

Ověření polohové přesnosti Ortofota ČR na celém státním území (2017-2018)

Doc. Ing. Jiří Šíma, CSc.,
Praha

Abstrakt

Cíle a postupy ověření polohové přesnosti Ortofota ČR s prostorovým rozlišením 0,20 m, které je od roku 2016 vytvářeno Zeměměřickým úřadem ve spolupráci s Vojenským geografickým a hydrometeorologickým úřadem. Ověření bylo uskutečněno na celém státním území, které bylo zobrazeno na Ortofotu ČR v letech 2017 a 2018.

Verification of Positional Accuracy of the Orthophoto CR on the Entire State Territory

Abstract

The purpose and procedures of verifying the positional accuracy of the Orthophoto CR with 0.20 m spatial resolution that is being produced since 2016 by the Land Survey Office in cooperation with the Military Geographical and Hydro-meteorological Office. The verification has been carried out on the entire state territory depicted in the Orthophoto CR during the years 2017 and 2018.

Keywords: The Czech Republic, orthophoto, spatial resolution 0.20 m, positional accuracy

1. Úvod

Autor článku se dlouhodobě věnuje hodnocení vlastností ortofotografického zobrazení celého území České republiky (ČR), které zajišťuje zejména pro potřeby orgánů veřejné správy Český úřad zeměměřický a katastrální ve spolupráci s Ministerstvem obrany ČR, konkrétně aktivitami Zeměměřického úřadu (ZÚ) a Vojenského geografického a hydrometeorologického úřadu (VGHMÚř). V letech 2003 až 2009 to bylo v rámci jeho vědecké a pedagogické činnosti na Fakultě aplikovaných věd Západočeské univerzity v Plzni. Výsledky byly publikovány v [1], a také na 18. kartografické konferenci v Olomouci (2009).

Do té doby byl výsledný produkt označován jako (barevné) **Digitální ortofoto České republiky**, vytvořené ortogonalizací a posléze mozaikou barevných leteckých měřických snímků, pořízených na filmu a digitalizovaných na přesném fotogrammetrickém skeneru.

Počínaje rokem 2010 jsou letecké snímky pořizovány výhradně velkoformátovými digitálními měřickými kamerami (převážně firmy Vexcel Imaging) s prostorovým rozlišením (velikostí obrazového prvku – pixelu) umožňujícím tvorbu ortofota s pixelem **0,25 m** a od roku 2016 dosud **0,20 m** v zobrazovací rovině S-JTSK.

V dalších letech působil autor jako odborný poradce ZÚ a další dílčí hodnocení produktu, který je od roku 2010 označován jako **Ortofoto ČR**, jsou obsažena ve [2]. Zatím poslední a nejrozsáhlejší akcí je však ověření polohové přesnosti Ortofota ČR z let 2017 a 2018 na celém státním území. Její odlišná metodika a dosažené výsledky jsou obsahem tohoto článku.

2. Parametry leteckého měřického snímkování pro tvorbu Ortofota ČR (2016-2019)

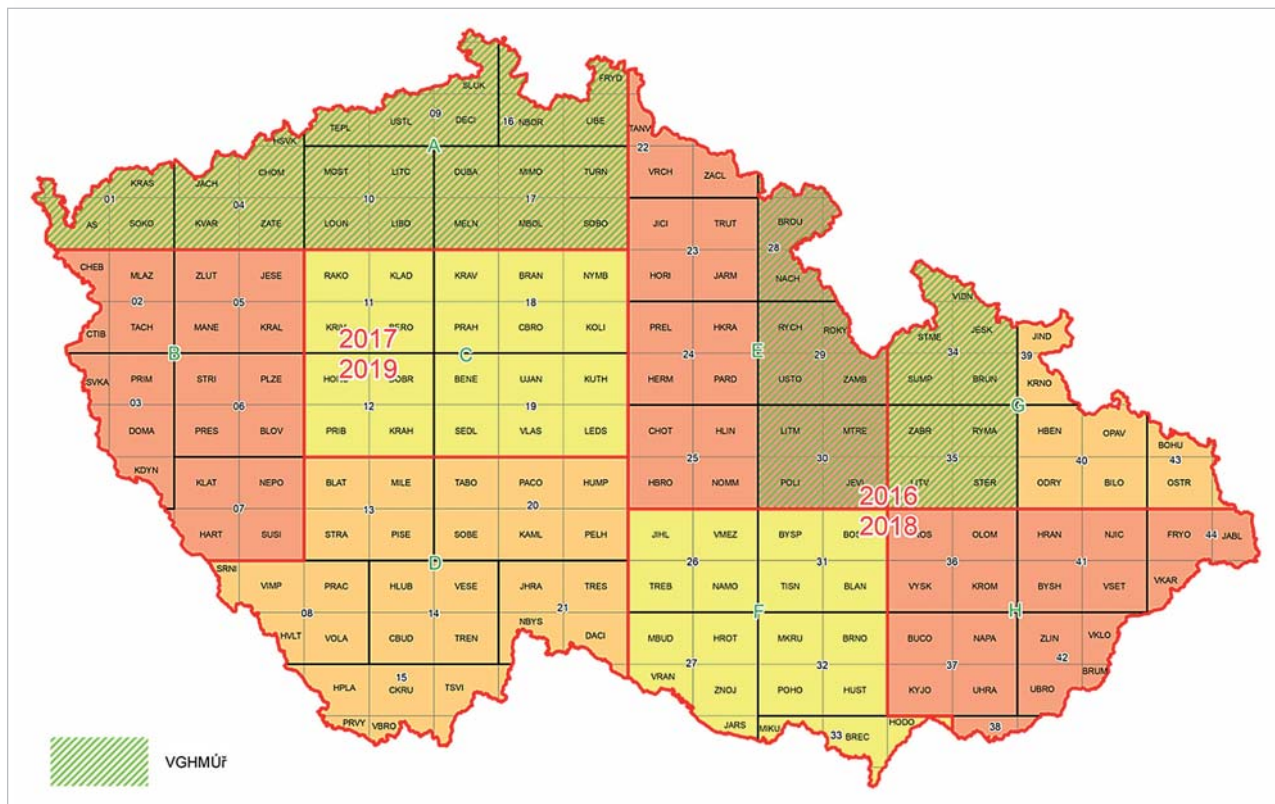
Důležitým požadavkem leteckého měřického snímkování v letech 2016-2019 je zachování polohy plánovaných drah

letu a jejich relativních výšek nad střední výškou terénu pod nimi a navíc i prostorové polohy projekčních center, ve kterých jsou digitální letecké snímky pořízeny. To zajišťuje, že ve dvouletých intervalech budou pořízeny snímky, na kterých budou obrazy vyšších objektů (např. korun stromů, budov, stožárů) na stejném místě ortofota, např. vzhledem k vlastnickým hranicím na kompozici s digitalizovanou katastrální mapou, a také usnadňuje multitemporální analýzu proměn krajiny a zvyšuje věrohodnost leteckých měřických snímků.

Maximální přípustná odchylka projekčního centra od plánované dráhy letu je ± 100 m napříč nebo ve směru letu a ± 50 m ve výšce. Během snímkového letu musí být registrovány palubní aparaturou GNSS prostorové souřadnice projekčních center se středními chybami $m_y = 0,3$ m a $m_x = m_h = 0,2$ m. Podobně pak úhlové prvky vnější orientace každého snímku inerciální měřickou jednotkou se středními chybami $m_\phi = m_\omega = 0,02''$ a $m_\kappa = 0,035''$. Maximální úhel osy záběru kamery od svislice může být 3° ve směru a napříč dráhy letu a stočení snímku vůči ose Y souřadnicového referenčního systému JTSK.

Území ČR je rozděleno zejména z hlediska vertikální členitosti na 44 bloků ohraničených čarami rovnoběžnými s osami Y a X souřadnicového referenčního systému JTSK. Tyto bloky pak vytvářejí oblasti A-D a E-H (viz **obr. 1**), které jsou předmětem veřejné zakázky na služby, jíž se zúčastňují specializované soukromé české i zahraniční firmy. Letecké měřické snímkování Pásmu Západ takto realizovaly v roce 2017 tři české firmy (celkem 25 195 snímků), zatímco v roce 2018 pořídila v Pásmu Východ 1 zahraniční firma 21 913 snímků.

Důležitou součástí příslušné zakázky je i signalizace vlíčovacích bodů v terénu, kterou provede snímkující firma nebo jí najatá subdodavatelská společnost. Podle projektu ZÚ firmy opatřují dočasnými signály z geotextílie vybrané trigonometrické nebo zhušťovací body (zejména v ochranných skružích, viz **obr. 2**), nebo vytvoří vlíčovací bod (zajišťovací) bílým nátěrem na barevně kontrastní vedlejší komunikaci, který zaměří metodou GNSS-RTK,



Obr. 1 Rozdělení ČR na bloky a oblasti pro letecké snímkování (2016–2019) a tvorbu Ortofota ČR



Obr. 2 Signalizace trigonometrického bodu v ochranné skruži



Obr. 3 Signalizace zajišťovacího bodu nátěrem na vedlejší komunikaci

pokud lze takové místo nalézt do 300 m od vybraného trigonometrického nebo zhušťovacího bodu (viz obr. 3).

3. Parametry Ortofota ČR v letech 2017 a 2018

Digitální letecké měřické snímky jsou následně zpracovány ve dvou zpracovatelských centrech – ve VGHMŮř v Dobrušce cca 1/4 objemu a v ZÚ cca 3/4 objemu. Dalšími vstupními daty jsou [3]:

- seznam přibližných hodnot prvků vnější orientace snímků měřených 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,
 - rozměry snímku v pixelech, ohnisková vzdálenost a velikost pixelu v mikrometrech pro použitou digitální leteckou kameru.
- Výpočty AAT jsou prováděny na fotogrammetrických pracovních stanicích v obou zpracovatelských centrech,

s využitím programů MATCH-AT verze 8.0.1 (ve VGHMÚř), nebo verze 8.0.7 (v ZÚ). Výsledky, charakterizující přesnost digitální automatické triangulace v jednotlivých blocích pro vytvoření Ortofota ČR v letech 2017 a 2018, jsou uvedeny v tab. 1 a tab. 2.

Pro tento produkt, určený především pro aplikace vyžadující garanci absolutní polohové přesnosti vůči Souřadnicovému systému Jednotné trigonometrické sítě katastrální (S-JTSK) (střední polohovou chybu menší než 1 m v území), je typická hustota vřícovacích bodů výchozích, zajišťovacích i kontrolních okolo **2,7 bodu/100 km²** a požadovaná přesnost jejich geodetického zaměření, která je charakterizována základní střední souřadnicovou chybou $m_{xy} = 0,02$ m u trigonometrických a zhušťovacích bodů a $m_{xy} = 0,06$ m u bodů zajišťovacích nebo kontrolních. V letech 2017 a 2018 činil počet vřícovacích nebo zajišťovacích bodů použitých v digitální automatické triangulaci 2 409, zatímco dalších 1 049 bodů bylo použito ke kontrole přesnosti této operace.

Je ovšem třeba uvést, že body v blízkosti hranic bloků a jejich průsečíků jsou započteny vícekrát (v každém bloku), takže celkový počet signalizovaných a případně i zaměřených vřícovacích bodů nepřesáhl počet 2100 (v Rámcové dohodě [5] bylo uváděno 1 855 bodů).

Maximální odchylka souřadnic d_x a d_y se ojediněle vyskytla ve výši až 0,56 m. Předpokládá se, že u těchto bodů

byla porušena centrace signálu, ať již zarůstáním signálů okolní vegetací nebo jejich úmyslným poškozením. Tyto body jsou v další iteraci z výpočtu odstraněny.

Dalším nástrojem k dosažení vysoké kvality ortogonalizace leteckých měřických snímků je důsledné používání digitálního modelu reliéfu DMR 4G odvozeného z leteckého laserového skenování celé ČR v letech 2010-2013 ZÚ ve spolupráci s orgány Ministerstva obrany ČR, který byl doplněn o vybrané vertikální objekty (mosty) a významné terénní hrany a v letech 2012 až 2016 verifikován s využitím dat lokálně aktualizovaného DMR 5G.

4. Postup ověření polohové přesnosti Ortofota ČR na celém státním území (2017-2018)

Předchozí autorovy průzkumy v letech 2004-2013 byly realizovány vždy na několika menších zkušebních lokalitách, kde bylo možno geodeticky zaměřit několik desítek kontrolních bodů [1], [3]. Takový způsob by nebyl reálný na celém státním území. Proto byl zvolen postup, založený na volbě alespoň 4 katastrálních území v každém z 21 bloků v Pásmu Západ a 23 bloků v Pásmu Východ, kde byla zaručena polohová přesnost kódem kvality KK=3 ($m_{xy} = 0,14$ m)

Tab. 1 Charakteristiky přesnosti digitální automatické triangulace bloků 01–21 pro tvorbu Ortofota ČR 2017 v Pásmu Západ

Blok	Počet VVB KB celkem	Typ	Syst. chyba cy (S-JTSK)	Syst. chyba cx (S-JTSK)	Střední chyba my (● = > 0,14 m)	Střední chyba mx (● = > 0,14 m)	Max. odchylka dy (● = > 0,3 my)	Max. odchylka dx (● = > 0,3 mx)
1 V	84 9 93	A	- 0,012 m	- 0,033 m	0,104 m	0,064 m	0,159 m	0,116 m
2	34 32 66	C	- 0,068 m	0,045 m	0,110 m	0,097 m	● - 0,331 m	- 0,213 m
3	60 11 72	A	- 0,009 m	- 0,068 m	0,064 m	0,069 m	- 0,149 m	- 0,161 m
4 V	81 8 89	A	0,010 m	0,022 m	0,076 m	0,102 m	- 0,137 m	0,116 m
5	44 34 78	B	- 0,045 m	0,059 m	0,098 m	0,112 m	● 0,355 m	● 0,551 m
6	44 34 78	B	0,053 m	0,044 m	● 0,162 m	● 0,195 m	0,331 m	0,334 m
7	61 7 78	A	0,034 m	- 0,005 m	0,051 m	0,104 m	- 0,083 m	0,172 m
8	56 30 86	B	- 0,055 m	0,006 m	0,081 m	0,072 m	- 0,228 m	● 0,294 m
9 V	58 7 65	A	0,002 m	0,025 m	0,110 m	0,077 m	- 0,157 m	0,147 m
10 V	59 9 68	A	- 0,002 m	0,049 m	0,093 m	0,087 m	0,137 m	0,173 m
11	49 45 94	B	- 0,026 m	- 0,020 m	0,081 m	0,077 m	0,235 m	● - 0,256 m
12	50 40 90	B	- 0,048 m	- 0,056 m	0,076 m	0,081 m	- 0,152 m	- 0,197 m
13	54 43 97	B	- 0,037 m	- 0,004 m	0,076 m	0,097 m	0,151 m	- 0,231 m
14	89 11 100	A	- 0,054 m	0,025 m	● 0,170 m	0,115 m	- 0,185 m	0,235 m
15	56 43 99	B	- 0,059 m	- 0,055 m	0,095 m	0,079 m	- 0,197 m	- 0,179 m
16 V	46 4 50	A	- 0,036 m	0,002 m	0,048 m	0,062 m	- 0,102 m	- 0,086 m
17 V	94 10 104	A	- 0,005 m	0,084 m	0,104 m	● 0,149 m	- 0,192 m	0,247 m
18	104 16 120	A	- 0,037 m	0,094 m	0,094 m	0,069 m	- 0,126 m	- 0,121 m
19*	47 42 89	B	až 0,014 m	až 0,058 m	až 0,135 m	až 0,124 m	- 0,341 m	- 0,345 m
20	58 85 143	B	0,024 m	- 0,057 m	0,093 m	0,128 m	- 0,239 m	- 0,231 m
21	41 54 95	A	- 0,007 m	- 0,010 m	0,052 m	0,104 m	- 0,105 m	- 0,113 m

Typy využití výchozích vřícovacích a zajišťovacích bodů:

V – zpracoval VGHMÚř v Dobrušce

* – Blok 19 rozdělen na 5 subbloků

A vybrané VVB a zajišťovací body jako body kontrolní (KB), zbytek obojích do transformačního klíče

B všechny VVB použity jako body kontrolní, všechny zajišťovací body do transformačního klíče

C všechny zajišťovací body použity jako body kontrolní, všechny VVB do transformačního klíče

Tab. 2 Charakteristiky přesnosti digitální automatické triangulace bloků 22–44 pro tvorbu Ortofota ČR 2018 v Pásmu Východ

Blok	Počet VVB KB celkem	Typ	Syst. chyba cy (S-JTSK)	Syst. chyba cx (S-JTSK)	Střední chyba my (● => 0,14 m)	Střední chyba mx (● => 0,14 m)	Max. odchylka dy (● => 0,3 my)	Max. odchylka dx (● => 0,3 mx)
22	28 24 52	B	0,032 m	- 0,004 m	0,073 m	0,076 m	0,237 m	● 0,507 m
23	60 50 110	B	- 0,002 m	0,033 m	0,081 m	0,088 m	- 0,279 m	● 0,519 m
24	43 43 86	A	- 0,002 m	- 0,011 m	0,106 m	0,098 m	- 0,279 m	● 0,445 m
25	57 29 86	C	- 0,016 m	- 0,032 m	0,088 m	0,092 m	- 0,295 m	- 0,280 m
26	51 14 65	A	0,004 m	- 0,008 m	0,046 m	0,055 m	- 0,265 m	0,193 m
27	55 21 76	B	0,015 m	0,012 m	0,061 m	0,088 m	0,237 m	● - 0,420 m
28V	51 6 57	A	- 0,003 m	- 0,013 m	0,047 m	0,044 m	- 0,273 m	- 0,175 m
29V	66 8 74	A	0,003 m	- 0,004 m	0,045 m	0,058 m	0,150 m	- 0,202 m
30V	78 8 86	A	- 0,019 m	- 0,006 m	0,037 m	0,038 m	- 0,198 m	- 0,267 m
31	48 28 76	B	- 0,017 m	0,024 m	0,077 m	0,076 m	● - 0,537 m	0,272 m
32	46 31 77	B	- 0,053 m	0,039 m	0,095 m	0,084 m	0,290 m	0,339 m
33	11 22 33	C	0,019 m	0,030 m	0,120 m	● 0,159 m	0,306 m	● - 0,560 m
34V	70 9 79	A	0,003 m	- 0,003 m	0,061 m	0,063 m	- 0,182 m	0,258 m
35V	70 8 78	A	- 0,002 m	0,007 m	0,055 m	0,047 m	- 0,241 m	- 0,238 m
36	49 22 71	A	- 0,010 m	0,010 m	0,083 m	0,070 m	- 0,315 m	- 0,359 m
37	71 10 81	A	- 0,004 m	0,010 m	0,042 m	0,050 m	0,351 m	- 0,249 m
38	15 8 23	B	0,027 m	- 0,016 m	0,055 m	0,043 m	0,212 m	- 0,115 m
39	28 25 53	B	0,037 m	0,005 m	0,071 m	0,049 m	- 0,270 m	0,206 m
40	57 33 90	A	0,001 m	0,001 m	0,073 m	0,058 m	0,291 m	0,209 m
41	69 27 96	A	0,002 m	- 0,011 m	0,040 m	0,060 m	- 0,179 m	- 0,223 m
42	42 20 62	B	- 0,011 m	- 0,010 m	0,045 m	0,058 m	- 0,204 m	- 0,262 m
43	30 20 50	B	0,016 m	- 0,020 m	0,052 m	0,050 m	0,313 m	- 0,214 m
44	45 9 54	A	- 0,007 m	- 0,002 m	0,023 m	0,038 m	0,090 m	0,122 m

Typy využití výchozích vřícovacích a zajišťovacích bodů: **A** vybrané VVB a zajišťovací body jako body kontrolní (KB), zbytek obojích do transformačního klíče
V – zpracoval VGHMÚř v Dobrušce **B** všechny VVB použity jako body kontrolní, všechny zajišťovací body do transformačního klíče
Ostatní bloky zpracoval Zeměměřický úřad **C** všechny zajišťovací body použity jako body kontrolní, všechny VVB do transformačního klíče

bodů vybraných z databáze podrobných bodů digitálních katastrálních map. Převážně šlo o rohy budov v úrovni terénu (obr. 4a, 4b) a v extravilánu též o paty jednoduchých sloupů vysokého napětí (22-35 kV) zaměřených pro potřeby komplexní pozemkové úpravy (obr. 5a, 5b). 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 pozemkovou úpravu. Lokalizace takto vybraných katastrálních území (103 v Pásmu Západ a 107 v Pásmu Východ) je znázorněna na obr. 6.

Popsaným způsobem vyhledal v autorem vytipovaných katastrálních územích externí pracovník ZÚ (jako představitel kvalifikovaného uživatele Ortofota ČR ve veřejné správě - povoláním informatik se zaměřením na počítačovou grafiku a tedy ne geodet, kartograf nebo fotogrametr) celkem 161 jednoduchých sloupů vysokého napětí a 558 rohů budov na Ortofotu ČR 2017 v Pásmu Západ a 144 jednoduchých sloupů vysokého napětí a 606 rohů budov na Ortofotu ČR 2018 v Pásmu Východ. Měření souřad-

nic na Ortofotu ČR prováděl na produktu dostupném na Geoportálu ČÚZK, respektive na WMS obrazů Ortofota ČR, a to vícenásobným nastavením kurzoru na kontrolní bod při maximálním zvětšení obrazu s využitím softwaru QGIS.

5. Výsledky ověření absolutní polohové přesnosti Ortofota ČR (2017-2018)

Výraz „absolutní polohová přesnost“ je zde užíván ve smyslu „vzhledem k S-JTSK“, protože Ortofoto ČR je používáno především jako zdroj aktuálních geoinformací pro díla, která jsou na tomto referenčním systému založena (např. ZABAGED®, soustava Základních map ČR, LPIS, projekty komplexní pozemkové úpravy).

Na rozdíl od předchozích akcí místního rozsahu [1], kdy byly kontrolní body zaměřeny geodeticky se střední souřadnicovou chybou do 0,06 m (KK=2), bylo třeba vzít v úvahu, že pro výše popsany výběr kontrolních bodů je typická jejich střední souřadnicová chyba 0,14 m (KK=3). Proto



Obr. 4a Identifikace kontrolních bodů (rohů domu) na Ortofotu ČR



Obr. 4b Pohled na místo identifikace rohů domu (Zdroj: Mapy.cz/panorama)



Obr. 5a Jednoduchý sloup vedení VN jako kontrolní bod



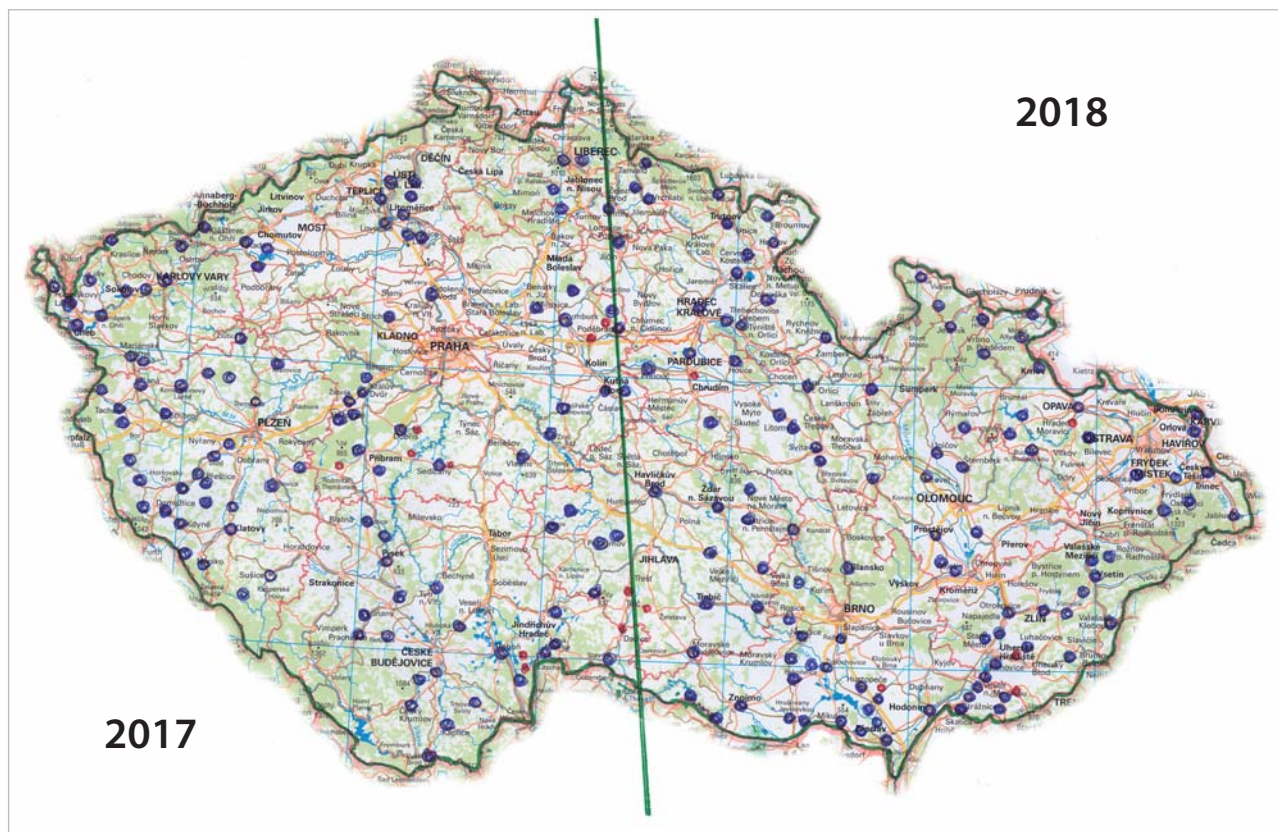
Obr. 5b Jednoduchý sloup vedení VN na Ortofotu ČR

je v tomto případě smysluplné určit absolutní polohovou přesnost Ortofota ČR podle zákona o hromadění středních chyb jako odmocninu ze součtu kvadrátů tímto ověřením zjištěné střední polohové chyby a střední polohové chyby 0,198 m odpovídající hodnotě střední souřadnicové chyby $m_{xy} = 0,14$ m. Výsledky ověření jsou uspořádány v tab. 3.

6. Závěry

Akce Ověření polohové přesnosti Ortofota ČR na celém státním území (2017-2018), jehož prostorové rozlišení (rozměr pixelu v referenční ploše Křovákova zobrazení) je 0,20 m, potvrdila tyto předpoklady jeho tvůrců a správce:

- polohová přesnost Ortofota ČR je homogenní na celém území České republiky,
- absolutní polohovou přesnost vůči souřadnicovému referenčnímu systému JTSK lze u jednoznačně identifikovatelných bodů, ležících v úrovni terénního reliéfu, charakterizovat střední polohovou chybou **menší než 0,30 m**,
- vzhledem ke dvouletému intervalu jeho vyhotovení na celém území státu je Ortofoto ČR intenzívně využíváno pro periodickou aktualizaci a polohové zpřesnění obsahu ZABAGED® v resortu Českého úřadu zeměměřického a katastrálního, DMÚ-25 v resortu Ministerstva obrany ČR i jako podklad pro LPIS v resortu Ministerstva zemědělství.
- Ortofoto ČR může být díky své absolutní polohové přesnosti významným zdrojem geodat pro připravovanou



Obr. 6 Rozložení katastrálních území v kterých byly identifikovány kontrolní body

Tab. 3 Parametry přesnosti Ortofota ČR a jeho absolutní polohová přesnost vůči S-JTSK

Pásmo	Západ	Východ
Rok	2017	2018
Počet kontrolních bodů	719	750
Systematická chyba c_y (m)	0,01	0,02
Systematická chyba c_x (m)	0,01	0,03
Maximální chyba $d_{y \max}$ (m)	0,53	0,54
Maximální chyba $d_{x \max}$ (m)	0,46	0,39
Střední souřadnicová chyba m_{xy} (m)	0,143	0,121
Střední polohová chyba m_p (m)	0,2026	0,1711
Absolutní polohová přesnost (m)	0,283	0,262

tvorbu nového státního mapového díla – Základní topografické mapy 1 : 5 000 od roku 2020.

- Ortofoto ČR může být základním topografickým podkladem pro jiné informační systémy veřejné správy, které akceptují absolutní polohovou přesnost vůči S-JTSK ověřenou v rámci popsané akce.
- Ortofoto ČR může být používáno k odhalení **hrubých** polohových chyb v geografických databázích u kterých je deklarována polohová přesnost střední souřadnicovou chybou $m_{xy} = 0,14$ m, pokud za hrubou chybu považují trojnásobek této hodnoty.
- Pro plnění dosavadních úkolů a cílů není nutné zvyšovat stávající prostorové rozlišení Ortofota ČR, protože

se tím významně zvýší nejen počet leteckých měřicích snímků ale i potřebné kapacity na jejich digitální automatickou triangulaci, ortogonalizaci a uložení výsledných obrazových dat. Přitom nelze uvažovat o zvýšení polohové přesnosti úměrnému zmenšení rozměru pixelu, protože významnou úlohu zde hraje přesnost geodetických základů a vlíčování (zůstává stejná) a použití či nepoužití dosud nejpřesnějšího digitálního modelu reliéfu vzniklého z dat leteckého laserového skenování v letech 2010–2013 na celém území ČR a jeho místní aktualizace v posledních 3 letech.

LITERATURA:

- [1] ŠÍMA, J.: Průzkum absolutní polohové přesnosti ortofotografického zobrazení celého území České republiky s rozlišením 0,50, 0,25, resp. 0,20 m v území na Západočeské univerzitě v Plzni. Geodetický a kartografický obzor, 55/97, 2009, č. 9, s. 214–220.
- [2] ŠÍMA, J.: Ortofoto ČR pod drobnohledem. Zeměměřič, 2014, č. 7+8, s. 8–13.
- [3] ŠÍMA, J. et al.: Technická zpráva k ortofotografickému zobrazení území ČR – Ortofoto ČR. Zeměměřičský úřad, 2019, 22 s.
- [4] ŠÍMA, J.: Ortofoto ČR – nový kartografický produkt? Zpravodaj: Česká kartografická společnost, 2019, č. 1, s. 9–11.
- [5] Zadávací dokumentace pro uzavření rámcové dohody na poskytování služeb v souvislosti s pořízením leteckých měřicích snímků ČR v letech 2018 a 2019, č.j. ČÚZK -10615/2017-22.

Do redakce došlo: 2. 7. 2019

Lektoroval:
Ing. Karel Brázdil, CSC.,
Zeměměřičský úřad