

**Projekt TAČR Programu na podporu aplikovaného výzkumu a
experimentálního vývoje EPSILON, 3. veřejná soutěž**

Identifikační kód projektu: TH03030058

PROJEKT:

**Postupy komplementace geodat a specifických dat bezkontaktními
měřickými metodami ve prospěch důsledného uplatňování
koncepčních nástrojů komplexních pozemkových úprav**

VÝSTUP:

**Metodika využití bezkontaktních měřických metod pro aktualizaci a
kompletaci geodat pro potřeby zpracování KoPÚ**

**Zdiby listopad 2021
ISBN: 978-80-85881-50-9**



Číslo projektu:	TH03030058 - Technologická agentura České republiky		
Projekt:	Postupy komplementace geodat a specifických dat bezkontaktními měřickými metodami ve prospěch důsledného uplatňování koncepčních nástrojů komplexních pozemkových úprav		
Výstup:	Metodika využití bezkontaktních měřických metod pro aktualizaci a kompletaci geodat pro potřeby zpracování KoPÚ		
Verze:	1.02	Klasifikace:	veřejné
Datum:	7.12.2021	Počet stránek:	41
Název souboru:	TACR_TH03030058_MetodikaKompletaceDatBezkontakt_V1_02.docx		

Tabulka autorů, přispívatelů a posuzovatelů			
Role	Jméno/Společnost	Podpis	Datum
Autor	Ing. Václav Šafář, Ph.D. / VÚGTK, v.v.i,		20.12.2021

Tabulka revizí dokumentů		
Verze	Popis	Datum
1.00	Založení dokumentu a tvorba osnovy dokumentu	12.8.2021
1.01	První varianta textu k diskusi širšího řešitelského týmu	17.11.2021
1.02	Finální varianta textu k odevzdání	17.12.2021

Distribuční tabulka		
Č.	Jméno/Skupina	Organizace, role
1	Mgr. et Mgr. Robert Stojanov Ph.D.	TACR - zpravodaj projektu
2	Ing. Arnošt Müller, Ph.D.	SPÚ - hodnotitel metodiky
3	RNDr. Jiří Žaloudík, CSc.	Expert praxe - hodnotitel metodiky



Obsah

1	ÚVOD	6
1.1	Účel dokumentu.....	6
1.2	Cíl metodiky	6
1.3	Klíčová slova	6
1.4	Seznam zkratk	7
2	PŘEHLED SOUČASNÝCH METOD MAPOVÁNÍ	8
2.1	Metody přímého měření	8
2.1.1	Geodetické metody měření	8
2.1.2	Metody měření GNSS.....	9
2.2	Metody nepřímého měření	10
2.2.1	Metody laserového skenování	10
2.2.2	Fotogrammetrické metody měření.....	15
2.3	Kombinace metod přímého a nepřímého měření.....	19
2.3.1	GNSS a pozemní fotogrammetrie.....	19
2.3.2	Polygonální pořady, polární metody, metody terestrického laserového skenování a pozemní fotogrammetrie.....	20
3	POUŽITÍ MOBILNÍHO LASEROVÉHO SKENOVÁNÍ PRO POTŘEBY PROJEKČNÍCH PRACÍ KOPÚ 22	
3.1	Přípravné práce pro mobilní laserové skenování	22
3.2	Zaměření VB a KB pro mobilní laserové skenování.....	22
3.3	Realizace prací mobilního skenování	22
3.4	Průběh skenování.....	23
3.5	Data mobilního laserového skenování a panoramatického snímkování.....	23
3.6	Vyrovnaní dat na trajektorie dráhy laseru.....	23
4	POUŽITÍ LETECKÉ FOTOGRAMMETRIE VE PROSPĚCH KOPÚ	24
5	POUŽITÍ POZEMNÍHO LASEROVÉHO SKENOVÁNÍ.....	25
6	PŘESNOST MĚŘENÍ BODŮ BEZKONTAKTNÍMI MĚŘICKÝMI METODAMI	26
6.1	Přesnost měření bodů dosažitelná použitím geodetických metod	26
6.2	Přesnosti měření bodů mobilním laserovým skenováním.....	26
6.3	Přesnost určení souřadnic bodů metodami letecké fotogrammetrie.....	26
6.4	Přesnost leteckého laserového skenování.....	27
7	VEŘEJNÁ GEODATA A JEJICH ZDROJE	28
8	NÁVOD K ROZHODNUTÍ O VYTVOŘENÍ NOVÝCH PODKLADŮ PRO KOPÚ.....	31
8.1	Rozsah KoPÚ	31
8.2	Požadavky na polohovou a výškovou přesnost nově vytvořených produktů	31
8.3	Geografická poloha lokality	32
8.4	Geomorfologické charakteristiky lokality.....	32



8.5	Finanční limity na tvorbu aktuálních podkladů.....	32
8.6	Termín dodání produktů pro tvorbu KoPÚ	32
8.7	Efektivní využití kapacit geodetů u projekční firmy	32
9	EKONOMICKÉ HODNOCENÍ BEZKONTAKTNÍCH MĚŘICKÝCH METOD.....	34
9.1	Ekonomické porovnání mapování pomocí UAV a letounu s osádkou	34
9.2	Ekonomické porovnání měření DMT a skutečného stavu při použití geodetické metody a metod fotogrammetrických	36
9.3	Úvaha o ekonomickém porovnání měření DMT a skutečného stavu při použití geodetické metody a metod terestrického mobilního laserového skenování	36
10	VYUŽITÍ A UPLATNĚNÍ METODIKY A CÍLOVÁ SKUPINA UŽIVATELŮ.....	37
11	HODNOCENÍ NOVOSTI POSTUPU METODIKY	38
12	ZÁVĚRY A DOPORUČENÍ	39
13	SOUPIS LITERATURY	40
14	SEZNAM PUBLIKACÍ, KTERÉ PŘEDCHÁZELY METODICE.....	41



Seznam obrázků

Obrázek 2-1 Aparatura nesená člověkem - Leica Pegasus Backpack,	12
Obrázek 2-2 Aparatura mobilního laserového skenování firmy GB-geodezie, spol. s r.o.	12
Obrázek 2-3 Schéma LLS a výsledek ve formě DMP, zdroj J. Šíma - Geobusiness a dibavod.cz.	13
Obrázek 2-4 Nádraží Chotěboř a okolí ve vyjádření DMP1G	14
Obrázek 2-5 Ukázky hustého mračka bodů ze skenování dronem k.ú. Dlouhá Lhota.....	14
Obrázek 2-6 Kamera LadyBug zakoupená firmou GIS-Stavinex a.s. Ostrava	16
Obrázek 2-8 Trimble V10 vpravo s GNSS přijímačem, vlevo s odrazným hranolem; zdroj: Trimble.com	19
Obrázek 2-9 Zařízení Leica GS18 I	20
Obrázek 2- 10 Leica MS60.....	21

Seznam tabulek

Tabulka 1 - Přibližný odhad poměrů mezi UAV a Letadlem s posádkou	33
Tabulka 2 - Teoretické časové a finanční porovnání etap tvorby ortofoto a mapování	34
Tabulka 3 - Finanční náklady jednotlivých etap výroby	34



1 ÚVOD

1.1 ÚČEL DOKUMENTU

Dokument je výstupem úkolu projektu Technologické agentury České republiky Programu na podporu aplikovaného výzkumu a experimentálního vývoje EPSILON - 3. veřejná soutěž s identifikačním kódem projektu: TH03030058 a názvem Postupy komplementace geodat a specifických dat bezkontaktními měřickými metodami ve prospěch důsledného uplatňování koncepčních nástrojů komplexních pozemkových úprav. Předkládaný dokument s názvem Metodika využití bezkontaktních měřických metod pro aktualizaci a kompletaci geodat pro potřeby zpracování KoPÚ (komplexních pozemkových úprav dále jen KoPÚ) - dále jen Metodika, je dokument umožňující praktické využití leteckých snímků, obrazových dat dálkového průzkumu Země, laserových skenovacích technologií a to jak terestrických tak leteckých. Postupy tvorby dat těmito metodami jsou v Metodice popsány. Metodika je určena pro odbornou praxi projektantů KoPÚ, zadavatelů prací KoPÚ (Státnímu pozemkovému úřadu - dále SPÚ), a orgánům a institucím státní správy, případně samosprávy. Metodika poskytuje a návodně formuluje zásady a postup tvorby podkladů pro projekční práce pomocí vyjmenovaných bezkontaktních měřických metod.

1.2 CÍL METODIKY

Cílem metodiky je představení postupů pro vytvoření podkladů a dokumentace pro práci projekčních organizací zabývajících se KoPÚ pomocí metod bezkontaktního měření a komplementaci všech dalších datových zdrojů relevantních vůči zájmové ploše KoPÚ a souvisejícímu okolí. Metodika popisuje postupy vytvoření podkladů z dat bezkontaktních měřických metod a uvádí do souvislostí polohovou přesnost vytvářených podkladů s obtížností zpracování a to od využití jednoduchých metod a pomůcek až po matematicky korektní metody profesionální fotogrammetrie a metod laserového skenování. Znalost správné polohy jednotlivých objektů a výškopisu v ploše KoPÚ umožňuje zvolit optimální postupy projekčních prací a návrhů budoucího stavu krajiny. Předkládaná Metodika popisuje postupy vytvoření takových podkladů pro studium ploch KoPÚ, které napomohou a umožní učinit správná rozhodnutí pro budoucí obhospodařování ploch.

1.3 KLÍČOVÁ SLOVA

Letecký snímek, laserové skenování, ortofoto, výškopis, komplexní pozemková úprava, mapování bezkontaktními metodami

1.4 SEZNAM ZKRATEK

Seznam zkratk	
2D	Dvojdímenzinální
3D	Trojdímenzionální
AT	Aerotriangulace
Bpv	Baltský po vyrovnání
CAD	Computer Aided Design (počítačem podporované navrhování)
CMOS	Complementary Metal Oxide Semiconductor
ČÚZK	Český úřad zeměměřický a katastrální
dB	Databáze
DTM	Digitální terénní model
DMR	Digitální model reliéfu
DMP	Digitální model povrchu
EO	Exterior orientation - parametry vnější orientace
GSD	Ground sample distance (velikost pixelu obrazu snímku na zemi)
GNSS	Globalní navigační satelitní systém
HDOP	Horizontal dilution of precision bezrozměrný parametr udávající vliv geometrie prostorového uspořádání družic GNSS a přijímače v konkrétní epoše na přesnost určení polohy
JTSK	Jednotná trigonometrická síť katastrální
KB	Kontrolní bod
KoPÚ	Komplexní pozemková úprava
LMS	Letecký měřický snímek
NIR	Near Infrared
RMSE _{xyz}	Úplná střední kvadratická odchylka v prostorové poloze
SGM	Semi-global matching (postup korelace snímků)
S-JTSK	Souřadnicový systém Jednotné trigonometrické sítě katastrální
SW	Software
TDOP	Time dilution of precision
UAV	Unmanned Aerial Vehicle (dálkově pilotovaný letoun)
VB	Výchozí bod (vlícovací bod)
VDOP	Vertical dilution of precision
VÚGTK	Výzkumný ústav geodetický, topografický a kartografický, v.v.i.
ZÚ	Zeměměřický úřad

2 PŘEHLED SOUČASNÝCH METOD MAPOVÁNÍ

V současné době lze pro mapování reálných objektů a jevů tohoto světa použít celou řadu mapovacích metod. Výběr mapovací metody pro mapování konkrétních prvků nebo jevů našeho reálného světa je primárně determinován samotným účelem mapování a požadavky na přesnost a úplnost mapování vybraných prvků nebo jevů tohoto světa. Znalost účelu, přesnosti a úplnosti výsledku mapování jsou základní určující charakteristiky pro výběr vhodné, optimální a tím pádem i efektivní mapovací metody nebo kombinací mapovacích metod, které splní všechny cíle stanovené zadáním mapování.

Mapovací metody reálných objektů a ploch určených projekty KoPÚ lze rozdělit na mapovací metody přímé a mapovací metody nepřímé, někdy nazývané bezkontaktní měřické metody. Pro účely tohoto dokumentu budeme dále nazývat přímými metodami mapování všechny metody, kdy dochází k přímé interakci měřiče s měřeným objektem tohoto světa. Jde tedy o širší pojem ve smyslu standardního pojmu přímého mapování, kdy se přímými mapovacími metodami rozumějí takové postupy, kdy výsledky mapování vznikají přímo v terénu. Pro účely tohoto dokumentu budeme považovat za přímé metody mapování i ty metody, při nichž dochází k zpracování naměřených dat mapovaných předmětů např. v kanceláři, ale vznikají z kontaktně naměřených dat (obvykle v některém z CAD systémů například MicroStation, AutoCAD a dalších). Nepřímými metodami mapování budeme pro potřeby tohoto dokumentu rozumět všechny mapovací metody, kdy hlavním zdrojem dat popisujících reálné objekty existující v ploše KoPÚ jsou takové mapovací metody, u kterých měřič není v přímém kontaktu s mapovaným předmětem.

V následujícím textu Metodiky jsou popsány a rozděleny metody mapování podle postavení měřiče vůči mapovanému předmětu, respektive mapované ploše.

Pro jakékoliv mapování platí však zásada "kdo to změřil přede mnou?", kterou lze účinně aplikovat v prověření možných alternativních zdrojů již vyhotovených dat a sestavení možného výsledku mapování z již existujících mapových a datových zdrojů a jejich kompletace do datové sady efektivně použitelné pro práci projekčních firem v oblasti KoPÚ. Samozřejmostí je ale prověření kvality takto získaných podkladů a to především polohové a výškové přesnosti převzatých podkladů tedy střední kvadratické chybě v poloze a výšce ($RMSE_{xyz}$) ve vztahu k požadovanému obsahu datových sad pro KoPÚ, úplnosti mapovaného obsahu prvků a jevů a aktuálnosti převzatého mapového díla.

Rozdělení mapovacích metod na přímé a nepřímé mapovací metody je účelové, neboť většina postupů a metod nepřímého mapování nemůže výsledek své činnosti opřít pouze o data získaná nepřímými metodami mapování, ve smyslu výše uvedeného rozdělení. Jako výjimku z tohoto pravidla můžeme uvést například postupy mobilního laserového skenování, kdy všechny mapované objekty jsou změřeny na základě znalosti trajektorie pohybu laserové aparatury určené pomocí GNSS a aparatur IMU. Z této trajektorie jsou následně na základě dat změřených laserovým skenováním vypočteny mračna bodů popisující reálné předměty v prostoru plochy vymezené hranicemi KoPÚ a jejím okolím. V takovémto případě je však nutné nejen určit kvalitu takto získaných data (kontrolním měřením přímými metodami), ale i stanovit, stejně jako u ostatních metod, dosažitelné přesnosti této mapovací metody a případně jí zlepšit použitím výchozích (vlíčovacích) bodů (VB).

V reálné praxi mapování je velmi časté, že přímé a nepřímé metody mapování se vzájemně doplňují a zpracování výsledných objektů mapování je tak optimalizovaným postupem použití hlavních metod mapování s přihlédnutím k existujícím zdrojům dat.

2.1 METODY PŘÍMÉHO MĚŘENÍ

Metody přímého mapování jsou nejstarší metody mapování. Použití těchto metod mapování existuje přes tři tisíciletí a byly a jsou založeny na měření úhlů a vzdáleností. V současnosti k nim přibýly postupy mapování založené na měření družicové geodézie pomocí Globálních navigačních satelitních systémů (GNSS). Avšak i tato měření lze s jistou mírou přiblížení rovněž označit za měření vzdáleností a výpočtu polohy a výšky měřeného bodu zpětným promítáním z délek získaných měřením tranzitního času šíření signálu družic k přijímači GNSS a v každém okamžiku známých souřadnic poloh družic GNSS.

2.1.1 GEODETICKÉ METODY MĚŘENÍ

Při použití geodetických metod mapování v plochách KoPÚ je vždy nutné vycházet ze stávajícího státního bodového pole státní trigonometrické sítě S-JTSK a výškových údajů těchto bodů v Bpv. Při mapování geodetickými metodami

tedy postupujeme ze sítě pevných bodů státní sítě. Při rozšíření stávajícího výchozího bodového pole a použití metod GNSS postupujeme podle předpisů ČÚZK. Dále následuje obecný popis základních geodetických úloh používaných běžně při výkonu geodetických a mapovacích prací pro potřeby KoPÚ.

2.1.1.1 Polygonové pořady

Měření polygonovými pořady (PP) nám obvykle při mapování slouží pro zjištění souřadnic polohy bodů, ze kterých budeme provádět vlastní mapovací práce. Polygonový pořad (PP) je metoda pro určení polohových souřadnic bodů využívající řetězec bodů, mezi nimiž je opětovně měřen levostranný vrcholový úhel a vzdálenost mezi jednotlivými body. V závislosti na množství výchozích bodů můžeme měřit PP oboustranně připojený a oboustranně orientovaný, PP oboustranně připojený a jednostranně orientovaný, PP vetknutý, PP volný a PP uzavřený. U všech těchto kombinací dostáváme řadově centimetrové přesnosti měřených bodů. Tato metoda je poměrně časově náročná a je nutno upozornit, že metody neurčí výšku měřených bodů, ale pouze jejich polohu. Pokud potřebujeme určit výšku jednotlivých bodů, měříme buď zenitové úhly z bodů o známých výškách a trigonometricky tak určujeme postupnou výšku všech bodů v PP nebo proměříme výšky bodů (vrcholů PP) technickou nivelací. Kritéria přesnosti polygonových pořadů jsou stanovena dle potřeb a požadavků na kvalitu zhušťovaných bodů vlastního polygonu a jsou dány například předpisem [1].

2.1.1.2 Polární metoda

Pokud měříme z jakýchkoliv známých bodů geodeticky zbudovaných polohových sítí o známé výšce lze jako velmi efektivní metody (v rámci geodetických metod) použít polární metodu (PM). PM spočívá v určení pouze polohových souřadnic na základě měřeného úhlu a délky ze známého bodu. Metoda je jednoduchá a přesná. Vlastní přesnost metody je řádově na použitém přístroji v jednotkách milimetrů. Pokud je u bodu, z kterého měříme známa nadmořská výška je možné měřením zenitových úhlů určovat i výšku měřeného bodu. Výsledek nám ovšem ovlivňují přesnost souřadnic známých bodů, ze kterých vycházíme.

2.1.1.3 Protínání vpřed

Pojmem protínání vpřed se rozumí několik obdobných úloh založených na určení polohy nově měřeného (obvykle nedostupného) bodu z úhlů nebo vzdáleností a úhlů měřených vzájemně mezi dvěma body, přičemž úhel protnutí na určovaném bodě by měl být v rozmezí 30° až 150°. Pokud je mezi body přímá viditelnost mluvíme o protínání vpřed z úhlů. Pokud záměra mezi dvěma body, ze kterých měříme bod protínáním, není možná, mluvíme o protínání vpřed z orientovaných směrů. Varianta protínání nazývaná protínání z délek je situace, kdy jsme schopni změřit délku od dvou výchozích bodů na bod určovaný (například bezodraznou totální stanicí) a následně spočítat jeho polohu. Navíc, při měření zenitových úhlů a znalosti výšky alespoň jednoho z výchozích bodů, lze určit i výšku nově měřeného bodu.

2.1.1.4 Tachymetrie

Tachymetrie je metoda kombinující polární metodu (popsanou výše) a trigonometrické měření výšek. Měření výšek probíhá na základě výpočtu pravouhlého trojúhelníku, kdy je měřen jeden vrcholový úhel a délka přepony. Z takových hodnot lze lehce stanovit převýšení mezi měřeným a výchozím bodem. Výchozím bodem rozumíme bod, kde je postavena totální stanice umožňující měření vodorovných a svislých úhlů a délek. Pro tuto metodu opět potřebujeme znát nejen souřadnice, ale i výšky výchozích bodů.

2.1.2 METODY MĚŘENÍ GNSS

Technologie GNSS je technologie pomocí níž lze s centimetrovou přesností určit souřadnice bodu téměř v reálném čase. Signály z jednotlivých satelitů přijímá pozemní stanice, která tyto signály okamžitě vyhodnotí a transformuje do požadovaného referenčního systému v praxi KoPÚ obvykle do systému S-JTSK. U všech zmiňovaných metod v odstavci **Chyba! Nenalezen zdroj odkazů.** je uvedeno, že pro určení souřadnic je potřeba minimálně dvou výchozích bodů polohových sítí nebo PBPP. Tato podmínka pro GNSS neplatí, naopak tato metoda může pro určení takových bodů sloužit. Podle délky a způsobu měření se rozlišují různé metody, které se liší přesností souřadnic mapovaného bodu:

- statická metoda (3 – 5 mm)

- rychlá statická (5 mm – 10 mm + 1 ppm)
- stop and go (10 mm – 20 mm + 1 ppm)
- kinematická (20 mm – 30 mm + 3 ppm)
- RTK – Real Time Kinematic (25 mm – 70 mm)

V současné geodetické praxi se více jak v 90% využívá metoda real-time kinematic (RTK) v síti referenčních stanic, které se využijí ke korekci měření systémem porovnání souřadnic na známém bodě a vysláním těchto korekcí prostřednictvím internetu přes GSM modemem v reálném čase. V ČR je v provozu několik sítí a to CZEPOS, Trimble VRS NOW, TOPnet a další. Metody měření, respektive mapování lze rozdělit na postprocesní (během měření se registrují data a posléze se vypočítají výsledky), nebo real-timeové, které poskytují výsledky okamžitě (v reálném čase).

Pro měření (VB) u nepřímých mapovacích metod (blíže další text) jsou obvykle pro potřeby určení souřadnic těchto bodů použity metody měření GNSS. Tyto metody měření jsou voleny především z následujících důvodů:

- rychlá metoda měření pro učení souřadnic bodu (1-5 minut na bod),
- není potřeba výchozích bodů státních polohových a výškových sítí,
- určení souřadnic v reálném čase a možnost okamžitého určení rozdílů se souřadnicemi na kontrolních bodech (KB),
- vše výše uvedené ovšem za předpokladu měření s kvalitní měřicí certifikovanou a kalibrovanou aparaturou přijmu signálů GNSS

Měření RTK jejichž princip spočívá v tom, že pomocí ROVERU (tedy pohybující se měřické aparatury) přijímáme signály z družic a vyhodnotíme polohu ROVERU. Ovšem tato poloha není zcela přesná, proto využijeme druhý GNSS přijímač, tzv. BASE STATION, který je umístěn na bodě se známou polohou. Na základě komunikaci mezi oběma GNSS přijímači dochází k přenosu korekčních dat do ROVERU, opravě chyby a zpřesnění výsledných souřadnic. Pro vlastní měření se v současné době už vlastní BASE STATION nepoužívají, ale jsou používány služby CZEPOS. Tato služba poskytuje uživatelům GNSS korekční data pro přesné určení pozice na území České republiky. CZEPOS spravuje a provozuje Zeměměřický úřad jako součást geodetických základů České republiky. Podrobnější popis této služby je uveden na [2].

Kvalitu této metody můžeme hodnotit pomocí několika parametrů. Prvním z nich je GDOP (geometric dilution of precision). Vyjadřuje kvalitu geometrického uspořádání družic použitých k zaměření bodu. Je-li rozmístění družic rovnoměrné po celém horizontu, je GDOP malý. K dalším parametrům snížení přesnosti určení polohy pomocí GNSS systémů patří HDOP (horizontal dilution of precision): snížení přesnosti v určení polohy ve 2D, VDOP (vertical dilution of precision): snížení přesnosti v určení výšky, PDOP (position dilution of precision): snížení přesnosti v určení pozice ve 3D a TDOP (time dilution of precision): snížení přesnosti v určení času. Tyto parametry můžeme využít při měření jako ukazatel přesnosti měření GNSS aparatury.

2.2 METODY NEPŘÍMÉHO MĚŘENÍ

Mezi metody nepřímého měření řadíme takové metody, kdy měříme terénní předměty na základě záznamů měřických aparatur, které proměřují terén bezkontaktně. Záznamy těchto aparatur, jako měřické snímky (letecké, pozemní), data dálkového průzkumu Země (leteckého a družicového) a záznamy laserového skenování (stacionárního, mobilního, leteckého) nám slouží k zprostředkovanému měření požadovaných objektů, případně jevů.

2.2.1 METODY LASEROVÉHO SKENOVÁNÍ

Laserové skenování je způsob detekce objektu pomocí vychylovaného laserového paprsku, jehož stopy na povrchu objektu jsou uspořádány v řádcích nebo rastru (vzniká tzv. mračno bodů). V některých případech je používán pro laserové skenování výraz LIDAR, který je však pojmem nadřazeným laserovému skenování, neboť je používán i ve smyslu jiných druhů měření, například k identifikaci druhů plynů v atmosféře, měření profilů, atd. Laserové skenování je tedy v obecném pohledu převod trojrozměrných objektů a ploch určených pro KoPÚ na digitální model s neselektivním sběrem milionů podrobných bodů popisujících terén a terénní předměty. Digitální model tvořený

diskrétními body (tzv. mračno bodů) používáme po jeho převodu do národního souřadnicového systému pro identifikaci a lokalizaci objektů a terénu v obvodu pozemkové úpravy. Jde tedy o nepřímé měření předmětů v mračno bodů, jinak řečeno, o sběr prostorových dat a zpracování do požadovaných výstupů. Výsledkem skenování je obvykle mračno bodů, tedy miliony zaměřených bodů s prostorovou polohou, které lze obarvovat podle různých kritérií (podle intenzity odrazu jednotlivých paprsků, podle výšky nad srovnávací rovinou – hypsometrie, podle vzdálenosti od umístění měřické aparatury od bodu mračna atd.). Aparatury měří podle typu konstrukce rychlostí až miliony bodů za sekundu. Technologie je ideální pro měření nepřístupných míst, v nebezpečných lokalitách a v případech, kdy je potřeba získat maximální množství informací o objektech a plochách v krátké době. Výstupy (2D a 3D v CAD programech a PDF souborech) je možné získat z prostorového modelu objektu a lze je přizpůsobit individuálním požadavkům kladeným na obsah mapování pro KoPÚ. Podle typu umístění lze skenery rozdělit **na pozemní** (terestrické) a to stacionární, které jsou postaveny na stativu nebo mobilní, kdy je skener umístěn na terénním automobilu, traktoru, v batohu měřiče atd. a na ruční, které jsou nesené člověkem **a na letecké**, kdy skener je nesen letadlem (nebo i bezpilotním prostředkem - dronem) nebo vrtulníkem, případně vírníkem.

2.2.1.1 Terestrické stacionární laserové skenování

Metoda terestrického stacionárního laserového skenování je metoda mapování určená především pro vysoce přesné mapování budov a přiléhajících exteriérů s nízkým šumem dat. Velmi přesné zachycení 3D objektů pomocí terestrických stacionárních skenerů významně zvyšuje produktivitu měření v porovnání s výše uvedenými geodetickými metodami prostřednictvím využití rychlého, jednoduchého a zároveň přesného a přenosného systému měření a následného mapování terénu a objektů na nich z mračen bodů v kancelářském prostředí. Stupeň automatizace měření v současnosti vyráběných stacionárních terestrických laserových skenerů je dosažen velmi inovativním snímáním dat, kdy je efektivně kombinován výkonný laser skener s vhodným softwarovým řešením pro ukládání dat a jejich předzpracování již v průběhu skenování. To prakticky umožňuje tvorbu výsledných dat pro mapování v reálném čase přímo v terénu. Přímě při skenování v terénu se při použití vhodného softwaru pro extrakci hran z mračna bodů dosáhne velmi rychlého zpracování dat mračna bodů do podoby finálního mračna a vektorových 3D modelů mapovaných předmětů. Nejlepší skenery současnosti dosahují výkonu při sběru dat až 2 miliony měřených bodů za vteřinu. Obvykle jsou pozemní laserové skenovací aparatury vybaveny i kamerami pro snímání panoramatických fotografií v HDR kvalitě. Skenování jednoho postavení skeneru je u nejrychlejších skenerů okolo dvou minut. Přesnost současných aparatur pozemního laserového statického skenování je typická úhlovou přesností v desetinách úhlové vteřiny a délkovou přesností 1.0mm + 10ppm. To znamená, že na vzdálenosti 40 metrů je výsledná přesnost bodů v mračnu ($RMSE_{xyz}$) kolem 5 až 6mm. Skenery jsou často vybaveny i dalšími komponenty zvyšujícími efektivitu použití jako například integrovanou inerciální jednotkou (Inertial Measuring Unit -- IMU), která umožňuje určení polohy mezi dvěma po sobě jdoucími stanovisky v reálném čase bez vypínání přístroje mezi měřeními a tím výrazně zefektivní proces pořízení a vlastně i zpracování laserskenových dat pro tvorbu podkladů pro KoPÚ.

2.2.1.2 Terestrické mobilní laserové skenování

Terestrické mobilní laserové skenování je uskutečňováno pohybem člověka, viz Obrázek 2-1 nebo pohybem automobilu, viz Obrázek 2-2.



Obrázek 2-1 Aparatura nesená člověkem - Leica Pegasus Backpack,

zdroj: <https://leicageosystems.com/products/mobile-sensor-platforms/captureplatforms/leica-pegasus-backpack>



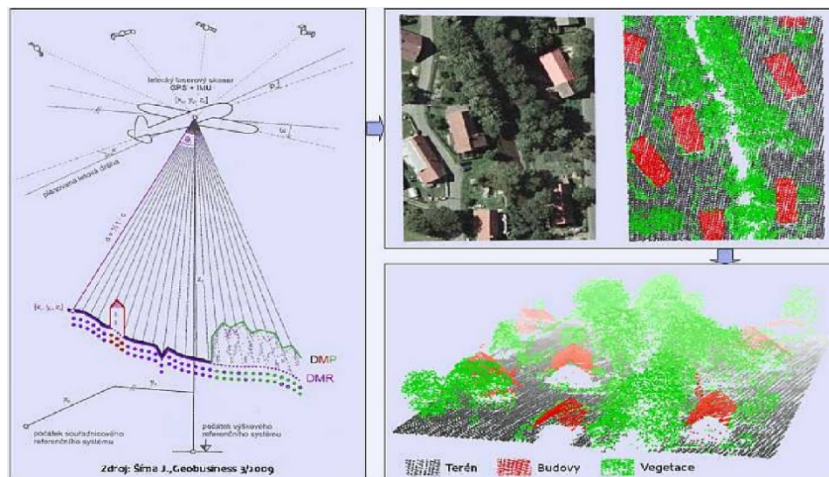
Obrázek 2-2 Aparatura mobilního laserového skenování firmy GB-geodezie, spol. s r.o.

Z podstaty pohybu těchto nosičů (člověk, automobil, ...) vyplývá, že terestrické mobilní laserové skenování je určeno jak k mapování liniových staveb komunikací (silničních, železničních a vodních), inženýrských sítí a například pasportizaci a mapování dopravního značení pozemních komunikací, ale po ukončení zemědělských prací a s použitím terénního vozidla i k měření ploch určených k pozemkové úpravě. Mobilní laserové scannery mohou sloužit ke kontinuálnímu dokumentování plochy určené ke KoPÚ. Nosič laserového skeneru a přídatných aparatur, jako jsou kamery, odometry, GNSS antény apod., se obecně pohybuje po nelineární trajektorii a pro správné určení polohy podrobných bodů objektů mapování je třeba znát pro každý okamžik měření přesnou polohu nosiče a směr měření. Tyto informace zajišťuje jednotka GNSS/IMU. Kvalita této jednotky zásadně ovlivňuje výškovou a polohovou přesnost mapování ploch a objektů určených k KoPÚ. Obecně při sběru dat pomocí pozemních mobilních laserových systémů jsou největším problémem zakryté prostory, které však lze obvykle skenovat z více stran a plochy bez dat významně eliminovat například průjezdem kolem solitérních stromů ze strany přilehlé komunikací a plochám k ní náležejícím.

Souběžně s laserovým skenováním probíhá u většiny aparatur snímkování digitálními kamerami a každému podrobnému bodu mapování lze přiřadit rovněž RGB informaci, viz [3].

2.2.1.3 Letecké metody laserového skenování s letounem s posádkou

V současné době je technologie leteckého laserového skenování (LLS) s letounem s posádkou již běžně používaná technologie mapování především pro tvorbu digitálních modelů reliéfu (DMR) určených pro studium odtokových poměrů v krajině a modelování záplav, tvorbu výškopisu a vrstevnic pro mapy velkých a středních měřítek, projektování dopravních infrastruktur a podporu rozvoje vizualizačních technologií v resortu obrany. Princip LLS spočívá v měření vzdálenosti, kterou urazí laserový paprsek mezi zdrojem záření umístěným na palubě letadla a zemským povrchem. Vzdálenost je určena časem mezi vysláním paprsku a jeho zpětným přijetím po odrazu od terénu nebo od jiných objektů na zemském povrchu. Současně je v okamžiku vyslání laserového paprsku pomocí navigačních GNSS systémů letadla a IMU měřena přesná poloha skeneru v prostoru, rychlost a směr letu. Kombinací záznamu všech informací získáme polohu bodu na zemském povrchu s přesností úměrnou výšce letu a kvalitě IMU. Skenovací jednotka má za úkol směřovat laser a zajistit určitou šířku skenování povrchu napříč směru letu letadla (či bezpilotního létajícího prostředku - UAV). Používá se většinou rotujícího hranolu či zrcátka, které vychyluje paprsek ve směru kolmém na směr letu. Pohyb ve směru letu pak zajistí pohyb samotného letadla ve vzduchu. Určení směru je pak relativně jednoduché, postačí pouze změřit vnitřní úhel pootočení skenovací jednotky. Pohybující se letadlo však neletí celý čas měření konstantní rychlostí, ve stejné výšce a bez jakéhokoliv klopení, klonění nebo rotace. Pro přesné určení polohy měřených bodů je tedy nutno znát souřadnice a orientaci laseru. K zaznamenání údajů o orientaci a rychlosti letadla (úhel podélného sklonu, úhel příčného sklonu, úhel rotace a dílčí složky zrychlení letounu ve všech třech osách letounu) se využívá inerciální měřické jednotky (IMU) složené z tří gyroskopů a tří akcelerometrů, které zachycují změny v náklonu letadla a jeho zrychlení. Kontrolu správnosti a aktualizaci pozice odhadované IMU zajišťuje palubní GNSS. Na Obrázek 2-3 je znázorněn schematicky systém LLS a výsledný DMP.

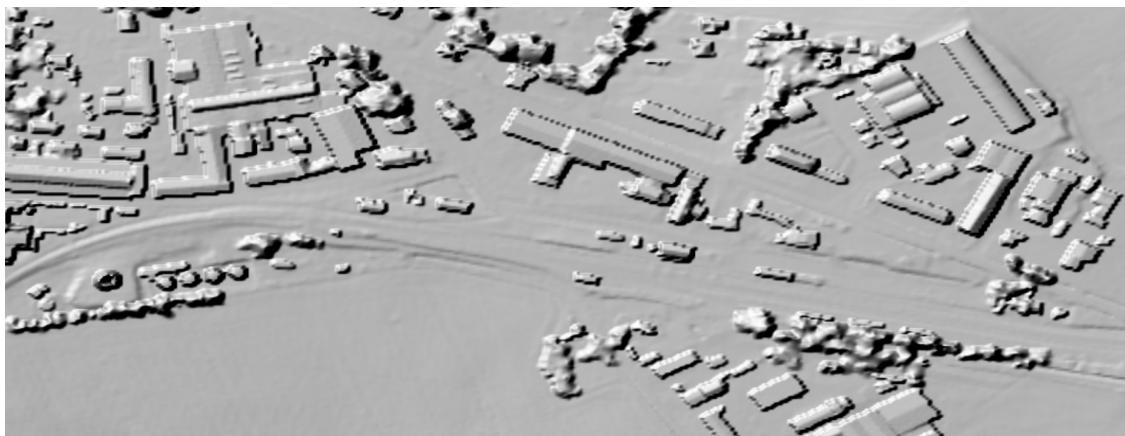


Obrázek 2-3 Schéma LLS a výsledek ve formě DMP, zdroj J. Šíma - Geobusiness a dibavod.cz. [8]

Laserový paprsek je během průchodu vegetací a objekty na terénu postupně odrážen. Jeho stopa se směrem od letounu rozšiřuje a podle výšky letounu nad terénem, typu laseru a jeho vysílací frekvenci (vlnová délka je obvykle mezi 1000 a 1500nm) je jeho stopa na terénu o průměru od 5 až do 60cm. Část energie tohoto světelného komolého kužele (laserového paprsku) může být odražena například od rohu střechy budovy, další část pokračuje směrem k zemi a může být ještě například odražena od keře přiléhajícího k budově a pouze část může proniknout až na samotný terén. Skenery, které umožňují tyto tzv. echa zaznamenávat, se nazývají full-waveform skenery a jsou tak schopny popsat a vyhodnotit pořadí jednotlivých odrazů v rámci jednoho vyslaného laserového paprsku. V případě vícenásobného odrazu jsou z prvního odrazu získány informace o povrchu (koruny stromů, střechy budov) a z posledního odrazu (echa) pak informace o samotném terénu. Výsledkem měření je mračno bodů. Hustota skenování je dána typem skeneru a výškou letu a řádově jde o jednotky až desítky bodů na m².

Dostupný digitální model povrchu (DMP) na území ČR představuje zobrazení území včetně staveb a rostlinného pokryvu ve formě nepravidelné sítě výškových bodů s přesností 0,4m pro přesně vymezené objekty (budovy) a 0,7m

pro objekty přesně neohraničené, jako jsou lesy a další prvky rostlinného krytu. Bližší popisy a charakteristiky lze nalézt na [4]: <https://ags.cuzk.cz/geoprohlizec/> (zapnout vrstvu DMP1G). Obrázek 2-4 ukazuje část města Chotěboř. DMP 1. generace je odvozen automatizovanými postupy. Jedná se o DMR 5G doplněný o objekty nad zemským povrchem. V zastavěných oblastech obcí (v intravilánu) jsou přidány body, které jsou automatickou filtrací vyhodnoceny jako budovy, a to jen v těch místech, kde se shodují LLS data a obrysy budov z katastru nemovitostí. Co se týče vegetace, jsou zařazeny do DMP body, které se nacházejí nad zemským povrchem a jejichž minimální rozloha je 25 m², což však omezuje použití těchto dat pro KoPÚ vzhledem k potřebám projekce kdy nás naopak tyto plochy dotvářející reálnou krajinou zajímají a tvoří nám základ prostorového rozdělení při tvorbě návrhů KoPÚ.



Obrázek 2-4 Nádraží Chotěboř a okolí ve vyjádření DMP1G

2.2.1.4 Letecké metody laserového skenování z dálkově pilotovaných prostředků

Letecké metody laserového skenování lze vykonávat v současnosti i s dálkově pilotovanými prostředky (UAV) a tyto postupy tvorby dat jsou principiálně shodné s postupy LLS, ale při obvykle pomalejším letu dronu je výsledná hodnota hustoty bodů mračna na metr čtvereční významně vyšší oproti použití skenerů v letounu s osádkou. Vlastní skenery jsou uzpůsobeny provozu UAV především co se týče hmotnosti. Na území ČR byly provedeny rozsáhlé testy k použití dat laserového skenování z dronů ve prospěch mapování katastru. V případě těchto testů byl terén skenován průměrně z výšky 33 m nad terémem při rychlosti dronu (hexakoptéry) 2,3 m/s. V místech překrytu skenovaných linií hustota bodů dosahovala 300 bodů/m², v okrajích jednotlivých pásů klesla na 100 – 120 bodů/m². Při testování nových mapovacích metod pro katastr bylo důležité zaručit jak požadovanou přesnost mapování, tak všechny procedurální kroky při určování hranic mezi vlastníky pozemků. Zjišťování hranic mezi vlastníky pozemků však musí být provedeno při použití této technologie až po odsouhlasení místně příslušným katastrálním pracovištěm neboť v [1] není k použití této technologie zákonná opora. Ukázka mračna bodů pořízeného laserovým skenováním obce Dlouhá Lhota u Sušice je Obrázek 2-5.



Obrázek 2-5 Ukázky hustého mračna bodů ze skenování dronem k.ú. Dlouhá Lhota

2.2.2 FOTOGRAMMETRICKÉ METODY MĚŘENÍ

Fotogrammetrie je věda, způsob a technologie, která se zabývá získáváním dat o prostorových objektech z fotografického snímku. Informace o předmětech se tedy nezískávají přímým měřením, ale měřením jejich fotografických obrazů. V současné době jsou v používání již výhradně digitální kamery, ať pro snímkování pozemní nebo letecké fotogrammetrie. Pro získání snímku lze použít zařízení od amatérských neměřických digitálních fotoaparátů až po specializované měřické fotogrammetrické kamery. Ze snímků lze odvodit tvar, velikost a umístění předmětu měření v prostoru či určit vzájemnou polohu jednotlivých objektů. Abychom mohly snímky použít jako snímky fotogrammetrické (měřické), je nutné u neměřických (amatérských) kamer nutné zjistit parametry vnitřní orientace kamer, kterými jsou: konstanta komory (ohnisková vzdálenost, f), poloha hlavního snímkového bodu (x_0 , y_0) a distorze objektivu. U měřických kamer jsou hodnoty distorzí korigovány v průběhu výroby objektivu kamery tak, aby se vzájemným postavením optických dílů minimalizovaly a případně matematicky korigovaly v sestavení výsledného snímku pořízeného v jeden okamžik (syntopická expozice) na více čidel CMOS nebo CCD. Kamera je pak dodávána s kalibračním protokolem vnitřní orientace. Abychom byli schopni ze snímkových párů vyhodnocovat stereoskopicky, nebo počítat obrazovou korelací mračna bodů a z nich vyhodnocovat objekty, je nutné znát i parametry vnější orientace snímků, tedy polohu projekčního centra (vstupní pupily, X_0 , Y_0 , Z_0) a rotace v jednotlivých osách souřadnicového systému, ve kterém chceme ve 3D vyhodnotit objekty v prostoru daném KoPÚ.

2.2.2.1 Metody měření pozemní fotogrammetrie statické

Využití pozemní fotogrammetrie při snímkování z ruky nebo stativu prožívá, v současné době dostupných digitálních kamer a použitelných free softwarů pro zpracování snímků metodou korelací, svoji renesanci. Zjednodušeně lze pro účely stanovení použitelnosti této metody jako podkladu pro KoPÚ rozdělit pozemní fotogrammetrii na průsekovou a stereoskopickou. U průsekové metody jsou osy záběru v obecné poloze a odvozuje umístění objektů postupným protínáním ze snímků pořízených z geodeticky známých stanovisek. Oproti stereofotogrammetrii je nevýhodou průsekové fotogrammetrie poměrně špatná identifikace bodů, především na oblých předmětech nebo předmětech bez hran nebo jiných povrchových znaků. Stereofotogrammetrie a vyhodnocení těchto snímků závisí na charakteristikách snímkování, kdy osy záběrů by měly být přibližně rovnoběžné. Metoda využívá principu lidského stereoskopického vidění a fyziologických vlastností lidských očí vidět prostorově. Stereoskopické vidění vzniká v našich očích a mozku jako výsledek dvojstředového promítání, kdy pozorovací paprsky levého a pravého oka se v prostoru protínají a vytvářejí zdánlivý prostorový model objektu. Prostorový vjem se znásobuje, pokud jsou obrazy pořízeny z větší fotogrammetrické základny. Těmito postupy protínání a stereofotogrammetrie a postupy korelace snímků jsou vytvořena mračna bodů obrazovou korelací pozemních snímků. Pozemní fotogrammetrii se obvykle měří menší plochy jako lomy a povrchové doly, potenciálně problémová místa sesuvů hornin a další obtížně dosažitelné prostory kde tedy obvykle o lokality povětšinou plošně nerozsáhlé.

2.2.2.2 Metody měření mobilními systémy pozemní fotogrammetrie

Mobilní systémy pozemní fotogrammetrie jsou založeny na současném snímkování terénu několika kamerami z pohyblivého prostředku obdobně, jako je tomu u pozemního mobilního laserového skenování. Velmi často jsou tyto kamerové systémy používány souběžně s mobilními laserovými skenery. Konstrukce a umístění těchto kamer musí splňovat hlavní podmínku, a to kontinuální snímkování celého okolí, v němž se mobilní prostředek, na kterém jsou kamery umístěny, pohybuje (obvykle člověk, automobil). Pohybem mobilního prostředku se vytváří dostatečný překryt mezi jednotlivými snímky, aby z těchto snímků mohlo být následně vypočítáno standardními fotogrammetrickými postupy korelací snímků prostorové mračno bodů popisující situaci v okolí pohyblivého se nosiče. V současné době je k dispozici na trhu celá řada konstrukčních řešení, ale prakticky všechny musí být spojeny s dalšími zařízeními jako je anténa a záznamové zařízení pro příjem GNSS signálů a IMU, případně s dalšími podpůrnými zařízeními jako jsou odometry, BUS sběrnice automobilů a další. Pro zjednodušení lze rozdělit kamerové systémy pro sběr dat na kamery tvořené jednou kompaktní snímací "hlavou" a na kamerové systémy skládající se ze samostatných kamer. Toto rozdělení je však formální, neboť hlavní podmínka nasnímkovat okolní prostor trajektorie pohybu nosiče s dostatečným překrytím snímků zůstává stejná. Na Obrázek 2-56 je ukázka systémů pro mobilní systémy pozemní fotogrammetrie. Současné kamerové systémy umožňují obvykle snímkovat v panoramatickém či

sférickém režimu (360°). Díky tomu je každý bod zachycen na více snímcích a z různých úhlů. Výrobci těchto kamer jsou firmy FLIR, Sony, Hitachi, Toshiba, IMC, Pelco a další.



Obrázek 2-6 Kamera LadyBug zakoupená firmou GIS-Stavinex a.s. Ostrava



Obrázek 2-7 Laserové skenovací zařízení Riegl s osmi směrovanými kamerami, zdroj: Riegl

2.2.2.3 Letecká fotogrammetrie s letounem s posádkou

V současné době se obvykle rozdělují bezkontaktní fotogrammetrické metody snímání podle typu senzorů, kterými jsou prováděny. Ze všech senzorů lze pro získání podkladů pro KoPÚ využít především takové, které umožní tvorbu ortofotomap, DMR, mračen bodů DMP a stereoskopické mapování předmětů a ploch v rozsahu plochy dané KoPÚ. Jde tedy především o digitální velkoformátové kamery, skenující fotogrammetrické kamery a letecké

optickomechanické skenery. Senzory, které je možné použít pro tvorbu podkladů pro KoPÚ v souvislosti s fotogrammetrií, jsou tedy pasivní senzory. V rychle se rozvíjejícím světě elektroniky, a v oboru snímacích světlocitlivých čipů zvláště, se objevují nejen nové součástky mikroelektroniky, ale i na nich založená aplikační zařízení. Výrobci leteckých senzorů tak vytváří ve velmi rychlém sledu nové a nové typy digitálních leteckých fotogrammetrických velkoformátových kamer. Dřívější situace, kdy zásadní inovační kroky v oboru výroby leteckých kamer se počítaly na desítky let, a například formáty filmu do leteckých kamer byly neměnné po dobu takřka 60 let, je již minulostí. Současní výrobci leteckých senzorů přicházejí na trh s novými kamerami v inovačním cyklu jednoho až třech let. Hlavní výrobci digitálních velkoformátových fotogrammetrických senzorů jsou prakticky tři: VisionMap Ltd., 19D HaBarzel St., Tel Aviv, 6971025, Izrael; Vexcel Imaging GmbH, Anzengrubergergasse 8, 8010 Graz, Rakousko a Leica Geosystems AG, Heinrich-Wild-Strasse, 9435 Heerbrugg, Švýcarsko. Tito producenti profesionálních fotogrammetrických velkoformátových kamer nabízejí řadu variant těchto kamer, včetně kamer kombinujících svislé (nadirové) snímky se snímky šikmými. Kamery bývají často používány v kombinaci s aparaturami leteckého laserového skenování. Tato kombinace přináší hlavní výhodu v tom, že v průběhu jednoho letu jsou pořízena data ze dvou senzorů a to pasivního (kamery) a aktivního (leteckého laserového skeneru). Existují i konstrukce, která tato dvě zařízení spojují v jeden kompaktní celek. Na trhu s fotogrammetrickými kamerami se v posledních letech našlo uplatnění a komerční prostor pro středněformátové profesionální fotogrammetrické letecké měřické kamery, jejichž produkty jsou používány pro fotogrammetrické účely, jak v provedení pro letouny s osádkou, tak i RPAS. Jedná se například o firmu Phase One A/S, Roskildevej 39, DK-200 Frederiksberg, Dánsko nebo firmu Victor Hasselblad AB, Utvecklingsgatan 2, SE-417 56, Gothenburg, Švédsko. Na trhu rovněž existují i firmy, které svoji produkci různých typů kamer odvozují od produkce fotogrammetrických kamer těchto výrobců středněformátových kamer, jako příklad lze uvést firmu IGI GmbH, Ingenieur-Gesellschaft für Interfaces, Langenauer Str. 46, 57223 Kreuztal, Německo, nebo firmy, které doplňují své výrobky těmito středněformátovými kamerami jako například Telodyne Optech, 300 Interchange Way, Vaughan, Ontario, L4K 5Z8 Kanada.

Jako neměřické kamery (tedy kamery, u kterých nejsou výrobcem garantovány parametry vnitřní orientace s dostatečnou přesností) lze použít celou škálu těchto kamer od profesionálních DSLR zrcadlovek až po běžné komerční kompaktní kamery. Při sestavování technologických linek pro bezkontaktní snímání musíme vždy brát v úvahu aktuální stav instrumentária na trhu, které musí být konfrontováno s požadavky na přesnost, úplnost a dalšími kvalitativními ukazateli a parametry pro mapování ploch určených k KoPÚ. Při výběru a sestavení vhodných parametrů snímání musíme tedy brát v úvahu stav a technické možnosti současné fotogrammetrie, letecké techniky a avioniky, navigačních systémů, omezeními leteckého provozu nad snímkanými lokalitami a dalšími podmínkami determinujícími požadavky tvorby podkladů pro KoPÚ. Pokud tyto podmínky a reálné možnosti současných aparatur a senzorů budou akceptovány, pak požadavky na mapování pro KoPÚ je možné uskutečňovat snímáním s velikostí pixelu na terénu (Ground Sample Distance - GSD) 4 až 5 cm.

2.2.2.4 Letecká fotogrammetrie s dálkově pilotovanými letouny (UAV)

Nové měřické fotogrammetrické systémy založené na pořízení leteckých neměřických snímků, nabízené většinou hlavními výrobci geodetické techniky (Trimble, Topcon, Leica, ...), se obvykle skládají z vlastního dálkově řízeného letadla, kterým je např. model s pevným křídlem, model vrtulníku, multikoptéra nebo řízená vzducholod'. Letadlo je vybaveno motorky, vrtulemi, baterií, přijímačem GNSS, vysílačem telemetrických údajů, inerciální měřickou jednotkou, elektronickým magnetometrem, bezpečnostními prvky a senzory. Dále jej tvoří snímače obrazových dat, obvykle digitální barevná neměřická kamera. Systém zahrnuje i programové prostředky pro plánování snímkového letu, záznam trajektorie letu a záznam parametrů vnějších orientací u všech exponovaných snímků (souřadnic XYZ expozičního centra a rotačních úhlů snímku v okamžiku expozice) ze zařízení GNSS/IMU. Hlavním cílem použití podpůrných zařízení GNSS/IMU bylo v počátku jejich použití kolem roku 1998 významně zkrátit poměrně časově náročnou technologickou etapu analytické aerotriangulace (AT) nebo pro obnovu map středních měřítek jí eliminovat vůbec. Cílem snah o využití GNSS/IMU (někdy ekvivalentní zkratka dGPS/INS) bylo určit EO parametry přímo z těchto zařízení. Porovnáním kvality určení EO přímým georeferencováním pomocí IMU, a do té doby používaným nepřímým určením EO (exterior orientation - parametry vnější orientace snímků) parametrů výpočtem AT (obvykle programy BLUH, ISAT, BINGO, ...), se zabývala řada teoretiků (v rámci rozsáhlého testování a porovnávání aparatur firem Applanix a IGI v rámci programu OEEPE (Evropská organizace pro výzkum a vývoj ve fotogrammetrii)). Heiko Hirschmüller [5], který v roce 2005 prolomil svým algoritmem Semi-Global Matching (SGM) otázku eliminace použití tradičních postupů aerotriangulace, je v procesu relativní a absolutní orientace LMS postup určení EO

významně jednodušší a protože hodnota zbytkové vertikální paralaxy akceptovatelná u zorientovaných modelů byla pod hodnotu 1,5 pixelu obrazu LMS pozorovaného na digitálních stereoskopických stanicích, je možné pro každou rotační složku (ω, ϕ, χ) rotací parametrů vnější orientace nalézt jednoduchou nerovnost určující mezní hodnotu tolerovatelné zbytkové chyby aparatury jako:

$$d_p \cdot 1,5 < H \cdot \text{tg } \omega(\phi, \chi) \quad (1)$$

kde - H je výška letu v [m], případně vzdálenost od objektu

- d_p je velikost pixel obrazu v [m]
- $\omega(\phi, \chi)$ je RMSE daného rotačního úhlu IMU [deg]

Od doby uveřejnění postupu algoritmu SGM se většina přístupů v mapování pokouší obejít stereofotogrammetrii vytvořením hustého mračna bodů z LMS. Z 3D mračna bodů vypočtených obrazovou korelací na základě algoritmu SGM lze následně vyhodnotit body a objekty v prostoru určeném KoPÚ. Snímkování je pro potřeby mapování ploch pro KoPÚ je potřeba uskutečnit rovněž s GSD= 4 až 5cm (stejně jako u fotogrammetrického snímkování s letouny s osádkou, případně lepším - 2 až 3cm), a s podélnými překryty snímků 80% a příčným překrytem alespoň 55%. Heiko Hirschmüller [5] popsal metodu účinnějšího zpracování stereoskopických dvojic prostřednictvím SGM a tím uvedl do pohybu velké množství programátorských týmů, které na základě jím uveřejněné algoritmizace upřesněné v následujících letech dalšími pracemi začali programovat jak vědecké, tak komerční postupy automatické korelace snímků. Hirschmüller v SGM vyřešil složitý postup (na základě prací předchozích programátorů a teoretiků – vycházel přibližně z 20 prací autokorelačních metod) dynamicky se měnící velikosti korelačního okolí na základě robustní shody výpočtu ve velkých plochách s předpokládaným přechodem do malých, významně strukturovaných, plošek obrazu. V nich vyhledává ve všech směrech dominantní (pilotní – „moudrý“) pixel a potom významně mění přístup k postupu korelace obrazů s tím, že pro hodnocení okolí používá jen celočíselných hodnot a tím účinně zvyšuje rychlost výpočtů především na více jádrových procesorech. Již tehdy tím dal jasně najevo, že správná cesta výpočtů je cesta výpočtu na grafických kartách. Dalším inovativním a důležitým krokem řešené problematiky je eliminace, respektive významná redukce neviditelných prostor v jednom stereopáru multinásobným řešením výpočtu míst, ve kterých z počátečního páru nebyla obdržena informace a její doplnění do celkového modelu povrchu vypočítané scény (to je důvodem pro významně vyšší překryt podélný či příčný, než je standardně pro fotogrammetrické mapování obvyklý 60% x 30%). Zároveň v této fázi Hirschmüller postupně hodnotí prostory, kde zbudou prostory nevyřešené (tedy prostory bez informace), robustní kombinací všech snímků pak vybere mediánem hodnoty nejvíce se přimykající předpokládanému řešení, a to i v prostorech diskontinuit a krajů násobně překrytých scén. Tento hierarchický výpočetní postup otevřel cestu pro robustní vyrovnání snímků bez významné citlivosti k různým světelným podmínkám v různých snímcích stejné scény včetně souběžného vyrovnání radiometrických hodnot v jednotlivých snímcích. Paradoxně tak Hirschmüller přispěl k tomu, že s masivním nástupem používání digitálních fotogrammetrických kamer po roku 2006 se významně snížily požadavky na kvalitu dat z INS vstupujících do vyrovnání snímkového bloku (zvýšenou tuhostí vyrovnávaného snímkového bloku uplatněním metody SGM). Souběžně bylo Mezinárodní společností pro fotogrammetrii a dálkový průzkum Země (ISPRS) doporučeno pro snímkování digitálními kamerami exponovat maximálně možný počet snímků do mezní rychlosti cyklu digitální kamery (tedy podle typu a konstrukce kamery od 0,7 až 2,1 sekundy) s úvahou, že vlastně každé projekční centrum je v rámci vyrovnání metodami AT dalším „pevným“ bodem při vyrovnání snímkového bloku. Prakticky při výpočtu se snímky s podélným překrytem větším jak 80% a při alespoň 40 až 45% příčném překrytu potřebu informací z INS eliminoval. Hirschmüllerův algoritmus založený na robustní automatické obrazové korelaci lze navíc nasadit v jakékoliv aplikaci snímkování (pozemní, mobilní, letecké) s jakýmkoliv kamerami (měřickými i neměřickými). Dále, při dostatečném vzájemném překrytu snímků scény lze realizovat výpočty bez prvotní znalosti parametrů nejen prvků vnější orientace, ale i vnitřní orientace kamer, které jsou z významného počtu nadbytečných měření na snímcích vypočteny automatizovaně. V ČR byly tyto postupy a návazné technologie použitelné v mapování katastru ČR testovány autorem této Metodiky v rámci projektu BETA u TA ČR číslo projektu TB02CUZK002, který vyústil v návrh Revize stávajících nařízení, vyhlášek a technických předpisů, vztahujících se k Obnově novým mapováním[13]. Návrh byl předán v listopadu 2016 na ČÚZK. Na základě výsledků tohoto výzkumu v projektu BETA byla zpracována v roce 2019 Metodika [12]. V Metodice [12] jsou zpracovány postupy tvorby dat pro KoPÚ, avšak pouze metodou snímkování pomocí UAV.

2.3 KOMBINACE METOD PŘÍMÉHO A NEPŘÍMÉHO MĚŘENÍ

2.3.1 GNSS A POZEMNÍ FOTOGRAMMETRIE

V několika posledních letech byla předními firmami na trhu s geodetickou technikou vyvinuta nová zařízení pro mapování kombinující přímo zařízení pro určování prostorové polohy pomocí GNSS s postupy pozemní fotogrammetrie. Tyto metody lze v oblasti KoPÚ použít poměrně sporadicky, například při podrobném mapování hranice intravilánu s územím určeným k KoPÚ. Metoda však není uvedena v [1], takže její použití vzhledem k dikci předpisu je poměrně problematické. Významnými zástupci těchto technologií jsou firmy Leica a Trimble. Trimble již v roce 2014 vstoupil na trh se svým zařízením Trimble V10. Zařízení kombinuje kamerovou hlavu a anténu GNSS, viz Obrázek 2-8. Využitím této technologie se zabýval ve své bakalářské práci Ing. Z. Formánek [6]. Systém Trimble V10 podporuje fotografie ve 360-ti stupňovém rozsahu a najednou vyfotí 12 snímků kolem stanoviska. Samotné podrobné body mapování se pak určují pomocí průsekové fotogrammetrické metody, takže k určení bodů musí existovat dvě nebo více fotografií pořízených z různých stanovišť. Dalším výrobkem je nejnovější GNSS přijímač firmy Leica GS18 I, který umožňuje snadné fotogrammetrické mapování, identifikaci a měření bodů přímo v terénu za použití unikátní sklonoměrné inerciální jednotky a automatického zpracování snímků z integrované kamery. Kamera je napevno integrována do GNSS přijímače s IMU, tak jsou v reálném čase známy prvky vnější orientace snímků (souřadnice expozičního centra všech snímků a tři prostorové rotace vůči souřadnicovému systému) pořízených za chůze měřičem. Pro mapování podrobných bodů pak postačuje, aby ve snímkových překrytech byly vybrány snímky s vhodným úhlem protnutí vůči podrobnému bodu. Ze znalosti EO jednotlivých snímků lze pak postupy průsekové fotogrammetrie určit souřadnice mapovaného podrobného bodu. Vlastní sběr dat je poměrně jednoduchý proces. Po spuštění snímkování zařízení začne s frekvencí 2 Hz (2 snímky za vteřinu) po dobu max. 1 minuty vytvářet sérii snímků. Měřič se pouze rozejde a hlídá si kritéria, která jsou nutná pro dosažení přesných výsledků, kterými jsou: RTK fixní řešení, zinicizovaná sklonoměrná IMU jednotka, orientace kamery kolmo ke směru chůze doleva nebo doprava směrem k zájmovému objektu mapování. Měřič jde rychlostí běžné chůze v mírném oblouku kolem objektu mapování. Zájmové body musí být ve vzdálenosti 2 – 10 m od kamery. Pokud jsou tyto parametry dodrženy (systém je automatizovaně hlídá a upozorňuje měřiče na možnou nestabilitu řešení průsekové metody, např. na konvergentnost snímkových dvojic) tak následně přímo v terénu v příslušném programu pro vyhodnocení snímků postačí vždy kliknout na požadovaný bod v jednom snímku a o zbytek se



Obrázek 2-8 Trimble V10 vpravo s GNSS přijímačem, vlevo s odrazným hranolem; zdroj: Trimble.com

postará program automatické korelace snímků, kdy automaticky najde identický bod na okolních snímcích a spočítá jeho 3D prostorovou polohu. V případě potřeby toto lze provést přímo v terénu ihned po nasnímání nebo po ukončení měření v kanceláři. Z těchto snímkových skupin lze v příslušném softwaru vygenerovat i hustá 3D mračna bodů metodou Dense Image Mapping (dle algoritmu SGM). Přesnost takto určených bodů je podle vzdálenosti

objektů od kamery $RMSE_{xyz} = 2 - 4$ cm. Využití kombinace metod měření GNSS a průsekové fotogrammetrie nachází především uplatnění při měření těžko přístupných nebo nepřístupných bodů, případně při mapování podrobných bodů v nebezpečných lokalitách, jako jsou např. hluboké příkopy, vysoké strmé svahy, svislé stěny, nedosažitelné prostory například spodní části mostních konstrukcí a dalších prvků železničních staveb. Výhodou této kombinace mapovacích technik je i možnost vrátit se k obsahu snímků a v kanceláři doměřit potřebné mapové objekty bez nutnosti vracet se do lokality. Obrázek 2-9 zobrazuje měřicí systém Leica GS18 I. Přesnost této aparatury studoval ve své diplomové práci Ing. Martin Rokyta v 2021 [11].



Obrázek 2-9 Zařízení Leica GS18 I

dostupné k 1.2.2021 na https://www.gefos-leica.cz/data/original/gnss-systemy/gs18_i/gs18_i_cz_letak.pdf

2.3.2 POLYGONÁLNÍ POŘADY, POLÁRNÍ METODY, METODY TERESTRICKÉHO LASEROVÉHO SKENOVÁNÍ A POZEMNÍ FOTOGRAMMETRIE

Zástupcem spojení geodetických metod měření, laserového skenování a pozemní fotogrammetrie jsou moderní multistanice. Většina výrobců geodetické techniky má ve své nabídce alespoň jedno zařízení, které v sobě integruje vysoce výkonnou totální stanici, terestrické stacionární laserové skenovací zařízení a alespoň jednu kameru pro průsekovou fotogrammetrii. Typickým zástupcem těchto technologií pro mapování je zařízení firmy Leica MS60. Tato multistanice je sestavena z totální stanice s vysokou přesností měření úhlů o hodnotě $1''$ a měřením vzdáleností v kvalitě $1\text{mm} + 1.5\text{ppm}$. V multistanici je integrován 3D laserový skener. Dále je stanice vybavena dvěma kamerami (přehledová a dalekohledová) s automatickým ostřením. Přehledová kamera je v horní části těla dalekohledu a dalekohledová v optické ose dalekohledu. Tyto kamery lze využít jednak pro dokumentaci a asistenci při měření tak, že kliknutím na displeji do obrazu z kamery se stanice otočí na dané místo. V případě použití snímků jako dokumentačních lze tyto snímky ukládat i s případnými ručně nakreslenými skicami nebo také s promítnutými měřeními a importovanými objekty, např. s 3D drátovým modelem objektu mapování. Program vestavěný v multistanici umožní obarvení naskenovaných 3D mračen bodů reálnými barvami z přehledové kamery. K využití snímků pro metody mapování průsekovou fotogrammetrií je využívána přehledová kamera, která má v multistanici uložené parametry své vnitřní orientace a díky tomu lze ze snímků této kamery měřit mapované objekty zobrazené na snímcích z různých stanovisek a určovat přesnou 3D pozici jednotlivých objektů. Díky tomuto postupu, stejně jako v předchozí stati, se měřič nemusí do lokality vracet, pokud zapomene změřit na objektu mapování nějaké podrobné body. Následující Obrázek 2 -10 ukazuje multistanici Leica MS60.



Obrázek 2- 10 Leica MS60

dostupné k 1.2.2021 na <https://www.gefos-leica.cz/o-produktech/geodeticke-pristroje/totalni-stanice>

3 POUŽITÍ MOBILNÍHO LASEROVÉHO SKENOVÁNÍ PRO POTŘEBY PROJEKČNÍCH PRACÍ KOPÚ

Zkušenosti firem se skenováním pro použití při tvorbě podkladů pro KoPÚ nebyly až na výjimky veřejně publikovány. A to i přesto, že na webových stránkách českých firem, v oboru laserového skenování renomovaných, které se zabývají především laserovým skenováním pozemních komunikací pro potřeby pasportizace komunikací nebo pro tvorbu všeobecně informačních podkladů pro veřejnost, je použití metod laserového mobilního skenování ve prospěch KoPÚ anoncováno. Ve vlastním projektu nebyl tento postup sběru dat testován. Samotný postup pro pořízení laserskenových dat a dat panoramatického snímkování je ve stručnosti popsán v následujících odstavcích.

3.1 PŘÍPRAVNÉ PRÁCE PRO MOBILNÍ LASEROVÉ SKENOVÁNÍ

Před započítím vlastního mobilního skenování je zapotřebí vykonat řadu dílčích úkonů. Tyto úkony lze rozdělit na práce organizační, ve kterých je potřeba vybrat vhodnou dobu pro skenování, obvykle jde o dobu podzimní po sklizni produktů z polí vlastníků, k jejichž parcelám se KoPÚ vztahuje. Mezi další přípravné práce patří geodetická měření VB a KB pro kontrolu kvality DTM získaného z mobilního laserového skenování.

3.2 ZAMĚŘENÍ VB A KB PRO MOBILNÍ LASEROVÉ SKENOVÁNÍ

Pro určení souřadnic výchozích bodů je používána technologie GNSS a to především alternativa RTK tak, jak je uvedeno v kapitole 2.1.2. Tato metoda je volena s ohledem na rozsah mapovaného území a počet a hustotu bodů, přístupnost míst měření, potřebnou přesnost určení souřadnic výchozích bodů (do 30mm ve všech souřadnicích), časovou náročnost s ohledem na vyvážený poměr kvality a finanční náročnosti terénních měření. Pro měření je závazné použití souřadnicového systému jednotné trigonometrické sítě katastrální (S-JTSK) a výškového systému Balt po vyrovnání (Bpv). S-JTSK i Bpv patří k závazným referenčním systémům podle „Nařízení vlády č. 430/2006 Sb. o stanovení geodetických referenčních systémů a státních mapových děl závazných na území státu a zásadách jejich používání“ [7]. Tyto systémy jsou pro běžné geodetické práce zcela dominantní a využívají se pro polohová měření prostorové polohy bodů (souřadnic Y, X a výšky H). S ostatními systémy se setkáváme pouze ve speciálních aplikacích (letectví, armádě atd.). S-JTSK je určen:

- Besselovým elipsoidem s parametry $a = 6377397,15508$ m, $b = 6356078,96290$ m, kde „a“ je délka hlavní poloosy, „b“ je délka vedlejší poloosy,
- Křovákovým konformním kuželovým zobrazením v obecné poloze,
- souborem souřadnic bodů z vyrovnání trigonometrických sítí.

Výškový systém baltský po vyrovnání je systém vztažený k hladině baltského moře a je určen:

- výchozím výškovým bodem, kterým je nula stupnice mořského vodočtu v Kronštadu,
- souborem normálních výšek z mezinárodního vyrovnání nivelačních sítí.

GNSS aparatury měří ovšem pomocí Evropského terestrického referenčního systému (ETRS) a je nutné provést pro potřeby tvorby podkladů pro KoPÚ pro danou plochu transformaci souřadnic do S-JTSK a Bpv. Transformaci je možné provést dvěma způsoby pomocí lokálního, nebo globálního transformačního klíče. Lokální transformace spočívá v tom, že v lokalitě určené plochou KoPÚ a jejím blízkém okolí zvolíme alespoň 3 body (tři neznámé X, Y, Z) a vypočítáme transformační klíč pro danou lokalitu. Globální transformační klíč je určen pro území celé České republiky a jeho přesnost se pohybuje v jednotkách centimetrů na území celé ČR. ČÚZK taxativně vyjmenovává transformační programy pro transformaci mezi ETRS89 a S-JTSK pomocí zpřesněné globální transformace použitelné pro data získaná pomocí GNSS.

3.3 REALIZACE PRACÍ MOBILNÍHO SKENOVÁNÍ

Před výjezdem do ploch určených obvodem KoPÚ a zahájením prací mobilního laserového skenování, je důležité si vůči dosahu měření konkrétního typu laseru naplánovat trasu poježdění terénním vozidlem tak, aby splnila očekávanou polohovou a výškovou přesnost výsledného DMP pro potřeby projekčních prací a případně mohla být vstupem pro hodnocení erozí ohrožených ploch. Po příjezdu do lokality a před započítím sběru dat mobilním skenováním je nutné provést inicializaci měřícího systému v délce cca 15 minut. Inicializace systému zahrnuje inicializaci jednotky GNSS, IMU a odometru. Po statické inicializaci, systém (auto) stojí v klidu po dobu 5 minut

v otevřeném terénu a přijímá data z navigačních družic GNSS. Výběru místa je zapotřebí pro manévr s vozidlem při inicializačním postupu je nutné věnovat dostatečnou pozornost a provádět tuto činnost tam, kde je otevřený terén s co možná největším počtem družic GNSS. Bezprostředně po ukončení statické inicializace je nutné zahájit dynamickou inicializaci systému. Dynamickou inicializaci začínáme jízdou vozidlem dopředu, zrychlujeme a zpomalujeme, kroužíme, děláme osmičky, a pokud podmínky dovolí, provedeme rychlou jízdu (cca 70Km/h) v přímém směru. Dynamické urovnání probíhá do té doby, dokud nejsou přesnosti IMU (Roll, Pitch a Yaw) obvykle v hodnotách do 0.020 deg pro Roll, Pitch respektive pro Yaw do hodnoty 0.050 deg (stane se tak obvykle za dvě až tři minuty, což je zhruba po ujetí 2 až 3 km vzdálenosti), zde je nutno poznamenat, že každý systém a každá aparatura má vlastní podmínky a potřeby inicializace, které se od výše popsaných mohou lišit. Po inicializaci je systém připraven na sběr dat v ploše polností určených KoPÚ. Před samotným spuštěním sběru dat je nutné ještě nastavit teplotu, průměrnou nadmořskou výšku lokality, vlhkost a okamžitý atmosférický tlak.

3.4 PRŮBĚH SKENOVÁNÍ

Po inicializaci systému se po předem naplánované trase v ploše určené k KoPÚ projede vozidlem s laserovou aparaturou celá tato trasa. Vozidlo by nemělo na delší dobu jak několik minut zastavit neboť při delším stání na místě se zhorší přesnosti určování veličin pomocí IMU a to nejvíce přesnost Yaw, jejíž přesnost během cca 5-7 min klesne pod toleranční hodnotu 0.10 deg. Ovládání systému je řízeno z automobilu prostřednictvím dotykového monitoru. V průběhu skenování ploch určených rozsahem KoPÚ je vhodné, aby byly dobré klimatické podmínky bez deště (problém s kapkami deště na skleněných krytech objektivů), mlhy,

3.5 DATA MOBILNÍHO LASEROVÉHO SKENOVÁNÍ A PANORAMATICKÉHO SNÍMKOVÁNÍ

Po stažení dat ze systému aparatury do výpočetních serverů se parametry vnějších orientací panoramatické kamery (respektive n-tice snímků) z či jiných kamer kamery provedou výpočtem na základě dat z dGPS/IMU a data se propojí s laserovými daty. Následně se zahájí zpracování laserskenových dat, jehož výsledkem jsou urovnaná laserová mračna bodů (*.las) a uspořádané panoramatické snímky s prvky EO (*.jpg).

3.6 VYROVNÁNÍ DAT NA TRAJEKTORIE DRÁHY LASERU

Po stažení dat z měřících aparatur je prvním krokem jejich zpracování výpočet trajektorie, po které se terenní automobil pohyboval. Z MMS obdržíme primární (raw - surovou) trajektorii, která je pouze přibližná s prostorovou odchylkou od reálné trajektorie do jednoho metru.

Postup prací v programu vedoucích k vyrovnání trajektorie MMS aparatury

- Import dat z MMS (surová trajektorie, data z GNSS a IMU)
- Automatické stažení a import přesných efemerid družic GNSS
- Import Rinex souborů permanentních/virtuálních GNSS stanic
- Výpočet kinematickou metodou
- Export zpřesněné trajektorie

Pro měření a vyrovnání jsou používány referenční stanice sítí TopNet, CzePos, nebo dalších provozovatelů permanentních stanic. Souřadnice těchto stanic jsou dány v souřadnicovém systému ETRS89. Rovněž vstupní data MMS jsou definována v tomto souřadném systému. Při výpočtu trajektorie dochází ke kombinaci dat z GNSS přijímače a inerciální měřící jednotky (IMU), díky čemuž je možné zpětně rekonstruovat trajektorii i v místech, kde došlo k výpadkům GNSS signálu – například při projíždění kolem kraje hustého lesa. Výpadky mají přímý vliv na výslednou polohovou a výškovou přesnost výstupních dat. Po vyrovnání dat na VB lze začít s interpretací mračen laserových bodů, respektive jejich zpracováním do podoby DMP.

4 POUŽITÍ LETECKÉ FOTOGRAMMETRIE VE PROSPĚCH KOPÚ

Letecké snímkování má v současné době v projekčních pracích ve prospěch KoPÚ nezastupitelné místo. Výstupy typu ortofoto lze využít nejen pro vlastní projekční práce, ale i jako dokumentace stavu území před započítáním vlastních projekčních prací KoPÚ.

V rámci projektu KoPÚ je obvykle plocha definovaná v zadání KoPÚ zvětšena o odpovídající buffer za hranici pozemkové úpravy o 100 až 200m, aby vytvořené podklady ukazovaly souvztažnost s okolními polnostmi za hranicemi řešení KoPÚ. Během leteckého snímkování budou pořizovány svislé letecké snímky, buď velkoformátovou digitální leteckou kamerou nebo kamerou neměřickou při použití letecké fotogrammetrie s dálkově pilotovanými nosiči. Pro provedení leteckého měřického snímkování s rozlišením leteckých snímků $GSD=5\text{cm}$ může být plocha určená pro KoPÚ rozdělena do dílčích snímkových bloků (především při použití dálkově pilotovaných nosičů) tak, aby tyto bloky co nejvíce akceptovaly geomorfologické podmínky reálné krajiny. V souvislosti se směrem a změnou stoupání svahů horských masivů je v dílčích snímkových blocích zvolen hlavní směr snímkování s cílem minimalizovat výškové rozdělení letových os.

Po zvážení základního směru letových os se přistoupí k plánování leteckého snímkování a simultánně se připraví plán rozložení VB a KB tak, aby jejich rozložení bylo rovnoměrné v celém snímkovém bloku a výpočet AT na sebe triangulačně navazoval. Pro dobré navázání snímkových bloků musí mít jednotlivé triangulační bloky vzájemný přesah minimálně jedné letové osy a minimálně 3 snímků v každé letové ose do sousedního bloku. Plánování snímkování je vhodné provést na základě znalosti průběhu DMT a parametrů vnitřní orientace kamery zvolené pro snímkování. Plán umístění VB a KB je navržen tak, aby VB a KB byly v násobných meziřadových překrytech. Po dokončení prací na signalizaci VB a KB v lokalitě je snímkový blok připraven k leteckému měřickému snímkování. Letecké měřické snímkování pro tvorbu podkladů pro KoPÚ bude realizováno s cílem minimalizovat prostory zastíněné vegetací. Letecké měřické snímkování se provede za takového počasí, aby se na snímcích nevyskytovaly mraky ani jejich stíny. Při snímkování nesmí na terénu ležet sněhová pokrývka. Snímkování je však možné realizovat pod kompaktní vysokou nebo střední oblačností, tyto snímky bez stínů vržených předmětů na terén se vyznačují poměrně nízkým rozsahem expozic a jsou "měkčí" a výhodnější pro stereoskopické vyhodnocení.

Po vyvolání digitálních snímků a sestavení všech záznamů o snímcích se provede jejich zálohování na disková pole. Následně se snímky předají k měření, zpracování a výpočtu AAT. Pro zahájení měření a výpočty AAT bude provedena kontrola dat na vstupu do AAT. K těmto kontrolám patří kontrola úplnosti dat VB a KB, existence souboru parametrů vnějších orientací všech snímků v snímkovém bloku zjištěných za letu a parametry vnitřní orientace kamery. Pokud jsou všechny tyto údaje k dispozici, provede se měření snímkových souřadnic VB a KB. Po změření VB a KB bude spuštěn výpočet spojovacích bodů a bude provedeno vyrovnání AAT. Pokud z jakýchkoliv důvodů nejsou VB a KB signalizovány, nebo nebudou identifikovatelné na snímcích (například když je barva přes zimu vybledlá a na snímcích je bod neinterpretovatelný) lze při rozlišení alespoň $GSD=5\text{ cm}$ nahradit VB, případně i KB, dobře přirozeně signalizovanými body jakými jsou například kanalizační šachty, kanálové vpusti, šoupata, rohy čar vodorovného dopravního značení nebo rozhraní dvou zpevněných ploch o různých denzitách v obrazu snímku, které jsou změřeny po ukončení leteckého měřického snímkování na základě požadavků a pokynů pracovníka měřícího AAT. Aerotriangulace je neurastenickým bodem celé technologie fotogrammetrického bezkontaktního mapování. Z tohoto důvodu je potřebné, aby hodnoty chyb, respektive rozdílů souřadnic, na kontrolních bodech nesmí vůči přímému měření souřadnic klasickými geodetickými metodami překročit hodnoty $D_x, D_y \leq 8\text{ cm}$ a $D_z \leq 10\text{ cm}$. Po AAT se provede mapování potřebných ploch určených k KoPÚ fotogrammetrickým mapováním (vyhodnocením) ze stereodvojic leteckých měřických snímků.

V případě použití stereofotogrammetrické metody mapování nebo aktualizace podkladů budou využity vyhodnocovací prostředky, u kterých je možné z jejich dokumentace doložit, že při jejich použití je dosaženo požadované výsledné přesnosti určovaného bodu. Digitální model povrchu vytvořený buď na základě korelačních výpočtů nebo jejich kombinací s výsledky stereoskopického vyhodnocení je v další etapě zpracování podkladů pro KoPÚ použit k vytvoření ortofoto s rozlišením 5 cm/pixel . Výsledná ortofoto by měla být bezešvá a barevnostně vyrovnaná. Střední polohová chyba ortofoto by měla mít největší přípustnou chybu 2,5 pixelu na 95% území. Výsledná ortofoto by měla být prostá mraků a viditelných chyb, jakými bývají rušivé fragmenty a chyby v důsledku špatné ortorektifikace. Data jsou následně rozdělena do vhodného kladu listů pro řešenou lokalitu.



5 POUŽITÍ POZEMNÍHO LASEROVÉHO SKENOVÁNÍ

Pozemní statické laserové skenování plošných lokalit určených k projekčním pracím vymezeným plochami určenými k KoPÚ není standardně firmami využíváno s výjimkou technických zařízení v krajině, jakými jsou hráze rybníků a jejich uzávěry. Mračno bodů získané technologií pozemního laserového skenování musí umožňovat v budoucnosti vytvoření 3D modelů těchto menších objektů pro potřeby modelování krajiny.

6 PŘESNOST MĚŘENÍ BODŮ BEZKONTAKTNÍMI MĚŘICKÝMI METODAMI

Všechny metody měření bodů v širším slova smyslu mapování je možné hodnotit na základě řady kritérií. V dalším textu kapitoly jsou stručně rozebrány základní podmínky determinující přesnost určení prostorových souřadnic bodu nebo objektů pomocí jednotlivých mapovacích metod a snaží se vystihnout limity přesnosti těchto metod.

6.1 PŘESNOST MĚŘENÍ BODŮ DOSAŽITELNÁ POUŽITÍM GEODETICKÝCH METOD

Jak již bylo konstatováno v kapitole 2, jsou podmínky použití geodetické techniky pro potřeby měření bodů v KoPÚ jasně dány postupy v [1] a normou [9].

6.2 PŘESNOSTI MĚŘENÍ BODŮ MOBILNÍM LASEROVÝM SKENOVÁNÍM

V předchozích kapitolách byl podrobně popsán postup mobilního laserového skenování. První podmínkou úspěšnosti interpretace měřených bodů a dosažení požadované přesnosti určení polohy a výšky bodů je v případě použití metody MLS hustota bodů, kterou je plocha, respektive měřený předmět popsán. Aby byl předmět (objekt) dobře prostorově popsán (a byla tak možnost jeho jednojednoznačné interpretace) musí být ve svém důsledku zobrazen ve výsledném mračnu bodů tak, aby nebylo pochyb o jeho tvaru a o místě v kterém se má bod na daném objektu změřit nebo jak má být vykonstruován jeho prostorový model. Hustota bodů popisujících objekt je tedy zásadním předpokladem pro přesné určení souřadnic měřeného bodu, respektive jeho interpretaci v mračnu bodů a možnosti pointace v tomto mračnu bodů. Hustotu bodů však nelze počítat jako prostý průměrný počet bodů na metr čtvereční plochy, ale je nutné dbát na to, aby tato hodnota byla hodnotou popisující prostorový předmět nikoliv prostou rovinnou plochu v půdorysném pohledu. Druhou zásadní podmínkou je určení prostorové polohy hlav skenerů v každém okamžiku v průběhu skenování. Bez správného určení trajektorie pohybu aparatury by i dostatečně husté mračno nedávalo předpoklady splnit parametry přesnosti dané [1]. Přesnost určení prostorové trajektorie aparatury je však oproti hustotě výsledného mračna (kterou můžeme uzpůsobit rychlostí jízdy, výkonem laseru, frekvencí rotace zrcadla, atd.) prakticky dána charakteristikami nakoupeného zařízení a jeho výkon nejsme v průběhu měření prakticky schopni ovlivnit a hlavním hybatelem přesnosti je pak prakticky ve volném terénu na polních tratích jen aktuální prostorová konfigurace družic GNSS. Tento fakt je možné pozorovat i při porovnání charakteristik jednotlivých výrobců skenovacích aparatur, kteří osazují své lasery komponentami pro určení prostorové polohy za pohybu, které mají skoro stejné charakteristiky přesnosti a oproti na trh dodávaným novým a novým variantám laserových skenerů nabízejí stále prakticky stejnou komponentu pro měření orientace celé skenovací aparatury v prostoru. V souhrnu lze požadovat, aby laserová skenovací aparatura pro potřeby pořízení dat a podkladů pro KoPÚ byla aparatura dvouhlavová s úhlem křížení profilů ve vodorovné rovině v rozmezí 100 až 120 stupňů a měřené profily byly od sebe průměrně vzdáleny ne více jak 20cm a vzdálenost (hustota bodů) po sobě na profilu ležících bodů nebyla v průměru větší jak 5cm. Aby byly splněny požadavky výše uvedených předpisů je vhodné, aby mobilní laserové skenovací aparatury měly následující parametry:

1. Absolutní chyba určení prostorové polohy trajektorie nesmí být větší jak 5,5 cm
2. Absolutní chyba určení prostorové výšky trajektorie nesmí být větší jak 7,5 cm
3. Přesnost úhlu klopení a klonění (Roll, Pitch) musí být alespoň (nebo rovna) 0,008°
4. Přesnost úhlu rotace (Heading) musí být alespoň (nebo rovna) 0,015°
5. Frekvence příjmu dat GNSS alespoň 5Hz nebo vyšší
6. Frekvence odečítání dat z jednotky IMU alespoň 200Hz nebo vyšší

6.3 PŘESNOST URČENÍ SOUŘADNIC BODŮ METODAMI LETECKÉ FOTOGRAMMETRIE

Přesnost určení souřadnic bodů DMP, DMT a polohová přesnost ortofot v prostoru určeném k KoPÚ závisí především na velikosti GSD (ground sample distance - vzdálenosti dvou sousedících pixelů obrazu na terénu) snímku, počtu VB a jejich rozmístění ve snímkovém bloku, podélném překrytu snímků, příčném překrytu mezi jednotlivými snímkovými řadami. Tyto parametry zásadně ovlivňují možnosti splnit parametry přesnosti daných v [1]. Technické možnosti současných velkoformátových a středněformátových kamer umožňují snímkovat běžně s potřebným GSD v rozmezí 2 až 5cm. Přesnost měřených bodů pomocí fotogrammetrických metod měření, především pak stereoskopických

postupů měření bodů ve třídě přesnosti 3 je možné realizovat snímkováním s tímto GSD beze zbytku. Vzhledem k požadavkům uvedených v směrnících pro mapování ve prospěch KoPÚ a běžným možnostem současné fotogrammetrické snímkovací techniky, postupům vyrovnání snímkových bloků a možnostem subpixelové pozorování při stereoskopickém vyhodnocování bodů měření je vhodné při sběru dat fotogrammetrickými podmínkami dodržet následující požadavky:

1. GSD v nadírové části snímku nesmí překročit hodnotu 5,5 cm
2. podélný překryt snímků po sobě jdoucích na snímkové řadě musí být alespoň 80%,
3. příčný překryt mezi řadami alespoň 55%,
4. aparatura GNSS/IMU musí mít minimálně parametry uvedené v kapitole 6.2.,
5. VB musí být rovnoměrně rozloženy v celé ploše snímkové lokality a jejich počet by měl být při použití velkoformátových leteckých kamer nejméně 8 ve snímkovacím bloku, při použití neměřických kamer nejméně 1VB na každých 90 snímků
7. pro výpočet DMP a DMT musí být použit odpovídající program obsahující SGM nebo SfM algoritmus

6.4 PŘESNOST LETECKÉHO LASEROVÉHO SKENOVÁNÍ

Stejně jako u MLS je i u leteckého laserového skenování (LLS) důležitým pro výsledek mapování prostorové polohy bodů a vytvoření DMP a DMT rychlost letadla, počet laserových paprsků vyslaných k terénu za vteřinu a tedy počet bodů výsledného mračna na metr čtvereční na terénu, pravidelnost rozdělení této hustoty v celé lokalitě skenování (stanovení minimální hodnoty počtu bodů na metr čtvereční), kvalitativní parametry aparatury GNSS/IMU spojené s aparaturou LLS a počet a rozložení výchozích bodů pro vyrovnání snímkového mračna. Pro splnění parametrů přesnosti pro LLS přichází prakticky v úvahu jen několik typů bodů, a to bodů popisujících terén a terénní tvary, které je možné mapovat metodou LLS tak, aby odpovídaly požadavkům běžné praxe při tvorbě podkladů pro KoPÚ. Aby byla zajištěna polohová a výšková přesnost z mračna bodů pořízených LLS je nutné, aby parametry LLS splňovali následující podmínky:

1. počet bodů na metr čtvereční musí být nejméně 5 bodů,
2. výšková přesnost bodů musí být lepší nebo rovna 6 cm,
3. polohová přesnost bodů musí být lepší nebo rovna 10cm,
4. příčný překryt mezi řadami skenování musí být alespoň 40%,
5. aparatura GNSS/IMU musí mít minimálně parametry uvedené v kapitole 6.2
6. počet výchozích prostorových bodů pro vyrovnání bodového mračna musí být nejméně 8 bodů na lokalitu, jejíž velikost nepřesahuje 1000ha
8. kalibrační protokol skeneru a IMU dodaný výrobcem nesmí být starší dvou let.

7 VEŘEJNÁ GEODATA A JEJICH ZDROJE

V [10]: Metodickém návodu k provádění pozemkových úprav, platného ke dni 01. 01. 2016, vydaného pod Č.j. 10747/201013300 Státním pozemkovým úřadem jsou uvedeny v kapitole 2.3 podklady, které mají být při projekci KoPÚ použity a jež jsou povětšinou veřejně přístupnými (v některých případech za úplatu) zdroji. V této kapitole se uvádí že (dále citace z Metodického návodu - kurzívou):

V procesu řešení pozemkových úprav se setkáváme s celou řadou podkladů, a to ve všech jeho fázích, zejména pak v přípravné fázi. Jedná se o podklady nutné pro správnou přípravu zadání pozemkových úprav, ale také dále při provádění rozborů a průzkumů nutných pro zdárné zpracování návrhu pozemkových úprav. Většinu těchto podkladů zajišťují PÚ, některé pak zpracovatel. K podkladům, které zajišťuje PÚ ve fázi přípravy, patří podklady z KN, prostorová data spravovaná Zeměměřickým úřadem, dokumenty územního plánování, ostatní mapové podklady, případně strategické dokumenty MAS (místní akční skupina). U zajištěných podkladů je třeba v průběhu procesu pozemkových úprav sledovat jejich aktuálnost. Zde je nutná úzká součinnost PÚ, KP a zpracovatele. Dále se jedná o různé druhy dokumentace zpracované v řešeném území. Tuto dokumentaci si v průběhu provádění průzkumů na základě aktuálních zjištění může s pověřením PÚ zajistit zpracovatel. V případě problémů s jejím zajištěním (zejména zpoplatnění některých podkladů) tuto dokumentaci zajišťuje PÚ, který má oporu v zákoně [1]. Zde se upozorňuje na § 9 odst. 3 zákona [1], dle kterého jsou dotčené správní úřady a správci podzemních a nadzemních zařízení povinni v dohodnutých termínech poskytnout PÚ bezúplatně potřebné údaje a informace nezbytné pro řízení o pozemkových úpravách a pro vypracování návrhu. Dále se jedná o různé metodické podklady a ostatní písemné podklady. Sem je možné zařadit zejména různé odborné metodiky, normy, směrnice, případně odbornou literaturu. Tyto podklady by měl mít k dispozici zpracovatel, resp. měl by si je zajistit. Písemné podklady, kterými jsou podmínky, vyjádření, stanoviska apod. zajišťuje PÚ (§ 6 odst. 6 zákona [1]), ve fázi zpracování návrhu pozemkových úprav je může zajišťovat zpracovatel v úzké spolupráci s PÚ (stanoviska k plánu společných zařízení apod.). Další specifické podklady závisí na konkrétním řešeném území. Ve fázi přípravy řízení, pokud jsou tyto podklady nutné pro přesné stanovení rozsahu zadání pozemkových úprav, je zajišťuje PÚ.

Od podrobnosti podkladů a jejich rozsahu se odvíjí výsledný návrh pozemkových úprav a dále pak realizace navržených opatření. Proto by těmto podkladům měla být věnována značná pozornost. V následujícím textu je uveden stručný přehled a základní popis podkladů. Podrobný rozbor všech podkladů by byl nad rámec metodického návodu. Jedná se většinou o úzce specializované podklady vyžadující zkušenosti a znalosti příslušného oboru.

PODKLADY Z KATASTRU NEMOVITOSTÍ

Základními podklady pro vypracování návrhu pozemkových úprav jsou údaje KN. Katastr nemovitostí je veřejný seznam, který obsahuje soubor údajů o nemovitých věcech (dále jen „nemovitost“) vymezených katastrálním zákonem [9] a katastrální vyhláškou [10], zahrnující jejich soupis, popis, jejich geometrické a polohové určení a zápis práv k těmto nemovitostem. Obsah KN je uspořádán v katastrálním operátu podle k.ú. a tvoří jej:

- *soubor geodetických informací (SGI), který zahrnuje katastrální mapu a její číselné vyjádření (určení souřadnic S-JTSK geodetickými metodami),*
- *soubor popisných informací (SPI), který zahrnuje údaje KN stanovené katastrálním zákonem [9],*
- *dokumentace výsledků šetření a měření pro vedení a obnovu SGI, včetně místního a pomístního názvosloví,*
- *sbírka listin, která obsahuje rozhodnutí orgánů veřejné moci, smlouvy a jiné listiny, na jejichž podkladě byl proveden zápis do KN, úplná znění prohlášení vlastníka domu a dohody spoluvlastníků o správě nemovitosti,*
- *protokoly o vkladech, záznamech, poznámkách, dalších zápisech, opravách chyb, námitkách proti obnovenému katastrálnímu operátu, výsledcích revize katastru a o záznamech pro další řízení.*

V KN jsou evidovány zjednodušeným způsobem pozemky, jejichž hranice v terénu neexistují a jsou sloučeny do větších půdních celků (dle terminologie katastrální vyhlášky [10] tzv. parcely zjednodušené evidence), proto je nutné využívat i podklady z předchozích pozemkových evidencí.

Jedná se o následující podklady:

- *pozemková kniha,*
- *operát bývalého pozemkového katastru,*



- operát scelovacího řízení,
- operát přidělového řízení,
- operát evidence nemovitostí.

Kromě výše uvedeného slouží údaje předchozích evidencí vzhledem ke své vypovídací schopnosti jako podpůrný prostředek při návrhu PSZ a návrhu nového uspořádání pozemků. Veškeré výše uvedené podklady spravuje příslušné KP a jsou poskytnuty zpracovateli na základě objednávky příslušného PÚ.

PROSTOROVÁ DATA SPRÁVOVANÁ ZEMĚMĚŘICKÝM ÚŘADEM

Prostřednictvím webového rozhraní Geoportálu ČÚZK <http://geoportal.cuzk.cz> je umožněn přístup k výběru jednotlivých datových sad prostorových dat pořizovaných v resortu ČÚZK, které lze využít pro vypracování návrhu pozemkových úprav. Tyto datové sady spravuje Zeměměřický úřad a jsou poskytnuty zpracovateli na základě objednávky příslušného PÚ. Sestavení a odeslání objednávky se provádí prostřednictvím internetového obchodu. Jedná se o tyto datové sady:

- Katastr nemovitostí
- RÚIAN
- ZABAGED
- Mapy Státní mapové dílo v měřítku 1:5000, 1:10 000 a další mapy středních a malých měřítek
- **Ortofoto**
- **Digitální model reliéfu České republiky 4. generace (DMR 4G)**
- **Digitální model reliéfu České republiky 5. generace (DMR 5G)**
- **Výškopis**
- Správní a katastrální hranice
- Geonames
- Bodová pole
- Archiválie

OSTATNÍ MAPOVÉ PODKLADY

- Mapy BPEJ
- Mapa komplexního průzkumu půd (KPP) 1 : 10 000
- Mapa plánu ÚSES
- Mapy souborů lesních typů (SLT)
- Mapa s vyznačením pásem hygienické ochrany (PHO)
- Výkresy obcí ÚPD (ZÚR, ÚP, RP) obsahující mj. závazné vymezení ÚSES
- Porostní mapy 1 : 10 000

Vyjmenované podklady jsou určující jako základní podklady pro tvorbu KoPÚ. Bezkontaktní metody měření nám však významně mohou zpřesnit naše výchozí podklady ve prospěch projekčních prací. Pokud se blíže podíváme na charakteristiky, respektive abstrakty metadat uváděné Zeměměřickým úřadem zjistíme k ortofotomapám:

Abstrakt z metadat ortofoto geoportálu ZÚ:

Digitální zdánlivě bezešvé ortofoto České republiky v barevné škále 8 bitů. Pixel rastrového obrazu Ortofota ČR zobrazuje 0,20 m (na jaře 2022 bude k dispozici z části území ČR aktualizované ortofoto s GSD=12.5cm) území ve střední rovině terénu. Polohová přesnost charakterizovaná střední souřadnicovou chybou v rovinatém terénu je **0,25 m**, ve členitých terénech dosahuje hodnoty **0,5 m**. Ortofoto ČR je distribuováno v grafických rastrových formátech JPG po výdejních jednotkách o velikosti zobrazující 2,5 x 2 km terénu v kladu SM 5.

Zdroj:[https://geoportal.cuzk.cz/\(S\(g3fi4ufbu0hgmpjorskecyxj\)\)/Default.aspx?mode=TextMeta&metadataID=CZ-CUZK-ORTOFOTO-R&metadataXSL=full&side=ortofoto](https://geoportal.cuzk.cz/(S(g3fi4ufbu0hgmpjorskecyxj))/Default.aspx?mode=TextMeta&metadataID=CZ-CUZK-ORTOFOTO-R&metadataXSL=full&side=ortofoto)

Abstrakt z metadat DMR 5 z geoportálu ZÚ:

Digitální model reliéfu ČR 5. generace představuje zobrazení přirozeného nebo lidskou činností upraveného zemského povrchu v digitálním tvaru ve formě výšek diskretních bodů v nepravidelné trojúhelníkové síti (TIN)

bodů o souřadnicích X,Y,H, kde H reprezentuje nadmořskou výšku ve výškovém referenčním systému Balt po vyrovnání (Bpv) s úplnou střední chybou **výšky 0,18 m** v odkrytém **terénu a 0,3 m** v zalesněném terénu. Model ... je určen k analýzám terénních poměrů lokálního charakteru a rozsahu, např. při projektování pozemkových úprav...

Zdroj:[https://geoportal.cuzk.cz/\(S\(g3fi4ufbu0hgmpjorskecyxj\)\)/Default.aspx?mode=TextMeta&metadataXSL=full&side=vyskopis&metadataID=CZ-CUZK-DMR5G-V](https://geoportal.cuzk.cz/(S(g3fi4ufbu0hgmpjorskecyxj))/Default.aspx?mode=TextMeta&metadataXSL=full&side=vyskopis&metadataID=CZ-CUZK-DMR5G-V)

Abstrakt z metadat DMR 4 z geoportálu ZÚ:

Digitální model reliéfu ČR 4. generace představuje zobrazení přirozeného nebo lidskou činností upraveného zemského povrchu v digitálním tvaru ve formě výšek diskrétních bodů v pravidelné síti (5 x 5 m) bodů o souřadnicích X,Y,H, kde H reprezentuje nadmořskou výšku ve výškovém referenčním systému Balt po vyrovnání (Bpv) s úplnou střední chybou **výšky 0,3 m** v **odkrytém terénu a 1 m** v **zalesněném terénu**.

Zdroj: [https://geoportal.cuzk.cz/\(S\(g3fi4ufbu0hgmpjorskecyxj\)\)/Default.aspx?mode=TextMeta&metadataID=CZ-CUZK-DMR4G-V&metadataXSL=Full&side=vyskopis](https://geoportal.cuzk.cz/(S(g3fi4ufbu0hgmpjorskecyxj))/Default.aspx?mode=TextMeta&metadataID=CZ-CUZK-DMR4G-V&metadataXSL=Full&side=vyskopis)

Abstrakt z metadat výškopisu z geoportálu ZÚ:

Výškopisnou část ZABAGED® tvoří 3 typy objektů vrstevnic se základním intervalem 5, 2, nebo 1 m v závislosti na charakteru terénu. Přesnost výšky vrstevnic je závislá na sklonu a členitosti terénu a **dosahuje 0,7-1,5 m v odkrytém terénu, 1-2 m v sídlech a 2-5 m v zalesněném terénu**. Obsah datové sady ZABAGED® - výškopis - 3D vrstevnice je doplněn vybranými dalšími výškopisnými prvky – klasifikovanými hranami a body, které byly vyhodnoceny stereofotogrammetrickou metodou při zpřesňování vrstevnicového výškopisu a jsou uživatelům nabízeny zdarma k případnému dalšímu využití...

Zdroj:[https://geoportal.cuzk.cz/\(S\(g3fi4ufbu0hgmpjorskecyxj\)\)/Default.aspx?mode=TextMeta&metadataXSL=full&side=vyskopis&metadataID=CZ-CUZK-ZABAGED-VV](https://geoportal.cuzk.cz/(S(g3fi4ufbu0hgmpjorskecyxj))/Default.aspx?mode=TextMeta&metadataXSL=full&side=vyskopis&metadataID=CZ-CUZK-ZABAGED-VV)

Zvýrazněné hodnoty jsou pro použití při projekci KoPÚ velmi diskutabilní především s přihlédnutím k faktu, že výsledky všech geodetických a projekčních činností by měly směřovat k dodržení přesnosti všech určených bodů (v první fázi projektovaných) v kódu kvality 3. Bezkontaktní metody měření jak jsou popsány výše, nám mohou dodat významně kvalitnější podklady, jak v poloze předmětů mapování (ortofoto, tvorba účelového polohopisu), tak ve významně kvalitnějších výškopisných podkladech (DMT, DMP, hodnota výšek bodů účelového polohopisu), které pak lze použít při studiu:

- odtokových poměrů i v ploché krajině,
- melioračních systémů a jejich funkčnosti,
- při projektování společných opatření,
- udržení vody v krajině,
- návrhu krajinnotvorných prvků, jenž mají být součástí KoPÚ.

Rovněž tyto podklady napomohou při projednávání návrhů úprav s vlastníky a umožňují významně snazší představení projektu prostředky virtuální reality (VR) s jasně vkomponovanými prvky Návrhu KoPÚ.

8 NÁVOD K ROZHODNUTÍ O VYTVOŘENÍ NOVÝCH PODKLADŮ PRO KOPÚ

Na základě charakteristik veřejně dostupných dat uvedených v předchozí kapitole a v návaznosti na etapu Podrobného průzkumu terénu (podrobné zaměření polohopisu a výškopisu) uvedených v [10] je nutné pro zpřesnění podkladů potřebných pro projekční práce KoPÚ zpřesnit v předchozí kapitole tučně uvedené body, aby byly splněny podmínky vstupu dat do katastru v úrovni kódu kvality 3. Vzhledem k uvedenému je nutné stávající podklady poskytnuté katastrálním úřadem, respektive Zeměměřickým úřadem, uvedené a popsané v kapitole 7 považovat za nedostačující a to z hlediska polohové a výškové přesnosti nebo aktuálnosti údajů. Tyto důvody vedou projektanta KoPÚ nechat si u geodetických firem, případně u vlastního geodetického oddělení, zhotovit podklady nové vyhovující kritériím přesnosti kódu kvality 3. Mezi tyto podklady patří mapování skutečného stavu, ortofoto, digitální model terénu a digitální model povrchu. Pro správné a optimální rozhodnutí o vhodné metodě tvorby těchto podkladů (při dodržení technických podmínek stanovených ve výše uvedených kapitolách pro jednotlivé metody mapování) je důležité zvážit následující kritéria, která shrnují obsah výše uvedených kapitol:

1. Rozsah KoPÚ
2. Požadavky na polohovou a výškovou přesnost nově vytvořených produktů
3. Geografickou polohu lokality
4. Geomorfologické charakteristiky lokality
5. Výši finančního obnosu, který bude možné z rozpočtu KoPÚ na požadované produkty použít
6. Termín, v kterém budou nově vytvořené produkty potřebné pro tvorbu KoPÚ
7. Kapacity vlastních geodetů pokud jsou přímo zaměstnáni ve firmě vytvářející KoPÚ

Na základě těchto kritérií, která by v počátku rozhodování měla mít stejnou váhu, lze optimalizovat rozhodnutí o použití vhodné metody bezkontaktního mapování pro tvorbu aktuálních a přesných podkladů.

8.1 ROZSAH KOPÚ

Pro rozhodnutí o vytvoření nových podkladů pro projekční práce KoPÚ je jedním z faktorů pro rozhodnutí o použití bezkontaktních metod mapování velikost plochy, respektive ploch, určených k úpravám. Pokud se extravilání část ploch určených k KoPÚ skládá z více ploch v daném katastru, bude vhodné je "zcelit" jedním mapovým postupem aby navazující plochy neurčené k KoPÚ a jejich okolí byly mapově propojeny. Z tohoto požadavku se jeví vhodným postupem letecké snímkování a tvorba ortofoto skutečného stavu a DMR a DMP. Pro použití bezkontaktních metod mapování je vhodné zjistit, zda v blízkém okolí té které konkrétní lokality (do vzdálenosti přibližně 40km) nejsou započaty KoPÚ v jiných katastrálních územích. Tato znalost může v kooperaci s řešiteli těchto KoPÚ v "sousedních" katastrech významně snížit náklady na pořízení nových podkladů sloučením případné objednávky na letecké měřické (nebo i neměřické) snímkování a zvýšit tak efektivitu při tvorbě těchto podkladů, respektive snížit finanční náklady na pořízení podkladů na jednotku plochy. Další možností jak snížit náklady na letecké snímkování je dohoda s firmou provádějící tyto letecké práce směřující k stavu, kdy však obvykle nejsme schopni ovlivnit termín snímkování - viz odstavec 8.6 a firma, po ukončení prací na signalizaci VB a KB případně bodů PBPP, provede snímkování tzv. "po cestě". Samozřejmě tento fakt souvisí i s rozhodováním o použití bezpilotních prostředků nebo letounů s osádkou a je v úzké vazbě na odstavec 8.3, 8.5 a 8.6.

8.2 POŽADAVKY NA POLOHOVOU A VÝŠKOVOU PŘESNOST NOVĚ VYTVOŘENÝCH PRODUKTŮ

Pro stanovení polohové a výškové přesnosti podkladů by mělo platit, že všechny podklady musí být vyhotoveny s kódem kvality 3. Tato všeobecná podmínka, však v některých plochách řešených KoPÚ nemusí být dostatečná a to především tam kde je nutné zavést protierozní opatření anebo obecně tam kde potřebujeme výškopisné podklady vyšší kvality. Pro letecké snímkování a tvorbu DMR platí jednoduché pravidlo pro určení a priori hodnoty přesnosti výšek v digitálním modelu reliéfu určeném korelací leteckých snímků: $RSME_z = GSD * 1,8$ tedy pokud budeme snímkovat (při dodržení překrytí a dalších parametrů uvedených výše) s $GSD=5\text{cm}$ lze očekávat hodnotu střední kvadratickou odchylku ve výšce v hodnotě 9cm, obdobně pak při $GSD=3\text{cm}$ bude hodnota 5,4cm atd. Polohová přesnost je dána stejnými vztahy. Tyto vztahy platí pro letecké snímkování s měřickými kamerami a postupy stereoskopického vyhodnocení skutečného stavu. Pokud je snímkováno neměřickými kamerami, je nutné k výše uvedeným odchylkám připočítat přibližně 30% hodnot odchylek. Je nutné si ale uvědomit, že vyhodnocení skutečného stavu v případě použití neměřických kamer, snímkujících obvykle z bezpilotních prostředků, je



vyhodnocením a interpretací obsahu vytvořené ortofotomapy tedy dvojdimenzionálního podkladu a třetí rozměr (nadmořská výška) se mu přiřazuje z vytvořeného digitálního modelu reliéfu, což ovšem především při vyhodnocování terénních čar jakými jsou terénní hrany kolem příkopů a jiných diskontinuit snižuje přesnost určení těchto bodů v porovnání s geodetickým nebo stereofotogrammetrickým měřením o další jednotku GSD. Pokud je jako technologie vybráno mobilní laserové skenování po ukončení sklizni plodin přesnost v poloze a výšce je v jednotkách centimetrů a vytvořené ortofoto ze snímků pozemního mobilního laserového skenování pořizovaných současně s laserovým skenováním je podle odlehlosti jednotlivých nájezdů s GSD=5 až 10cm.

8.3 GEOGRAFICKÁ POLOHA LOKALITY

Pro rozhodování o použití jedné ze dvou leteckých metod bezkontaktního mapování je velmi důležitá jeho geografická poloha vůči základním fotogrammetrickým firmám tedy Plzeň, Hradec Králové a Brno snímajícími s letouny s osádkou. Vzdálenost do lokality a přelet letounu tam a zpět je poměrně významnou součástí ceny za dodání podkladů. Je tedy vždy nutné oslovit firmy provádějící fotogrammetrické práce s požadavkem o nabídku tvorby podkladů, neboť v řadě případů mohou mít v oblasti KoPÚ jiné cílové lokality a mohou tak nabídnout konkurenčně výhodnou cenu v porovnání s cenou při použití bezpilotních letounů viz i odstavec 8.1. Při využití bezpilotních letounů je vzdálenost dodavatele produktů od řešené plochy KoPÚ relativně nepodstatná.

8.4 GEOMORFOLOGICKÉ CHARAKTERISTIKY LOKALITY

Geomorfologické charakteristiky lokality KoPÚ jsou při použití leteckého skenování nebo fotogrammetrického snímkování podstatným parametrem ovlivňujícím kvalitu výsledných produktů. Neboť polohová a výšková přesnost uvedené v odstavci 8.2 je odvozena z velikosti GSD je nutné, aby tento parametr byl dodržen v celé ploše lokality KoPÚ. V rovinných územích s dodržením tohoto parametru potíže nenastávají. V pahorkatinách nebo obecně řešeno v zvlněných je potřeba snímkovat tak aby byl předpoklad že GSD v rámci snímku a snímkového bloku se bude co nejvíce přibližovat požadované hodnotě, jak je uvedeno v kapitole 4. Některé metody mapování jako mobilní laserskenové mapování pomocí terénního automobilu jsou pak v oblasti extrémních sklonů nerealizovatelné.

8.5 FINANČNÍ LIMITY NA TVORBU AKTUÁLNÍCH PODKLADŮ

Stanovit limitní cenu, kterou chceme nebo můžeme vynaložit na tvorbu nových aktuálních podkladů pro projekční práce na KoPÚ je velmi nevhodné bez porovnání nabídek firem zabývajících se leteckým snímkováním a výrobou ortofotomap, DMR, DMP a mapováním skutečného stavu ať fotogrammetrickými nebo laserově skenovacími metodami. V rámci nabídkového řízení na soutěži v projekci KoPÚ zadaných SPÚ je velmi vhodné již v této fázi oslovit tyto firmy a do soutěžních podmínek si zahrnout své náklady na pořízení těchto podkladů. Obecně lze říci, že na průměrném katastrálním území lze obdržet tyto podklady při použití bezpilotních prostředků za 40 až 60 tisíc Kč, při použití letounu s osádkou je tato hodnota ovlivněna faktory popsány především v odstavci 8.3

8.6 TERMÍN DODÁNÍ PRODUKTŮ PRO TVORBU KOPÚ

Požadavky na termín dodání produktů bezkontaktními metodami mapování je dán jednak termínem vyhlášení soutěže na daném k.ú., a z toho vyplývajícími možnostmi uskutečnit letecké práce pro mapování v mimovegetačním období. Pokud je například vyhlášena soutěž v podzimních měsících, tak si sice projekční firmy nechají nacenit letecké práce, ale po vyhlášení vítěze soutěže v průběhu jarních měsíců je již nestihnou realizovat v mimovegetačním období. Sice jsou postupy jakými eliminovat výšky porostů plodin a vytvořit kvalitní DMR, ale heterogenita podloží je důvodem pro nerovnoměrné výšky porostu a tak například v depresích, kde je větší půdní vlhkost a kvalitnější ornice je výška porostu obilnin až o 20% vyšší a pokud odečteme v digitálním modelu povrchu od dané plochy zaseté obilniny jednu hodnotu výšky porostu určenou v kraji půdního bloku, tak se může stát, že tato drobnější deprese významná například z pohledu erozí nám v modelu takto upraveném zanikne.

8.7 EFEKTIVNÍ VYUŽITÍ KAPACIT GEODETŮ U PROJEKČNÍ FIRMY

Pokud projekční firma pracující na zakázkách KoPÚ má jako vlastní zaměstnance geodety je nasnadě, že využije jejich kapacit. Je vždy otázkou posoudit co lze, a za jakou cenu, pořídit vlastními silami a co je výhodnější si objednat u specialistů, jakými jsou fotogrammetrické firmy, ať snímající s letouny s osádkou nebo dálkově pilotovanými letouny. Oproti metodám přímého měření skutečného stavu a mapování výškopisu geodetickými metodami (v užším



slova smyslu) je vždy ke zvážení zda nepoužít bezkontaktní měření k vytvoření nových, aktuálních, měřicky přesných podkladů pro využití při tvorbě podkladů pro KoPÚ.

9 EKONOMICKÉ HODNOCENÍ BEZKONTAKTNÍCH MĚŘICKÝCH METOD

V souvislosti s kapitolou 8 jsou v následujících odstavcích porovnány některé technologie bezkontaktních mapovacích metod. Všechny tabulky a závěry jsou však orientační neboť ve smyslu odstavců 8.1 až 8.4 je vždy nutné hodnotit tu kterou lokalitu určenou k pracím KoPÚ a **nechat si zpracovat nabídky na konkrétní lokalitu**, když se rozhodneme použít významně přesnější podklady, než nám nabízí ZÚ. Ceny totiž významně ovlivňuje nejen například vzdálenost lokality od mateřského letiště firem používajících letadlo s posádkou, požadavek na rychlost dodání podkladů a další parametry vstupující do obdržené cenové nabídky. Z toho důvodu jsou dále uvedené tabulky pouze velmi přibližnou charakteristikou reálné poptávky po pracích v konkrétní lokalitě.

9.1 EKONOMICKÉ POROVNÁNÍ MAPOVÁNÍ POMOCÍ UAV A LETOUNU S OSÁDKOU

V Tabulce 1 jsou uvedeny přibližné orientační odhady poměrů mezi bezpilotním letounem a letadlem s posádkou. Tabulku je třeba brát opravdu orientačně, protože nebyla odvozena od žádného konkrétního typu UAV a letounu s posádkou. Přesto si můžeme představit například za UAV letadlo MAVinci SIRIUS Pro a za fotogrammetrický letoun Cessna C206.

UAV	Přibližný odhad poměrů mezi RPAS : Letadlem s posádkou	Letadlo s posádkou
1	hmotnosti prostředku	1000
1	provozních nákladů*	100
1	pořizovací ceny prostředku (nosiče)	25
1	nákladů na výcvik (přezkušování) pilotů a operátorů**	20
1	relativní operativnosti v případě snímání jednoho cíle	15
1	ceny pravidelně opakovaného snímání plochy do 5km ²	10
1	adaptability nasazení senzorů	2
20	relativní operativnosti v případě snímání více cílů	1
50	rychlosti snímkování vůči velikosti plochy při stejném GSD	1
10000	efektivity při snímání GSD 3 cm nad 5 km ²	1

Tabulka 1 - Přibližný odhad poměrů mezi UAV a Letadlem s posádkou

* na straně UAV jsou započteny provozní náklady osobního vozidla

** do odhadu zahrnuto palivo i náklady na pravidelné roční přezkoušení, poplatky za examinaci pilotů, atd.

Všeobecné doporučení pro rozhodování mezi UAV a letadly s posádkou nelze prakticky stanovit, neboť mimo výše uvedeného záleží při výběru nosiče významně například i na výdrži UAV. Konkrétní použití té či oné technologie je však vždy dáno uvážlivým hodnocením konkrétních požadavků na výsledky snímkování, na velikost lokality a dalších podmínek snímkování a samozřejmě celkové ceny dané technologie pro danou lokalitu při naplnění požadavků na kvalitu výsledků. Časové a finanční porovnání etap tvorby ortofoto a mapování je uvedeno v Tabulce 2 a vychází z teoretického přibližného porovnání výrobních časů potřebných na jednotlivé etapy činností u obou technologií - UAV a snímkování s letadlem s posádkou při GSD = 3 cm, tedy GSD, který jsou schopny obě porovnávané technologie snímkovat.

Časové porovnání etap tvorby v hodinách na identické lokalitě 5km ² s GSD 3cm	Letadlo UAV	Letadlo s osádkou
Tvorba projektu	0,50	0,75



Příprava výchozích bodů v terénu (závisí však významně na tvaru lokality)	6,00	4,50
Plánování snímkového letu	0,50	1,00
Předletová příprava	0,50	1,00
Snímkový let v lokalitě	3,00	0,02
Zpracování snímků a záznamy po ukončení letu	0,50	0,50
Příprava snímků k výrobě ortofot a mapování	0,50	1,00
Vlastní tvorba ortofotomap a DSM a DTM	5,00	0,25
Vlastní mapování na úrovni SM 1: 5000	95,00	60,00
Celkem hodin	111,5	69,02
Cena při hodinové sazbě 450Kč	50 175	31 059

Tabulka 2 - Teoretické časové a finanční porovnání etap tvorby ortofoto a mapování

Tabulka 3 uvádí přibližné finanční náklady jednotlivých etap výroby (významně agregovaných) u obou technologií - UAV a snímkování s letadlem s posádkou při odevzdání stejně kvalitních výsledných produktů zadavateli.

Finanční náklady etap na identické lokalitě o 5km ² s GSD 3cm vzdálená 200km od letiště v Kč	UAV	Letadlo
Přesun do lokality a zpět (RPAS autem)	2 400	45 800
Příprava výchozích bodů v terénu (u Letadla samostatné měření)*	2 500	5 800
Náklady na snímkování v lokalitě	30	4 900
Odpisy na kameře	250	3 500
Odpisy na letadle	3 000	880
Odpisové náklady na SW (plánování, zpracování ortofot, mapování)	3 000	250
Celkové náklady	11 180	61 130

Tabulka 3 - Finanční náklady jednotlivých etap výroby

* včetně signalizačního a stabilizačního materiálu - Plastmark (20 VB u UAV, 5 VB u letadla s posádkou - připraví vyslaná geodetická skupina)

Pro úplnost uveďme, že UAV by pořídila přibližně 11 500 až 16 000 snímků podle typu použité kamery s $p = 80\%$ a $q = 60\%$ a snímkovala by ve dvou dnech na přibližně 70 snímkových řadách. Letadlo s posádkou by pořídilo běžnou digitální rámovou fotogrammetrickou kamerou přibližně 78 snímků na 4 letových drahách s překrytí $p = 60\%$ a $q = 30\%$ a v lokalitě by strávilo včetně otáček 12 minut. Pro tento případ lze konstatovat, že celková cena bez zisku a daně by byla za RPAS přibližně 53 000,- Kč a při použití letounu s posádkou 92 000,-Kč. Dalším faktorem pro rozhodování je čas tvorby podkladů pro KoPÚ. Při použití UAV by dodání podkladů včetně vyhodnocení skutečného stavu trvalo včetně všech potřebných výpočtů a prací 25 až 30dní. Při použití letounu s osádkou by tento čas byl cca 7 dní od uskutečnění náletu.

Poznámka: tyto odhady jsou prakticky identické při použití laserových skenovacích aparatur s leteckými kamerami jak na UAV tak v letounech s osádkou, poměr ceny se ale v tomto případě přiklání na stranu letounu s osádkou, protože dosud není běžné, aby na palubě letounu dalekově politovaného byla jak kamera, tak laserový skener.



9.2 EKONOMICKÉ POROVNÁNÍ MĚŘENÍ DMT A SKUTEČNÉHO STAVU PŘI POUŽITÍ GEODETICKÉ METODY A METOD FOTOGRAMMETRICKÝCH

Následný text je pouze teoretickou úvahou a stanovením poměru cen mezi standardním geodetickým měřením (a to ať metodou GNSS nebo metodou používají k měření totálních stanic) a měřením fotogrammetrickým. Základním problémem srovnávání těchto měřických metod je charakteristika výsledných produktů mapování. DMT vytvářený klasickými geodetickými metodami je měřen tak, že jsou zaměřeny povinné terénní hrany a výběrem jsou podle svažitosti a dalších charakteristik terénu měřeny body v hustotě přibližně 20 x 20m, tedy na hektar máme maximálně 25 bodů. V případě snímkování s GSD=3cm obdržíme výpočtem korelace leteckých snímků 25 bodů na metr čtvereční! Již na první pohled tedy porovnáváme technicky velmi obtížně porovnatelné výsledky. Pokud bychom přistoupili na to, že geodet by měřil s aparaturou GNSS body v gridu 20m tak jak je výše uvedeno, tak při rychlosti běžné chůze by musel jít 48 hodin a ušel by cca 200km. Už z této představy a představy ceny je již tento výkon na úrovni nejméně 50.000Kč. Tento postup je opravdu jen formálním porovnáním tak, aby jasně ukázal obtížnost finančního porovnání měřických metod v obecné podobě na nějaké teoretické lokalitě.

9.3 ÚVAHA O EKONOMICKÉM POROVNÁNÍ MĚŘENÍ DMT A SKUTEČNÉHO STAVU PŘI POUŽITÍ GEODETICKÉ METODY A METOD TERESTRICKÉHO MOBILNÍHO LASEROVÉHO SKENOVÁNÍ

Teoreticky by bylo možné porovnat i metody mobilního laserového skenování se simultánním panoramatickým snímkováním a fotogrammetrickým snímkováním, které svým způsobem vytvoří identické podklady pro práci na projekci KoPÚ. Avšak podmíněk, které bychom do porovnání museli nutně zahrnout, je tolik, že reálný výpočet a ani odhad, není prakticky možný. Jako příklad pro ukázkou alternativ těchto úvah, je již fakt zda instrumentárium mobilního mapování je ve firmě k dispozici nebo se bude muset na tyto práce v podzimních měsících objednat. Když zařízení bude in-house, tak půjde jen o náklady na pohonné hmoty, odpisy a mzdy, navíc to bude jistý bonus nadužití technologie určené obvykle pro pasportizaci a měření komunikací v rámci firmy. Pokud bude nutné techniku objednat, zcela jistě bude cena nejméně o 25% vyšší. Pak je tu srovnání s fotogrammetrickými metodami - kdy si můžeme položit identickou otázku - je UAV ve firmě provádějící KoPÚ k dispozici nebo si ho bude muset projekce objednat? Nebo dostane výhodnější nabídku na konkrétní zakázku daného řešeného území KoPÚ od firmy disponujícími letouny s osádkou? Otázek a možných alternativ je tolik, že bude vždy vhodnější udělat kalkulaci pro daný případ nebo požádat o nezávislou kalkulaci některé z akademických pracovišť.



10 VYUŽITÍ A UPLATNĚNÍ METODIKY A CÍLOVÁ SKUPINA UŽIVATELŮ

Metodika je určena odborníkům v oblasti projekce KoPÚ jako pomůcka pro výběr metod mapování a tvorbu podkladů metodami bezkontaktního měření určených ke studiu prostoru komplexních pozemkových úprav. Vytvořením těchto podkladů z území KoPÚ lze vytvořit hodnotný podklad pro rozhodnutí a návrhy postupů údržby a rozvoje krajiny v budoucnosti.



11 HODNOCENÍ NOVOSTI POSTUPU METODIKY

Předkládaná Metodika je uceleným souhrnem aktuálních poznatků v oboru bezkontaktního mapování a nástinem návodu k výběru postupů pro tvorbu podkladů využitelných v projekci KoPÚ získaných bezkontaktními měřickými metodami sběru dat. Popisuje postupy sběru dat těmito metodami, podmínkami tvorby podkladů jednotlivými metodami bezkontaktního mapování a postupem rozhodování o potřebě jednotlivých produktů používaných ve prospěch tvorby podkladů pro KoPÚ. Metodika popisuje uceleně všechny obvyklé metody bezkontaktních metod mapování používaných v ČR. Metodika popisuje i požadované přesnosti výsledných podkladů pro KoPÚ.



12 ZÁVĚRY A DOPORUČENÍ

Předkládaná Metodika je v obecné rovině návodným postupem k sestavení podkladů pro KoPÚ z dat získaných bezkontaktními měřickými metodami. Zisk aktuálních dat ve prospěch projekčních prací je důležitou součástí projekčních podkladů a celkově optimálního řešení požadavků KoPÚ na data. Konkrétně pak Metodika popisuje možné přístupy k získání aktuálních a přesných dat a dává návod, jakým parametrům mají dodané podklady vyhovovat, aby splnily kritéria přesnosti a úplnosti dat potřebných k projekci KoPÚ. Metodika rovněž rozebírá důvody proč je nutné veřejně přístupná data poskytovaná ČÚZK (respektive ZÚ) reambulovat a vyhovět tak požadavkům na polohovou a výškovou přesnost vstupních dat pro projekci KoPÚ, respektive výstupní data směrem ke katastru ČR.

13 SOUPIS LITERATURY

- [1] Návod k obnově katastrálního operátu a převodu; dostupné na: https://www.cuzk.cz/Predpisy/Resortni-predpisy-a-opatreni/Navody-CUZK/150150022_Navod_pro_obnovu_KO_a_prevod_DOC.aspx
- [2] Zeměměřický úřad; Síť permanentních stanic GNSS České Republiky dostupné k 1.2.2021 na: <http://czeapos.cuzk.cz/>
- [3] Mobilní laserové skenování, PAVELKA, Karel, DUŠÁNEK, Petr; ŠVEC, Zdeněk; FALTÝNOVÁ, Martina, Vydání: České vysoké učení technické v Praze 2014, Signatura: K 16503
- [4] <https://ags.cuzk.cz/geoprohlizec/>
- [5] Hirschmüller, H., 2005, Accurate and Efficient Stereo Processing by Semiglobal Matching and Mutual Information, IEEE Conf. on Computer, Vision and Pattern Recognition CVPR'05, Vol. 2, San Diego, CA, USA, pp. 807-814
- [6] Z.Formánek, Zpracování 3D modelu památkové rezervace Třebíz zaměřené systémem Trimble V10, ČVUT, FaST, Praha 2019, dostupné k 1.2.2021 na: <https://dspace.cvut.cz/bitstream/handle/10467/84348/F1-BP-2019-Formanek-ZbynekFormanek%20bakalarska%20prace.pdf?sequence=-1&isAllowed=y>
- [7] Nařízení vlády č. 430/2006 Sb. o stanovení geodetických referenčních systémů a státních mapových děl závazných na území státu a zásadách jejich používání“
- [8] Šíma J., Principy leteckého laserového skenování, Geobusiness 3/2009 a www.dibavod.cz
- [9] ČSN 01 341, Mapy velkých měřítek, Základní a účelové mapy
- [10] Metodický návod k provádění pozemkových úprav, platný ke dni 01. 01. 2016, vydaný pod Č.j. 10747/201013300 SPÚ
- [11] M. Rokyta, Geometrické podmínky mapování pomocí zařízení GS18 I a návrh jejich včlenění do Návodu pro obnovu katastrálního operátu a převodu [online]. Ostrava, 2021 [cit. 2021-12-19]. Dostupné z: <http://hdl.handle.net/10084/145003>. Diplomová práce. Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava.
- [12] Metodika určení prostorových objektů pro komplexní pozemkové úpravy s využitím systému bezpilotních prostředků (UAS), VÚGTK 2018. http://bivoj.vugtk.cz/pozemuas/Rok_2019/Doc/Metodika_UAS_Fi.pdf
- [13] Šafář, V., Revize stávajících nařízení, vyhlášek a technických předpisů, vztahujících se k obnově novým mapováním. Zdi by: Výzkumný ústav geodetický, topografický a kartografický, 2016. dostupné odkazem na <https://knihovna.vugtk.cz/record/193245?ln=cs>

14 SEZNAM PUBLIKACÍ, KTERÉ PŘEDCHÁZELY METODICE

AUGUSTÝN, R.: ODPOVIM - Odpovídač polohových informací o melioracích, Geodetický a kartografický obzor, ročník 62/104, 2016, číslo 1, ISSN 1805-7446

ŠAFÁŘ, V., KÁŇA, D., 2019: Úskalí při definování parametrů IO a AO archivních leteckých měřických snímků. Geodetický a kartografický obzor, ročník 65/107, 2019, číslo 2, str. 21 -29, ISSN 1805-7446

ŠAFÁŘ, V., TLAPÁKOVÁ, L., 2016: Alternativní postupy zpracování archivních leteckých snímků. Geodetický a kartografický obzor, ročník 62/104, 2016, číslo 12, str. 253 – 257, ISSN 1805-7446

ŠAFÁŘ, V., TLAPÁKOVÁ, L., 2021: Analýza možností zisku nových datových zdrojů a postupů zjištění reálné polohy odvodňovacích staveb ve vazbě na proces komplexních pozemkových úprav. Geodetický a kartografický obzor, ročník 67/109, 2021, číslo 9, str. 195 – 203

TLAPÁKOVÁ, L., ČMELÍK, M., NOVÁK, P., 2017: Informační systémy a evidence hlavních odvodňovacích zařízení – co (ne)víme?. Vodní hospodářství 12/2017, str. 11-19. 6319 ISSN 1211-0760

TLAPÁKOVÁ L, ČMELÍK, M., ŽALOUDEK, J., KARAS, J., 2016: Metodika identifikace drenážních systémů a stanovení jejich funkčnosti, číslo osvědčení 3/2017-SPU/O. VÚMOP, 2016. ISBN 978-80-87361-58-0, 214 str.

KOCÁB, M., LECHNER, J., VILÍM D., SEHNAL, J., 2018: Metodika určení prostorových objektů pro komplexní pozemkové úpravy s využitím systému bezpilotních prostředků (UAS), číslo osvědčení 5/2018-SPU/O. VÚGTK, 2018. ISBN

TLAPÁKOVÁ, L., ŠAFÁŘ, V. (2019): Studie využitelnosti bezkontaktních měřických metod pro kompletaci datových sad zpracování KoPÚ. Specializovaná mapa s odborným obsahem.

TLAPÁKOVÁ, L., ŠAFÁŘ, V., 2016: Výběr archivních leteckých měřických snímků na základě údajů databáze eagri.cz. Geodetický a kartografický obzor, ročník 62/104, 2016, číslo 10, str. 219 – 223, ISSN 1805-7446