jak terénní reliéf, tak i výška staveb a rozsah vzrostlé vegetace se mohly v období od provedení LLS i výrazně změnit, ať již v důsledku přírodních jevů nebo lidské činnosti. Minimalizovat důsledky takových změn při použití DMP 1G v konkrétních aplikacích uživatelů lze jednak vyžadováním nových verzí DMP 1G v ZÚ, který zajišťuje průběžnou aktualizaci výškopisných databází ČR, a jednak důslednou rekognoskací skutečného stavu v terénu v době rozhodné pro řešení aplikační úlohy. Pro tuto rekognoskaci je optimálním podkladem **stínované zobrazení reliéfu**, které lze získat jako samostatný produkt ZÚ na Geoportálu ČÚZK.

V případě nalezení chyby v datech DMP 1G zašlete laskavě informaci o chybě Zeměměřickému úřadu. Pro hlášení použijte aplikaci „Hlášení chyb v datech“ na Geoportálu ČÚZK (<http://geoportal.cuzk.cz>).