

**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
ORTOFOTOGRAFICKÉMU ZOBRAZENÍ ÚZEMÍ ČR
ORTOFOTO ČESKÉ REPUBLIKY**

DUBEN 2019

Název dokumentu: Technická zpráva k ortofotografickému zobrazení území ČR
Ortofoto České republiky

Zodpovědný zpracovatel: Ing. Josef Knapík
Zeměměřický úřad, Čechovo nábřeží 1791, 530 86 Pardubice
Telefon: 466 023 425
E-mail: josef.knapik@cuzk.cz

Zpracovali: Doc. Ing. Jiří Šíma, CSc. (ZÚ, Praha)
Mgr. Petr Dušánek (ZÚ, Pardubice)
Ing. Blanka Koukalová (ZÚ, Pardubice)

Datum vydání: 30. dubna 2019

Správce dokumentu: ředitel Zeměměřického odboru Pardubice Zeměměřického úřadu

Dokument uložen: //a359024/PLOTR_ZU/Provozni_dokumentace/IS_ortofotografického_zobrazení

Aktualizace:

Datum	Obsah změny

Úvod

Tato technická zpráva je určena pro uživatele produktu Ortofoto České republiky, který představuje **periodicky aktualizovanou sadu barevných ortofot v rozměrech a kladu mapových listů Státní mapy 1 : 5 000** (2 x 2,5 km). Ortofoto České republiky (dále jen Ortofoto ČR) vzniká diferenciatním překreslením (ortogonalizací) leteckých měřických snímků zemského povrchu, při kterém jsou odstraněny posuny obrazu vznikající perspektivním zobrazením území s výraznější výškovou členitostí. Ortofoto ČR je v celém rozsahu barevně vyrovnané a zdánlivě bežešvé. Švy mezi jednotlivými ortogonalizovanými snímky jsou vedeny po přirozených liniích, plochami s homogenní texturou, zpravidla mimo stavby. Vzhledem k dominantním způsobům užití (digitalizace vektorových geografických dat a superpozice Ortofota ČR s vektorovými daty technické infrastruktury a s daty katastru nemovitostí) je vysoká pozornost věnována absolutní polohové přesnosti Ortofota ČR ve vztahu k souřadnicovému referenčnímu systému S-JTSK.

Ortofoto ČR vzniká ve spolupráci orgánů resortů Českého úřadu zeměměřického a katastrálního (ČÚZK), Ministerstva obrany (MO) a Ministerstva zemědělství (MZe) s cílem:

- vytvoření a aktualizace registru půdy pro administraci a kontrolu zemědělských dotací na skutečně obdělávanou plochu (podle zákona č. 252/1997 Sb., ve znění pozdějších předpisů, a projektu IACS),
- aktualizace Základní báze geografických dat (ZABAGED[®]) a její využití pro tvorbu základních státních mapových děl středních měřítek (podle zákonů č. 359/1992 Sb. a č. 200/1994 Sb., obojí ve znění pozdějších předpisů),
- aktualizace Digitálního modelu území 25 (DMÚ 25) a jeho využití pro tvorbu vojenských topografických map (podle zákonů č. 2/1969 Sb. a č. 200/1994 Sb., obojí ve znění pozdějších předpisů),
- poskytnutí geoprostorových obrazových dat z území České republiky (ČR) orgánům veřejné správy ČR a Evropské unie v rámci projektu INSPIRE (podle zákona č. 123/1998 Sb., ve znění pozdějších předpisů a příslušné legislativy Evropské unie),
- zajištění geoprostorových obrazových dat z území ČR pro potřeby obrany státu a aliance NATO (podle zákona č. 2/1969 Sb. a interních předpisů MO ČR),
- zajistit standardizovaný topografický podklad pro územně orientované informační systémy veřejné správy ČR,
- poskytnout standardizovaný topografický podklad pro projekční činnosti v územním plánování a pro ochranu životního prostředí.

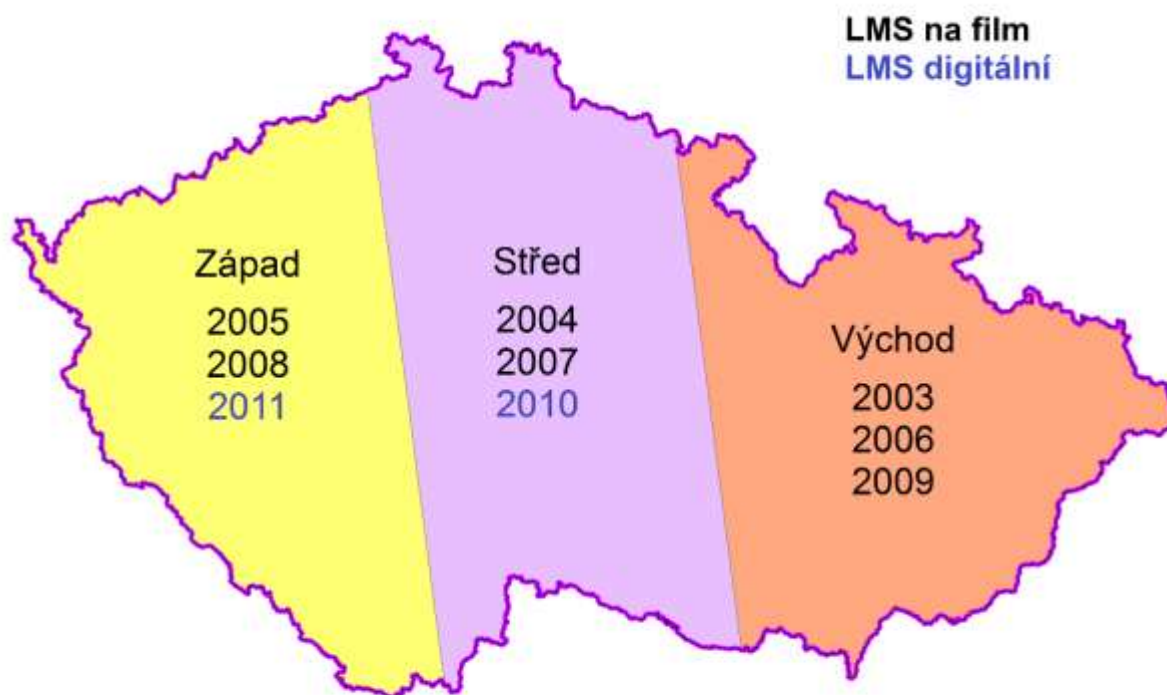
Ortofoto ČR nachází stále širší uplatnění jako základní datová vrstva geografických informačních systémů, mapových portálů a webových aplikací. Ortofoto ČR slouží jako podkladová vrstva v rámci všech služeb pro přístup k datům katastru nemovitostí (Nahlížení do KN, VDP RÚIAN, WS DP, WMS KN).

1 Technologie tvorby produktu Ortofoto ČR

1.1 Letecké měřické snímkování

V letech 2003 – 2009 bylo letecké měřické snímkování realizováno analogově ve *tříletém* intervalu – pásmo Východ, pásmo Střed a pásmo Západ (viz obr. 1), a to pořízením snímků na film v přirozených barvách a jejich následným převodem do digitální rastrové formy pomocí přesného fotogrammetrického skeneru. Ve všech případech byly použity širokoúhlé letecké měřické komory o formátu snímku 230 x 230 mm. Současně s expozicí snímků byly zaznamenány přibližné prvky jejich vnější orientace, tj. souřadnice projekčního centra snímku a tři úhlové parametry zjištěné aparaturami GNSS a IMU. Ortofoto ČR mělo v tomto období prostorové rozlišení (rozměr pixelu ortofota) 0,50 m.

S cílem zvýšit kvalitu leteckých měřických snímků a produktu Ortofoto ČR bylo letecké měřické snímkování v roce 2009 v pásmu Východ provedeno s průměrným měřítkem snímků 1 : 18 000 (pro pixel ortofota 0,25 m). V roce 2010 bylo v pásmu Střed poprvé provedeno snímkování **digitálními leteckými kamerami** UltraCamX, respektive UltraCamXp, které pokračovalo i v roce 2011 v pásmu Západ. V roce 2011 tak bylo dokončeno letecké měřické snímkování pro Ortofoto ČR s pixelem 0,25 m z celého území České republiky.



Obr. 1 Harmonogram leteckého měřického snímkování v letech 2003 až 2011

Vzhledem ke stále častějším požadavkům na maximální aktuálnost obrazových dat je, počínaje rokem 2012, realizován *dvouletý* interval *digitálního* leteckého měřického snímkování a následné tvorby produktu Ortofoto ČR (viz obr. 2) a počínaje rokem 2016 zvýšeno prostorové rozlišení Ortofota ČR na 0,20 cm.

1.1.1 Plánování leteckého měřického snímkování

Parametry leteckého měřického snímkování byly odvozovány od použitého způsobu snímkování a výsledného rozměru pixelu Ortofota ČR, do nějž byly převzorkovány ortogonalizované digitální snímky v rastrové formě (viz tabulku 1). V současné době jsou parametry leteckých měřických snímků (l.m.s.) voleny jednak s ohledem na jejich využití k tvorbě Ortofota ČR s velikostí pixelu 0,20 m, ale i s předpokladem využití snímků ke stereofotogrammetrickému vyhodnocování výškopisu, 3D modelů území a dalších aplikací v ZABAGED® a katastru nemovitostí. Stanovené parametry snímků umožňují provádět stereofotogrammetrické určení bodů s přesností odpovídající kódu kvality 3 - 4 dle vyhlášky ČÚZK č. 357/2013 Sb., katastrální vyhláška, ve znění vyhlášky č. 87/2017 Sb.

Tabulka 1

Období	Způsob leteckého snímkování a získání rastrové formy	Průměrné měřítko snímků	Průměrný rozměr rastru l.m.s (rozměr pixelu ortofota)
2003-2008	analogové na barevný film + skenování do rastrové formy	1 : 23 000	0,46 – 0,48 m (0,50 m)
2009	analogové na barevný film + skenování do rastrové formy	1 : 18 000	0,27 m (0,25 m)
2010-2012	digitální (PAN, R, G, B) přímý rastrový záznam – UC XP	1 : 34 000	0,19 – 0,25 m (0,25 m)
2014	digitální (PAN, R, G, B, NIR) přímý rastrový záznam – UC XP, UC-E	1 : 38 000	0,19 – 0,25 m (0,25 m)
2016-2017	digitální (PAN, R, G, B, NIR) přímý rastrový záznam – UC XP, UC-E	1 : 31 000	0,16 – 0,20 m (0,20 m)
2018	digitální (PAN, R, G, B, NIR) přímý rastrový záznam – UC-EP	1 : 31 000	0,14 m (0,20 m)

V období 2003-2011 byly zadavatelem požadovány tyto parametry leteckého měřického snímkování:

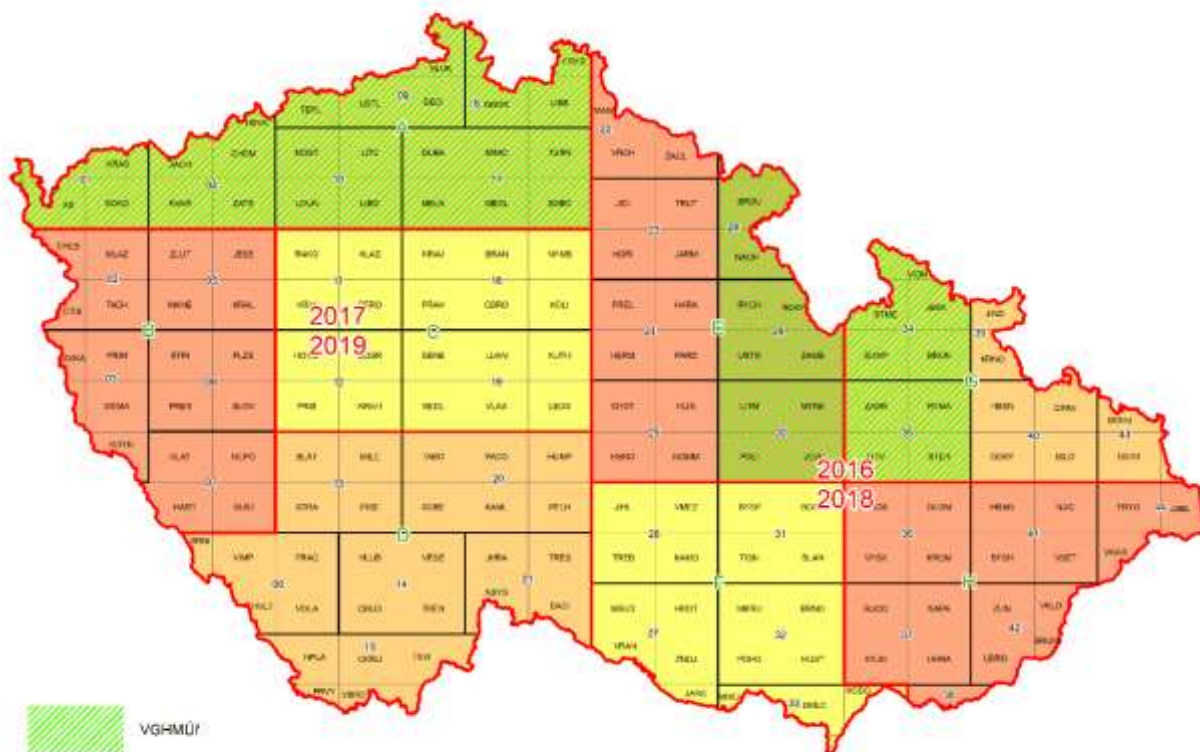
- předepsaný počet snímkových řad v bloku o šířce (ve směru S-J) 40 km,
- podélný překryt snímků 60 % (minimálně 56 %, maximálně 70 %),
- příčný překryt snímků 25 % (minimálně 20 %, maximálně 35 %),
- úhly podélného a příčného sklonu snímků nesmějí přesahovat 3° v 95 % případech a 4,5° ve zbývajících případech,
- úhel stočení snímku vůči ose Y nesmí přesahovat 5° v 95 % případech a 7° ve zbývajících případech,
- geodetické souřadnice X, Y, H středu projekce v okamžiku expozice snímku musí být určeny palubní aparaturou GNSS se středními chybami do 0,30 m,
- prvky vnější orientace snímku – podélného a příčného sklonu musí být určeny se střední chybou maximálně 0,02° a stočení snímků se střední chybou 0,035° ,
- snímkování musí být provedeno za bezoblačného počasí, při výšce Slunce alespoň 30° nad horizontem,
- k bezpečnému rozlišení způsobu obdělávání a využití zemědělské půdy nelze snímkovat před 15. květnem.

Od roku 2012 se změnil postup plánování leteckého měřického snímkování celého státního území tak, že bylo pro realizaci leteckého měřického snímkování s ohledem na výškové poměry snímkaného terénu definováno 44 snímkovacích bloků. Současně bylo území ČR rozděleno na „Pásmo Východ“ a „Pásmo Západ“ s cílem realizovat snímkování ve dvouleté periodě (viz obr. 2).

Zadavatelem byly poprvé definovány *prostorové polohy projekčních center* všech snímků, a to s tolerancemi:

- menšími než 100 m od plánované souřadnice X a Y projekčních center,
- menší než 50 m od plánované absolutní (nadmořské) výšky H projekčních center.

Smyslem těchto opatření bylo dosažení stejné prostorové polohy snímků i v příštích periodách snímkování nebo při opakování nepoužitelných snímků, což vede ke stejnému vzhledu a poloze objektů vůči středům snímků a usnadňuje multitemporální analýzu proměn krajiny a zvýšení věrohodnosti leteckých měřických snímků a Ortofota ČR.



Obr. 2 Harmonogram a bloky snímkování v letech 2016 až 2019

Dříve aplikované parametry byly upřesněny v položkách:

- podélný překryt snímků musí být větší než 55 %,
- příčný překryt snímků musí být větší než 20 %,
- úhly podélného a příčného sklonu snímků musí být menší než 3°,
- úhel stočení snímku vůči ose Y (S-JTSK) musí být menší než 5°,
- viditelnost (interpretabilita) signálů výchozích vlíčovacích a kontrolních bodů musí být alespoň 90 % jejich počtu v bloku,
- celková plocha oblačnosti na snímcích nesmí překročit 0,01 % plochy bloku,
- celková plocha stínů způsobených oblačností nesmí překročit 0,02 % plochy bloku.

Pro období od roku 2017 byly výše uvedené parametry upřesněny v těchto položkách:

- velikost pixelu PAN senzoru digitální měřické kamery nesmí být větší než 6 μm ,
- ohnisková vzdálenost PAN senzoru nesmí být menší než 85 mm a větší než 115 mm,
- radiometrická rozlišovací úroveň senzoru musí být min. 12 bitů,

- frekvence měření aparaturou GNSS musí být minimálně 1 Hz,
- frekvence měření aparaturou IMU musí být minimálně 200 Hz,
- termín leteckého měřického snímkování musí být od 25. 4. do 15. 7. každého roku,
- oblačnost a stíny od mraků musí být 0 % plochy snímku,
- sněhová pokrývka, záplavy musí být 0 % plochy snímku,
- dohlednost musí být minimálně 10 km,
- úplná střední chyba určení souřadnic Y, X, H projekčních center snímků zjištěných aparaturou GNSS musí být menší než 0,3 – 0,2 – 0,2 m,
- úplná střední chyba určení úhlových prvků vnější orientace snímků φ , ω , κ musí být menší než $0,02^\circ$ – $0,02^\circ$ – $0,035^\circ$.

Při nedodržení uvedených parametrů je vyžadováno opakování snímkování, případně (vzhledem k nepříznivému počasí) jsou nárokovány slevy snímků. Uvedené parametry podélného a příčného překrytu jsou definovány jako minimální s ohledem na členitost (výškové rozdíly) terénu. Plánované prostorové polohy projekčních center však zajišťují zpravidla větší překryty snímků, což umožňuje jednak jejich efektivnější použití při stereofotogrammetrickém vyhodnocení a jednak při tvorbě ortofot vyuzívat části snímků s menším zorným úhlem snímkování, což se pozitivně projevuje ve zmenšeném náklonu výškových objektů na výsledném ortofotu a tím i zmenšením „zakrytových“ míst.

1.1.2 Přednáletová signalizace výchozích vlíčovacích bodů pro aerotriangulaci a výběr kontrolních bodů

Dosáhnout vysoké absolutní polohové přesnosti Ortofota ČR vzhledem k souřadnicovému referenčnímu systému S-JTSK umožňuje způsob výběru a hustoty výchozích vlíčovacích bodů pro digitální automatickou aerotriangulaci (AAT), která poskytuje nejpravděpodobnější *prvky vnější orientace* všech snímků pro jejich ortogonalizaci do formy digitálního ortofota i pro následné využití snímků ve stereofotogrammetrii.

Za *výchozí vlíčovací body* pro AAT byly a jsou vybírány převážně vhodně situované trigonometrické a zhušťovací body, jejichž polohové souřadnice v S-JTSK jsou známy s vysokou přesností (střední souřadnicová chyba $m_{xy} = 0,02$ m) a nadmořské výšky ve Výškovém systému baltském po vyrovnání (Bpv), kde $m_H = 0,10$ m. K zajištění optimální přesnosti a stability modelů se osvědčuje průměrný počet **2,7 výchozích vlíčovacích bodů / 100 km²**, a to jak v případě dřívějšího analogového snímkování, tak při současném digitálním snímkování. Pro spolehlivé zjištění přesnosti transformace bloku snímků do S-JTSK se osvědčil počet kontrolních bodů alespoň 10 % z počtu výchozích vlíčovacích bodů, zvolených v „prázdných prostorech“ mezi výchozími vlíčovacími body a zjištěných se stejnou přesností, ale nepoužitých jako výchozí vlíčovací body pro AAT.

Od roku 2012 také nastala změna v tom, že rozložení vlíčovacích a kontrolních bodů v blocích projektuje ZÚ - Zeměměřický odbor Pardubice vlastními kapacitami, ale vlastní provedení přednáletové signalizace a její údržbu zajišťují firmy, které zvítězily ve veřejné soutěži na letecké měřické snímkování. Způsob přednáletové signalizace je vždy popsán v příloze k zadávací dokumentaci (viz Přílohu 1). V roce 2012 byla také ověřena metoda používání tzv. *zajišťovacích vlíčovacích bodů* zaměřených metodou GNSS na zpevněných plochách komunikací a veřejných prostranstvích v blízkosti použitých trigonometrických nebo zhušťovacích bodů. Tím je zajištěna optimální viditelnost a zmenšení ztrát signálů v důsledku jejich poškození, zakrytí vozidlem nebo znehodnocení signalizace vzrostlou vegetací. Stejným

postupem jsou získány *kontrolní body*, které jsou následně používány k ověření přesnosti Ortofota ČR. Profesionální preciznost při volbě, signalizaci a údržbě vlíčovacích bodů zajišťuje vysokou geometrickou kvalitu Ortofota ČR.

1.2 Výpočet prvků vnější orientace leteckých měřických snímků digitální AAT

Jednoroční objem leteckých měřických snímků, pokrývajících přibližně 1/3 státního území v letech 2003-2011 a od roku 2012 přibližně 1/2 státního území, je dále zpracováván ve dvou zpracovatelských centrech, tj. ve Vojenském geografickém a hydrometeorologickém úřadu v Dobrušce (VGHMÚř) cca 1/4 objemu a v Zeměměřickém úřadu (ZÚ) cca 3/4 objemu.

Vstupními daty jsou:

- digitální (dříve digitalizované) letecké měřické snímky pokrývající příslušný blok,
- seznam přibližných hodnot prvků vnější orientace snímků naměřených palubními aparaturami GNSS/IMU za letu a transformovaných do referenčního souřadnicového a výškového systému použitého v dalších výpočtech,
- seznam souřadnic a výšek výchozích vlíčovacích a kontrolních bodů vyskytujících se v příslušném bloku a na leteckých měřických snímcích,
- údaje o distorzi obrazového záznamu pro použitou (od roku 2010 již výhradně digitální) kameru.

Výpočty AAT jsou prováděny na fotogrammetrických pracovních stanicích v obou zpracovatelských centrech, a to s využitím programů MATCH-AT verze 8.0.1 (ve VGHMÚř), nebo verze 8.0.7 (v ZÚ). Protokol výpočtu AAT poskytuje následující údaje:

- počet automaticky vyhledaných a zaměřených spojovacích bodů na jednotlivých snímcích,
- celkový počet spojovacích bodů v bloku mezi dvěma, třemi až šesti sousedními snímky v řadě a mezi řadami,
- přehled dosažených středních chyb a maximálních odchylek v souboru spojovacích bodů, vlíčovacích bodů, kontrolních bodů, a středních chyb vypočtených prvků vnější orientace,
- seznam bodů, ve kterých byly významně překročeny apriorní hodnoty směrodatných odchylek (tyto body jsou následně z výpočtu AAT vyloučeny),
- výsledný seznam středů promítání všech snímků s uvedením polohových souřadnic v souřadnicovém systému S-JTSK/Krovak East North, kde $E = -Y$ (S-JTSK), $N = -X$ (S-JTSK), výšek v systému Bpv a úhlových prvků vnější orientace každého snímku (ω , φ , κ).

Dosažené parametry digitální AAT pro tvorbu Ortofota ČR jsou každoročně systematicky analyzovány. Pro vlastní produkt i zájmy jeho uživatelů jsou důležité zejména střední hodnoty zbytkových chyb na výchozích vlíčovacích bodech a na kontrolních bodech (viz tabulku 3). Údaje v obou tabulkách také ukazují, že s rozvojem technologie leteckého měřického snímkování došlo k výraznému zmenšení polohových chyb. Uvedené údaje jsou vysoce reprezentativní, neboť pokrývají celé území ČR (2007 a 2010 – pásmo Střed, 2009 – pásmo Východ, 2011 – pásmo Západ a od roku 2012 střídavě Východní/Západní polovinu ČR), přičemž počet výchozích vlíčovacích bodů v každém pásmu byl 650 – 700 (do roku 2011) a kolem 1000 v každé polovině ČR od roku 2012. Některé výchozí vlíčovací body, které jsou situovány v blízkosti hranic sousedních bloků, jsou využity vícenásobně.

Tabulka 2

Letecké měřické snímkování		Rozměr pixelu na zemi (m)	Rozměr pixelu na snímku (μm)	Střední hodnoty zbytkových chyb na výchozích vřícovacích bodech		
rok	druh			m_X [m]	m_Y [m]	m_H [m]
2007	analogové (film) + skenování (17 bloků)	0,50	21	0,267	0,260	0,342
2009	analogové (film) + skenování (17 bloků)	0,25	15	0,134	0,149	0,263
2010	digitální (17 bloků)	0,25	6	0,113	0,100	0,200
2018	digitální (23 bloků)	0,20	4 až 6	0,045	0,041	0,155

Od roku 2011 jsou v každém bloku AAT voleny *kontrolní body*, které nevstupují do výpočtu AAT a poskytují tak důležitý údaj o absolutní polohové přesnosti vzhledem k souřadnicovému referenčnímu systému S-JTSK uvnitř celého bloku (viz tabulku 3).

Tabulka 3

Rok LMS	Střední hodnoty zbytkových chyb na výchozích vřícovacích bodech				Počet kontrolních bodů n	Střední hodnoty zbytkových chyb na kontrolních bodech		
	počet bloků	m_X AAT [m]	m_Y AAT [m]	m_H AAT [m]		m_X [m]	m_Y [m]	m_H [m]
2010	17	0,113	0,100	0,200	0	-	-	-
2011	17	0,089	0,080	0,216	50	0,111	0,104	0,268
2018	23	0,045	0,041	0,155	463	0,126	0,122	0,192

1.3 Ortogonalizace leteckých měřických snímků

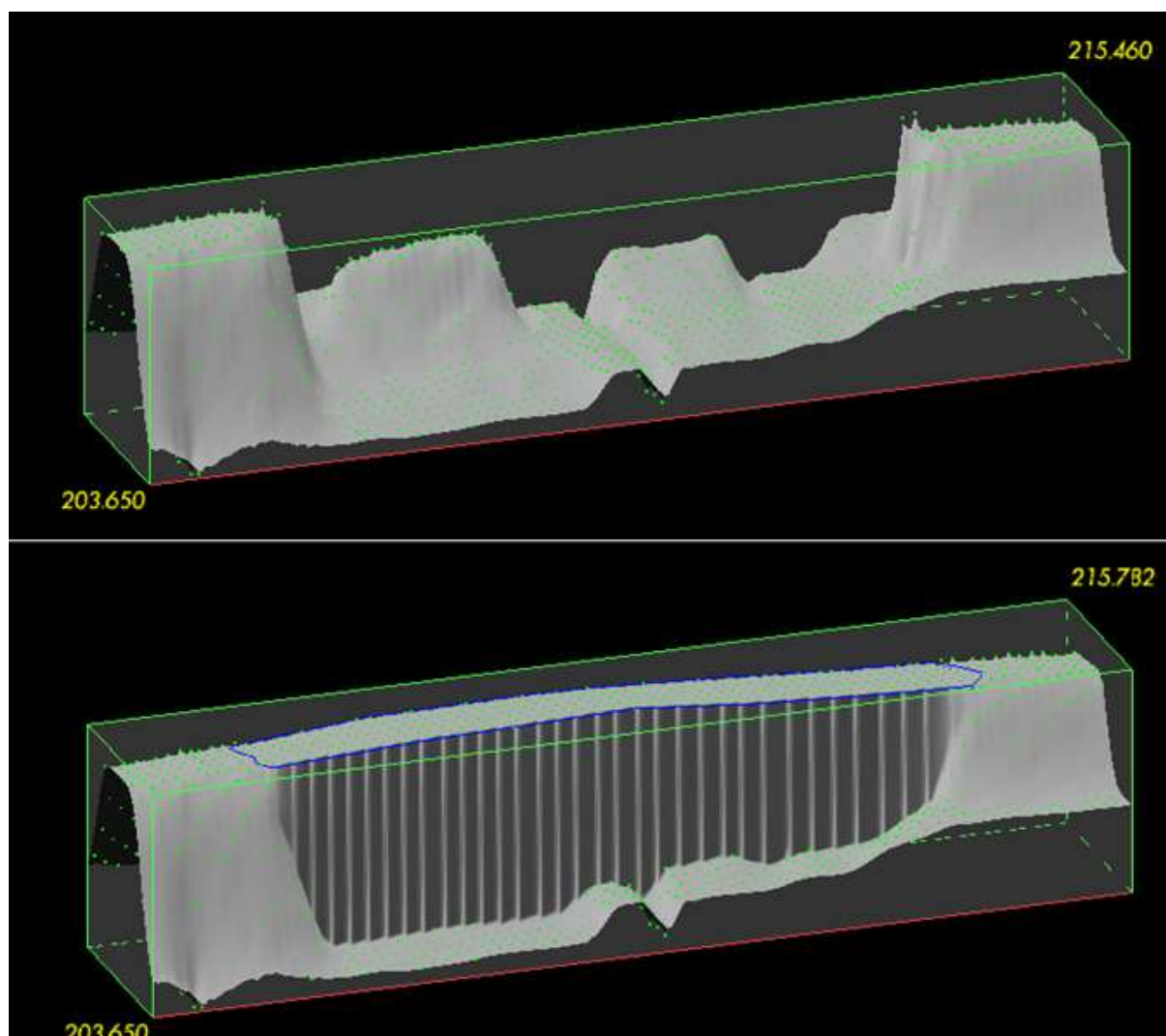
Účelem této operace je odstranit nežádoucí radiální posuny obrazu objektů a terénu vzniklé perspektivním zobrazením (centrální projekcí) objektů a území s jinou nadmořskou výškou, než má fiktivní srovnávací rovina. Technologický postup dobře ilustruje dříve používaný název – diferenciální překreslení.

Digitální letecký měřický snímek je složen z obrazových prvků (pixelů). Ke každému z nich je zjištěna výška zobrazeného území nad srovnávací rovinou, která se odvozuje z digitálního modelu reliéfu (DMR) a následně je vypočítána jeho nová poloha v rastru s ohledem na výšku zobrazeného území. V rámci tvorby produktu Ortofoto ČR byl do doby vzniku DMR 4G (2010 - 2013) používán rastrový model (20 x 20 m v odvozený z DMR ZABAGED® – zdokonalený výškopis (viz tabulku 4).

Tabulka 4

Typ digitálního modelu reliéfu	Odvozen z	Rozsah pokrytí území ČR
DMR odvozený ze ZABAGED® – zdokonalený výškopis (mříž 20 x 20 m)	digitalizovaných vrstevnic ZM ČR 1 : 10 000	100 % do roku 2013
DMR 4G (mříž 5 x 5 m)	dat leteckého laserového skenování 2010-13	100 % od roku 2014

V průběhu přechodu na využívání DMR 4G byl DMR 4G pro potřeby tvorby Ortofota ČR doplňován o 3D polygony představující povrch mostů vedoucích nad níže ležícími územními prvky (vodním tokem, železnicí, silnicí apod.) – viz obr. 3. Díky takto upravenému DMR jsou na Ortofotu ČR v zásadě odstraněny polohové vady ortofotografického zobrazení v blízkosti víceúrovňových povrchů. V této souvislosti také došlo k zásadnímu snížení retuší obrazu ortofotografického zobrazení a tím i ke zvýšení věrohodnosti výsledného Ortofota ČR.



Obr. 3 Model pásu terénu pod mostem doplněný o polygon povrchu mostovky

Ortogonalizace leteckého měřického snímku probíhá při použití programu ORTHO MASTER zcela automatizovaně a následuje zpravidla ihned po výpočtu AAT (viz oddíl 1. 2). Vstupními daty jsou:

- prvky vnitřní orientace použité letecké měřické kamery,
- prvky vnější orientace všech použitých snímků (výsledek výpočtu AAT),
- zvolený digitální model reliéfu v rozsahu ortogonalizovaného bloku snímků,
- definice zájmového území ortogonalizace formou uzavřeného polygonu (např. 100 metrů za státní hranici, vymezení překrytů mezi sousedními bloky),
- nastavené parametry pro ortogonalizaci sousedních snímků (procento vzájemného překrytu, řez od okraje snímků), rozměr pixelu v úrovni srovnávací roviny 0, 20 m.

Výsledné jednotlivé digitální barevné ortofotosnímky jsou *georeferencovány*, tzn., že poloha každého pixelu je definována souřadnicemi (Y, X, resp. E, N) v použitém souřadnicovém referenčním systému.

1.4 Mozaikování, radiometrické úpravy a rozdělení bezešvého ortofota do kladu SM 5

Cílem této etapy zpracování je spojit jednotlivé ortofotosnímky do zdánlivě bezešvého ortofota, zajistit radiometrické vyrovnání obrazu na stycích ortofotosnímků a následně rozdělit bezešvé ortofoto do jednotlivých ukládacích jednotek v kladu Státní mapy 1 : 5000 (SM 5). K výše uvedeným úpravám produktu Ortofota ČR se používá zejména software ORTHOVISTA verze 8.0.7., zčásti jsou nutné manuální zásahy operátora.

Automaticky se definují švy mezi sousedními ortogonalizovanými snímky v prostoru jejich podélného či příčného překrytu po zadání parametrů charakterizujících druh zobrazeného území (intravilán, extravilán, smíšený druh území) a míru ostrosti (prolínání sousedních obrazových záznamů). Od roku 2018 jsou do procesu automatického generování švů zahrnuty polygony budov s přesahem 5 m, díky čemuž bylo dosaženo lepších výsledků v intravilánu (švy se vyhýbají budovám).

Manuálně se provádí první etapa barevného vyrovnání mezi snímky pocházejícími z různých snímkových letů v rámci jednotlivých bloků a mezi bloky navzájem, zejména pokud byly pořízeny v časovém odstupu několika týdnů až měsíců – při změně vzrůstu a zralosti vegetace, při výrazné změně výšky Slunce nad obzorem, při místním zastínění území stíny způsobenými vysokou oblačností, při opakovaném snímkování částí zastíněnými lokálními mraky v době původního snímkování apod.

Následuje automatické barevné vyrovnání celých oblastí resp. celého pásma snímkovaného v příslušném roce (Global Tilting Adjustment).

Další etapou je automatické „rozřezání“ bezešvého ortofota do kladu listů SM 5 po zadání souboru souřadnic rohů mapových listů. Produkt je automaticky ořezáván ve vzdálenosti 100 m vně státní hranice.

Následuje vizuální kontrola ortofotografického zobrazení objektů na švech mezi sousedními ortogonalizovanými snímky s cílem odstranit deformace obrazů objektů (zejména budov a komunikací) v důsledku odlišné prostorové polohy letecké měřické kamery v okamžiku pořízení sousedních snímků. Náprava se děje lokální změnou průběhu švu mimo takové objekty

v prostředí software ORTHOVISTA SE (Seam Editor). V prostorech změn je následně obraz ortofota přepočítán.

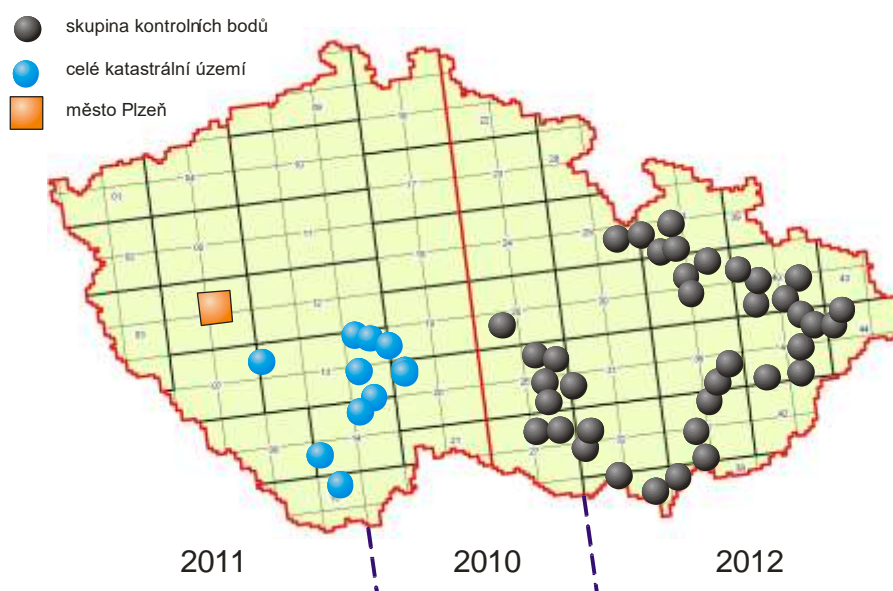
Výsledný grafický soubor ortofota pokrývá území 2,5 x 2 km, které je zobrazeno obrazovým rastrem 12 500 x 10 000 pixelů. Ortofoto je produkováno v bezztrátovém formátu TIFF. Důležitou informací je, že umístovací soubor (viz oddíl 3) *.tfw je od roku 2016 vztažen k “severozápadnímu“ rohu prostoru, a to ke středu prvního pixelu o rozměru 0,20 m.

1.5 Výstupní kontrola a retuše

Poslední a velmi významnou etapou zpracování Ortofota ČR je výstupní kontrola a retuše drobných vad obrazu. Jedná se o interaktivní práci, kdy operátorky/operátoři otvírají jednotlivé soubory ortofot a kontrolují bezchybné uložení dat a pohledově kvalitu obrazu. Při této činnosti současně interaktivním způsobem s využitím softwaru PhotoShop retušují drobné vady obrazu ortofota.

2 Parametry přesnosti produktu Ortofoto ČR

Absolutní polohová přesnost produktu Ortofoto ČR je systematicky ověřována, zejména po přechodu na rozměr pixelu na zemi 0,25 m v roce 2009 a 0,20 m v roce 2016, a přechodu na digitální letecké měřické snímkování v roce 2010. Sledování více parametrů přesnosti leteckých měřických snímků, výsledků digitální automatické aerotriangulace i finálního produktu je prováděno hlavně v Zeměměřickém odboru Pardubice. Postupně se zvyšuje množství kontrolních bodů, které vstupují do hodnocení přesnosti Ortofota ČR. Rozsah ověřovacích zkoušek v letech 2010 až 2012 je znázorněn na obr. 4.



Obr. 4 Ověření přesnosti produktu Ortofoto ČR v letech 2010–2012

Parametry přesnosti Ortofota ČR vyhotoveného v letech 2010 a 2011 v pásmu Střed a pásmu Západ byly poprvé ověřeny na 10 katastrálních územích v Jihočeském kraji, kde kontrolní body byly zaměřeny v rámci mapování pro účely komplexních pozemkových úprav technologií GNSS – metodou RTK se střední souřadnicovou chybou $m_{XY} = 0,04$ m. Výsledky hodnocení jsou uvedeny v tabulce 5.

Tabulka 5

Katastrální území (okres)	Rok LMS	počet bodů	c_Y [m]	c_X [m]	m_Y [m]	m_X [m]	m_p [m]	ΔY_{max} [m]	ΔX_{max} [m]
Horusice (TA)	2010	27	- 0,07	0,03	0,14	0,18	0,23	- 0,32	- 0,37
Libějice (TA)		37	0,06	0,02	0,14	0,09	0,17	0,55	0,28
Pořín (TA)		23	0,11	- 0,09	0,19	0,19	0,27	0,43	0,44
Nemyšl (TA)		25	0,05	- 0,12	0,12	0,18	0,22	0,34	- 0,45
Prudice (TA)		17	0,04	- 0,11	0,12	0,17	0,21	0,24	- 0,40
Řípec (TA)		30	0,07	0,08	0,15	0,20	0,25	0,29	0,60
Sudoměřice (TA)		21	0,03	- 0,03	0,10	0,13	0,16	0,26	- 0,36
Rojšín (CK)	2011	19	- 0,13	0,04	0,19	0,14	0,24	- 0,35	0,35
Tchořovice (ST)		19	0,16	- 0,08	0,24	0,50	0,55	0,79	1,81
Střítež (CK)		22	0,09	- 0,09	0,20	0,16	0,26	0,68	- 0,36
		240	průměrné hodnoty		0,16	0,21	0,256 m = 1,02 pixelu (0,25 m)		

Použité druhy kontrolních bodů na ortofotu:

- ▶ pata sloupu elektrického vedení
- ▶ roh budovy v úrovni terénu
- ▶ roh překladu mostku nebo výpusti rybníka
- ▶ střed studny nebo skruže meliorační šachty
- ▶ roh plotu, zdi nebo podezdívky v úrovni terénu

Pro rozsáhlé zkoušky Ortofota ČR, vyhotoveného v roce 2012 ve východní polovině ČR, byly Zeměměřickým odborem Pardubice zaměřeny skupiny kontrolních bodů na zpevněných plochách hlavních silnic, k jejichž přesné signalizaci a identifikaci na snímcích posloužilo vodorovné dopravní značení (konce rozhraní parkovacích míst, hrany “zeber” a průsečíky čar ve tvaru X nebo T, a to technologií GNSS – metodou RTK se střední souřadnicovou chybou $m_{XY} = 0,04$ m. Dosažené výsledky uvedené v tabulce 7 v zásadě potvrzují závěry hodnocení uvedené v tabulce 5.

Tabulka 6

Zdroj / druh zkoušky přesnosti	operátor	počet bodů	c_Y [m]	c_X [m]	m_Y [m]	m_X [m]	m_p [m]
Ortogonalizované l.m.s. před mozaikováním Ortofota ČR	Ka.	92	0,033	0,046	0,181	0,214	0,280
ORTOFOTO ČR 2012	Šv.	90	0,02	- 0,04	0,229	0,269	0,353
ORTOFOTO ČR 2012	Ka.	91	0,04	- 0,05	0,195	0,232	0,303
Rozdíly v odečtení souřadnic dvěma operátory	Ka. / Šv.	90	- 0,02	0,01	0,102	0,104	

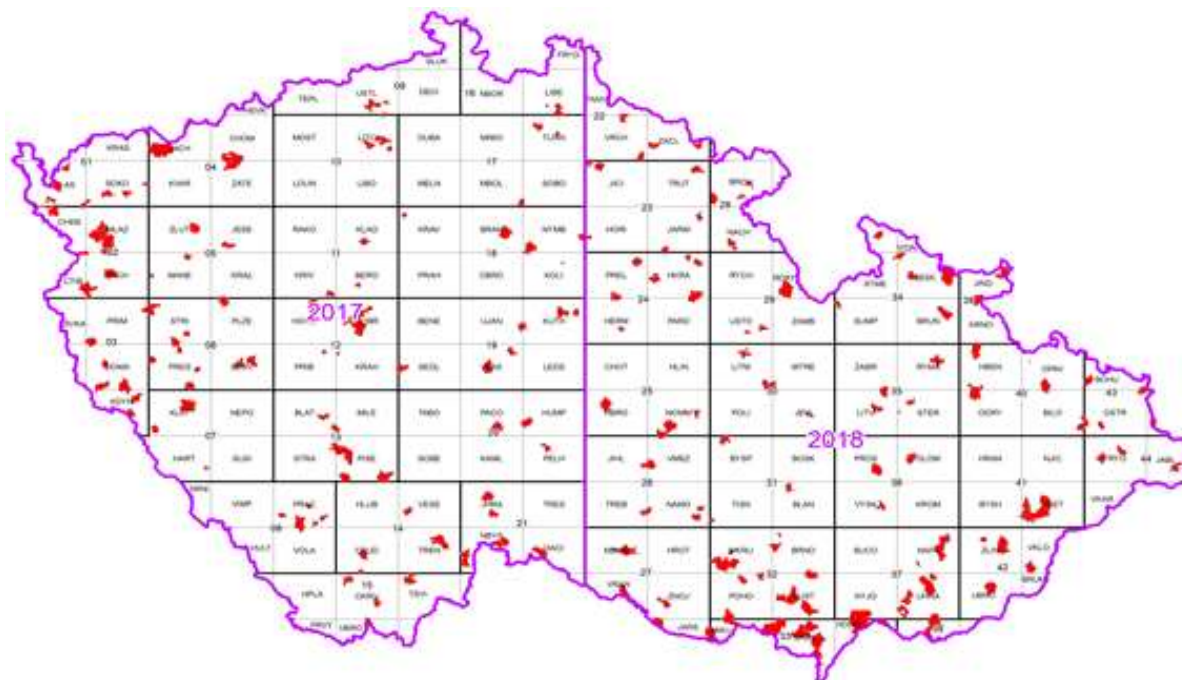
Použité druhy kontrolních bodů na ortofotu:

- ▶ konec vymežující čáry parkovacích míst na parkovišti
- ▶ roh vodorovného značení přechodu na vozovce (zebra)
- ▶ průsečík čar vodorovného značení na vozovce (typu X, T).

Z údajů shromážděných v tabulkách 5 a 6 vyplynuly tyto závěry o absolutní polohové přesnosti produktu Ortofota ČR vyhotoveného z ortogonalizovaných digitálních leteckých měřických snímků počínaje rokem 2010:

- Díky transformaci bloků AAT (přímo na signalizované trigonometrické a zhušťovací body) je standardně dosahováno absolutní polohové přesnosti Ortofota ČR vyjádřené střední polohovou chybou menší než $m_p = 0,30$ m, pokud jsou zvoleny podrobné body typů uvedených v poznámkách k tabulkám 5 a 6.
- Využitím přesného digitálního modelu reliéfu (DMR 4G) při ortogonalizaci leteckých měřických snímků dochází ke zvýšení absolutní i relativní (vnitřní) polohové přesnosti Ortofota ČR, zejména ve výškově členitých územích a Ortofota ČR se tak stává aktuálním a homogenním polohopisným (mapovým) podkladem pro řadu náročných aplikací v rozsahu celého státního území.

Tyto závěry se potvrdily rozsáhlým plošným ověřením absolutní polohové přesnosti Ortofota ČR z let 2017 (Pásmo Západ) a 2018 (Pásmo Východ), provedeným Zeměměřickým úřadem podle jednotné metodiky, založené na volbě alespoň 4 katastrálních území v každém z 21 bloků v Pásmu Západ a 22 bloků v Pásmu Východ, kde byla zaručena přesnost kódem kvality KK=3 ($m_{xy} = 0,14$ m) podrobných bodů vybraných z databáze podrobných bodů digitálních katastrálních map. Převážně šlo o rohy budov v úrovni terénu a v extravilánu též o paty jednoduchých sloupů VN (22-35 kV) zaměřených pro potřeby komplexní pozemkové úpravy. Použita byla pouze data z nového katastrálního mapování, mapování dle Instrukce A po přepočtu originálních zápisníků měření, THM-V 1: 1000 a ZMVM 1:1000 a 1:2000 zaměřených geodetickými metodami nebo výsledky geodetického měření pro komplexní pozemkové úpravy. Lokalizace vybraných katastrálních území po celé ČR je znázorněna na obrázku 5.



Obr. 5 Katastrální území s kontrolními body pro ověření absolutní polohové přesnosti Ortofota ČR 2017 a 2018

Souhrnné výsledky ověření absolutní přesnosti Ortofota ČR 2017 a 2018 uvádí tabulka 7 a zjištěné hodnoty systematických, středních a maximálních chyb v jednotlivých blocích ilustrují Přílohy 3 a 4.

Tabulka 7

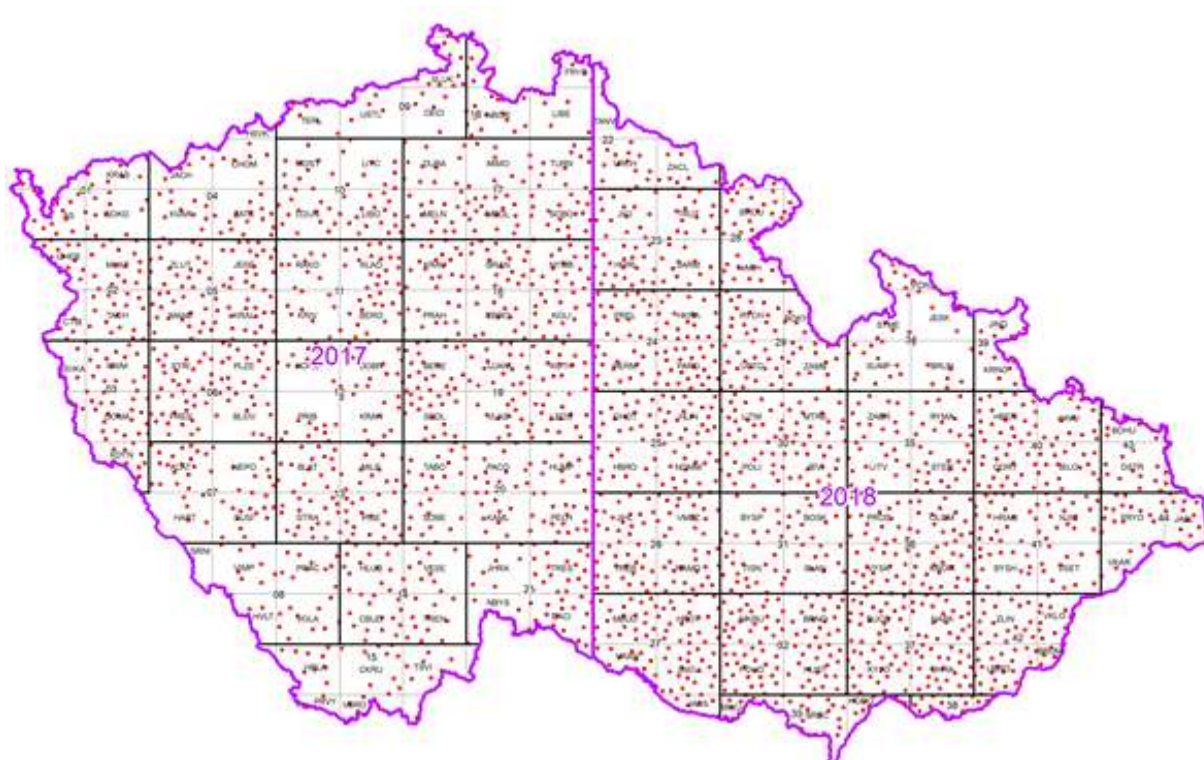
Druh bodů	Rok	Počet bodů	m_Y (m)	m_X (m)	m_p (m)
Všechny pevné body	2017	1956	0,091	0,096	0,132
	2018	1615	0,093	0,067	0,115
Výchozí vlíčovací body	2017	1269	0,059	0,062	0,086
	2018	1152	0,045	0,041	0,061
Kontrolní body	2017	777	0,123	0,161	0,203
	2018	463	0,126	0,122	0,176

Zeměměřický odbor Pardubice prováděl ještě další alternativní kontrolu absolutní polohové přesnosti Ortofota ČR v letech 2014 – 2018, a to porovnáním polohy trigonometrických bodů opatřených ochrannými skružemi s nabíleným vrchním okrajem, které byly na Ortofotu ČR identifikovatelné, s jejich geodetickými souřadnicemi z Databáze bodových polí ZÚ. Na celé ploše ČR v letech 2016 a 2017 bylo ověřeno 2283 trigonometrických bodů (viz obr. 6).

Zjištěné střední polohové chyby (viz tabulku 8) potvrzují, že střední polohová chyba Ortofota ČR na dobře identifikovatelných bodech v úrovni terénu je od roku 2014 bezpečně menší než 0,30 m a v posledních dvou letech směřuje k hodnotě 0,20 m.

Tabulka 8

Rok	Počet kontrolních bodů	Rozměr pixelu Ortofota ČR [m]	m_p (m)
2014	1037	0,25	0,266
2015	998		0,280
2016	1261	0,20	0,233
2017	1022		0,218
2018	1266		0,233



Obr. 6 Trigonometrické body opatřené skružemi identifikované na Ortofotu ČR

3 Struktura dat a datové konvence

Souběžně se zpracováním Ortofota ČR probíhá archivace dat a metadat jednotlivých leteckých měřických snímků. Pro archivaci obrazových dat byl zvolen bezztrátový formát JPEG2000. Metadata jsou ukládána v relační prostorové databázi Oracle, kalibrační protokoly měřických kamer ve formátu pdf. Spolu s kompresí snímků probíhá i přejmenování snímků tak, aby jméno bylo unikátní.

Po dokončení prací na Ortofotu ČR dochází ke kompresi a přejmenování výsledných dlaždic ortofota. Při distribuci leteckých měřických snímků a ortofota jsou data dekomprimována do formátu TIFF nebo JPEG. U leteckých měřických snímků dochází ke snížení bitové hloubky na 8 Bit. Standardní produkt je primárně distribuován v souřadnicovém referenčním systému S-JTSK/*Krovak East North* (EPSG: 5514), tj. $E = -Y_{(S-JTSK)}$, $N = -X_{(S-JTSK)}$ v kladu listů Státní mapy 1 : 5000. Pro jeho převod do souřadnicových referenčních systémů S-JTSK (EPSG:5513), WGS84/UTM 33N (EPSG: 32633) jsou poskytovány umístovací soubory vztažené k příslušnému souřadnicovému referenčnímu systému. Pro výdej dat v souřadnicovém referenčním systému ETRS89-TM33 (EPSG: 3045) nebo ETRS89-TM33 (EPSG: 3046) jsou data převzorkována a rozřezána do kladu 1 x 1 resp. 1 x 2 úhlové minuty.

Datové soubory LMS jsou pojmenovány:

PPPPHH.RRRR.MMMMLL.NNNNN.jp2, např. LMSD48.2018.PARD99.00096.jp2

kde:

PPPP – typ produktu: LMSD – Letecký měřický snímek digitální

HH – celková bitová hloubka zobrazení

RRRR – rok snímkování

MMMM – název SM 50

LL – číslo listu SM 5 v rámci SM 50
NNNNN – pětímístné číslo, které je unikátní v rámci bloku.

Při poskytování dat z většího území jsou soubory uloženy do adresářů po skupinách v rámci jednoho mapového listu SM 50, kdy sekvence adresářů má strukturu:

PPPPHH\RRRR\MMMM, přičemž význam jednotlivých položek je obdobný.

Datové soubory Ortofota jsou pojmenovány takto:

PPPPHH.RRRR.MMMMLL.tif, např. ORTO24.2012.PARD99.jp2

Umisťovací soubory Ortofota jsou pojmenovány takto:

PPPPHH.RRRR.MMMMLL.tfw, např. ORTO24.2012.PARD99.j2w

kde:

PPPP – typ produktu: ORTO – ortofoto

HH – celková bitová hloubka zobrazení

RRRR – rok snímkování

MMMM – název SM 50

LL – číslo listu SM 5 v rámci SM 50

Při poskytování dat z většího území jsou soubory uloženy do adresářů po skupinách v rámci jednoho mapového listu SM 50, kdy sekvence adresářů má strukturu:

PPPPHH\RRRR\MMMM, přičemž význam jednotlivých položek je obdobný.

Příklad celkové struktury:

ORTO24\2012\PARD\ORTO24.2012.PARD99.jp2

ORTO24\2012\PARD\ORTO24.2012.PARD99.j2w.

4 Dostupnost produktu Ortofoto ČR

Podmínky komerčního užívání leteckých měřických snímků a Ortofota ČR jsou stanoveny v Obchodních podmínkách Zeměměřického úřadu, viz

<https://geoportal.cuzk.cz/Dokumenty/Podminky.pdf> a v Ceníku produktů a služeb

Zeměměřického úřadu, viz <https://geoportal.cuzk.cz/Dokumenty/Cenik.pdf>.

Ortofoto ČR je orgánům veřejné správy pro plnění výkonů státní správy poskytováno bezplatně.

Pro všechny uživatele bez omezení jsou k dispozici *veřejné prohlížecké služby WMS a WMTS na Geoportálu ČÚZK* (<http://geoportal.cuzk.cz/geoprohlizec>). Vedle aktuálního Ortofota ČR jsou tam zveřejněna i veškerá ortofota od roku 1998. Prohlížení archivu leteckých měřických snímků je dostupné zde: <http://lms.cuzk.cz/>.

5 Další vhodné aplikace produktu Ortofoto ČR

5.1 Aplikace, které nevyžadují zvláštní nároky na absolutní polohovou přesnost ortofota

Účelem takových aplikací je převážně *interpretace kvalitativních charakteristik* objektů a jevů na zemském povrchu a jejich změn v čase, nebo *vyšetření relativních polohových vztahů* bez návaznosti na závazný souřadnicový referenční systém (např. S-JTSK, WGS84/UTM, či ETRS89-TMZn).

Příkladem je využití barevného ortofota doplněného zákresem turistických tras a ikonami objektů souvisejících s cestovním ruchem. Zákres sítě geodetických souřadnic na elipsoidu WGS 84, kterou mohou turisté a sportovci využít k orientaci pomocí jednoduché aparatury GPS, nevyžaduje vyšší nároky na absolutní polohovou přesnost ortofota, než je dosahována obvykle použitým způsobem georeferencování. Do této skupiny aplikací náleží též projekty Národní inventarizace lesů, dokumentace historických parků a zahrad, studie vývoje krajiny, mapování výskytu klíšťat a také většina aplikací, kdy zdrojem ortofota jsou ortogonalizované obrazové záznamy (např. ke sledování rekultivace výsypek povrchových hnědouhelných lomů a k inventarizaci zdravotního stavu lesních porostů).

5.2 Aplikace, které vyžadují zvláštní nároky na absolutní polohovou přesnost ortofota

Jedním z příkladů, kdy je vyžadována garantovaná geometrická přesnost Ortofota ČR, je aplikace v katastru nemovitostí. Případy překrytí ortofota s katastrální mapou v digitální formě různého typu vyžadují dosažení co nejvyšší jeho absolutní polohové přesnosti ve vztahu k okolním bodům základního a podrobného bodového pole, měřené velikostí úplné střední polohové chyby v souřadnicovém referenčním systému, ve kterém byla katastrální mapa vyhotovena (obvykle S-JTSK).

V případě *digitální* katastrální mapy (typu DKM), charakterizované střední souřadnicovou chybou 0,14 m nebo 0,26 m, bude Ortofoto ČR téměř stejně přesné, takže může být použito *k identifikaci změn* a dosud nezobrazených objektů, tedy při *revizi katastrálního operátu*.

Jiný je případ katastrální mapy *digitalizované* (typů KMD), jejíž absolutní přesnost je i po digitalizaci vesměs sáhových map evidentně nižší (střední souřadnicová chyba kolem 1 m i více s možným výskytem systematických posunů bloků parcel). V takovém případě je Ortofoto ČR s absolutní polohovou přesností, charakterizovanou střední polohovou chybou 0,20 – 0,25 m, spolehlivější a překrytím mohou být zjištěny systematické a hrubé polohové chyby katastrálních map takto digitalizovaných a georeferencovaných do souřadnicového referenčního systému S-JTSK.

Vysoké nároky na aktuálnost a přesnost ortofot mají orgány MZe při digitalizaci a správě zemědělských půdních celků, kdy se od přesnosti ortofota odvíjí přesnost určení ploch obdělávaných pozemků a následně výše dotací zemědělcům. Nepřesné vyjádření hranic obdělávání půdy vede ke sporům mezi zemědělskými podnikateli a orgány MZe.

Ortofoto ČR s ověřenou a ve svých metadatech garantovanou absolutní polohovou přesností je spolehlivou složkou *Digitální mapy veřejné správy* (DMVS) zaručující homogenní přesnost a aktuálnost na celém území státu. Velmi často je užíváno na úrovni obcí jako kvalitní polohopisný mapový podklad pro technické mapy obcí, vytvářené v jejich vlastní působnosti.

Řada obcí používá Ortofota ČR jako mapovou vrstvu pro vedení územně analytických podkladů, studie územního rozvoje, apod.

Dalším příkladem uplatnění vyšších nároků na absolutní přesnost ortofota je jeho využití v rámci projektů komplexních pozemkových úprav (např. jako podklad pro projekt společných zařízení, rozvržení a doplnění cestní sítě a pro návrh změn druhu užívání pozemků).

6 Upozornění a doporučení pro uživatele

Při užívání Ortofota ČR je nutné mít na zřeteli, že v tomto produktu jsou s garantovanou přesností zobrazeny polohopisně správně geografické objekty a jevy *v úrovni terénu*, tedy např. „paty“ staveb, sloupů, komínů, stromů i křovin. Tyto vertikálně výrazné objekty někdy zastíňují skutečná rozhraní (hrany, hranice) jiných objektů. Dále je nutné mít na zřeteli, že takové objekty často vrhají stíny následkem jejich slunečního osvětlení, které rovněž zastíňují některá rozhraní, která jsou předmětem zájmu uživatele ortofota.

Při užívání Ortofota ČR ve vztahu ke katastru nemovitostí je vždy nutno vzít v úvahu, že tento produkt znázorňuje *skutečný stav užívání objektů a pozemků v době pořízení snímků* a vesměs ne hranice parcel popisujících vlastnictví nemovitostí.

Při užívání Ortofota ČR je také nutné vzít v úvahu, že se terén mohl v období mezi pořízením leteckých měřických snímků a vlastním užitím ortofota výrazně změnit, ať již v důsledku změn přírodních jevů nebo v důsledku lidské činnosti. Minimalizovat důsledky změn při užití Ortofota ČR v konkrétních aplikacích lze jednak důslednou rekognoskační stavu v terénu v době rozhodné pro řešení aplikační úlohy a jednak vyžádáním aktuální verze tohoto produktu. Tento častý požadavek vedl producenty Ortofota ČR ke *zkrácení periody leteckého snímkování celého území státu ze tří na dva roky*.

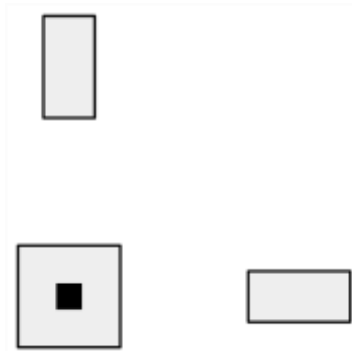
Důležitým aspektem ortofota je, že i jednotlivé soubory jsou zpravidla složeny z více ortogonalizovaných leteckých měřických snímků. Aktuálnost i jednotlivého ortofota není tedy vztažena k jedinému datu a času snímkování. Při aplikacích, kdy je čas pořízení významný, např. v soudních řízeních, je nutné vyžádat od Zeměměřického úřadu tzv. švy, které vymezují oblasti zobrazené na jednotlivých snímcích a ke kterým lze získat přesné datum a čas pořízení snímku, respektive oblastí ortofota.

Zpracovatelé Ortofota ČR jsou si vědomi, že i přes důslednou kontrolu produktu, se v něm mohou ojediněle objevit lokální vady vzhledu i geometrie obrazu. Za vadu však nelze považovat např. výskyt stínů nebo lokální vliv oblačnosti na barevnost a hustotu obrazu, protože tyto jevy jsou přirozené a zpravidla je nelze opravit jinak než novým snímkováním území v dalších letech.

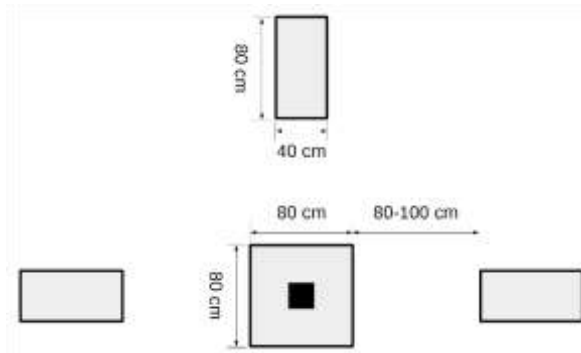
V případě nalezení důvodných chyb v datech Ortofota ČR zašlete laskavě informaci o chybě do Zeměměřického úřadu. Pro ohlášení použijte aplikaci “Hlášení chyb v datech” Geoportálu ČÚZK (<http://geoportal.cuzk.cz>).

Způsob přednáletové signalizace vlčovacích bodů (2016-2019)

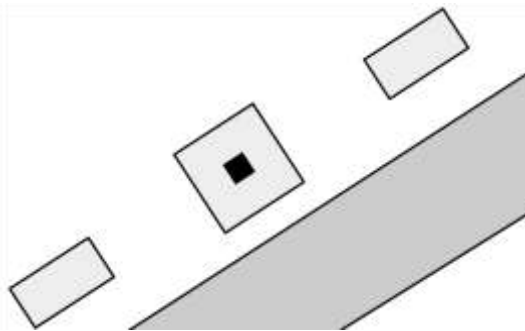
a) Na volném prostranství



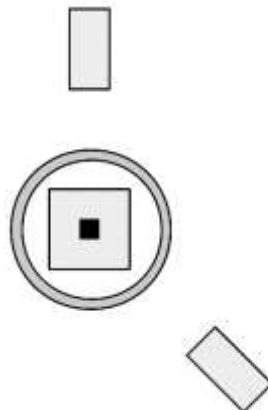
b) Při možnosti zakrytí jednoho ramene blízkou vegetací



c) Vedle cesty nebo na mezi



d) Trigonometrický bod v ochranné skruži

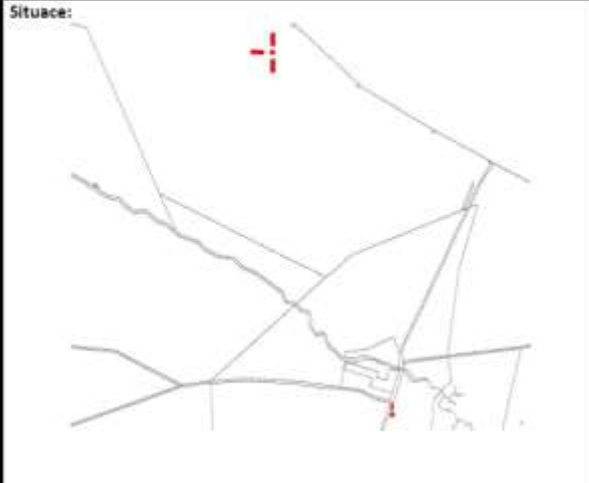


Signalizace vlčovacíh bodů (2016-2019)


a) Varianta místopisu a signalizace trigonometrického bodu

Bod číslo:	2018_909240070	-Y	-644027.03	SMS	
Číslo TL:		-X	-982411.52	Blok číslo	22
Bod zřídil:	GEONETT HK, spol. s r.o.	Nad. Výška (Bpv)	1432.94	Poznámka:	hlavní
Dne:	21.7.2018	Odsazení	0.00		

Situace:




Fotodokumentace:




b) Varianta místopisu a signalizace trigonometrického bodu s ochrannou skruží

Bod číslo:	2018_944150530	-Y	-575002.24	SMS	Hustopeče 0-9
Číslo TL:	4415	-X	-1199392.47	Blok číslo	32,37
Bod zřídil:	SURGEO s.r.o.	Nad. Výška (Bpv)	210.83	Poznámka:	hlavní
Dne:	9.5.2018	Odsazení	0.00		

Situace:



Fotodokumentace:



a) Varianta místopisu a signalizace zajišťovacího bodu

Bod číslo:	2018_915050210_1	-Y	-655195.19	SM5	
Číslo TL:	1505	-X	-1043815.25	Blok číslo	24
Bod zřídil:	Ing. Juraj Valach	Nad. Výška (Bpv)	235.63	Poznámka:	zajišťovací
Dne:	16.5.2018	Odsazení	0.00		
Situace:			Fotodokumentace:		
					

Bod číslo:	2018_945090360_1	-Y	-519299.16	SM5	Uh. Brod 7-3
Číslo TL:	4509	-X	-1187895.61	Blok číslo	42
Bod zřídil:	Milan Komárek - geodézia	Nad. Výška (Bpv)	268.72	Poznámka:	Zajišťovací
Dne:	10.5.2018	Odsazení	0.00		
Situace:			Fotodokumentace:		
