



**SLOVENSKÁ TECHNICKÁ UNIVERZITA V BRATISLAVE
STAVEBNÁ FAKULTA**

Ing. Peter Kysel'

Autoreferát dizertačnej práce

**HOMOGENIZÁCIA KATASTRÁLNEHO MAPOVÉHO DIELA
S VYUŽITÍM UAV FOTOGRAMETRIE**

na získanie akademického titulu Philosophiae Doctor (PhD.)

v doktorandskom študijnom programe

v študijnom odbore 3636 geodézia a kartografia

3636 geodézia a kartografia

Forma štúdia

denná forma

Bratislava 2023



Dizertačná práca bola vypracovaná na Katedre geodézie Stavebnej fakulty STU v Bratislave.

Predkladateľ: Ing. Peter Kyseľ
Katedra geodézie
Stavebná fakulta, STU v Bratislave
Radlinského 2766/11, 810 05 Bratislava

Školiteľ: doc. Ing. Ľubica Hudecová, PhD.
Katedra geodézie
Stavebná fakulta, STU v Bratislave
Radlinského 2766/11, 810 05 Bratislava

Oponenti: prof. Dr. Ing. Karel Pavelka
Katedra geomatiky
Fakulta stavební, ČVUT v Prahe
Thákurova 7, 166 29 Praha 6

doc. Ing. Juraj Gašinec, PhD.
Ústav geodézie, kartografie a geografických informačných systémov
Fakulta BERG, Technická Univerzita v Košiciach
Park Komenského 19, 040 01 Košice

Ing. Miloš Jacko, PhD.
Geoland Top, s.r.o.
Ul. Mieru 33, 073 01 Sobrance

Autoreferát bol rozoslaný dňa:

Obhajoba dizertačnej práce sa bude konať dňa **o**
na Katedre geodézie SvF STU v Bratislave, Radlinského 2766/11, 810 05 Bratislava.

prof. Ing. Stanislav Unčík, PhD.
dekan Stavebnej fakulty STU v Bratislava

Úvod

Pre vlastníkov nehnuteľností je dôležité, aby boli ich nehnuteľnosti evidované kvalitne a presne, pričom požiadavky na kvalitu sú v súčasnosti náročné. Aby boli tieto náročné požiadavky splnené, musí existovať nástroj na evidenciu nehnuteľností, ktorý je naplnený presnými a kvalitnými dátami s exaktne definovanými nástrojmi na overenie ich kvality. Túto úlohu by v súčasnosti mal plniť kataster nehnuteľností. Tento nástroj obsahuje množstvo rozličných dát a máp s rôznym pôvodom a kvalitou. Pôvod niektorých máp katastra siaha až do polovice 19. storočia. Ich kvalita je prakticky neznáma. Rôznym chybám a nepresnostiam sa bohužiaľ nevyhli ani novšie mapy vyhotovené po roku 1930, ktorých presnosť bola deklarovaná ako pomerne vysoká, ale chyby a nepresnosti znižujú ich kvalitu. Je teda možné povedať, že mapové dielo katastra nehnuteľností je heterogénnou množinou. Úsilie rezortu Úradu geodézie, kartografie a katastra Slovenskej republiky (ÚGKK SR) už dlhodobo hľadá riešenia, ako skvalitniť mapy katastra a individuálnym prístupom pre mapy rôznej kvality a pôvodu zaistiť ich homogenizáciu. Iba tak bude možné zabezpečiť presné a kvalitné evidovanie nehnuteľností, ktoré by zodpovedalo dnešným náročným požiadavkám.

Témou predkladanej práce je návrh nových možností homogenizácie katastrálneho mapového diela. V rámci práce je navrhnutý nový spôsob obnovy pre vektorové katastrálne mapy číselné, v ktorých sa vyskytuje lokálny posun. Tieto mapy predstavujú obrovský problém, keďže ich kvalita je deklarovaná ako postačujúca, ale v skutočnosti existujú lokality, kde je mapa posunutá alebo deformovaná a požiadavky presnosti nie sú splnené. Mapy sa pri aktualizácii neopravujú, ale lokálny posun sa iba konzervuje prostredníctvom vytvárania nových objektov vo vrstve BODY. Neexistuje koncepcia na obnovu týchto máp. Pretože posun mapy je však vo väčšine prípadov systematický, čo znamená, že relatívna kvalita mapy je vysoká, OKO novým mapovaním (OKO NM) by bolo neefektívne. Skvalitnenie týchto číselných máp je navrhnuté pomocou novej formy obnovy katastrálneho operátu korekciou (OKO K).

Druhou nosnou témou je možnosť využitia UAV fotogrametrie pre účely katastra nehnuteľností, a teda aj pre účely OKO NM. V súčasnosti sa totiž na meranie využívajú iba geodetické metódy, pričom zber údajov v teréne pomocou týchto metód môže byť v niektorých prípadoch zložitý a neefektívny. V budúcnosti sa taktiež predpokladá zavedenie tretieho rozmeru do katastra nehnuteľností. Keďže geodetické metódy poskytujú trojrozmerné informácie iba bodovo, nie je možné pomocou nich efektívne vytvoriť detailný trojrozmerný model územia. Preto je nutné hľadať nové moderné metódy merania, ktoré by vyhovovali požiadavkám presnosti, ale zároveň by boli dostatočne efektívne pre použitie v katastri.

Práca má dva hlavné ciele, ktoré sa týkajú návrhu nových metód homogenizácie katastrálneho mapového diela. Prvým je návrh nového konania OKO K na obnovu vektorových katastrálnych máp číselných s lokálnym posunom. V rámci práce je navrhnutá metodika tohto konania z formálneho aj technického hľadiska. Súčasťou metodiky je zároveň návrh na automatizáciu výpočtov a vývoj vlastnej pomocnej aplikácie na výpočty pri OKO K. V rámci práce je taktiež vykonané testovanie, analýza a hodnotenie efektivity konania OKO K na homogenizáciu katastrálneho mapového diela. Druhým hlavným cieľom práce je návrh využitia UAV fotogrametrie pri obnove katastrálneho operátu a pri iných meraniach v rámci katastra nehnuteľností. V práci je najprv opísaná metodika zberu údajov pomocou UAV a ich spracovania pomocou fotogrametrických softvérov. Neskôr je vykonané testovanie a analýza presnosti a efektivity UAV fotogrametrie pre účely katastra nehnuteľností.

Práca je rozdelená na tri časti. Vysvetlenie súčasného stav problematiky mapového diela katastra nehnuteľností, vrátane popisu mapových kampaní a metód spravovania, obnovy a hodnotenia kvality máp katastra má za cieľ potvrdiť potrebu skvalitňovania mapového fondu, ako aj využitia inštitútu OKO. Aplikovať moderné metódy merania v rámci katastra nehnuteľností je prirodzené a nevyhnutné. Pred ich využitím je však potrebné testovať ich presnosť a efektivitu. Druhá časť práce sa zaoberá návrhom metodiky konania OKO K a metodiky využitia UAV fotogrametrie pre účely katastra. Posledná hlavná časť práce sa zaoberá zhrnutím a analýzou výsledkov testovania technickej časti konania OKO K vo vybraných katastrálnych územiach, a taktiež testovania presnosti a efektivity UAV fotogrametrie pri meraniach v katastri nehnuteľností. V závere práce je zhodnotené splnenie jednotlivých cieľov práce a je popísaný prínos dizertačnej práce pre vedu a prax.

1 Súčasný stav problematiky

Dnešný kataster nehnuteľností v Slovenskej republike obsahuje množstvo rozličných údajov, ktoré majú rôzny pôvod. K pôvodu týchto údajov sa viaže najmä ich rozdielna kvalita. Výnimkou nie je ani mapový fond katastra nehnuteľností. V rámci mapového fondu katastra nehnuteľností sa dodnes používajú mapy, ktorých pôvod siaha až do čias rakúsko-uhorskej monarchie. Tieto mapy boli vyhotovené ešte v historických uhorských súradnicových systémoch a zobrazeniach. Ako dnešné katastrálne mapy sa používajú mapy z rôznych mapových kampaní a ich deriváty, pričom história najstarších máp siaha až do obdobia okolo roku 1855. Pre efektívne rozhodovanie o obnove a homogenizácii mapového fondu katastra nehnuteľností je potrebné poznať pôvod jednotlivých máp, metódy merania, ktorými boli určované jednotlivé podrobné body v mape, aj metódy výpočtu výmer jednotlivých parciel, ktoré sú zobrazené v mape. Taktiež je nutné poznať metódy ich hodnotenia kvality, spravovania, aktualizácie a obnovy, ktoré budú opísané v nasledujúcej kapitole. Priestor je tiež venovaný súčasnému stavu využitia moderných technológií merania v oblasti katastra.

Súčasnú katastrálnu mapu vznikli v rámci viacerých mapových kampaní, medzi ktoré patria:

- Mapovanie v rámci stabilného pozemkového katastra
- Mapovanie podľa Návodu A
- Technickohospodárske mapovanie
- Tvorba Základnej mapy veľkej mierky

Každá z týchto mapových kampaní sa vyznačovala svojimi metódami merania a určovania výmer, presnosťou merania a výslednej mapy. Najnovšie pravidlá pre meranie platia od roku 2009, kedy bola zavedená povinnosť používania aktívnych geodetických základov pri meraní. Taktiež sa od tohto roku meria s vyššou presnosťou, ktorá je daná strednou súradnicovou chybou m_{xy} s hodnotou 0,08 m [1]. Väčšina máp bola vyhotovená v analógovej forme, avšak v nedávnej minulosti prebehla systematická digitalizácia všetkých máp. Dnes už sú teda všetky mapy spravované v digitálnej vektorovej forme, preto hovoríme o vektorových katastrálnych mapách (VKM).

1.1 Metódy tvorby, aktualizácie a obnovy katastrálneho operátu

Súčasný mapový fond katastra nehnuteľností je heterogénny. Pre všetky nečíselné katastrálne mapy a aj pre niektoré z číselných platí, že je nutné ich obnoviť. Aby sa však mohlo efektívne rozhodovať o obnove máp, je potrebné merateľne a objektívne posudzovať kvalitu týchto máp. Na posúdenie kvality máp slúžia rôzne ukazovatele kvality máp katastra. V súčasných platných predpisoch existujú tri ukazovatele kvality. Medzi ne patrí kód kvality podrobného bodu, kód kvality mapy a kód kvality výmery. V rámci diplomovej práce bolo navrhnutých 6 ďalších parametrov kvality, ktoré sú komplexnejšie a hodnotia kvalitu máp z rôznych hľadísk.

Najdôležitejším ukazovateľom kvality máp katastra, ktorý existuje v súčasných predpisoch, je kód kvality podrobného bodu. V praxi je označovaný písmenom „T“. Hodnota kódu kvality podrobného bodu je pridelená každému z podrobných bodov v niektorej z máp katastra. Tento ukazovateľ kvality označuje, akým spôsobom bol konkrétny bod určený, aký je jeho pôvod vzniku a presnosť, ktorá je vyjadrená strednou súradnicovou chybou m_{xy} . Kód kvality podrobného bodu môže v súčasnosti dosahovať päť hodnôt.

Každý podrobný lomový bod hranice pozemku, ktorý je zobrazený v mape, musí byť určený so stanovenou presnosťou, zodpovedajúcou jeho pôvodu a použitej metóde merania. V súčasných predpisoch existujú dve metódy na overenie presnosti podrobných bodov počas merania, resp. po meraní [1], [2]. Súradnice jednotlivých podrobných bodov v mape by mali byť určené s takou presnosťou, aby neboli prekročené hodnoty charakteristík m_{xy} , resp. m_d . Prvá z metód na hodnotenie presnosti merania sa nazýva aj polohové kritérium a jej podstatou je overenie polohy bodu. Druhou metódou je tzv. dĺžkové kritérium, ktoré je založené na kontrole dĺžky spojnice dvoch podrobných bodov v mape. Uvedené metódy hodnotenia presnosti podrobného merania sa dajú aplikovať na akúkoľvek použitú metódu merania.

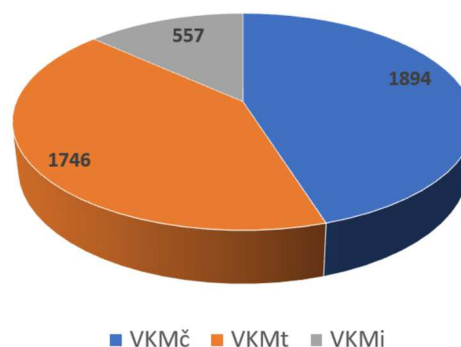
Od roku 2013 platí v praxi nová kategorizácia máp katastra nehnuteľností. Podľa tejto kategorizácie sa mapy katastra vo všeobecnosti rozdeľujú do dvoch hlavných skupín, ktorými sú vektorové katastrálne mapy (VKM) a vektorové mapy určeného operátu (VMUO). Všetky tieto mapy sú už dnes spravované v digitálnej vektorovej forme s presne stanovenou štruktúrou danou predpismi.

VKM sa rozdeľujú na:

- vektorové katastrálne mapy číselné (VKMč),
- vektorové katastrálne mapy nečíselné (VKMn)
 - vektorové katastrálne mapy implementované (VKMi),
 - vektorové katastrálne mapy transformované (VKMt),

Kvantifikácia VKM podľa spôsobu spravovania je na Obr. 1.1.

Z hľadiska presnosti bodov sú lepšou skupinou VKMč, ktoré obsahujú výlučne podrobné body určené číselnými metódami s prideleným kódom kvality $T = 1$ až $T = 4$. Pri vykonávaní aktualizácie niektorých číselných máp sa však v praxi ukázalo, že v určitých bodoch sú pri vykonaní nového merania prekročené dovolené odchýlky. Podrobné body teda majú nižšiu presnosť, ako je očakávané, a mapa je v týchto lokalitách lokálne posunutá, resp. zdeformovaná. Tieto lokálne posuny sa nemusia nachádzať v rámci celého katastrálneho územia, v rôznych blokoch parciel môžu nadobúdať posuny iné hodnoty, ich smer a veľkosť nemusí byť rovnaká. Celoplošná homogénna polohová presnosť je v týchto VKMč narušená. Preto má zmysel hovoriť o ich homogenizácii.



Obr. 1.1: Kvantifikácia vektorových katastrálnych máp podľa spôsobu spravovania (zdroj: ÚGKK SR).

V prípade systematickosti posunu na všetkých overovaných bodoch sa VGP vyhotoví z meraných údajov, ktoré sa následne transformujú. Označuje sa skratkou VGPmt. Novourčené body sa zamerajú a transformujú do pôvodnej realizácie systému S-JTSK s označením JTSK pomocou základnej transformácie. Rozdiel oproti VGPm je však v tom, že tieto body sa ešte následne transformujú do posunutej VKMč prostredníctvom lokálnej transformácie. Transformačné parametre lokálnej transformácie sa určia na základe identických bodov, ktoré boli zamerané s pripojením na aktívne geodetické základy, a zároveň je známa aj ich poloha v pôvodnej VKMč. Novourčeným bodom sa po lokálnej transformácii prideli kód kvality $T = 3$. Meraná poloha bodov sa však nezahadzuje, ale ukladá sa do jedného objektu vo vrstve BODY [3]. V súčasnej dobe neexistuje žiadna oficiálna koncepcia na obnovu vektorových katastrálnych máp číselných, v ktorých sa nachádzajú lokálne posuny. Merané údaje s vyššou kvalitou, získané pomocou technológie GNSS, sa iba zhromažďujú a konzervujú v rámci vrstvy BODY bez ďalšieho využitia v praxi. Problém lokálnych posunov v číselných vektorových katastrálnych mapách však výrazne znižuje ich celkovú kvalitu, preto sa s ním bude potrebné v budúcnosti vysporiadať.

V Slovenskej republike existujú dnes dve základné metódy, ktoré slúžia primárne na skvalitnenie katastrálneho operátu. Je to obnova katastrálneho operátu novým mapovaním (OKO NM) a obnova katastrálneho operátu vyhotovením duplikátu platného stavu (OKO D), ktorá sa však už na obnovu máp nepoužíva. Spomenutý je taktiež aj proces obnovy katastrálneho operátu skrátenou formou (OKO SF), ktorý sa dnes už v praxi nepoužíva, a aj proces preklasifikovania VKMt na VKMi, ktorý nie je skutočnou OKO, ale pre skvalitnenie katastrálneho mapového fondu má význam. V rámci tohto procesu bola taktiež vyvinutá aplikácia s názvom „Spresnenie VKMt“, ktorá sa používa na dotransformovanie VKMt v určitých blokoch parciel. Obnovený katastrálny operát a nová VKMč je aj výsledkom konania o pozemkových úpravách. Primárnym zámerom pozemkových úprav však nie je obnova katastrálnej mapy, a samotný proces predstavuje rozsiahlu problematiku, preto sa ním táto práca ďalej nebude zaoberať.

Merania pre účely katastra nehnuteľností sú v súčasnosti vykonávané zväčša geodetickými metódami. Najčastejšie je pravdepodobne používaná metóda GNSS-RTK a jej kombinácia s polárnou metódou. Používané metódy sú selektívne. To znamená, že určované sú iba súradnice jednotlivých bodov, pričom body sú

selektované meračom na základe účelu merania. V oblasti katastra sú teda merané najmä lomové body hraníc pozemkov dané oploteniami a inými prvkami, ako napríklad drevené kolíky alebo roxory, ďalej pôdorysy budov, prípadne ďalšie prvky polohopisu, ktoré sú dôležité pre kataster.

Je možné povedať, že v budúcnosti sa s najväčšou pravdepodobnosťou nevyhneme rozšíreniu katastra nehnuteľností o tretiu dimenziu. V tomto prípade už na tvorbu, obnovu a aktualizáciu máp katastra nebudú postačovať súčasné metódy merania, pomocou ktorých v podstate nie je možné efektívne vytvoriť 3D model územia a objektov na ňom. Je preto potrebné hľadať nové moderné metódy merania, ktoré by boli dostatočne presné pre účely katastra nehnuteľností, a zároveň by efektívnym a finančne nenáročným spôsobom poskytovali komplexné priestorové informácie o objektoch na zemskom povrchu vo všetkých troch rozmeroch. Jedna z metód, ktorá spĺňa všetky vyššie uvedené kritériá, je fotogrametria s využitím diaľkovo pilotovaných leteckých prostriedkov (UAV, z angl. unmanned aerial vehicle), tzv. UAV fotogrametria, ktorá bola v zahraničí už viackrát úspešne testovaná pre účely katastra. Na Slovensku sa však pre účely katastra bežne nepoužíva a nie sú známe výsledky testovania jej presnosti ani efektivity. Jednou z prekážok zavedenia do bežnej praxe môžu byť aj pomerne náročné legislatívne požiadavky na komerčné vykonávanie snímkovania s UAV.

2 Ciele dizertačnej práce

Katastrálne mapové dielo je heterogénne a je nutná jeho homogenizácia. Tá sa v zásade vykonáva pri aktualizácii a obnove KO. Hlavným cieľom predkladanej dizertačnej práce je návrh nových postupov homogenizácie katastrálneho mapového diela. Prvým je návrh postupu OKO K pre VKMČ s lokálnym posunom. Druhým je návrh využitia UAV fotogrametrie pri OKO, pričom cieľom je potvrdiť využiteľnosť nielen pri OKO NM, ale aj pre ostatné formy obnovy, resp. aktualizácie KO. Súčasťou práce je taktiež testovanie navrhnutých metód a postupov, a nakoniec analýza dosiahnutých výsledkov.

Na dosiahnutie hlavných cieľov práce je potrebné splniť nasledovné čiastkové ciele:

1. Návrh obnovy katastrálneho operátu korekciou (OKO K) pre číselné VKM.
2. Vývoj aplikácie na homogenizáciu katastrálneho mapového diela pomocou OKO K.
3. Testovanie, analýza a hodnotenie efektivity OKO K na homogenizáciu katastrálneho mapového diela.
4. Analýza presnosti a efektivity UAV fotogrametrie pri OKO NM.

3 Návrh metodiky obnovy katastrálneho operátu korekciou

Niektoré VKMČ v súčasnosti obsahujú lokálny posun, ktorý zhoršuje ich kvalitu. Výhodou však je, že posun je vo väčšine prípadov systematický. Na rýchlu a efektívnu obnovu týchto máp bolo navrhnuté nové konanie, tzv. obnova katastrálneho operátu korekciou (OKO K), ktorá využíva práve systematickosť lokálnych posunov. Jej princíp spočíva v dotransformovaní blokov parciel v mape do správnej polohy s využitím nových meraní metódou GNSS. V rámci dizertačnej práce je predstavený návrh technickej časti aj formálneho postupu konania OKO K a podoba katastrálneho operátu po vykonaní OKO K. Taktiež sú predstavené možnosti automatizácie technickej časti OKO K. Technická časť konania je následne testovaná vo viacerých katastrálnych územiach.

3.1 Technická časť OKO K

Navrhované konanie OKO K je najmä formálne, a je v ňom navrhnutých množstvo krokov tak, aby neboli ohrozené základné práva k nehnuteľnostiam zakotvené ústavou, zákonmi a ďalšími predpismi. Najdôležitejšou fázou navrhovaného OKO K je však jeho technická časť, v rámci ktorej prebehne samotná obnova VKMČ. Táto obnova mapy je založená na transformácii mapy po častiach, pričom jej princíp je veľmi jednoduchý. V návrhu sa počíta s tromi základnými etapami technickej časti OKO K. Týmito etapami sú:

- analýza homogenity mapy,
- transformácia mapy,
- záverečná kontrola.

3.1.1 Analýza homogenity

Prvou etapou technickej časti OKO K je analýza homogenity mapy. Súčasťou analýzy homogenity mapy je taktiež určenie finálneho obvodu obnovy v rámci katastrálneho územia. V rámci tejto etapy je územie rozdelené na bloky parcel a v týchto blokoch je následne analyzované, či má lokálny posun mapy systematický charakter. Analýzou homogenity mapy je teda vlastne určované, či je OKO K vôbec uskutočniteľná. Po rozdelení územia na bloky a získaniu dostatočného počtu podrobných bodov, kde sú známe aj súradnice určené pomocou technológie GNSS, v každom z týchto blokov, nasleduje samotná analýza posunov v rámci každého bloku parcel. Prvým krokom je výpočet veľkosti a smeru posunov na každom zo zameraných bodov v rámci bloku. Na základe štatistického spracovania týchto hodnôt sa následne posúdi, či je posun v danom bloku parcel systematický.

Ak je posun v rámci konkrétneho bloku posúdený ako systematický, je v tomto bloku možné vykonať OKO K. V prípade nesystematického charakteru posunu môžu nasledovať ďalšie kroky. Blok s nesystematickým posunom môže byť rozdelený na menšie bloky, v ktorých môže byť následne opäť vykonaná analýza homogenity. Ak ani po rozdelení na menšie bloky stále nemožno nájsť určitú časť bloku so systematickým posunom, tento blok je vylúčený z obvodu obnovy. V takom prípade nezostáva nič iné ako vykonanie nového katastrálneho mapovania v rámci tohto bloku [5].

Nasledujúcim krokom je porovnanie parametrov lokálneho posunu medzi jednotlivými blokmi navzájom. Ak sú priemerné hodnoty veľkosti a smeru lokálneho posunu podobné medzi blokmi, a zároveň majú tieto bloky spoločný úsek hranice, je možné ich zlúčiť do väčšieho celku a obnovu v ňom vykonať naraz. Po zlúčení však opäť musí nasledovať analýza homogenity posunu vo väčšom bloku pomocou vyššie uvedeného postupu [5].

Na základe analýzy homogenity mapy je určený finálny obvod OKO K. Vo všeobecnosti platí, že OKO K je možné vykonať iba v miestach, kde vieme v teréne identifikovať hranice pozemkov. Do obvodu sú zahrnuté všetky bloky, v ktorých bol lokálny posun posúdený ako systematický. Ak nie je možná identifikácia hraníc v teréne, vlastnosti lokálneho posunu už dnes nedokážeme posúdiť, a tým ani nie je možné vykonanie OKO K. Pri používaní mapy a vytyčovaní hraníc však lokálny posun nie je prekážkou. Lokality, kde nie je možné identifikovať hranice v teréne, nebudú zahrnuté do obvodu OKO K, ale budú v nich akceptované výsledky z pôvodného mapovania aj napriek tomu, že môžu obsahovať lokálny posun. Je tu teda možné za súčasným stavom spraviť hrubú čiaru a pracovať s existujúcou VKMČ, ako keby posun neexistoval. Problémom môže byť ignorovanie lokálneho posunu geodetmi pri vytyčovaní hraníc pozemkov a tvorbe geometrických plánov, ktoré mohlo nastať najmä na okrajoch zastavaného územia obce, kde prebieha nová výstavba. Tu mohla nastať situácia, že boli geodetom vytýčené súradnice bodov hranice z VKMČ bez overenia, či sa v lokalite nevyskytuje lokálny posun vo VKMČ. V tejto situácii nezostáva tiež nič iné, ako akceptovať výsledky pôvodnej VKMČ [7].

3.1.2 Transformácia mapy

Druhou fázou technického postupu OKO K je transformácia mapy. Tento krok je najdôležitejším z celého procesu OKO K, keďže v ňom prebieha samotná oprava katastrálnej mapy s lokálnym posunom. Mapa je transformovaná do „správnej“ polohy pomocou identických bodov určených novým meraním. Na transformáciu mapy sa v prípade OKO K odporúča využitie tzv. zhodnostnej transformácie, ktorá má nasledovné transformačné rovnice:

$$Y = Y_0 + y \cos(\varepsilon) - x \sin(\varepsilon), \quad (3.1)$$

$$X = X_0 + y \sin(\varepsilon) + x \cos(\varepsilon). \quad (3.2)$$

V transformačných rovniciach sú X , Y sú súradnice bodu v novom súradnicovom systéme (v tomto prípade v „správnom“ súradnicovom systéme), x , y sú súradnice bodu v pôvodnom súradnicovom systéme (v tomto prípade v súradnicovom systéme posunutej mapy) a X_0 , Y_0 a ε sú parametre transformácie. X_0 a Y_0 sú translácie v smere osi x a y , ε je uhol pootočenia.

Použitý typ transformácie je teda najjednoduchším a jeho súčasťou sú iba tri transformačné parametre – translácie a rotácia súradnicového systému, ktorá je rovnaká v prípade oboch súradnicových osí. Transformácia neobsahuje zmenu mierky ani žiadne ďalšie transformačné parametre. Tým sa zachová tvar aj rozmery parcel vo vnútri transformovaného bloku, teda bezo zmeny zostanú aj ich výmery. Keďže transformácia má tri transformačné parametre, na ich výpočet je potrebné poznať aspoň tri údaje. Súradnice bodov však nemožno určovať samostatne, preto je možné povedať, že na výpočet transformačných parametrov zhodnostnej transformácie je potrebné poznať súradnice minimálne dvoch identických bodov. Súradnice identických bodov

musia byť známe v pôvodnom aj novom súradnicovom systéme. Identické body teda musia byť zamerané novým meraním s využitím aktívnych geodetických základov, a zároveň je nutné poznať ich polohu v posunutej vektorovej katastrálnej mape. Pri praktickom použití OKO K však odporúčame použitie minimálne štyroch až piatich identických bodov v rámci jedného bloku parciel. Pri použití väčšieho počtu identických bodov ako je minimálny, je situácia pri výpočte transformačných parametrov preurčená, preto je možný výpočet prostredníctvom metódy najmenších štvorcov (MNS). Poloha identických bodov v novom súradnicovom systéme sa použije buď z vrstvy BODY, alebo je určená novým doplňujúcim meraním s využitím technológie GNSS [5], [6], [7].

3.1.3 Záverečná kontrola transformácie

Poslednou etapou technickej časti OKO K je tzv. záverečná kontrola transformácie. V priebehu tejto etapy sa kontroluje, či bola transformácia úspešná v rámci jednotlivých transformovaných blokov parciel v mape. Súčasťou záverečnej kontroly transformácie je taktiež analýza dopadov dotransformovania jednotlivých blokov na právne vzťahy v katastri.

Prvým krokom záverečnej kontroly je analýza úspešnosti transformácie v jednotlivých transformovaných blokoch. Úspešnosť transformácie je analyzovaná prostredníctvom výpočtu posunov na množine kontrolných bodov. Kontrolné body sú body, ktorých súradnice sú známe v novom aj pôvodnom súradnicovom systéme, avšak neboli použité na výpočet transformačných parametrov. Odporúča sa použitie minimálne 10 až 15 kontrolných bodov v rámci jedného transformovaného bloku.

Na množine kontrolných bodov sa vypočíta polohová odchýlka Δp a smerník α medzi polohou bodu, určenou meraním s pripojením na aktívne geodetické základy a polohou bodu vo vektorovej katastrálnej mape. Pri záverečnej kontrole by malo platiť, že vektorová katastrálna mapa po dotransformovaní jednotlivých blokov spĺňa podmienky presnosti uvedené vo Vyhláske [1]. Maximálna polohová odchýlka na kontrolných bodoch po transformácii by teda nemala prekročiť hodnotu 0,24 m. Ak je táto podmienka splnená, transformáciu je možné v rámci konkrétneho bloku považovať za úspešnú [5], [6], [7].

Posledným krokom záverečnej kontroly, a tým aj celej technickej časti OKO K, je analýza dopadu transformácie mapy na právne vzťahy v katastri. Konanie OKO K bolo totiž navrhnuté tak, že transformácia sa vykonáva v uzavretých blokoch parciel, pričom dotransformovaný posun sa následne schová do parciel, ktoré tvoria hranice týchto blokov. Týmto parcelám sa po dotransformovaní mapy môžu zmeniť ich výmery. Na týchto hraničných parcelách blokov je nutné po transformácii overiť súlad výmery vypočítanej z VKM s výmerou zapísanou v súbore popisných informácií. Pre každú z parciel by malo platiť, že rozdiel medzi týmito výmerami by mal byť menší ako hodnota dovolenej odchýlky. Ak je toto kritérium splnené, v písomnej časti katastrálneho operátu je možné ponechať pôvodnú výmeru parcely, ktorá bola určená pri mapovaní. Ak však kritérium nie je splnené, výmery týchto parciel je nutné opraviť [5], [6], [7].

3.2 Formálny postup OKO K

Konanie OKO K bolo navrhnuté pre potreby obnovy VKMč, ktoré obsahujú lokálny posun. Toto konanie je katastrálnym konaním, v rámci ktorého sa môže zasiahnuť aj do právneho vzťahu k dotknutým nehnuteľnostiam, preto sa na konanie musia vzťahovať aj ustanovenia správneho poriadku (Zákon č. 71/1967 Zb.). Celé navrhované konanie by malo byť vykonané pod dohľadom miestneho orgánu katastra nehnuteľností, teda príslušného Katastrálneho odboru Okresného úradu (KO OÚ). Na niektoré z úloh však bude vhodné zazmluvniť aj fyzickú alebo právnickú osobu s príslušným oprávnením na vykonávanie geodetických a kartografických prác, teda súkromnú geodetickú firmu [4].

Navrhovaný formálny postup konania OKO K pozostáva z piatich hlavných etáp:

1. Prípravné konanie,
2. Doplňujúce meranie v teréne,
3. Tvorba nového súboru geodetických informácií (SGI) a súboru popisných informácií (SPI),
4. Námietkové konanie,
5. Vyhlásenie platnosti obnoveného katastrálneho operátu.

Hlavným cieľom prípravného konania v rámci navrhovaného procesu OKO K je výber katastrálneho územia, príprava dokumentácie katastra pre vyhotoviteľa obnovy a oficiálne začatie celého formálneho procesu

[4]. Prvým z problémov pri konaní OKO K je rozhodnutie o k.ú. s VKMč, či je vhodné na jeho vykonanie. Hlavnými kritériami sú:

- a) prítomnosť lokálneho posunu vo VKMč pomocou prítomnosti vrstvy BODY vo VKMč,
- b) počet a konfigurácia bodov vo vrstve BODY.

Druhá etapa, ktorá zahŕňa nové doplňujúce meranie v teréne, sa bude vykonávať iba fakultatívne podľa potreby. Ak sa bude v existujúcej vrstve BODY nachádzať dostatočný počet meraných bodov a aj ich rozmiestnenie v rámci katastrálneho územia je vhodné, fáza doplňujúceho merania v teréne sa vynechá a po prípravnom konaní sa pokračuje priamo vyhotovením nového SPI a SGI na podklade údajov z vrstvy BODY [4].

Tretou fázou navrhovaného konania OKO K je vyhotovenie nového SPI a SGI. Táto fáza je najdôležitejšou, keďže v nej prebieha samotná obnova a jej výsledkom je nová VKMč [4].

Počas OKO K môže dôjsť k zmene výmer niektorých parciel. Výmera parcely je údaj, ktorý je uvedený v liste vlastníctva, preto musia mať vlastníci a iné oprávnené osoby k týmto nehnuteľnostiam možnosť podať námietku. V rámci navrhovaného konania OKO K budú mať vlastníci túto možnosť v rámci štvrtej fázy – konania o námietkach. Po konaní o námietkach nasleduje posledná fáza, v rámci ktorej sa vyhlási platnosť obnoveného katastrálneho operátu [4].

3.3 Katastrálny operát po vykonaní OKO K

Výsledkom navrhovaného konania OKO K je obnovená VKMč, ktorá je podkladom pre vykonávanie aktualizáčnych meraní a vytyčovanie hraníc pozemkov. Obnovená VKMč sa poskytne geodetom prostredníctvom webových portálov rezortu geodézie a kartografie. Pôvodná VKMč s lokálnym posunom už nebude používaná ako platná katastrálna mapa, ale bude uložená v archíve miestneho KO OÚ v stave, v akom bola k dátumu ukončenia obnovy. Geodetom budú taktiež v prípade potreby z archívu katastra poskytnuté staršie operáty geometrických plánov a vytyčovacie náčrty, avšak iba od roku 2013, kedy bola založená vrstva BODY. Staršia dokumentácia sa vo všeobecnosti nebude poskytovať kvôli prítomnosti lokálneho posunu. V špeciálnych prípadoch, napr. pri vytyčovaní hraníc pozemkov alebo riešení susedských sporov, však môže KO OÚ poskytnúť aj pôvodnú VKMč, dokumentáciu z pôvodného katastrálneho mapovania a staršie operáty geometrických plánov a vytyčovacie náčrty [4].

Po transformácii mapy môže nastať problém, ktorý súvisí s kvalitou podrobných bodov vo VKMč. V dnešnej dobe existuje 5 hodnôt kódu kvality podrobného bodu v mape, ktoré sú bodom pridelované na základe ich pôvodu a presnosti. Dnes sú však vo Vyhláške [1] všetky kódy kvality, ktoré sa týkajú VKMč, definované buď ako body určené priamym meraním v teréne alebo body prevzaté z inej dokumentácie. Z tohto dôvodu navrhujeme pre body, ktorých poloha bola určená dotransformovaním VKMč v rámci OKO K, zavedenie nového kódu kvality s hodnotou $T = 6$. Túto hodnotu navrhujeme definovať ako „číselne určený bod v S-JTSK, pôvodne určený terestrickými metódami merania, po transformácii v procese OKO K“. Strednú súradnicovú chybu m_{xy} navrhujeme ponechať na hodnote 0,14 m, čo zodpovedá hodnote pri kóde kvality $T = 3$ [4]. Z dôvodu ponechania nadväznosti na predchádzajúci operát navrhujeme ponechať pôvodné číslovanie bodov.

Navrhované konanie OKO K nie je len technickým, ale aj formálnym konaním, v rámci ktorého môžu byť ovplyvnené vlastnícke alebo iné práva k nehnuteľnostiam. To znamená, že na vykonanie tohto konania nebude stačiť iba vydanie technického predpisu, ale bude potrebné novelizovať existujúci katastrálny zákon a jeho vykonávaciu vyhlášku tak, aby ho zahŕňali. Táto novelizácia bude musieť prejsť celým legislatívnym procesom [4].

3.4 Automatizácia technickej časti OKO K

Výpočty v rámci technickej časti OKO K sú pomerne náročné a zahŕňajú najmä analýzu homogenity posunov v jednotlivých blokoch parciel na množine kontrolných bodov vrátane štatistického testovania, transformáciu mapy v blokoch a následne záverečnú kontrolu transformácie, ktorá sa opäť vykonáva na určitej množine kontrolných bodov. Pri aplikácii OKO K na celé katastrálne územie je výhodné všetky uvedené výpočty automatizovať pomocou naprogramovaných aplikácií. Výpočty je možné vykonať aj manuálne. Transformáciu mapy je možné vykonať napr. v softvéri Kokeš, ktorý vie pracovať priamo s formátom VGI. Identické body aj oblasť transformácie je však nutné zadávať manuálne. Taktiež analýzu homogenity a záverečnú kontrolu je možné vykonať manuálne. Polohové odchýlky a smerníky na kontrolných bodoch je možné vypočítať taktiež

pomocou softvéru Kokeš a následne ich štatisticky spracovať napr. v softvéri Microsoft Excel. Pri praktickom využití OKO K sa však môže stať, že výpočet bude potrebné zopakovať z dôvodu zmeny alebo vylúčenia identických, resp. kontrolných bodov, prípadne zmeny hraníc transformovaných blokov. V tomto prípade by bol výpočet manuálnym spôsobom neefektívny. Z tohto dôvodu bolo v rámci dizertačnej práce testované použitie dvoch aplikácií – existujúcej aplikácie „Spresnenie VKMt“ a vlastnej pomocnej aplikácie s názvom „Korekcia“. Tieto aplikácie síce na začiatku vyžadujú vytvorenie vstupných súborov, avšak v prípade potreby opakovania výpočtu stačí pozmeniť iba tieto súbory a celý výpočet zopakovať, čo však trvá iba pár sekúnd. Automatizáciou výpočtu pomocou uvedených aplikácií sa tiež prakticky eliminujú hrubé chyby, ktoré mohli nastať pri manuálnom zadávaní a prepisovaní údajov. Automatizovaná však nie je úplne celá technická časť OKO K. Výber a ohraničenie transformovaných blokov, a taktiež posúdenie homogenity posunov v týchto blokoch stále odporúčame ponechať na zvážení vyhotoviteľa. Automatizovať tieto procesy by bolo veľmi náročné a efektivita tohto kroku by bola otázná. Predpokladá sa, že automatizácia výpočtu pomocou aplikácií výrazne skráti čas celého výpočtu, a tým zvýši efektivitu celého konania OKO K.

Prvou aplikáciou, ktorú je možné využiť na výpočty pri OKO K, je existujúca aplikácia s názvom „Spresnenie VKMt“, ktorú vyvinul VÚGK v Bratislave. Aplikácia bola primárne navrhnutá ako pomocná aplikácia pri procese prepracovania VKMt na VKMi na analýzu posunov vo VKMt a dotransformovanie blokov parciel vo VKMt. Konanie OKO K je však založené na podobnom princípe, v ktorom sa využíva transformácia blokov parciel vo VKMč. Navrhnutá metodika technickej časti OKO K taktiež čiastočne vychádza z procesu tvorby VKMi a príslušného metodického návodu [8]. Obrovskou výhodou tejto aplikácie je, že dokáže pracovať priamo s formátom VGI, v ktorom sú dnes uložené existujúce VKM. Výhodou je taktiež možnosť transformácie všetkých blokov v rámci jedného výpočtu. Nevýhodou využitia tejto aplikácie je, že poskytuje možnosť záverečnej kontroly iba v podobe rezíduí na identických bodoch. Pre využitie pri spresňovaní VKMt je táto kontrola dostačujúca, avšak pri OKO K je vyžadovaná nezávislá kontrola pomocou množiny kontrolných bodov. Aplikácia taktiež neumožňuje analýzu homogenity mapy v konkrétnom bloku. Aj napriek tomu je však jej použitie pri OKO K výhodné, keďže je pomocou nej možné transformovať mapu automatizovane vo všetkých blokoch naraz, pričom výstupom je priamo súbor dotransformovanej VKMč vo formáte VGI.

Problém analýzy homogenity posunov v konkrétnom bloku a záverečnej kontroly transformácie by mohla vyriešiť vlastná pomocná aplikácia s názvom „Korekcia“. Aplikácia bola vytvorená v programovacom jazyku R, ktorý poskytuje široké možnosti v oblasti štatistických analýz dát a grafickej interpretácie výsledkov. Vývoj aplikácie prebiehal v rokoch 2020 až 2023 v prostredí softvéru RStudio. Použitie aplikácie je veľmi jednoduché, avšak umožňuje výpočet iba v rámci jedného bloku, nie vo všetkých transformovaných blokoch naraz. Hlavné výsledky aplikácie sú analýza homogenity pred transformáciou a záverečná kontrola po transformácii. Na výpočet transformačných parametrov je využitý výpočet pomocou MNŠ. Okrem číselných výsledkov analýz posunov pred a po transformácii je možné posuny na jednotlivých bodoch zobrazíť aj graficky. Posuny sú vizualizované pomocou tzv. šípkového grafu, z ktorého je zrejma nielen veľkosť, ale aj smer jednotlivých posunov. Na vizualizáciu dát boli využité nástroje balíka *ggplot2* [9].

Z uvedených vlastností aplikácií „Spresnenie VKMt“ a „Korekcia“ vyplýva, že pri OKO K je najefektívnejšie použitie kombinácie oboch aplikácií. Aplikácia „Spresnenie VKMt“ sa využije na samotnú transformáciu mapy a vlastná aplikácia „Korekcia“ na analýzu posunov pred aj po transformácii. Pred samotným použitím kombinácie týchto aplikácií bol v rámci tejto práce testovaný aj súlad výsledkov z oboch aplikácií. Na použitie kombinácie totiž obe aplikácie musia poskytovať rovnaké výsledky. Z dôvodu verejne neprístupného zdrojového kódu aplikácie „Spresnenie VKMt“ však musel byť tento súlad testovaný iba porovnaním hodnôt rezíduí na identických bodoch, keďže sú to jediné hodnoty, ktoré poskytujú obe aplikácie [10].

4 Využitie UAV fotogrametrie pri meraniach v katastri nehnuteľností

Hlavným cieľom tejto práce je prezentovať UAV fotogrametriu ako nízkonákladovú alternatívu ku dnes bežne používaným geodetickým metódam v procese nového katastrálneho mapovania a iných meraní v rámci katastra nehnuteľností. Výsledky testovania presnosti a efektivity UAV fotogrametrie v slovenských podmienkach ešte doposiaľ nie sú známe. V rámci dizertačnej práce sú testované rôzne typy UAV. Použité UAV však nie sú veľkými profesionálnymi UAV, ale bežne komerčne dostupnými UAV, ktoré sa dajú v súčasnosti nadobudnúť za nie príliš vysokú cenu. Cieľom práce je ukázať, že merania v katastri nehnuteľností na Slovensku

je možné vykonávať aj pomocou bežne dostupných UAV s nemetrickými kamerami pri dodržaní všetkých podmienok presnosti. V rámci práce je testovaná nielen presnosť, ale aj efektivita UAV fotogrametrie pri prácach v teréne v porovnaní s geodetickými metódami. Testované sú taktiež rôzne konfigurácie snímkovania s UAV, pričom na základe vykonaných testov sú nakoniec sformulované odporúčania pre vykonanie snímkovania a spracovania snímok z UAV pre účely katastra.

4.1 Zber údajov s UAV

Prvým krokom pri využití UAV fotogrametrie pre účely katastra nehnuteľností je naplánovanie zberu údajov. Do plánovania patrí výber prístrojovej techniky, plánovanie snímkového letu a orientácia snímok do záväzného súradnicového systému.

Ako prvé je potrebné vybrať vhodnú prístrojovú techniku, ktorá by mala spĺňať požiadavky presnosti v katastri nehnuteľností. V rámci tejto práce boli testované 4 UAV od renomovaného výrobcu DJI, a to DJI Mavic Mini, DJI Mavic Air 2, DJI Air 2S a DJI Mavic 3.

Druhým krokom je samotné naplánovanie snímkového letu. Hlavnými parametrami, ktoré vstupujú do plánovania snímkového letu, sú spôsob snímkovania, požadovaný prekryt medzi snímkami a snímkovými pásmi a tzv. Ground Sampling Distance (GSD), ktorá vyjadruje veľkosť jedného pixela po jeho premietnutí na zemský povrch.

Základným spôsobom snímkovania pre účely katastrálneho mapovania je nadirové snímkovanie. Tento spôsob snímkovania využité aj vo väčšine doterajších štúdií o využití UAV fotogrametrie v katastri nehnuteľností. Pri nadirovom snímkaní je kamera naorientovaná do nadiru, teda v 90° uhle od horizontu.

Pri nadirovom spôsobe snímkovania však hrozí, že na snímkach nemusia byť viditeľné všetky výklenky na stavbách, a taktiež priestor pod vysokými stromami, pod ktorými sa môžu nachádzať hranice parciel. Z tohto dôvodu je na vymodelovanie celého územia lepšie kombinovať nadirové snímky so šikmými. Pri šikmom spôsobe snímkovania je kamera sklonená voči horizontu o určitý uhol, ktorý je však menší ako 90°. Uhol náklonu kamery je potrebné voliť podľa charakteru snímkaného územia a stavieb. V rámci tejto práce bolo používané šikmé snímkovanie, kde uhol náklonu kamery mal hodnotu približne 45°. Týmto spôsobom je možné spoľahlivo nasnímkovať všetky výklenky na budovách, ktoré sú zhora zakryté strechami alebo inými časťami budovy a na nadirových snímkach nie sú tieto časti viditeľné. V rámci tejto dizertačnej práce boli testované tri konfigurácie šikmého snímkovania (Obr. 4.1), pričom nakoniec je vyhodnotená ich efektivita. Prvou z nich je konfigurácia „do kríža“, kde je územie snímkané v rovnobežných pásoch, ktorých smer je približne pod 45° uhlom od prednej a zadnej fasády snímkaných stavieb. Druhou z nich je konfigurácia s dvoma rovnobežnými pásmi pred prednou a zadnou fasádou so stočením UAV o približne 45° voči fasáde. Treťou je snímkovanie v jednom uzavretom páse okolo celého bloku stavieb. Vo všetkých prípadoch je snímkovanie vykonané s vysokým prekrytom (približne 70-90 % v pozdĺžnom smere a 60 % v priečnom smere medzi pásmi).



Obr. 4.1: Tri testované konfigurácie šikmého snímkovania.

Ďalším dôležitým parametrom pri plánovaní snímkového letu je požadovaná veľkosť pixela po jeho premietnutí na zemský povrch (Ground Sampling Distance – GSD). Tento parameter úzko súvisí s požadovanou presnosťou merania jednotlivých podrobných bodov. Keďže v katastri nehnuteľností je v súčasnosti požadovaná presnosť merania na úrovni $m_{xy} = 0,08$ m, je potrebné, aby sa aj GSD pohyboval na tejto úrovni, najlepšie na úrovni 1 cm. V rámci tejto práce však bolo použité GSD až na úrovni približne 5 mm. Tomu bola prispôbená aj letová výška v závislosti od použitého UAV.

Posledným krokom pri zbere údajov je orientácia snímok do záväzného súradnicového systému S-JTSK. Použité UAV sú vybavené GNSS prijímačmi, ktoré však umožňujú iba absolútne určenie polohy z kódových meraní. Presnosť tohto určenia polohy sa pohybuje na úrovni niekoľkých metrov, preto nemožno získané súradnice použiť na priamu orientáciu snímok. Použitá bola teda nepriama orientácia prostredníctvom množiny vlícovacích bodov. Ako vlícovacie body boli použité body signalizované technickými objektami, ktoré je možné jednoznačne identifikovať a označiť na vyhotovených snímkach z UAV. Takými bodmi sú napr. rohy kanalizačných pokloпов alebo rohy obrubníkov. V rámci tejto dizertačnej práce boli testované viaceré možnosti konfigurácie vlícovacích bodov s ich vyšším aj nižším počtom.

4.2 Spracovanie snímok a výpočet súradníc podrobných bodov

Na spracovanie snímok vyhotovených pomocou UAV bola použitá metóda štruktúry z pohybu (SfM – z angl. Structure-from-Motion), ktorá sa v literatúre označuje tiež ako obrazové alebo fotogrametrické skenovanie. Metóda SfM môže byť vo všeobecnosti definovaná ako proces, počas ktorého je rekonštruovaný povrch objektov v trojrozmernom priestore na podklade snímok, ktoré sú zaznamenané z rôznych stanovísk. Kamera sa teda pohybuje v priestore okolo snímokovaného objektu. Trojrozmerná rekonštrukcia scény sa vykonáva prostredníctvom analýzy zmien medzi snímkami a hľadaním a párovaním rôznych významných bodov na týchto snímkach, pričom základným princípom je využitie obrazovej korelácie medzi jednotlivými snímkami. Softvéry na rekonštrukciu trojrozmernej scény zväčša využívajú princípy tzv. počítačového videnia.

V súčasnosti existuje množstvo rôznych softvérových riešení, ktoré na trojrozmerné modelovanie priestoru využívajú práve princípy počítačového videnia a Structure-from-Motion. V rámci práce boli na spracovanie snímok a meraní využité dva softvéry – Metashape od spoločnosti Agisoft a RealityCapture od spoločnosti Capturing Reality.

Softvér Metashape bol vytvorený ruskou spoločnosťou Agisoft. Ponúka užívateľsky prístupné, ale zároveň profesionálne riešenie na modelovanie trojrozmerného priestoru, pričom výsledky sú využiteľné vo veľkom množstve odvetví. Softvér je založený na viacsnímkovej technológii vytvárania 3D modelov, ktorá pracuje na princípe SfM. Metashape pracuje s akýmkoľvek typom snímok. Softvér je z pohľadu ovládania veľmi jednoduchý pre používateľa, avšak poskytuje aj veľmi kvalitné výsledky. Orientácia snímok, kalibrácia kamery a generovanie výsledného trojrozmerného modelu je v tomto softvéri automatizované, ale je rozdelené do viacerých krokov, pričom užívateľ má voľnosť pri nastavení jednotlivých krokov. Výsledky je možné georeferencovať do akéhokoľvek súradnicového systému alebo zadefinovať mierku pomocou dvoch bodov.

Pri niektorých experimentoch v rámci dizertačnej práce bol na spracovanie využitý taktiež softvér RealityCapture. Tento softvér bol vytvorený slovenskou spoločnosťou Capturing Reality. RealityCapture umožňuje rekonštrukciu trojrozmerných scén, vytváranie trojrozmerných modelov, georeferencovaných ortofotomozaík a ďalších výsledkov. Softvér umožňuje okrem práce so snímkami aj ich kombináciu s laserovými skenmi. V súčasnosti je tento softvér pravdepodobne najrýchlejším zo všetkých softvérových riešení, ktoré využívajú princípy počítačového videnia a SfM. Efektivita práce s týmto softvérom je teda veľmi vysoká. RealityCapture je z pohľadu užívateľa taktiež pomerne jednoduchý na ovládanie, ale zároveň poskytuje množstvo rôznych nastavení výpočtu a generované výsledky majú pomerne vysokú kvalitu. Výpočet je automatizovaný a je rozdelený do viacerých krokov. Výsledný model je možné georeferencovať do akéhokoľvek súradnicového systému.

Jedným z najdôležitejších krokov spracovania merania je určenie súradníc podrobných bodov, ktoré sa stanú súčasťou katastrálnej mapy. Jedná sa o hranice pozemkov tvorené napr. oploteniami alebo rohmi budov a ďalšie polohopisné prvky a línie, ktoré sú dôležité pre kataster a zobrazujú sa vo VKM. Spracovanie snímok z UAV sa vykonáva v špeciálnych fotogrametrických softvéroch, ktoré sú primárne určené na vyhotovovanie fotogrametrických výstupov ako trojrozmerný model alebo ortofotomozaika. Existujú rôzne spôsoby, ktorými je možné získať súradnice jednotlivých podrobných bodov, pričom v rámci práce bolo testované:

- meranie bodov na ortofotomozaike,
- meranie bodov v 3D modeli prostredníctvom nástroja „Draw Point“ v softvéri Metashape,
- meranie bodov v 3D modeli prostredníctvom nástroja „Add Marker“ v softvéri Metashape,
- meranie bodov označením na viacerých snímkach.

4.3 Overenie presnosti a efektivity UAV fotogrametrie pre účely katastra nehnuteľností

Aby boli výsledky získané pomocou UAV fotogrametrie využiteľné pre kataster nehnuteľností, musia presnosťou vyhovovať súčasným podmienkam, ktoré sú dané Vyhláškou č. 461/2009 [8]. Overenie presnosti merania musí taktiež prebehnúť v súlade s týmto predpisom. Presnosť merania by teda mala byť overená na výbere podrobných bodov, ktoré rovnomerne pokrývajú celé mapované územie, pričom tieto body musia byť určené dvoma rôznymi spôsobmi. Dôraz by mal byť daný na overenie pomocou tzv. polohového kritéria, prostredníctvom ktorého je overovaná absolútna poloha bodov. Taktiež je možné využiť aj tzv. dĺžkové kritérium na overenie relatívnej polohy, ale dôležité je overiť najmä absolútnu polohu bodov, aby sa v mape nevyskytol nový lokálny posun. Aj v rámci práce bolo využité overenie presnosti podrobných bodov na ich výbere pomocou tzv. polohového kritéria. Overované body boli vyberané tak, aby boli charakteristickými bodmi, ktoré sa zobrazujú v katastrálnej mape, teda rohy budov alebo oplotenia. Poloha týchto bodov bola okrem UAV fotogrametrie určená aj geodetickými metódami, ktoré sú v súčasnosti používané pri meraniach v katastri a spĺňajú požiadavky presnosti. Poloha oplotení bola zameraná priamo metódou GNSS-RTK s pripojením na aktívne geodetické základy a poloha rohov budov bola určená pomocou polárnej metódy, pričom stanoviská prístroja boli určené taktiež metódou GNSS-RTK s pripojením na aktívne geodetické základy. Následne boli vypočítané polohové odchýlky na každom z overovaných bodov, pričom musí platiť, že polohová odchýlka nesmie prekročiť hodnotu 1,7-násobku požadovanej strednej súradnicovej chyby. Keďže sa jedná o nové meranie, body budú mať kód kvality $T = 1$, ktorého stredná súradnicová chyba má hodnotu 0,08 m. Polohové odchýlky na overovaných bodoch by teda nemali prekročiť hodnotu 0,14 m.

Dôležité je aj overenie efektivity UAV fotogrametrie v porovnaní so súčasne používaným prístupom s využitím geodetických metód merania. Porovnávaný bol najmä čas strávený v teréne a čas spracovania výsledkov merania do podoby súradníc jednotlivých podrobných bodov.

5 Testovanie, analýza a hodnotenie efektivity OKO K

Pred uvedením OKO K do praxe musí byť jeho technická časť pilotne otestovaná na niekoľkých k.ú. V tejto dizertačnej práci boli vykonané štyri experimenty, ktoré sa sústredili na testovanie technickej časti OKO K v praxi. Prvý z praktických experimentov bol vykonaný na malej testovacej lokalite a sústredil sa najmä na testovanie využitia dvoch spomínaných aplikácií a ich efektívnosť pri tomto procese. V ďalších troch experimentoch bolo testované využitie OKO K na obnovu VKMč v rámci celých k.ú. Testovanie celého konania OKO K vrátane všetkých formálnych krokov nebolo vykonané, pretože zavedeniu tohto procesu do praxe by musela predchádzať úprava niektorých predpisov. Technická časť je však najdôležitejšou z celého konania, pretože určuje, či je konanie vykonateľné alebo nie. V rámci autoreferátu sú prezentované výsledky jedného z vykonaných experimentov v k.ú. Galovany. Ostatné experimenty sú prezentované v rámci dizertačnej práce.

5.1 Obnova VKMč v k.ú. Galovany

Katastrálne územie Galovany sa nachádza v okrese Liptovský Mikuláš. Pôvodné katastrálne mapovanie bolo vykonané v rokoch 1982-1984, pričom sa riadilo ešte predpismi na THM. Podľa informácií z KO OÚ tu boli na mapovanie využité iba geodetické metódy merania. Súčasná VKMč bola vytvorená približne o 20 rokov neskôr a jej platnosť bola vyhlásená na konci roku 2003. Body boli pri mapovaní opäť určované zväčša v 3. triede presnosti, prípadne v 4. triede presnosti v rámci niektorých častí extravilánu. V oblasti zastavaného územia obce však boli všetky body určené v 3. triede presnosti, ktorá svojou presnosťou zodpovedá dnešnému kódu kvality $T = 3$. Stredná súradnicová chyba týchto bodov by teda mala byť na úrovni 0,14 m.

V tomto katastrálnom území nie sú splnené podmienky presnosti prakticky vo väčšine zastavaného územia obce. Od roku 2013 tu bolo vytvorených približne 90 VGP na aktualizáciu VKMč, pričom približne tretina z nich je druhu VGPmt, ktoré obsahujú objekt vo vrstve BODY. Vrstva BODY v tomto katastrálnom území obsahuje približne 200 bodov, ktorých poloha bola určená aj pomocou technológie GNSS. Objekty vo tejto vrstve sa nachádzajú výlučne v rámci zastavaného územia obce. Táto vrstva síce obsahuje množstvo bodov, avšak sú sústredené vo väčších zhlukoch, preto na spoľahlivé posúdenie vlastností lokálneho posunu muselo byť vykonané doplňujúce meranie. Toto meranie bolo vykonané dňa 18. 6. 2022 metódou GNSS-RTK s pripojením

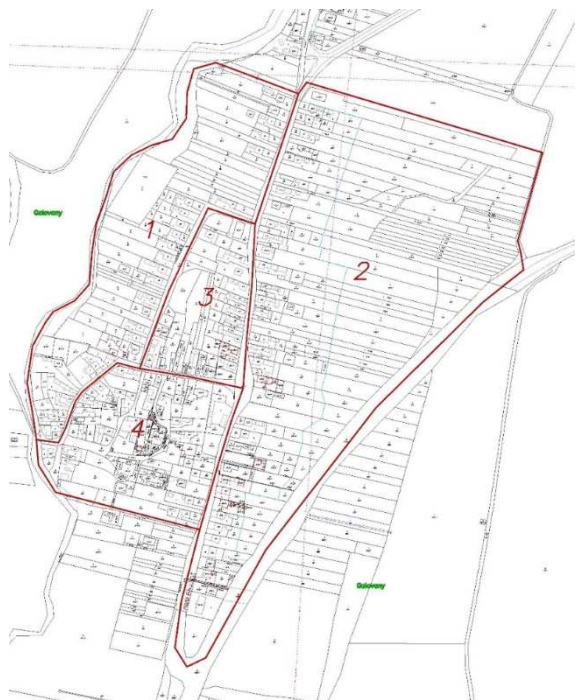
na SKPOS, pričom predmetom tohto merania boli najmä oplotenia, ktoré boli dostupné z verejných priestranstiev. Touto metódou bolo určených približne 200 nových bodov [7].

V prvom kroku bol určený obvod obnovy, v ktorom bola následne vykonaná analýza homogenity. Predbežná hranica obvodu obnovy bola určená na základe oblastí, kde je možné hranice parciel identifikovať v teréne. Z obvodu však bolo vylúčených niekoľko parciel na severnom aj južnom okraji intravilánu, na ktorých sa nachádzajú novostavby rodinných domov. Pri zameraní a zápise týchto stavieb bol totiž ignorovaný lokálny posun a stavby neboli do mapy dotransformované pomocou lokálnej transformácie. Navyše príslušné oplotenia neboli správne postavené, preto tu nebolo možné spoľahlivo posúdiť vlastnosti lokálneho posunu. Do obvodu taktiež neboli zahrnuté ani ostatné časti extravilánu, kde hranice nie sú označené v teréne. V tomto prípade budú akceptované výsledky pôvodného katastrálneho mapovania tak, ako keby tu posun neexistoval. V prvom kroku bol určený obvod obnovy rozdelený na 4 bloky s čo najmenšou veľkosťou, pričom hranice blokov tvorili najmä parcely ciest a vodných tokov, prípadne väčšie parcely bez listu vlastníctva v registri C. Rozdelenie obvodu sa nachádza na Obr. 5.1.

V každom z blokov bola následne vykonaná analýza homogenity mapy, teda na množine kontrolných bodov boli vypočítané polohové odchýlky a ich smerníky, ktoré boli potom štatisticky spracované. V každom bloku sa nachádzalo minimálne 10 kontrolných bodov. Výsledky analýzy homogenity sa nachádzajú v Tab. 5.1.

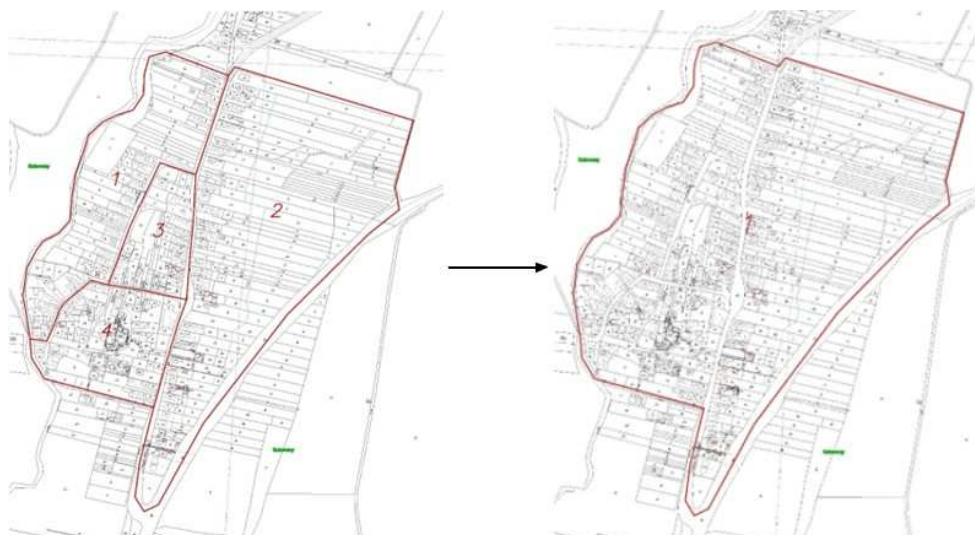
Tab. 5.1: Analýza homogenity v k.ú. Galovany, najmenšie možné bloky [7].

blok	Δp_{\min} [m]	Δp_{\max} [m]	Δp_{pr} [m]	$RMSE_{\Delta p}$ [m]	α_{pr} [g]	$RMSE_{\alpha}$ [g]	p-hod. pos.	p-hod. smer.	p-hod. 2D
1	0,23	0,39	0,31	0,048	252,4489	9,0502	0,344	0,219	0,869
2	0,18	0,46	0,33	0,079	263,4419	13,9289	0,668	0,538	0,216
3	0,16	0,41	0,30	0,070	254,6042	16,9221	0,823	0,226	0,499
4	0,19	0,42	0,32	0,058	258,9296	20,3351	0,344	0,219	0,869



Obr. 5.1: Rozdelenie obvodu OKO K na najmenšie možné bloky, k.ú. Galovany [7].

Z výsledkov analýzy homogenity v jednotlivých menších blokoch je možné vidieť, že priemerné hodnoty posunov sa pohybujú na úrovni približne 0,30 m, pričom RMSE polohových odchýlok aj smerníkov sú nízke. V žiadnom prípade nebola zamietnutá nulová hypotéza o normalite súboru, preto môžeme všetky bloky považovať za homogénne. Vlastnosti lokálneho posunu sú vo všetkých blokoch podobné, preto boli všetky menšie bloky spojené do jedného väčšieho (Obr. 5.2). V tejto práci však boli testované obe možnosti transformácie – v menších blokoch a v jednom spojenom bloku. V tomto bloku bola opäť vykonaná analýza homogenity s využitím viac ako 60 bodov, pričom jej výsledky sú v Tab. 5.2 [7].



Obr. 5.2: Spojenie blokov v obvode OKO K, k.ú. Galovany [7].

Tab. 5.2: Analýza homogenity v k.ú. Galovany, spojený blok [7].

blok	$\Delta\rho_{\min}$ [m]	$\Delta\rho_{\max}$ [m]	$\Delta\rho_{pr}$ [m]	$RMSE_{\Delta\rho}$ [m]	α_{pr} [g]	$RMSE_{\alpha}$ [g]	p-hod. pos.	p-hod. smer.	p-hod. 2D
1	0,16	0,46	0,32	0,066	257,6660	16,2054	0,6880	0,9549	0,8806

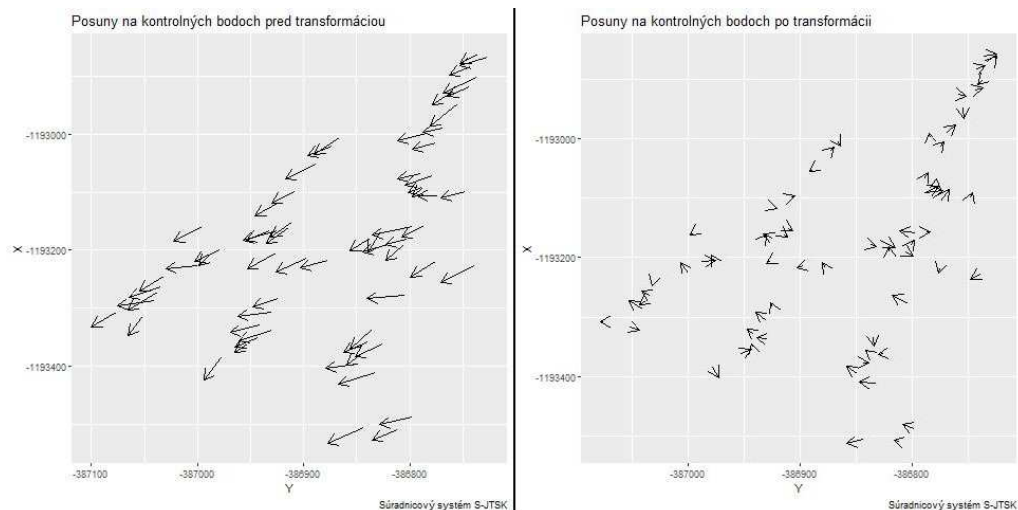
Aj v tomto prípade boli hodnoty RMSE oboch parametrov nízke a nebola zamietnutá nulová hypotéza o normalite súboru. Preto môžeme spojený blok taktiež považovať za homogénny. Možná je tak jednoduchá obnova VKMČ v celom obvode obnovy naraz v rámci jedného bloku [7].

Po analýze homogenity bola vykonaná samotná oprava mapy pomocou zhodnostnej transformácie, ktorá bola opäť vykonaná v aplikácii „Spresnenie VKMt“, pričom využitá bola transformácia v malých blokoch, a taktiež v jednom spojenom. V prípade menších blokov bolo v každom bloku využitých 4 až 5 identických bodov, ktoré boli rovnomerne rozložené v konkrétnom bloku. Pri veľkom spojenom bloku boli využité všetky identické body z malých blokov, takže spolu bolo na výpočet transformačných parametrov využitých 19 identických bodov, ktoré boli kombináciou bodov z vrstvy BODY a bodov určených novým doplňujúcim meraním. Po transformácii sa v oboch prípadoch väčšina hodnôt rezíduí na identických bodoch pohybovala medzi hodnotami 2 a 10 cm a ich maximálna hodnota bola na úrovni 17 cm [7].

Po transformácii bola vykonaná záverečná kontrola, pričom na výpočet bola využitá aplikácia „Korekcia“. Ako kontrolné body boli v tomto prípade využité rovnaké body ako pri analýze homogenity mapy v obvode obnovy. Bolo použitých viac ako 60 bodov v rámci celého obvodu obnovy, ktoré boli rovnomerne rozložené po celom jeho území. Na týchto kontrolných bodoch boli vypočítané polohové odchýlky a ich smerníky medzi dotransformovanou mapou a meraním. Získané parametre boli následne štatisticky spracované. Výsledky záverečnej kontroly pre menšie bloky a jeden väčší spojený blok sa nachádzajú Tab. 5.3. V rámci aplikácie „Korekcia“ boli opäť vyhotovené šípkové grafy pre každý z transformovaných blokov. Príklad šípkového grafu pre väčší spojený blok je možné vidieť na Obr. 5.3.

Tab. 5.3: Záverečná kontrola transformácie v k.ú. Galovany [7].

variant	blok	$\Delta\rho_{\max}$ [m]	$\Delta\rho_{pr}$ [m]	$RMSE_{\Delta\rho}$ [m]	α_{pr} [g]	$RMSE_{\alpha}$ [g]
menšie bloky	1	0,14	0,06	0,041	111,4087	107,8728
	2	0,22	0,10	0,056	173,9484	105,9972
	3	0,19	0,11	0,051	193,8772	124,5804
	4	0,20	0,13	0,049	275,5181	104,4601
spojený blok	1	0,20	0,10	0,050	203,9349	128,0412



Obr. 5.3: Šípkový graf pre spojený blok, k.ú. Galovany [7].

Súčasťou záverečnej kontroly bola aj analýza dopadu transformácie mapy na právne vzťahy. V oboch prípadoch boli analyzované výmery približne 20 hraničných parciel, pričom výmery vypočítané z dotransformovanej mapy boli porovnané s výmerami zapísanými v SPI. Výsledky analýzy dopadu na právne vzťahy je možné vidieť v Tab. 5.4.

Tab. 5.4: Analýza dopadu OKO K na právne vzťahy, k.ú. Galovany [7].

	malé bloky	veľké bloky
Celkový počet hraničných parciel	21	19
Počet hraničných parciel kde $dP \leq UP$	15	13
Počet hraničných parciel kde $dP > UP$	6	6
- z toho počet parciel s vlastníckymi právami na LV	3	3
- z toho počet parciel s vlastníckymi právami na LV v súkromnom vlastníctve	3	3
- z toho počet parciel bez vlastníckych práv na LV	3	3

Pri porovnaní analýzy homogenity mapy a záverečnej kontroly vidíme, že maximálna priemerná hodnota zo všetkých blokov klesla z hodnoty 0,46 m až na hodnotu 0,13 m. RMSE polohových odchýlok sa po transformácii pohybujú približne na úrovni 0,04 až 0,05 m. Maximálne hodnoty polohových odchýlok sú na úrovni 0,22 m v prípade menších blokov a 0,20 m v prípade spojeného bloku. V oboch prípadoch teda boli splnené podmienky presnosti na všetkých kontrolných bodoch. Z hodnôt RMSE smerníkov aj šípkových grafov je zrejmé, že polohové odchýlky majú po transformácii na každom z kontrolných bodov iný smer, čo znamená, že systematický vplyv bol z mapy odstránený a polohové odchýlky sú spôsobené iba náhodnými chybami merania. V prípade tohto katastrálneho územia sa ukázalo, že mapu je možné obnoviť v rámci obvodu obnovy naraz v rámci jednej transformácie, pričom výsledky sú dokonca mierne lepšie ako pri využití menších blokov [7].

Na základe dosiahnutých výsledkov je možné konštatovať, že obnova VKMČ v katastrálnom území Galovany s využitím OKO K bola úspešná. Výsledkom je teda VKMČ bez lokálneho posunu, ktorú je možné v praxi používať bez akýchkoľvek problémov. Obnova bola v tomto prípade veľmi rýchla a efektívna. Meranie v teréne trvalo necelé 2 hodiny a jeho následné spracovanie a obnova VKMČ trvali tiež približne 2 hodiny. Časová aj finančná úspora oproti OKO NM by teda mohla byť vysoká aj napriek vykonaniu ostatných formálnych krokov. Vhodným výberom hranice obvodu OKO K bol taktiež minimalizovaný vplyv obnovy na právne vzťahy. V oboch prípadoch transformácie je nutné opraviť výmery iba troch parciel, ktoré sú zapísané na liste vlastníctva v registri C. V porovnaní s konaním OKO NM je však tento vplyv pri danom rozsahu obnovy zanedbateľný [7].

5.2 Zhodnotenie testovania technickej časti procesu OKO K

V rámci dizertačnej práce bola technická časť konania OKO K testovaná najprv na obnovu mapy v malej testovacej lokalite v k.ú. Hlohovec, a následne na obnovu celej VKMČ v rámci troch vybraných k.ú. – Jacovce, Galovany a Hradec. V rámci obnovy VKMČ v testovacej lokalite v k.ú. Hlohovec bolo testované taktiež využitie kombinácie dvoch aplikácií na automatizáciu a zefektívnenie výpočtu a verifikácia ich výsledkov. V rámci tohto

experimentu sa využitie aplikácií ukázalo ako veľmi efektívne, pričom celý čas výpočtu sa niekoľkonásobne skrátil a bolo takmer eliminované riziko vzniku hrubých chýb pri výpočte. Preto bola pri ďalších výpočtoch používaná už iba kombinácia týchto dvoch aplikácií.

V rámci testovania obnovy VKMČ v celom k.ú. je možné hodnotiť vykonané experimenty za úspešné. V rámci k.ú. Jacovce a Galovany bola obnova VKMČ vykonaná úspešne v rámci celého stanoveného obvodu obnovy, pričom v ostatných častiach k.ú. je možné akceptovať výsledky pôvodnej VKMČ, keďže hranice nie sú označené v teréne a nie je možné posúdiť veľkosť posunu, prípadne pri vytýčení hranice alebo zápise nových stavieb nebol tento posun uvažovaný, čiže výsledky sú dostatočne kvalitné a je možné ich akceptovať. Výsledkom týchto experimentov je VKMČ, ktorá spĺňa požiadavky presnosti v celom k.ú., a je možné ju ďalej bez problémov používať pri bežných geodetických činnostiach v katastri. V rámci tretieho experimentu v k.ú. Hradec bola obnova úspešná iba čiastočne, pretože jeden z blokov sa v rámci analýzy homogenity ukázal ako nehomogénny a OKO K tu nemohla byť vykonaná. Katastrálne územie však bolo špecifické tým, že posun nebol spôsobený pôvodným mapovaním, ale posunom zemského povrchu, keďže sa jedná o aktívne zosuvné územie.

Nové doplňujúce meranie bolo vykonané vo všetkých prípadoch metódou GNSS-RTK, pričom predmetom merania boli najmä oplotenia dostupné z verejných priestranstiev. Táto metóda sa ukázala ako najefektívnejšia z časového hľadiska. Body na oploteniach síce nemusia byť také spoľahlivé ako v prípade iných bodov, ako napr. rohov budov, avšak na spoľahlivé určenie polohy rohov budov by musela byť použitá polárna metóda, ktorej použitie by značne predĺžilo celý čas merania. Možnosťou efektívneho určenia rohov budov ako spoľahlivých bodov pre OKO K by mohlo byť využitie moderných metód merania, ako napr. UAV fotogrametria s využitím priamej orientácie snímok. Táto možnosť však v rámci práce nebola testovaná.

Najväčšou výhodou OKO K je úspora času aj finančných prostriedkov na obnovu VKMČ oproti OKO NM. Obnova je vykonaná mozaikovitým spôsobom iba v častiach katastrálneho územia, kde bol meraním preukázaný lokálny posun, ktorý má systematický charakter. Ďalšou výhodou je aj malý objem geodetických prác v teréne, ktoré je možné vykonať v zásade bez potreby prítomnosti vlastníkov pozemkov.

Nevýhodou konania OKO K je, že je použiteľné iba pre VKMČ, kde môže byť lokálny posun jednoznačne ohraničený, pričom posun musí mať preukázateľne systematický charakter. Ďalšou nevýhodou je, že vo väčšine takýchto k.ú. bude potrebné vykonanie nového doplňujúceho merania. Ak sa analýzou homogenity preukáže, že mapa v rámci konkrétneho bloku parciel nie je homogénna, jedinou možnosťou zostáva vykonanie nového katastrálneho mapovania. Aj napriek týmto nevýhodám však môže konanie OKO K predstavovať nenákladnú a efektívnu alternatívu k OKO NM na obnovu VKMČ s lokálnym posunom. Predpokladáme, že konanie bude využiteľné vo veľkej časti k.ú., v ktorých je dnes spravovaná vrstva BODY s väčším počtom objektov. Zavedeniu do praxe bude musieť predchádzať okrem tvorby nových a úpravy existujúcich predpisov aj ďalšie testovanie.

6 Testovanie, analýza presnosti a hodnotenie efektivity UAV fotogrametrie pre účely katastra nehnuteľností

Druhá časť praktických experimentov v rámci dizertačnej práce sa týkala testovania presnosti a efektivity UAV fotogrametrie pri meraniach na účely obnovy a aktualizácie katastrálnych máp. V rámci tejto časti boli vykonané tri experimenty, počas ktorých bolo testované využitie štyroch UAV. Všetky experimenty boli vykonané v testovacej lokalite v Devínskej Novej Vsi, ktorá je mestskou časťou Bratislavy. V rámci experimentov bola testovaná nielen presnosť výsledkov získaných pomocou UAV fotogrametrie v súlade so súčasnými katastrálnymi predpismi, ale aj jej efektivita pri práci v teréne aj v kancelárii. V autoreferáte je prezentovaný opäť iba jeden z vykonaných experimentov.

6.1 Testovanie UAV DJI Mavic 3

Experiment sa zaoberal testovaním jedného z najnovších modelov od výrobcu DJI, modelu Mavic 3. Tento UAV je vybavený kamerou s rozlíšením 20 MP od renomovaného výrobcu Hasselblad. Testovanie bolo vykonané vo februári 2023. Predmet snímkovania bol celý blok parciel obsahujúci radovú zástavbu na danej ulici. Počas snímkového letu boli vyhotovované nadirové aj šikmé snímky. Nadirové snímkovanie (N) opäť prebehlo v konfigurácii v snímkových pásoch s vysokým prekrytom na úrovni 80 až 90 % v letovej výške okolo 25 m, pričom týmto spôsobom bolo vyhotovených približne 280 snímok. Ďalej boli vyhotovené šikmé snímky dvoma

spôsobmi. Prvým spôsobom (Š1) bolo vyhotovených približne 40 snímok v jednom uzavretom páse okolo celého bloku (Obr. 4.1, vpravo), pričom prekryt sa pohyboval približne na úrovni 80 % s letovou výškou približne 25 m. Druhým spôsobom (Š2) bolo vyhotovených približne 160 snímok v dvoch rovnobežných pásoch pred prednou aj zadnou fasádou s pootočením UAV o približne 45° voči fasáde (Obr. 4.1, stred) s prekrytom na úrovni približne 90 % a letovou výškou približne 15 m. Na zavlčovanie snímok a kontrolu presnosti merania pomocou fotogrametrie bolo využitých 7 vlčovacích bodov a 30 kontrolných bodov, ktoré boli určené geodetickými metódami s pripojením na aktívne geodetické základy. Kontrolnými bodmi boli buď lomové body oplotení alebo rohy budov, teda body typické pre katastrálnu mapu.

Pri spracovaní snímok bolo testovaných 7 rôznych alternatív v oboch softvéroch s rôznym počtom vlčovacích bodov, snímok a snímkových konfigurácií, rôznymi možnosťami tvorby modelu a získavania súradníc podrobných bodov. Parametre spracovania pre jednotlivé alternatívy sú v Tab. 6.1. Jednotlivé alternatívy sú očíslované, pričom toto označenie je používané aj v ďalších tabuľkách. Pod spôsobom získavania súradníc „model M“ sa rozumie meranie v 3D modeli pomocou nástroja „Add Marker“, pod spôsobom „model P“ sa rozumie meranie v modeli pomocou nástroja „Draw Point“.

Tab. 6.1: Parametre spracovania snímok – DJI Mavic 3.

variant	1	2	3	4	5	6	7
použitý softvér	MS	MS	MS	MS	MS	RC	RC
počet a typ snímok	~450Š2+N	39Š1+20N	39Š1+20N	39Š1+20N	39Š1+20N	39Š1+100N	~450Š2+N
orientácia snímok	Medium	Medium	Medium	Medium	Medium	Normal	Normal
počet kľúčových bodov	40 000	40 000	40 000	40 000	40 000	40 000	40 000
počet vlčovacích bodov	7	7	4	4	4	4	4
optimalizácia	áno	áno	áno	áno	áno	áno	áno
hĺbkové mapy	Medium	Medium	Medium	High	High	Normal	Normal
zdroj generovania modelu	dense cloud	dense cloud	dense cloud	hĺbkové mapy	hĺbkové mapy	hĺbkové mapy	hĺbkové mapy
počet bodov v dense cloude	~23,8 mil.	~13,7 mil.	~13,7 mil.	–	–	–	–
model	Medium	Medium	Medium	Custom	Custom	Normal	Normal
počet trojuholníkov v modeli	~1,9 mil.	~1,1 mil.	~1,1 mil.	~20 mil.	~20 mil.	~38,7 mil.	~72,3 mil.
rozlíšenie ortofotomozaiky	1 cm	1 cm	1 cm	1 cm	1 cm	1 cm	1 cm
spôsob získavania súradníc	snímky+ orto	snímky+ orto	snímky+ orto	model M+orto	model P+orto	snímky+ orto	snímky+ orto

Súradnice rohov budov boli určované v rámci jednotlivých alternatív buď meraním na modeli alebo na snímkach. Súradnice oplotení boli vo všetkých prípadoch určované z ortofotomozaiky, keďže je to najefektívnejší spôsob na ich určovanie. Overenie presnosti prebehlo v súlade s predpismi [1] na reprezentatívnom výbere bodov, pričom súradnice získané z UAV fotogrametrie boli porovnané so súradnicami získanými geodetickými metódami. Výsledky spracovania merania sú uvedené v Tab. 6.2. Pre každý experiment uvádzame kvadratický priemer rezíduí na vlčovacích bodoch ($RMSE_{VB}$), strednú kvadratickú chybu spätnej projekcie na vlčovacích bodov ($RMSRE_{VB}$), a ďalej pre polohové odchýlky na množine kontrolných bodov uvádzame ich priemernú hodnotu (Δp_{PR}), ich RMSE ($RMSE_{KB}$) a maximálnu hodnotu (Δp_{MAX}).

Tab. 6.2: Výsledky spracovania – DJI Mavic 3.

variant	1	2	3	4	5	6	7
$RMSE_{VB}$ [m]	0,030	0,019	0,007	0,007	0,007	0,005	0,003
$RMSRE_{VB}$ [pix]	0,808	0,677	0,556	0,556	0,556	0,620	0,640
Δp_{PR} [m]	0,022	0,033	0,023	0,037	0,038	0,035	0,033
$RMSE_{KB}$ [m]	0,025	0,039	0,028	0,044	0,046	0,040	0,036
Δp_{MAX} [m]	0,05	0,09	0,07	0,09	0,12	0,09	0,06

Posledným krokom v rámci experimentu bolo posúdenie efektivity metódy UAV fotogrametrie s využitím modelu Mavic 3 voči geodetickému meraniu a posúdenie efektivity jednotlivých alternatív spracovania. Údaje o časoch merania v teréne a spracovania sú uvedené v Tab. 6.3.

Tab. 6.3: Časové údaje o meraní a spracovaní – DJI Mavic 3.

variant	UAV 1	UAV 2	UAV 3	UAV 4	UAV 5	UAV 6	UAV 7	geod. metódy
čas merania v teréne	~20 min	~8 min	~8 min	~8 min	~8 min	~10 min	~20 min	~2 hod
čas spracovania	~1 hod 10 min	~10 min	~10 min	~15 min	~15 min	~25 min	~1 hod 10 min	<5 min
čas získania súradníc bodov	~20 min	~20 min	~20 min	~5 min	~5 min	~10 min	~10 min	

Podmienky presnosti [1] boli splnené v rámci všetkých alternatív snímkovej konfigurácie aj následného spracovania. Najkvalitnejšie výsledky s najnižšími maximálnymi hodnotami polohových odchýlkami boli dosiahnuté pri využití kombinácie nadírových a šikmých snímok v konfigurácii s dvoma rovnobežnými pásmi pred prednou aj zadnou fasádou, pričom výsledky sú v zásade porovnateľné z oboch použitých softvérov. Celú testovaciu lokalitu je však možné vymodelovať aj iba z približne 40 šikmých snímok v konfigurácii v jednom uzavretom snímkovom páse. V rámci spracovania tu kvôli lepšej viditeľnosti vlícovacích bodov bol pridaný 1, resp. 2 pásy nadírových snímok. Pri tejto konfigurácii snímok sú výsledky síce mierne horšie a maximálne polohové odchýlky dosahujú vyššie hodnoty, avšak podmienky presnosti sú stále splnené na všetkých bodoch. Za najefektívnejšiu z pohľadu pomeru kvality výsledkov a času spracovania je možné považovať alternatívu č. 4, resp. 5. Tieto alternatívy sa líšia iba spôsobom výsledného získavania súradníc podrobných bodov. V rámci spracovania tu bolo dosiahnuté vysoké rozlíšenie modelu na úrovni 20 mil. trojuholníkov za pomerne krátky čas, ktorý sa dal počítať v minútach. Efektívne bolo taktiež meranie bodov priamo na 3D modeli v oboch prípadoch. Za lepšiu považujeme metódu pomocou nástroja „Add Marker“, keďže pri tejto metóde je možné v prípade potreby doladiť polohu bodov aj na snímkach, zatiaľ čo v prípade nástroja „Draw Point“ to nie je možné. Za efektívne môžeme považovať taktiež využitie softvéru RealityCapture v oboch alternatívach s nižším aj vyšším počtom snímok, kedy boli za približne rovnaký čas spracovania vygenerované trojrozmerné modely s niekoľkonásobne vyšším rozlíšením. Táto úroveň detailu však môže byť už pre účely katastra zbytočne vysoká a bežné počítače môžu mať problém pracovať s modelom s takýmto rozlíšením. V porovnaní s klasickým geodetickým meraním boli alternatívy s nižším počtom snímok celkovo časovo výhodnejšie a meranie v teréne aj spracovanie v kancelárii trvali dokopy iba približne polovicu času, ktorý sme strávili iba v teréne pri meraní geodetickými metódami. Celkovo je možné experiment opäť hodnotiť ako úspešný. Meranie splnilo podmienky presnosti v rámci všetkých alternatív spracovania a UAV fotogrametria sa v tomto prípade ukázala dokonca efektívnejšia než geodetické metódy. Získanými výsledkami boli okrem súradníc podrobných bodov napríklad aj ortofotomozaika, digitálny výškový model alebo trojrozmerný otextúrovaný model územia (Obr. 6.1).



Obr. 6.1: Otextúrovaný 3D model územia, DJI Mavic 3.

6.2 Zhodnotenie testovania presnosti a efektivity UAV fotogrametrie pre účely katastra

V rámci predkladanej práce boli prezentované tri experimenty, ktorých cieľom bolo testovanie presnosti aj efektivity UAV fotogrametrie pre účely rôznych meraní v oblasti katastra nehnuteľností. V rámci týchto experimentov boli testované 4 modely UAV od výrobcu DJI – Mavic Mini, Mavic Air 2, Air 2S a Mavic 3. Všetky spomínané UAV sú vybavené nemetrickými a nekalibrovanými kamerami, sú však komerčne ľahko dostupné za prijateľnú cenu. Cieľom bolo overiť, či je tieto UAV možné použiť na účely merania v oblasti katastra pri dosiahnutí požadovanej presnosti. Okrem testovania presnosti na reprezentatívnom výbere podrobných bodov bolo vykonané aj testovanie jej efektivity v porovnaní s geodetickým meraním. Všetky prezentované experimenty boli vykonané v testovacej lokalite v Devínskej Novej Vsi, kde sa nachádzala radová zástavba rodinných domov s príľahlými záhradami.

Z pohľadu presnosti môžeme hodnotiť všetky vykonané experimenty za veľmi úspešné. Podmienky presnosti boli dodržané v rámci všetkých experimentov aj ich rôznych alternatív spracovania, teda všetky polohové odchýlky na kontrolných bodoch mali hodnoty do 0,14 m, čo predstavuje hodnotu krajnej odchýlky podľa súčasných predpisov v oblasti katastra [8]. Kontrolné body boli reprezentované buď rohmi budov alebo lomovými bodmi oplotení, pričom tieto body sú typickými bodmi, ktoré sa zobrazujú v rámci katastrálnych máp ako lomové body hraníc pozemkov. Presnosť UAV fotogrametrie je teda na základe výsledkov vykonaných experimentov možné vyhlásiť za postačujúcu pre účely katastra nehnuteľností na Slovensku. Priemerné hodnoty polohových odchýlok na kontrolných bodoch sa pohybovali na úrovni 0,02 m až 0,05 m v závislosti od použitého UAV, snímkovej konfigurácie a použitých parametrov pri spracovaní snímok. Hodnoty RMSE sa taktiež pohybovali na približne rovnakej úrovni od 0,02 m do 0,06 m. Tieto hodnoty dokazujú, že presnosť UAV fotogrametrie je aj pri využití komerčne dostupných UAV s nemetrickými a nekalibrovanými kamerami pomerne vysoká a rozdiely oproti klasickému geodetickému meraniu sa na veľkej časti kontrolných bodov pohybovali na úrovni do 0,05 m. Predpokladáme však, že hlavný podiel na týchto rozdieloch nemá spracovanie údajov z UAV fotogrametrie ani meranie pomocou UMS, ale presnosť metódy GNSS-RTK, ktorou boli určované jednak vlícovacie body, ale aj stanoviská prístroja pri meraní polárnou metódou, prípadne priamo poloha kontrolných bodov na oploteniach. Deklarovaná presnosť určenia polohy touto metódou s využitím permanentnej siete SKPOS sa pohybuje na úrovni 0,02 až 0,03 m, čo dokazujú aj hodnoty RMSE na vlícovacích bodoch, ktoré sa pohybujú na podobných úrovniach. V konečnom dôsledku je teda možné povedať, že pre účely katastra má UAV fotogrametria porovnateľnú presnosť s klasickým geodetickým meraním.

Druhým hlavným cieľom experimentov bolo testovanie efektivity metódy UAV fotogrametrie v porovnaní s klasickými geodetickými metódami, ale aj porovnanie efektivity jednotlivých alternatív snímkovania, spracovania snímok a získavania výsledných súradníc podrobných bodov. Z pohľadu efektivity pri meraní v teréne je jednoznačne efektívnejšou UAV fotogrametria. Meranie v teréne sa skladalo zo zamerania vlícovacích bodov pomocou metódy GNSS-RTK a samotného snímkového letu, pričom vo všetkých prípadoch čas merania neprekročil 30 minút. V rámci tohto letu bola nasnímkovaná celá testovacia lokalita, pričom z týchto dát je možné následne určiť polohu ktoréhokoľvek bodu, ktorý je zobrazený na snímkach. Pri geodetickom meraní sme v teréne strávili oveľa dlhší čas, ktorý sa blížil až k dvom hodinám. Touto metódou boli navyše získané iba bodové informácie, pričom neboli zamerané všetky podrobné body v lokalite, ale iba ich výber, ktorý slúžil na kontrolu presnosti UAV fotogrametrie. Ak by bolo potrebné zamerať všetky body v lokalite ako pri OKO NM, meranie by sa niekoľkonásobne predĺžilo kvôli pomerne hustej vegetácii a množstvu rôznych výklenkov na stavbách. Z pohľadu spracovania sú však efektívnejšie geodetické metódy, keďže tu sa rovná spracovanie prakticky iba exportu údajov z prístroja, prípadne jednoduchému dávkovému výpočtu súradníc z meraných veličín, pričom toto spracovanie nezaberie viac ako 5 minút. Spracovanie snímok z UAV a následné určenie súradníc bodov je náročnejší proces, ktorý zaberie dlhší čas. Experimenty však ukázali, že pri vhodnom zvolení snímkovej konfigurácie a nastavení spracovania snímok môže byť celkový čas merania aj spracovania údajov z UAV kratší v porovnaní s geodetickým meraním. Za najefektívnejšiu alternatívu snímkovania môžeme na základe výsledkov experimentov vyhlásiť kombináciu nadirového a šikmého snímkovania s vyhotovením šikmých snímok v jednom uzavretom páse okolo bloku stavieb v danej lokalite. Pri spracovaní bola najefektívnejšou možnosť generovania modelu z hĺbkových máp s vyššou kvalitou v softvéri Metashape so

získaním súradníc podrobných bodov priamym meraním v 3D modeli, resp. z ortofotomozaiky. Aj ostatné alternatívy snímkovania a spracovania však priniesli kvalitné výsledky za pomerne krátky čas. Výslednú efektivitu UAV fotogrametrie je teda možné na základe výsledkov vykonaných experimentov vyhlásiť za porovnateľnú s geodetickým meraním. Presnosť a efektivita tejto metódy je teda dostatočná pre účely OKO NM a iných meraní v katastri a veríme, že v budúcnosti si táto technológia nájde svoje uplatnenie aj medzi geodetmi, ktorí vykonávajú bežné merania v rámci katastra. Vysokú presnosť a efektivitu dokazujú aj ďalšie experimenty, ktoré boli publikované v rámci príspevkov na konferenciách [72], [73], ktoré však kvôli dodržaniu rozsahu nie sú súčasťou tejto práce. Predpokladáme, že so zväčšujúcou sa výmerou snímkovaneho územia sa bude zvyšovať aj efektivita UAV fotogrametrie, pričom najväčšia časová úspora sa dosiahne pri zbere údajov v teréne. Efektivita však môže stúpať iba po určitú úroveň, pretože pri rozsiahlom území (napr. územie väčšieho mesta) by už bolo efektívnejšie využitie geodetických metód.

Hlavnou výhodou UAV fotogrametrie je vysoká efektivita zberu údajov v teréne, kedy je za pomerne krátky čas možné nasnímkovať väčšie územie. Ukázalo sa, že pre účely katastra je možné použiť aj cenovo dostupné UAV s nemetrickými kamerami, preto sú aj náklady na túto metódu nižšie ako pri klasickom geodetickom meraní. Ďalšou výhodou je, že pomocou tejto metódy je možné aj zameranie bodov, ktoré inak nevieme zmerať geodetickými metódami, pretože sú v nedostupnom teréne. Pri pohľade z UAV sú však tieto body viditeľné a je ich možné identifikovať a určiť ich polohu pomocou vyhotovených snímok. Metóda taktiež poskytuje okrem samotných súradníc bodov aj ďalšie výsledky, akými sú napríklad detailný trojrozmerný model územia, ortofotomozaika s vysokým rozlíšením, prípadne digitálny výškový model s vysokým rozlíšením. Tieto výsledky môžu byť využiteľné odborníkmi v iných oblastiach, týkajúcich sa napr. plánovania alebo modelovania rizík. V rámci procesu OKO NM však UAV nemusia byť využívané iba pri podrobnom meraní, ale napríklad aj vo fáze miestneho prešetrovania. Miestne prešetrovanie by nemuselo prebiehať pochôdkou v teréne, ale namiesto toho by mohli byť hranice prešetrované identifikáciou na 3D modeli, resp. na snímkach, čím by sa mohol skrátiť celý čas prešetrovania. Touto možnosťou sa však už predkladaná práca podrobnejšie nezaobera.

Zber údajov pomocou UAV fotogrametrie je neselektívny, čo môže byť výhodou, ale zároveň aj nevýhodou. Zber poskytuje veľké množstvo údajov, z ktorých je však v súčasnosti väčšina pre kataster nepotrebná, ale je ich možné využiť v iných oblastiach. Pri meraní však môže dôjsť k chybe, prípadne môže nastať situácia, že určité body je potrebné domerať. Pri geodetickom meraní je v tomto prípade potrebný nový výjazd do terénu a nové meranie. V prípade UAV fotogrametrie však postačuje otvoriť daný projekt v počítači a vykonať meranie v rámci tohto projektu, čo zaberie iba pár minút. V budúcnosti sa taktiež predpokladá zavedenie tretieho rozmeru do katastra nehnuteľností, kde bude potrebné pracovať s detailnými trojrozmernými dátami. Neselektívnosť tak môže byť v budúcnosti veľkou výhodou, lebo klasické geodetické metódy nedokážu poskytnúť detailné trojrozmerné údaje o objektoch na takej vysokej úrovni detailu.

Nevýhodou UAV fotogrametrie môžu byť najmä vyššie hardvérové nároky na počítač, ktorý sa používa pri spracovaní snímok, ale aj dlhší čas spracovania snímok. V rámci spracovania snímok však takmer všetky výpočty prebiehajú automatizovane, preto je možné počas týchto výpočtov vykonávať iné činnosti. Ďalšou nevýhodou môže byť nemožnosť určenia súradníc bodov, ktoré sú zakryté hustou vegetáciou a množstvom vysokých stromov.

7 Splnenie cieľov dizertačnej práce

Hlavným cieľom práce bol návrh novej metódy homogenizácie katastrálneho mapového diela, návrh využitia UAV fotogrametrie pri obnove katastrálneho operátu, vykonanie testovania navrhnutých metód a analýza dosiahnutých výsledkov.

Na splnenie hlavného cieľa bolo potrebné splniť štyri čiastkové ciele, ktoré boli formulované nasledovne:

1. Návrh obnovy katastrálneho operátu korekciou (OKO K) pre číselné VKM.
2. Vývoj aplikácie na homogenizáciu katastrálneho mapového diela pomocou OKO K.
3. Testovanie, analýza a hodnotenie efektivity OKO K na homogenizáciu katastrálneho mapového diela.
4. Analýza presnosti a efektivity UAV fotogrametrie pri OKO NM.

Zhodnotenie splnenia cieľa č. 1

Prvým cieľom práce bol návrh metodiky nového konania OKO K, ktoré sa zaoberalo obnovou VKMč s lokálnym posunom. Návrh metodiky je v rámci práce popísaný v kapitole 2. Základný princíp OKO K spočíva v dotransformovaní častí mapy s lokálnym posunom do správnej polohy s využitím bodov určených pomocou technológie GNSS, pričom obnova sa vykoná mozaikovitým spôsobom iba v častiach katastrálneho územia, kde je to potrebné. V práci bol navrhnutý jednak formálny postup celého konania (kap. 2.2), ale aj postup technickej časti OKO K (kap. 2.1). V rámci formálneho postupu bolo navrhnutých päť hlavných fáz, pričom jedna z nich, ktorej súčasťou je doplňujúce meranie v teréne, sa vykoná iba podľa potreby. V jednotlivých fázach boli navrhnuté formálne kroky, ktoré by mali byť vykonané pre úspešné ukončenie konania a zápis jeho výsledkov do katastra. V návrhu formálneho postupu OKO K bola rozobratá aj téma kvality a používania katastrálneho operátu po vykonaní OKO K a prebratí jeho výsledkov. Druhou časťou návrhu metodiky OKO K bol návrh postupu technickej časti, v ktorej sa vykoná samotná obnova VKMč a patrí do fázy vyhotovenia nového SPI a SGI v rámci formálneho postupu. V rámci návrhu technickej časti procesu OKO K bol kladený dôraz nielen na samotnú obnovu mapy, ale aj na dôkladnú kontrolu homogenity mapy pred transformáciou aj záverečnú kontrolu po transformácii. V rámci technickej časti bol najprv stanovený predbežný obvod obnovy, ktorý bol následne rozdelený na bloky parciel a bola v ňom vykonaná analýza homogenity. Po tejto analýze bol určený finálny obvod obnovy, pričom mohlo dôjsť k spojeniu, ale aj vylúčeniu niektorých blokov. Následne sa vykonala samotná obnova mapy s využitím zhodnostnej transformácie. Po transformácii sa v rámci technickej časti vykonala záverečná kontrola, ktorá spočívala v overení splnenia podmienok presnosti na množine kontrolných bodov. Počas záverečnej kontroly sa taktiež vykonala aj analýza dopadu obnovy na právne vzťahy, pri ktorej sa kontroluje súlad výmer hraničných parciel blokov s údajmi evidovanými v SPI. Formálna aj technická časť konania bola navrhnutá tak, aby bola čo najefektívnejšia z časového aj finančného hľadiska.

Zhodnotenie splnenia cieľa č. 2

V rámci plnenia druhého čiastkového cieľa predkladanej práce sme sa zaoberali možnosťou automatizácie výpočtov pri konaní OKO K na jeho zefektívnenie z časového hľadiska (kap. 2.4). Túto automatizáciu je možné pomerne jednoducho dosiahnuť s využitím kombinácie dvoch aplikácií. Prvou aplikáciou bola aplikácia s názvom „Spresnenie VKMt“, ktorá bola vytvorená na VÚGK v Bratislave. Táto aplikácia bola pôvodne vytvorená na použitie pri procese prepracovania VKMt na VKMi na dotransformovanie častí VKMt kvôli zvýšeniu jej polohovej presnosti. V rámci predkladanej práce bola navrhnutá a testovaná modifikácia využitia tejto aplikácie pre potreby konania OKO K, ktorý je taktiež založený na dotransformovaní častí mapy. Táto aplikácia však neumožňuje analýzu homogenity mapy pred transformáciou ani záverečnú kontrolu transformácie pomocou množiny kontrolných bodov, preto bola vyvinutá aj vlastná pomocná aplikácia s názvom „Korekcia“, ktorá tento problém odstraňuje. Aplikácia bola vyvinutá v programovacom jazyku R a pre každý z blokov umožňuje okrem analýzy homogenity a záverečnej kontroly napríklad aj grafické znázornenie posunov pred a po transformácii pomocou tzv. šípkového grafu. Do aplikácie bolo taktiež doplnené grafické užívateľské rozhranie, ktoré umožňuje jednoduché a užívateľsky prívetivé použitie aplikácie. Na malej testovacej oblasti bol testovaný súlad výsledkov týchto aplikácií a efektivita ich využitia v porovnaní s manuálnym výpočtom. Efektivita sa ukázala ako vysoká, preto pri všetkých ďalších testoch bola na výpočet použitá výlučne kombinácia dvoch spomínaných aplikácií.

Zhodnotenie splnenia cieľa č. 3

Tretím cieľom predkladanej práce bolo testovanie navrhnutého konania OKO K, pričom dôraz sa kládol na testovanie jeho technickej časti, ktorá je najdôležitejšou časťou celého konania. V rámci práce boli prezentované štyri experimenty. Prvý z nich bol vykonaný v malej testovacej lokalite v k.ú. Hlohovec a okrem samotného testovania OKO K tu bol testovaný aj súlad výsledkov vyššie spomenutých aplikácií a efektivita ich využitia. Ďalšie tri testy sa zaoberali obnovou VKMč v troch k.ú. – Jacovce, Galovany a Hradec. V prípade k.ú. Jacovce a Galovany boli experimenty úspešné a VKMč sa podarilo obnoviť v rámci celého obvodu obnovy. Pri treťom experimente v k.ú. Hradec však experiment nebol stopercentne úspešný a jeden z blokov musel byť z obvodu obnovy vylúčený. V tomto prípade sa však jedná o špecifický prípad, keďže lokálny posun nebol pravdepodobne spôsobený chybou pri pôvodnom mapovaní, ale posunom objektov na zemskom povrchu, keďže katastrálne územie sa nachádza v aktívnom zosuvnom území. Aj napriek tomu, že sa tu nepodarilo obnoviť VKMč v celom rozsahu, experiment ukázal, že nastavené mechanizmy kontroly fungujú a nehomogenita mapy v danom

bloku bola pomocou týchto mechanizmov odhalená. Celkovo sa využitie OKO K ukázalo ako efektívna a časovo nenáročná alternatíva k OKO NM pre VKMč s lokálnym posunom.

Zhodnotenie splnenia cieľa č. 4

Posledným cieľom predkladanej dizertačnej práce bolo testovanie využitia UAV fotogrametrie pri OKO NM a iných meraniach v rámci katastra nehnuteľností v slovenských podmienkach. Práca obsahuje aj stručný návrh metodiky zberu údajov s UAV a ich spracovania pomocou fotogrametrických softvérov pracujúcich na princípe SfM. V rámci práce boli na malej testovacej lokalite testované štyri rôzne modely UAV v rámci troch experimentov. Pri týchto experimentoch boli testované rôzne alternatívy konfigurácie snímkového letu aj spracovania snímok s rôznymi nastaveniami softvéru a rôznymi metódami získavania výsledných súradníc bodov. Okrem testovania presnosti bolo súčasťou experimentov aj testovanie efektivity UAV fotogrametrie pomocou porovnania časov merania a spracovania s geodetickým meraním, ale aj porovnania jednotlivých alternatív spracovania navzájom. Na základe výsledkov experimentov boli nakoniec formulované závery a odporúčania, ktorú z alternatív snímkovej konfigurácie a spracovania je najefektívnejšie využiť pri meraniach v katastri, teda aj pri OKO NM. Taktiež bolo poukázané na možnosť využitia UAV aj pri miestnom prešetrovaní. Výsledky experimentov ukázali, že nielen presnosť, ale aj efektivita UAV fotogrametrie je minimálne porovnateľná s geodetickým meraním. Jej výhodou sú taktiež ďalšie doplnkové výsledky, ktoré geodetické meranie neposkytuje. Preto veríme, že v budúcnosti sa na Slovensku bude pri meraniach v katastri bežne používať aj UAV fotogrametria.

8 Prínos dizertačnej práce pre vedu a prax

Hlavnými prínosmi predkladanej dizertačnej práce sú návrh nového konania s názvom OKO K na obnovu VKMč s lokálnym posunom a návrh metodiky a testovanie presnosti a efektivity UAV fotogrametrie pre účely meraní v katastri nehnuteľností. Celkový prínos dizertačnej práce pre vedu a prax v oblasti katastra nehnuteľností je možné formulovať do nasledovných bodov:

- Okrem samotných návrhov a testovania navrhnutých metód práca obsahuje aj zhrnutie súčasného stavu mapového diela katastra nehnuteľností a využitia moderných technológií v rámci katastra nehnuteľností, vrátane prehľadu jednotlivých mapových kampaní, v ktorých vznikali súčasné katastrálne mapy, a prehľadu metód ich spravovania, obnovy a hodnotenia kvality. Toto zhrnutie tvorí teoretický základ o problematike mapového diela katastra nehnuteľností.
- Podrobný návrh metodiky nového konania Obnovy katastrálneho operátu korekciou (OKO K) na rýchlu a efektívnu obnovu VKMč s lokálnym posunom z formálneho aj technického hľadiska. V návrhu formálneho procesu sú podrobne popísané všetky navrhované fázy a formálne kroky v rámci týchto fáz. V návrhu technickej časti OKO K bol popísaný princíp tohto konania a všetky výpočty, ktoré je potrebné vykonať v rámci neho. Návrh metodiky OKO K v rámci tejto práce by sa mohol stať podkladom pre vytvorenie nových legislatívnych a technických predpisov pre OKO K pri jeho prípadnom zavedení do praxe. Súčasťou návrhu metodiky je taktiež analýza údajov o VKMč s lokálnym posunom, ktorá by mohla byť podkladom pri rozhodovaní o vhodnom k.ú. na využitie konania OKO K.
- V rámci návrhu metodiky bola načrtnutá možnosť automatizácie výpočtov pri OKO K pomocou kombinácie dvoch aplikácií. Navrhnutá bola jednak modifikácia využitia existujúcej aplikácie „Spresnenie VKMt“ pre účely OKO K, ale súčasťou návrhu bolo zároveň aj vytvorenie vlastnej pomocnej aplikácie „Korekcia“ v programovacom jazyku R. Automatizácia výpočtov pomocou kombinácie týchto aplikácií by mohla ešte viac zefektívniť celé konanie OKO K pri jeho použití v praxi.
- Testovanie technickej časti konania OKO K v rámci štyroch experimentov ukázalo, že navrhnutý proces nie je iba teoretický, ale je využiteľný aj v praxi na obnovu VKMč v reálnych katastrálnych územiach. Toto testovanie je dôležité nielen pre prax, ale aj pre vedu, kde by mohlo byť využité v ďalšom výskume, zaoberajúcom sa obnovou VKMč s lokálnym posunom.
- Návrh metodiky zberu údajov pomocou UAV a ich spracovania a získavania súradníc pre účely meraní v katastri. V rámci tohto návrhu boli podrobne popísané jednotlivé parametre snímkového letu a parametre spracovania v rámci dvoch použitých softvérov.
- Testovanie presnosti a efektivity UAV fotogrametrie pre účely OKO NM a iných meraní v rámci katastra nehnuteľností, ktoré potvrdilo, že presnosť tejto metódy je postačujúca pre potreby katastra, a zároveň

aj jej časová efektívnosť je minimálne porovnateľná s geodetickým meraním. Testovanie presnosti a efektivity UAV fotogrametrie považujeme za prínos nielen pre geodetickú prax, ale aj pre ďalší výskum, ktorý by sa mohol zaoberať napríklad testovaním iných modelov UAV, prípadne možnosťami automatickej detekcie hraníc parciel alebo obrysov stavieb pomocou rôznych počítačových algoritmov.

Záver

Predkladaná dizertačná práca mala dva hlavné ciele. Prvým z nich bol návrh nového konania s označením OKO K na rýchlu a efektívnu obnovu vektorových katastrálnych máp číselných, ktoré obsahujú určitý lokálny posun, a jeho praktické testovanie vo vybraných k.ú.. Druhým cieľom bol návrh využitia modernej technológie UAV fotogrametrie pri meraniach v katastri nehnuteľností a praktické testovanie jej presnosti a efektivity pri týchto meraniach.

Pred samotným návrhom daných procesov a metód však bolo potrebné najskôr zhrnúť všetky poznatky o súčasnom stave problematiky, najmä o kvalite VKM a mapového diela katastra nehnuteľností, o metódach hodnotenia kvality, spravovania, aktualizácie a obnovy máp katastra. V samostatnej podkapitole bol popísaný súčasný stav problematiky využívania moderných metód merania v rámci katastra nehnuteľností na Slovensku aj v zahraničí, pričom dôraz bol kladený najmä na UAV fotogrametriu.

Prvým z hlavných cieľov predkladanej práce bol návrh nového konania na obnovu VKMČ s lokálnym posunom – obnovy katastrálneho operátu korekciou (OKO K). Hlavný princíp konania využíva systematický charakter lokálneho posunu a je založený na dotransformovaní blokov parciel v mape do správnej polohy, pričom na transformáciu sú využívané novšie merania s využitím technológie GNSS. Práca obsahuje návrh metodiky konania z formálneho aj technického hľadiska. V rámci formálneho postupu bolo navrhnutých päť hlavných etáp, v ktorých boli podrobne popísané všetky formálne kroky, ktoré je potrebné vykonať na úspešné ukončenie celého konania. Súčasťou návrhu metodiky bola analýza dát o VKMČ s vrstvou BODY, ktorá je potrebná pri výbere vhodného k.ú. na vykonanie navrhnutého konania. V rámci návrhu technickej časti OKO K boli podrobne popísané všetky výpočty a kontroly, ktoré je potrebné vykonať na získanie presných a spoľahlivých výsledkov v troch hlavných fázach. Súčasťou návrhu metodiky technickej časti OKO K bol návrh automatizácie výpočtov použitím kombinácie dvoch aplikácií. V návrhu automatizácie výpočtov bola vytvorená vlastná pomocná aplikácia v programovacom jazyku R s názvom „Korekcia“, ktorá slúži na zrýchlenie a zefektívnenie výpočtov. Technická časť OKO K bola následne testovaná v rámci štyroch experimentov. Počas prvého experimentu v malej testovacej lokalite bol okrem obnovy VKMČ pomocou OKO K testovaný aj súlad výsledkov použitých aplikácií a ich efektívnosť. Ďalšie tri experimenty sa zaoberali obnovou celej VKMČ vo vybraných k.ú. Obnova mapy bola úspešná v celom rozsahu obvodu obnovy v troch vykonaných experimentoch. V poslednom z nich obnova nemohla byť vykonaná v plnom rozsahu, avšak na tomto experimente bolo ukázané, že navrhnuté mechanizmy kontroly fungujú spoľahlivo. Preto môžeme všetky vykonané experimenty vyhlásiť za úspešné. Navrhované konanie OKO K teda je v praxi vykonateľné.

Druhým cieľom bol návrh využitia UAV fotogrametrie pri meraniach v rámci katastra nehnuteľností. V predkladanej práci bola najprv navrhnutá metodika a bol popísaný princíp zberu údajov v teréne s využitím UAV a ich následného spracovania a získavania súradníc podrobných bodov prostredníctvom fotogrametrických softvérov. Ďalej bolo v rámci troch experimentov so štyrmi rôznymi modelmi UAV vykonané testovanie a analýza presnosti a efektivity UAV fotogrametrie pre účely katastra. Testované boli okrem rôznych modelov UAV aj rôzne konfigurácie snímkového letu a alternatívy spracovania s použitím dvoch fotogrametrických softvérov. Analýza presnosti bola vykonaná na množine kontrolných bodov, ktoré sú typické pre katastrálnu mapu (oplotenia, rohy budov). Hodnotená bola tiež efektívnosť metódy v porovnaní s geodetickým meraním, a taktiež efektívnosť jednotlivých alternatív snímkovania a spracovania snímkov prostredníctvom porovnania času merania v teréne a spracovania merania v kancelárii. Výsledky analýzy presnosti ukázali, že všetky použité modely UAV spĺňajú požiadavky presnosti a polohové odchýlky na všetkých kontrolných bodoch boli menšie ako hodnota dovolenej odchýlky stanovená Vyhláškou [8]. Efektívnosť UAV fotogrametrie sa ukázala ako porovnateľná s klasickým geodetickým meraním. Pri niektorých alternatívach snímkovania a spracovania bola časová efektívnosť dokonca vyššia ako pri geodetickom meraní. Vykonané experimenty teda boli úspešné a je možné konštatovať, že UAV fotogrametria spĺňa všetky požiadavky pre použitie v katastri. Taktiež boli zdôraznené výhody UAV fotogrametrie pri OKO NM.

Problematika homogenizácie katastrálneho mapového diela je komplexná a rozsiahla, preto nebolo možné ju detailne rozobrať zo všetkých aspektov. Dúfame však, že sa nám podarilo navrhnúť rýchly a efektívny spôsob obnovy VKMČ s lokálnym posunom, a zároveň navrhnúť a testovať možnosť využitia modernej technológie UAV fotogrametrie pre účely katastra, ktorý by mohol prispieť k zefektívneniu homogenizácie katastrálneho mapového diela, a tým sme splnili všetky stanovené ciele tejto dizertačnej práce. Veríme, že predkladaná dizertačná práca bude prínosom nielen pre odbornú verejnosť, ktorá sa zaoberá oblasťou katastra nehnuteľností, ale aj pre širokú verejnosť a vlastníkov nehnuteľností.

Zoznam použitej literatúry

- [1] Vyhláška ÚGKK SR č. 461/2009 Z. z., ktorou sa vykonáva zákon č. 162/1995 Z. z. o katastri nehnuteľností a o zápise vlastníckych a iných práv k nehnuteľnostiam (katastrálny zákon) v znení neskorších predpisov, Úrad geodézie, kartografie a katastra Slovenskej republiky, 2009.
- [2] Usmernenie Úradu geodézie, kartografie a katastra Slovenskej republiky č. USM_UGKK SR_1/2022, zo dňa 10. 03. 2022 na opravu podrobných bodov a výmer parciel registra „C“ a parciel registra „E“.
- [3] Usmernenie Úradu geodézie, kartografie a katastra Slovenskej republiky č. USM_UGKK SR_9/2013, zo dňa 19. 04. 2013, ktorým sa ustanovuje obsah a forma podkladov na aktualizáciu súboru geodetických informácií katastra nehnuteľností v katastrálnych územiach, v ktorých je spravovaná číselná vektorová katastrálna mapa.
- [4] KYSEĽ, P., HUDECOVÁ, Ľ.: A New Way of Cadastral Map Collection Improvement in Slovakia. *Geodetski list*, 2022, 76(99), vol. 3., s. 227-242. ISSN 0016-710X.
- [5] KYSEĽ, P., HUDECOVÁ, Ľ.: Testing of a new way of cadastral maps renewal in Slovakia. *Geodetski vestnik* 66 (4), 2012, s. 521-535. ISSN 0351-0271.
- [6] KYSEĽ, P.: Obnova vektorovej katastrálnej mapy číselnej s lokálnymi posunmi s využitím meraní metódou GNSS. In: *Advances in Architectural, Civil and Environmental Engineering. Zborník príspevkov*. Bratislava: STU v Bratislave, 2020. s. 195-203. ISBN 978-80-227-5052-3.
- [7] KYSEĽ, P.: Komplexná obnova číselnej vektorovej katastrálnej mapy s lokálnym posunom. In: *JUNIORSTAV 2023: 25. odborná konferencia doktorského studia s mezinárodnou účasťou*. Sborník príspevků. Brno: ECON publishing, 2023. s. 701-707. ISBN 978-80-86433-80-6.
- [8] Metodický návod O-84.11.13.32.24.10-21 na tvorbu vektorovej katastrálnej mapy implementovanej. Bratislava: ÚGKK SR, 2021.
- [9] KYSEĽ, P.: Aplikácia na obnovu katastrálneho operátu korekciou. In: *JUNIORSTAV 2021: 23. odborná konferencia doktorského studia s mezinárodnou účasťou*. Sborník príspevků. Brno: ECON publishing, 2021. s. 683-688. ISBN 978-80-86433-75-2.
- [10] KYSEĽ, P.: Využitie aplikácie „Spresnenie VKMt“ pri obnove korekciou. In: *Advances in Architectural, Civil and Environmental Engineering. Zborník príspevkov*. Bratislava: STU v Bratislave, 2021. s. 183-192. ISBN 978-80-227-5150-6.
- [11] KYSEĽ, P., HUDECOVÁ, Ľ.: Cadastral Survey of a Fishpond Using UAV Photogrammetry. In: *FIG e-Working Week 2021: technical programme and proceedings*. Apeldoorn, Netherlands, 20-25 June 2021. 1. vyd. Copenhagen: International Federation of Surveyors, FIG, 2021. ISBN 978-87-92853-65-3.
- [12] KYSEĽ, P.: Využitie fotogrametrického skenovania kultúrneho dedičstva pre účely katastra nehnuteľností. In: *JUNIORSTAV 2022: 24. odborná konferencia doktorského studia s mezinárodnou účasťou*. Sborník príspevků. Brno: ECON publishing, 2022. s. 616-621. ISBN 978-80-86433-76-9.

Zoznam publikovaných prác autora

V2 Vedecký výstup publikačnej činnosti ako časť editovanej knihy alebo zborníka

- V2_01 **KYSEĽ, Peter**. Homogenizácia vektorovej katastrálnej mapy číselnej. In *Juniorstav 2020 [elektronický zdroj] : sborník príspevků. 22. odborná konferencia doktorského studia s mezinárodnou účasťou*. Brno, ČR, 23. 1. 2020 = Juniorstav 2020, proceedings of the 22nd International Conference of doctoral Students. 1. vyd. Brno : ECON publishing, 2020, USB kľúč, s. 790-795. ISBN 978-80-86433-73-8. Kategória publikácie do 2021: AFC

- V2_02 **KYSEĽ, Peter.** Obnova vektorovej katastrálnej mapy číselnej s lokálnymi posunmi s využitím meraní metódou GNSS. In *Advances in Architectural, Civil and Environmental Engineering [elektronický zdroj] : 30th Annual PhD Student Conference on Applied Mathematics, Applied Mechanics, Building Technology, Geodesy and Cartography, Landscaping, Theory and Environmental Technology of Buildings, Theory and Structures of Buildings, Theory and Structures of Civil Engineering Works, Water Resources Engineering. October 14th 2020, Bratislava, Slovakia.* 1. vyd. Bratislava : Spektrum STU, 2020, CD-ROM, s. 195-203. ISBN 978-80-227-5052-3. Kategória publikácie do 2021: AFD
- V2_03 **KYSEĽ, Peter.** Využitie fotogrametrického skenovania kultúrneho dedičstva pre účely katastra nehnuteľností. In *Juniorstav 2022 [elektronický zdroj] : sborník příspěvků. 24. odborná konference doktorského studia s mezinárodní účastí. Brno, ČR, 27. 1. 2022 = Juniorstav 2022, proceedings of the 24th International Conference of doctoral Students.* 1. vyd. Brno : ECON publishing, 2022, online, s. 616-621. ISBN 978-80-86433-76-9. V databáze: DOI: 10.13164/juniorstav.2022.616. Typ výstupu: príspevok z podujatia; Výstup: zahraničný; Kategória publikácie do 2021: AFC
- V2_04 **KYSEĽ, Peter.** Komplexná obnova VKMČ s lokálnymi posunmi v katastrálnom území Galovany. In *Advances in Architectural, Civil and Environmental Engineering [elektronický zdroj] : 32nd Annual PhD Student Conference on Applied Mathematics, Building Technology, Geodesy and Cartography, Landscaping, Theory and Environmental Technology of Buildings, Theory and Structures of Buildings, Theory and Structures of Civil Engineering Works, Water Resources Engineering. October 26th 2022, Bratislava, Slovakia.* 1. vyd. Bratislava : Spektrum STU, 2022, CD-ROM, s. 154-161. ISBN 978-80-227-5251-0. Typ výstupu: príspevok z podujatia; Výstup: domáci; Kategória publikácie do 2021: AFD
- V2_05 **KYSEĽ, Peter.** Komplexná obnova číselnej vektorovej katastrálnej mapy s lokálnym posunom. In *Juniorstav 2023 [elektronický zdroj] : sborník příspěvků. 25. mezinárodní doktorská konference stavebního inženýrství. Brno, ČR, 26. 1. 2023 = Juniorstav 2023, proceedings of the 25th International Scientific Conference of Civil Engineering for Ph.D. Students.* 1. vyd. Brno : ECON publishing, 2023, online, s. 701-707. ISBN 978-80-86433-80-6. Typ výstupu: príspevok z podujatia; Výstup: zahraničný; Kategória publikácie do 2021: AFC
- V2_06 **KYSEĽ, Peter.** Aplikácia na obnovu katastrálneho operátu korekciou. In *Juniorstav 2021 [elektronický zdroj] : sborník příspěvků. 23. odborná konference doktorského studia s mezinárodní účastí. Brno, ČR, 28.1.2021 = Juniorstav 2021, proceedings of the 23th International Conference of Doctoral Students.* 1. vyd. Brno : ECON publishing, 2021, online, s. 683-688. ISBN 978-80-86433-75-2. Kategória publikácie do 2021: AFC
- V2_07 **KYSEĽ, Peter.** Využitie aplikácie "Spresnenie VKMt" pri obnove korekciou. In *Advances in Architectural, Civil and Environmental Engineering [elektronický zdroj] : 31st Annual PhD Student Conference on Applied Mathematics, Building Technology, Geodesy and Cartography, Landscaping, Theory and Environmental Technology of Buildings, Theory and Structures of Buildings, Theory and Structures of Civil Engineering Works, Water Resources Engineering. October 13th 2021, Bratislava, Slovakia.* 1. vyd. Bratislava : Spektrum STU, 2021, CD-ROM, s. 183-192. ISBN 978-80-227-5150-6. Kategória publikácie do 2021: AFD

V3 Vedecký výstup publikačnej činnosti z časopisu

- V3_01 BUŠKO, Małgorzata - ZYGA, Jacek - HUDECOVÁ, Ľubica - **KYSEĽ, Peter** - BALAWAJDER, Monika - APOLLO, Michal. Active collection of data in the real estate cadastre in systems with a different pedigree and a different way of building development: learning from Poland and Slovakia. In *Sustainability [elektronický zdroj]*. Vol. 14, iss. 2 (2022), online, [17] s., art. no. 15046. ISSN 2071-1050 (2021: 3.889 - IF, Q2 - JCR Best Q, 0.664 - SJR, Q1 - SJR Best Q). V databáze: DOI: 10.3390/su142215046

; WOS: 000887842200001 ; SCOPUS: 2-s2.0-85142671679 ; CC: 000887842200001. Typ výstupu: článok; Výstup: zahraničný; Kategória publikácie do 2021: ADC

- V3_02 HUDECOVÁ, Ľubica - **KYSEL', Peter**. Vector cadastral maps numerical homogeneity analysis. In *Geodetski list*. Vol. 74 (97), no. 1 (2020), s. 41-56. ISSN 0016-710X (2020: 0.162 - SJR, Q4 - SJR Best Q). V databáze: WOS: 000531067300003 ; SCOPUS: 2-s2.0-85084524103. Kategória publikácie do 2021: ADM
- V3_03 KLAPA, Przemysław - HUDECOVÁ, Ľubica - JURKIEWICZ, Magdalena - **KYSEL', Peter** - MIKA, Monika - ŚLUSARSKI, Marek. Surveying and cartographic aspects of utility networks in Slovakia and Poland. In *Geomatics, Landmanagement and Landscape*. Vol. 10, no. 3 (2022), s. 117-129. ISSN 2300-1496. V databáze: DOI: 10.15576/GLL/2022.3.117. Typ výstupu: článok; Výstup: zahraničný; Kategória publikácie do 2021: ADE
- V3_04 **KYSEL', Peter**. Vektorová katastrálna mapa číselná a lokálne posuny. In *Slovenský geodet a kartograf*. Roč. 25, č. 1 (2020), s. 5-9. ISSN 1335-4019. Kategória publikácie do 2021: ADF
- V3_05 **KYSEL', Peter** - HUDECOVÁ, Ľubica. A new way of cadastral map collection improvement in Slovakia. In *Geodetski list*. Vol. 76 (99), no. 3 (2022), s. 227-242. ISSN 0016-710X (2021: 0.149 - SJR, Q4 - SJR Best Q). V databáze: SCOPUS: 2-s2.0-85141365307 ; WOS: 000879886000003. Typ výstupu: článok; Výstup: zahraničný; Kategória publikácie do 2021: ADM
- V3_06 **KYSEL', Peter** - HUDECOVÁ, Ľubica. Testing of a new way of cadastral maps renewal in Slovakia. In *Geodetski Vestnik*. Vol. 66, no. 4 (2022), online, s. 521-535. ISSN 0351-0271 (2021: 0.554 - IF, Q4 - JCR Best Q, 0.221 - SJR, Q3 - SJR Best Q). V databáze: DOI: 10.15292/geodetski-vestnik.2022.04.521-535 ; SCOPUS: 2-s2.0-85144676248. Typ výstupu: článok; Výstup: zahraničný; Kategória publikácie do 2021: ADM
- V3_07 JURKIEWICZ, Magdalena - HUDECOVÁ, Ľubica - **KYSEL', Peter** - KLAPA, Przemysław - MIKA, Monika - ŚLUSARSKI, Marek. A comparison of cadastre in Slovakia and Poland. In *Slovak Journal of Civil Engineering*. Vol. 31, no. 1 (2023), online, s. 1-9. ISSN 1338-3973 (2021). V databáze: WOS: 000962276000001 ; DOI: 10.2478/sjce-2023-0001. Typ výstupu: článok; Výstup: domáci; Kategória publikácie do 2021: ADN
- V3_08 HUDECOVÁ, Ľubica - **KYSEL', Peter**. Legislative protection of agricultural land. In *Land Use Policy*. Vol. 131 (2023), online, [11] s., art. no. 106719. ISSN 0264-8377 (2021: 6.189 - IF, Q1 - JCR Best Q, 1.635 - SJR, Q1 - SJR Best Q). V databáze: DOI: 10.1016/j.landusepol.2023.106719; WOS; SCOPUS: 2-s2.0-85154023839 ; CC. Typ výstupu: článok; Výstup: zahraničný; Kategória publikácie do 2021: ADC
- V3_09 **KYSEL', Peter** - HUDECOVÁ, Ľubica. Výmera nehnuteľnosti a určitost' právnych úkonov. In *Kartografické listy*. Vol. 30, no. 2 (2022), online, s. 63-77. ISSN 1336-5274 (2021: 0.169 - SJR, Q4 - SJR Best Q). V databáze: SCOPUS. Typ výstupu: článok; Výstup: domáci; Kategória publikácie do 2021: ADN

O2 Odborný výstup publikačnej činnosti ako časť knižnej publikácie alebo zborníka

- O2_01 **KYSEL', Peter** - HUDECOVÁ, Ľubica. Cadastral Survey of a Fishpond Using UAV Photogrammetry. In *FIG e-Working Week 2021 [elektronický zdroj] : technical programme and proceedings*. Apeldoorn, Netherlands, 20-25 June 2021. 1. vyd. Copenhagen : International Federation of Surveyors, FIG, 2021, online, [13] s. ISBN 978-87-92853-65-3. Kategória publikácie do 2021: BEE