

Využitie údajov leteckého laserového skenovania pre identifikáciu prekážok pri letovej prevádzke

Ing. Tomáš Dekan,
Mgr. Gabriel Nagy,
Geodetický a kartografický ústav Bratislava

Abstrakt

Dôležitou súčasťou letovej prevádzky sú údaje o teréne a prekážkach, ktoré zasahujú do letových postupov lietadiel. Jednou z najefektívnejších metód pre získanie údajov o teréne, a objektoch umiestnených na ňom, je letecké laserové skenovanie, ktoré umožňuje rýchly zber údajov s vysokou podrobnosťou, kvalitou a presnosťou aj z väčších území. Z tohto dôvodu bola vykonaná analýza možnosti využitia údajov získaných pomocou tejto metódy pre automatizovanú identifikáciu prekážok s výškou nad 50 m na celom území Slovenska a prekážok s výškou nad 15 m v definovaných oblastiach vybraných letísk. Súčasťou analýzy bolo aj určenie typu prekážok a overenie ich výškovej presnosti pomocou kontrolných bodov na vybraných stavebných objektoch.

Use of Airborne Laser Scanning Data for Obstacle Identification in Flight Operations

Abstract

An important part of flight operations is data about terrain and obstacles, which interfere with aircraft flight procedures. One of the most effective methods for obtaining data about terrain and objects located on it is airborne laser scanning, which allows fast data collection with high detail, quality and accuracy. For this reason, an analysis was carried out for the possibility of using data obtained with this method for automated identification of obstacles with a height over 50 m on the territory of Slovakia and obstacles with a height over 15 m in defined areas of selected airports. The analysis also included identifying the type of obstacles and checking their height accuracy using control points on selected building objects.

Keywords: airborne laser scanning, point cloud, digital terrain model, digital surface model, obstacles in flight operations, ALS, DTM, DSM

1. Úvod

V súčasnosti sú metóda laserového skenovania LiDAR (Light Detection and Ranging) a produkty pomocou nej vytvorené aplikované v širokej škále odvetví ako archeológia, geodézia, geológia, stavebníctvo, doprava či poľnohospodárstvo. Jednou z najväčších výhod tejto metódy, v porovnaní s konvenčnými metódami merania a zberu údajov, je vysoká úroveň automatizácie ponúkaná prostredníctvom digitálneho zberu a spracovania údajov. Ďalšou veľkou výhodou je homogénne získavanie údajov s veľkou podrobnosťou, polohovou a výškovou presnosťou aj pre oblasti s veľkou rozlohou. Preto sa táto meracia technika hodí práve pre hromadný zber údajov z väčších území a tiež opakované prieskumy.

Cieľom tejto analýzy bolo posúdiť možnosť a vhodnosť využitia údajov leteckého laserového skenovania (LLS) aj pre automatizovanú identifikáciu prekážok FIR (Flight Information Region) s výškou nad 50 m na celom území Slovenskej republiky (SR) a tiež prekážok AD (Aerodrome) s výškou 15 m a viac v kruhovej oblasti s polomerom 5 km so stredom v referenčnom bode letísk Bratislava, Piešťany, Malacky, Žilina, Sliač, Poprad, Košice, Prešov a Užhorod. Identifikované prekážky budú následne môcť Letové a prevádzkové služby (LPS) SR využiť pri dizajne letových postupov a štruktúry vzdušného priestoru.

Pri analýze boli použité údaje z 1. cyklu LLS vykonaného v rokoch 2017 – 2023, ktoré poskytuje Úrad geodézie, kartografie a katastra Slovenskej republiky (ÚGKK SR) [1].

2. Elektronické údaje o teréne a prekážkach

Elektronické údaje o teréne a prekážkach (eTOD) predstavujú digitálne znázornenie terénu a prekážok. Musia byť vytvárané a poskytované ako súbory údajov, ktoré vyhovujú požiadavkám, napr. pre tvorbu leteckých aplikácií, analýzach a návrhoch letových postupov atď. [2]. Podľa ICAO (Medzinárodná organizácia pre civilné letectvo) je terén definovaný ako „Povrch Zeme obsahujúci prirodzene sa vyskytujúce prvky, ako sú hory, kopce, hrebene, údolia, vodné plochy, trvalý ľad a sneh, okrem prekážok.“ Prekážky sú podľa ICAO definované ako „Všetky pevné (dočasné alebo trvalé) a mobilné objekty alebo ich časti, ktoré:

- sú umiestnené v letových postupoch lietadla, alebo
- presahujú vymedzený povrch určený na ochranu lietadla počas letu (ochranné pásma, prekážkové roviny a plochy), alebo
- sú umiestnené mimo letových postupov, ochranných pásiem a boli vyhodnotené ako nebezpečné pre leteckú navigáciu [2].“

Hlavným zámerom vykonanej analýzy bolo vytvoriť databázu prekážok s triedou objektov ObstacleLine, ktorá zahŕňala horizontálny a vertikálny rozsah umelo vytvorených a prírodných objektov prekážok spolu s nasledujúcimi atribútmi:

- SOURCE_TXT – použitý zdroj údajov (LLS, ZBGIS – Základná báza údajov pre geografický informačný systém) na identifikáciu prekážky,
- CLIENTKEY_ID – jedinečný identifikátor objektu prekážky,
- REVISION_DATE – čas zberu zdrojových údajov,

- HEIGHT_VAL – výška prekážky nad terénom,
- ELEV_VAL – nadmorská výška najvyššej časti prekážky vo výškovom súradnicovom systéme Bpv (Balt po vyrovnaní),
- DISTVERT_UOM – meracie jednotky pre výšky („meter“),
- OBSTACLETYPE_CODE – typ prekážky, ktoré sú uvedené v **tab. 1**.

Údajový model databázy bol dodaný LPS.

Tab. 1 Typy prekážok v atribúte OBSTACLETYPE_CODE

Hodnota	Zaradené objekty
Bridge	mosty – vozovka, konštrukcia a objekty nachádzajúce sa na nich
Building	budovy a iné stavby: rodinné a bytové domy, poľnohospodárske a priemyselné stavby, kostoly, hrady a zámky, štadióny, sklady, obilné silá, tribúny, tanky na uskladnenie plynov a kvapalín, pomníky
Crane	stavebné a priemyselné žeriavy
Tower	veže: telekomunikačné, meteorologické, vodárenské, banské, hasičské, vodojem, rozhľadne, veterné elektrárne
Vegetation	stromy
Other	billboardy, skokanské mostíky, iné objekty nezaradené do ostatných kategórií
Chimney	komíny
Power Line	elektrické vedenia, stĺpy a stožiare elektrického vedenia, káble, potrubia, stĺpy pouličného osvetlenia

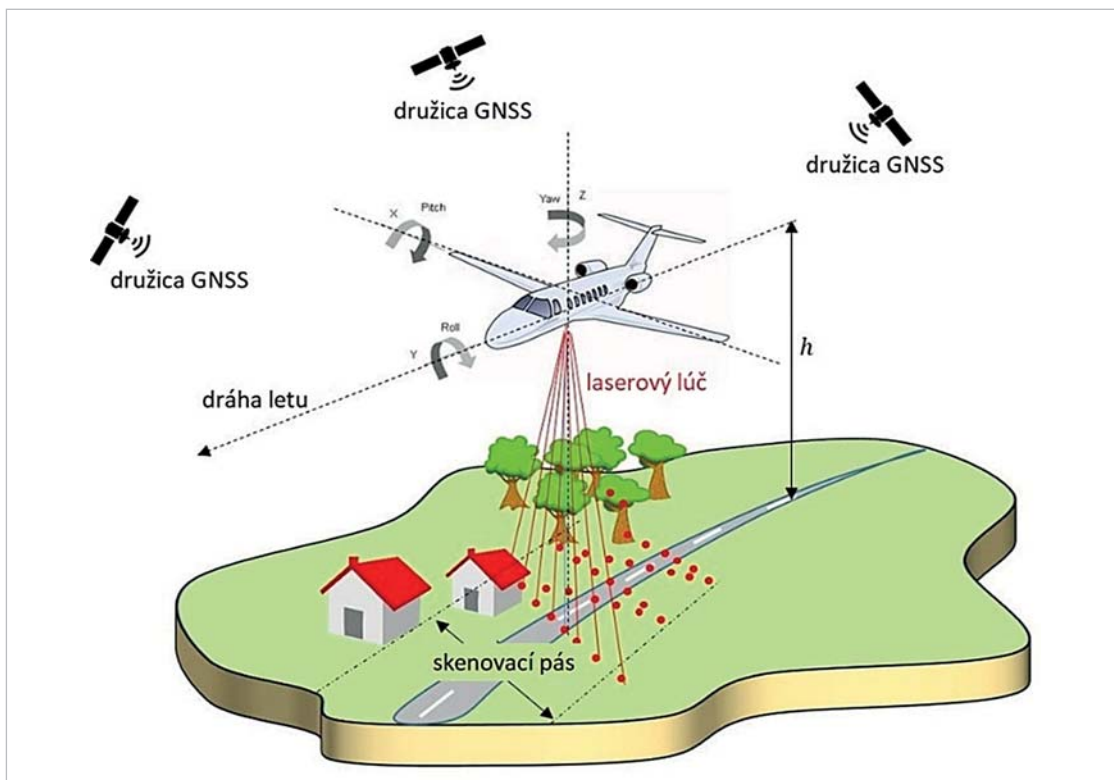
3. Údaje leteckého laserového skenovania použité pri analýze

Na identifikáciu prekážok pri letovej prevádzke boli použité údaje získané technológiou LiDAR, ktorá patrí medzi aktívne metódy diaľkového prieskumu zeme. Je to technológia, ktorá kombinuje presné meranie laserovým lúčom a určovanie polohy pomocou globálnych navigačných satelitných systémov (GNSS). Princíp merania pomocou tejto metódy je znázornený na **obr. 1**.

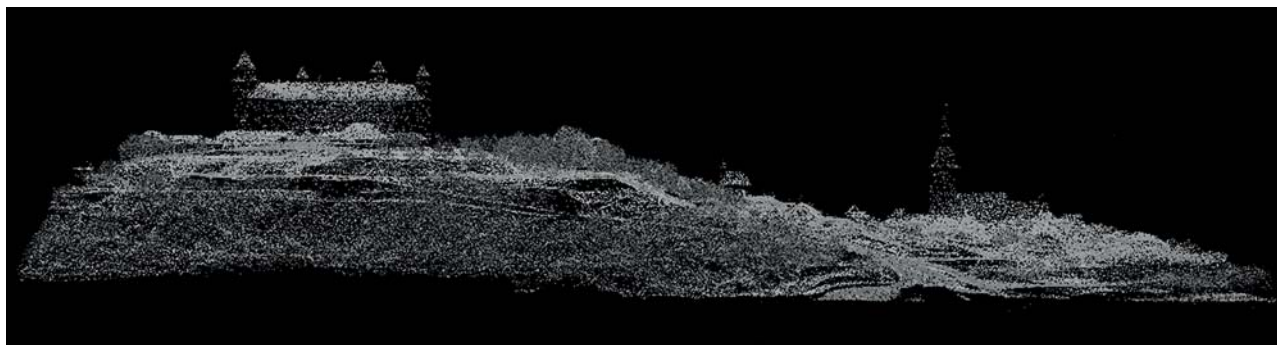
K určeniu presnej polohy meraného bodu sa používa kombinácia prijímača GNSS s prístrojom určujúcim presnú polohu a rýchlosť lietadla IMU (Inercial Measurement Unit). Princíp metódy spočíva v meraní vzdialeností pomocou odrazu laserového lúča medzi laserovým skenerom a cieľom. Z prístroja je vyslaný laserový lúč smerom k meranej ploche. Lúč postupne prechádza atmosférou a pri dopade na nepriepustnú plochu sa odrazí. Odraz lúča je zachytený senzorom, pričom sa meria časový interval, ktorý uplynie od vypustenia lúča k jeho návratu vo forme odrazu. Na základe zisteného času sa vypočíta vzdialenosť k meraným bodom. Výsledkom merania je mračno bodov (**obr. 2**).

Okrem priestorových súradníc (X, Y, Z) miesta odrazu sú v bodoch mračna zaznamenané aj informácie o intenzite odrazu. Z intenzity odrazu je možné vypočítať odrazivosť materiálu a výrazne tak pomôcť pri interpretácii dát z merania. Na jej základe je možné identifikovať typ materiálu (betón, vegetácia, zem, voda a iné). Intenzita sa využíva pri ďalšom procese spracovania mračna bodov, a to jeho klasifikácii do jednotlivých tried (**obr. 3**) podľa typu naskenovaného objektu, ako sú napr. budovy, vegetácia, mosty, vodné plochy, reliéf (terén), elektrické vedenia atď.

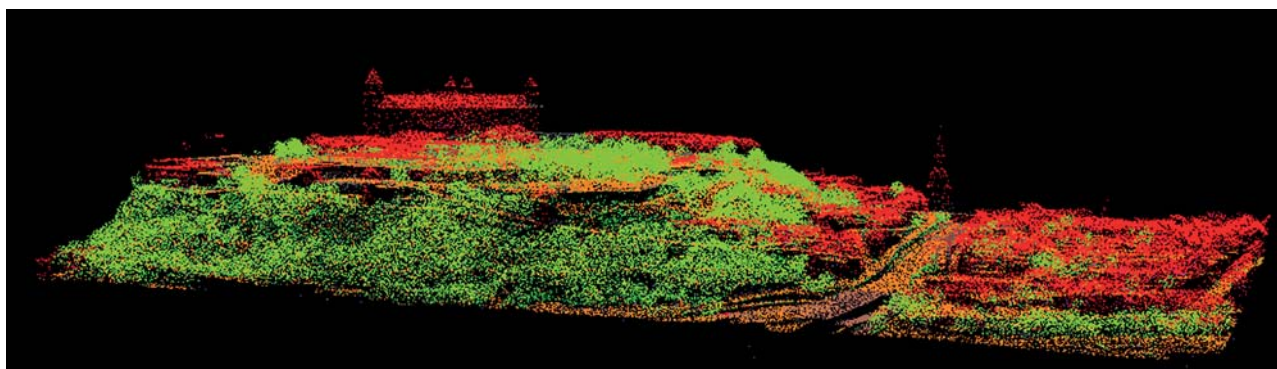
Po klasifikácii do jednotlivých tried je mračno bodov možné interpolovať do podoby digitálnych výškových modelov vo forme rastra:



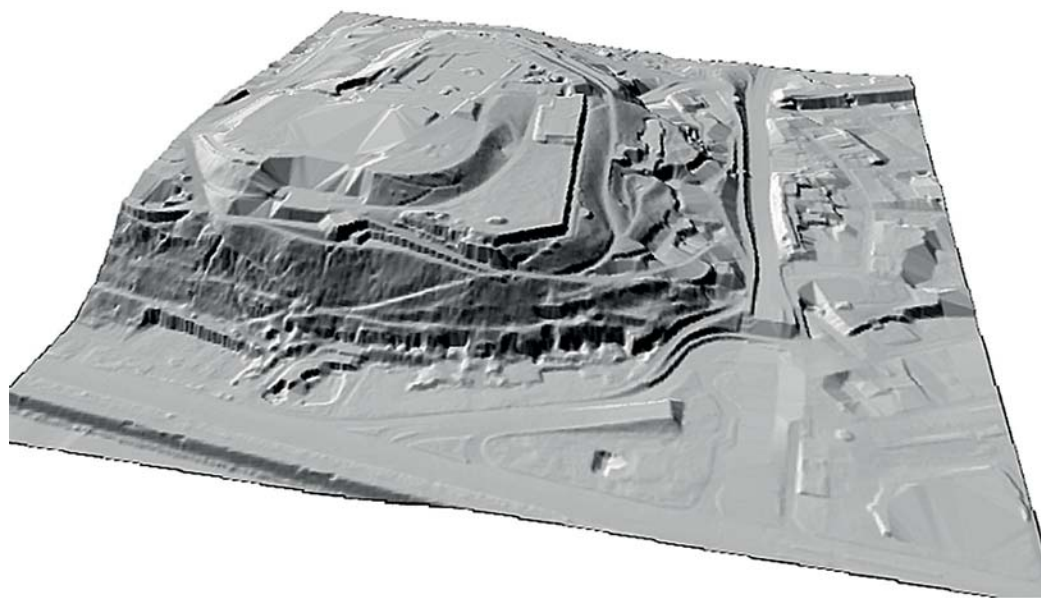
Obr. 1 Princíp merania pomocou LiDAR



Obr. 2 Mračno bodov z oblasti Bratislavského hradu



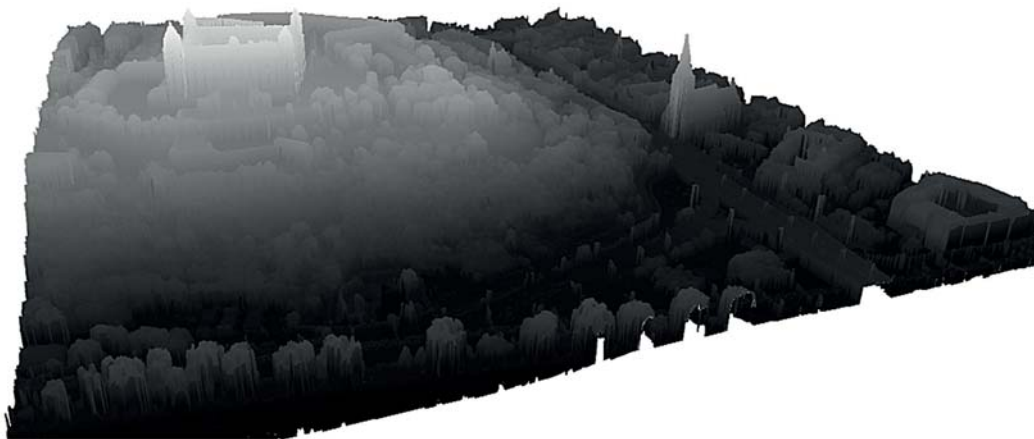
Obr. 3 Klasifikované Mračno bodov z oblasti Bratislavského hradu



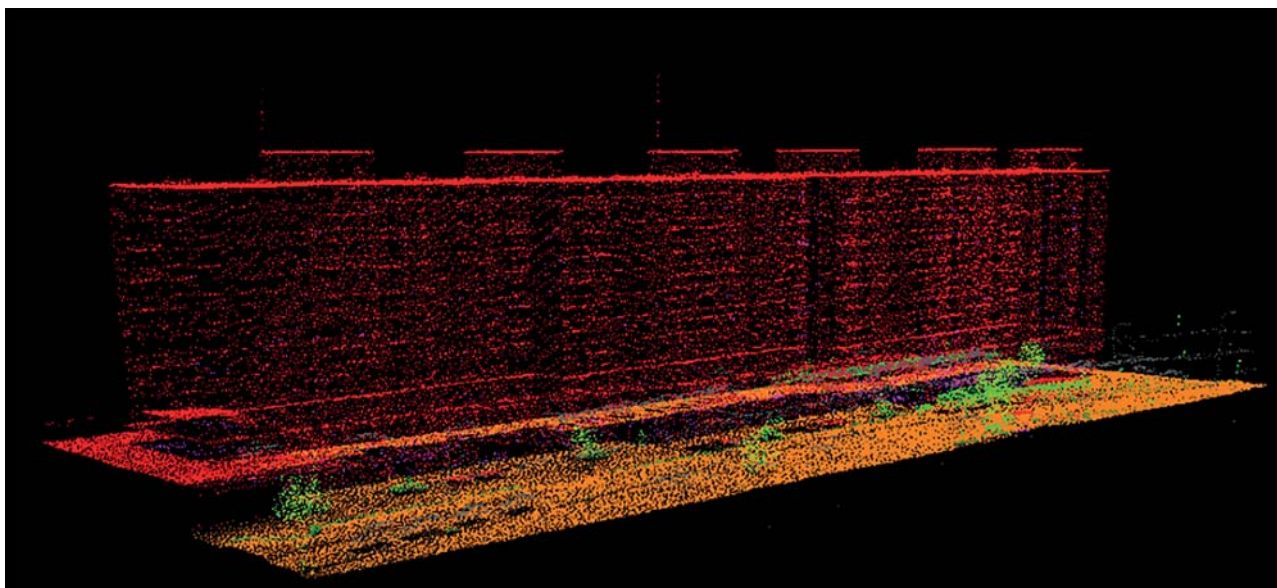
Obr. 4 DMR z oblasti Bratislavského hradu

- **Digitálny model reliéfu (DMR)** – reprezentuje priebeh reliéfu (terénu). Na jeho tvorbu sa používa len klasifikačná trieda terén (Ground). DMR je znázornený na [obr. 4](#).
- **Digitálny model povrchu (DMP)** – reprezentuje povrch krajiny so všetkými jej prvkami (terén, vegetácia, budovy, komunikácie atď.). Na jeho tvorbu sa používajú všetky klasifikačné triedy s výnimkou šumu (Low a High Noise). DMP je znázornený na [obr. 5](#).

Pre identifikáciu prekážok boli použité údaje poskytované ÚGKK SR z 1. cyklu LLS, ktorý prebiehal v rokoch 2017 až 2023. LLS bolo na jednotlivých lokalitách vykonávané prevažne v zimnom bezvegetačnom období od novembra do apríla. Výnimkou boli len 4 vysokohorské oblasti (Tatry, Nízke Tatry, Veľká Fatra, Malá Fatra), na ktorých bolo LLS vykonané v letnom vegetačnom období od mája do septembra. Polohová a výšková presnosť použitého mračna bodov a výšková presnosť z neho vytvoreného DMR 5.0 je uvedená v článku [1].



Obr. 5 DMP z oblasti Bratislavského hradu



Obr. 6 Budova zachytená v klasifikovanom mračne bodov

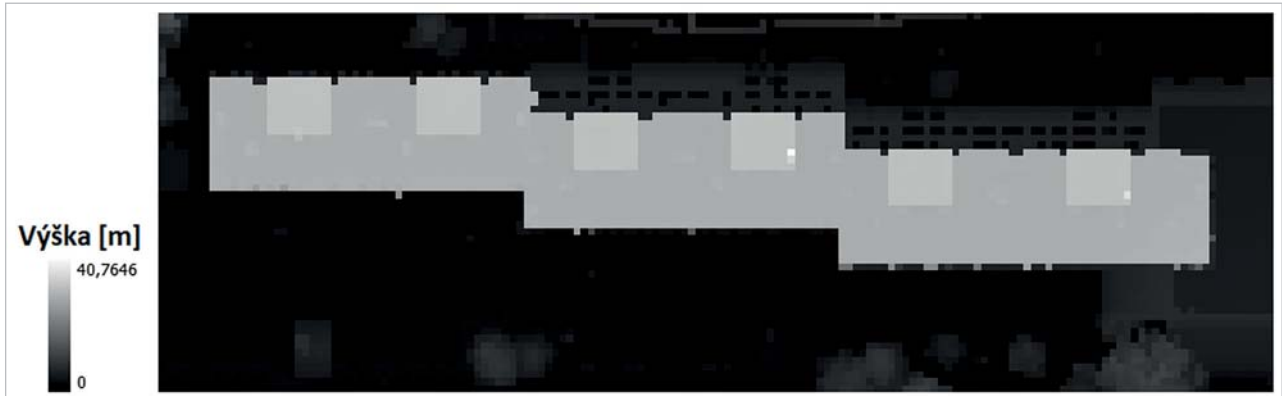
4. Technologický proces tvorby prekážok z údajov LLS

Pri identifikácii prekážok z údajov LLS bol použitý nasledovný postup:

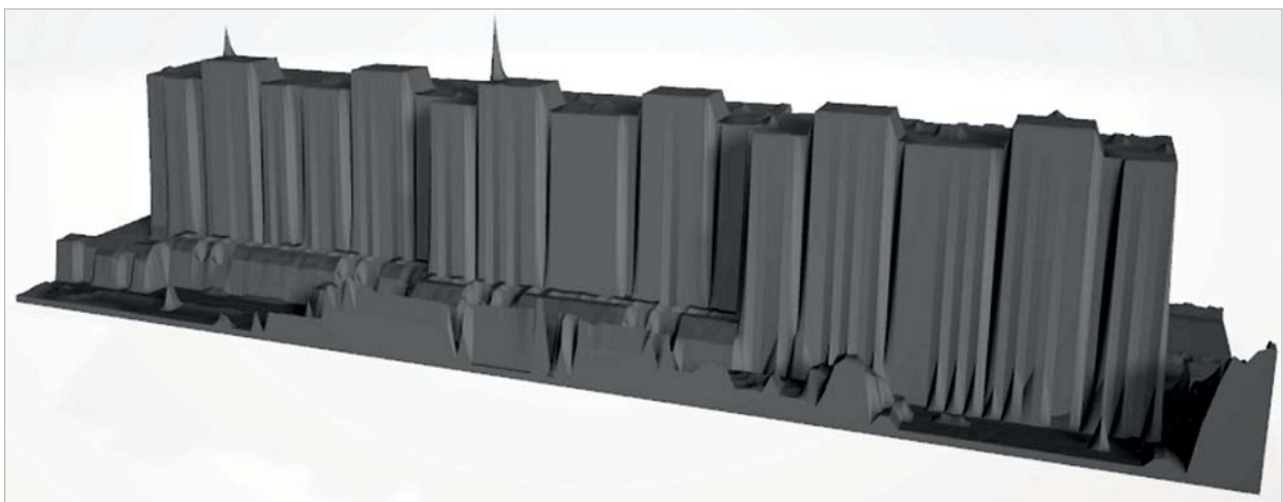
- 1) Príprava a kontrola vstupných údajov, ktoré predstavovali klasifikované mračno bodov z LLS vo formáte LAS v súradnicovom systéme S-JTSK(JTSK03) (kód EPSG:8353) a výškovom systéme Bpv (kód EPSG:8357).
- 2) Tvorba rastrového DMR a DMP zo vstupného klasifikovaného mračna bodov (obr. 6).
 - DMR – na jeho tvorbu bola z mračna bodov použitá trieda Ground. Na interpoláciu rastra DMR bol použitý algoritmus IDW (Inverse distance weighting) s hodnotou exponentu 2 a maximálnym počtom bodov z okolia 12.
 - DMP – na jeho tvorbu boli z mračna bodov použité triedy Ground, Low Vegetation, Medium Vegetation, High Vegetation, Building, Unclassified, Bridge Deck. Na tvorbu rastra DMP nebola použitá interpolačná metóda. Hodnota každej bunky rastra

predstavovala maximálnu súradnicu Z (nadmorskú výšku) získanú z bodov spracovaných mračien bodov, ktoré územne pokrývali plochu bunky rastra.

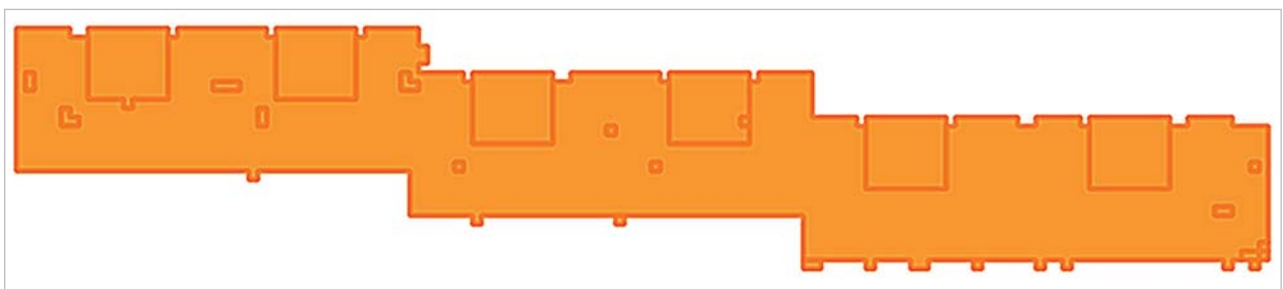
- 3) Tvorba rastra nDMP (normalizovaného digitálneho modelu povrchu), ktorý vznikol z rozdielu rastrov DMP a DMR (obr. 7 a 8).
- 4) Extrakcia a vektorizácia buniek rastra nDMP, ktoré spĺňali podmienku minimálnej výšky prekážky (15 m resp. 50 m). Výstupom tohto kroku boli polygóny prekážok s vypočítanou výškou nad povrchom (atribút HEIGHT_VAL) (obr. 9).
- 5) Rozšírenie objektov prekážok o objekty z databázy ZBGIS v miestach, kde sa prekrývali s prekážkami. Objekty zo ZBGIS sa využili pre doplnenie úplného priestorového rozmeru prekážok, napr. v prípadoch, ak sa nad stanovenou výškou 50 m nachádzala len časť prekážky. Vtedy bola automaticky zvektorizovaná z rastra nDMP len časť prekážky, ktorej výška presahovala stanovenú hodnotu 50 m. Zvyšná časť bola potom doplnená objektom ZBGIS.



Obr. 7 Budova na rastru nDMP



Obr. 8 3D model budovy vytvorený z rastra nDMP



Obr. 9 Polygóny objektov prekážky po vektorizácii buniek rastra nDMP

Príklad prekážky (kostol) s výškou nad 50 m s prídavným objektom ZBGIS je znázornený na **obr. 10**. Nad výškou 50 m sa nachádzala iba časť veže kostola a zvyšná časť prekážky bola doplnená z triedy objektov budova z databázy ZBGIS.

Použité triedy objektov podľa Katalógu objektov ZBGIS pre doplnenie prekážok: budova; obilné silo, sýpka; tank na uskladnenie kvapalín a plynov; tribúna; zakryté skladisko; ostatné objekty plocha. Objekty ZBGIS sú vytvárané fotogrametricky, ich polohová presnosť (ACH) je do 1 m.

6) Kalkulácia nadmorských výšok prekážok (atribút ELEV_VAL) - pre každý polygón prekážky bola vybra-

ná maximálna hodnota bunky (t. j. nadmorská výška) DMP z buniek, ktoré sa polohovo prekrývajú s polygónom prekážky.

7) Vyplnenie dátumov časovej platnosti prekážky (atribút REVISION_DATE). Pri prekážkach vytvorených z nDMP sa preberali dátumy z bodov letovej dráhy, ktoré boli zaznamenané v čase laserového skenovania. Každý bod letovej dráhy predstavuje jedno meranie GNSS aparatury vykonané počas skenovacieho letu.

8) Vyplnenie identifikátorov prekážok – vytvorenie jedinečného identifikátora objektu prekážky pre atribút CLIENTKEY_ID.



Obr. 10 Pridanie objektu ZBGIS ku prekážke určenej z nDMP

- 9) Vyplnenie atribútu DISTVERT_UOM – jednotky, v ktorých sú uvádzané výšky (meter).
- 10) Manuálna kontrola geometrie, atribútov prekážok a vyplnenie atribútu OBSTACLETYPE_CODE (typ prekážky). Typy prekážok sú uvedené v **tab. 1**.
- 11) Konverzia polygónov prekážok na línie (**obr. 11**) pri zachovaní všetkých atribútov. Prekážky v tvare línií boli požadované LPS.
- 12) Transformácia prekážok z referenčného súradnicového systému S-JTSK (JTSK03) do súradnicového systému LAMBERT SK (ETRS89) pri použití transformácie S-JTSK [JTSK03] to ETRS89 (1) (kód EPSG: 8367). Zápis súradnicového systému LAMBERT SK (ETRS89) bol dodaný LPS.

Použité softvéry pri analýze boli ArcGIS Pro, LP360, LAS Tools a Python (knihovnice arcpy, numpy).

5. Kontrola prekážok a ich atribútov

Dôležitú a nevyhnutnú súčasť celého procesu tvorby prekážok z údajov LLS tvorila manuálna kontrola údajov, ktorá slúžila na odhalenie chýb vstupných údajov, chýb vzniknutých pri generovaní prekážok, kontrolu a doplnenie atribútov a takisto overenie polohovej a výškovej presnosti.

Navrhnuté postupy pre kontrolu prekážok a ich atribútov, podľa ktorých boli realizované podrobné kontroly vytvorených prekážok na jednotlivých lokalitách:

- a) Kontrola prekážok na ortofotomozaike – poloha, tvar a existencia prekážok.
- b) Kontrola na mračne bodov – tvar prekážky a jej výška.
- c) Zistenie typu prekážky pre atribút OBSTACLETYPE_CODE pomocou údajov ZBGIS a ortofotomozaiky.
- d) Kontrola polohy vybraných typov prekážok (napr. budovy) pomocou údajov katastra nehnuteľností.
- e) Kontrola výškovej a polohovej presnosti prekážok na vybraných stavebných objektoch.

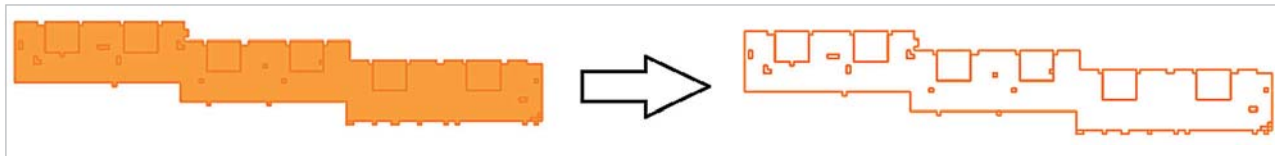
5.1 Kontrola polohovej presnosti prekážok pomocou údajov katastra nehnuteľností

Vizuálna kontrola

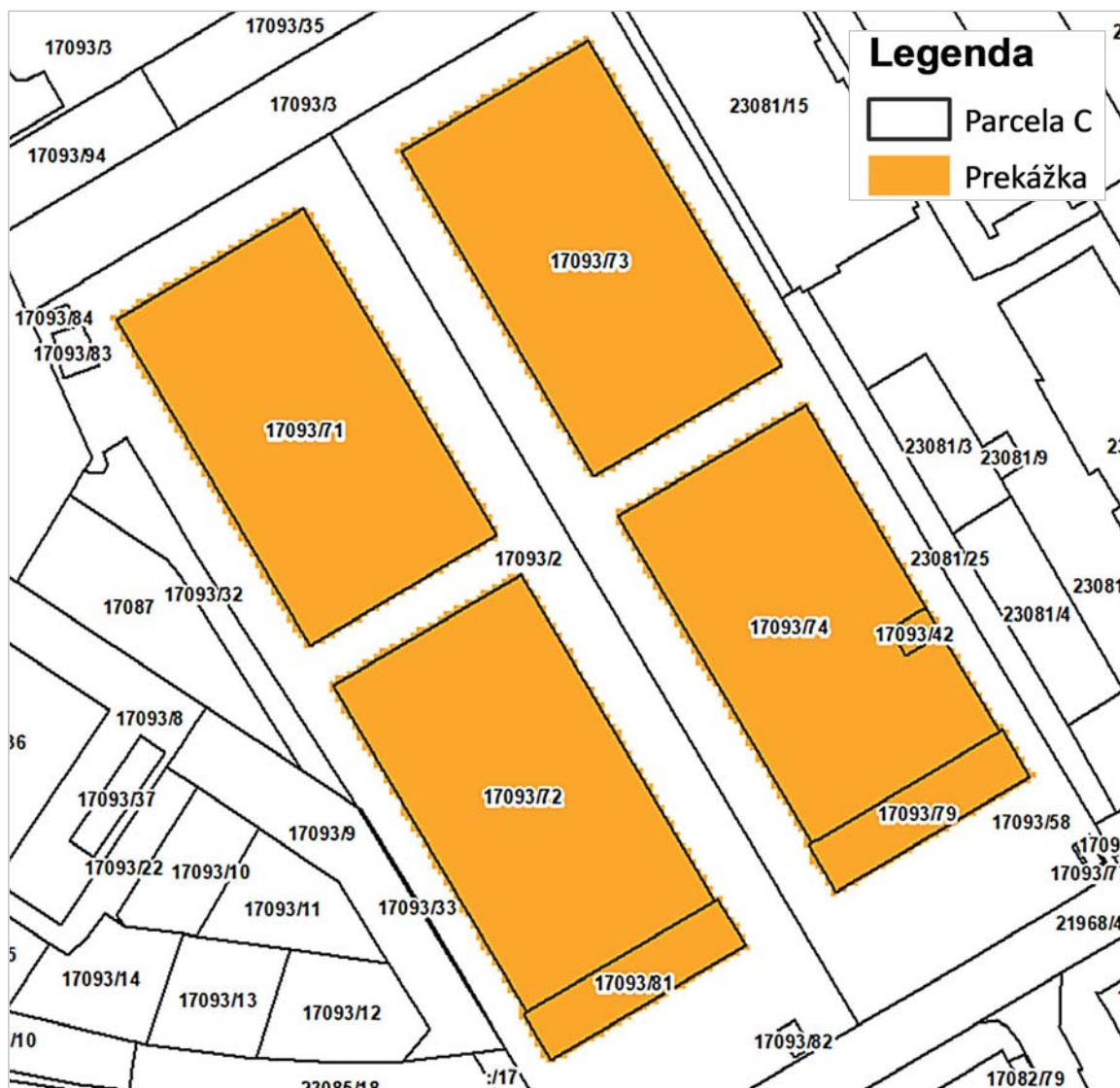
Vizuálnou kontrolou sa preveril súlad polohy prekážok typu Building s vrstvou parcel C vektorovej katastrálnej mapy (VKM) (**obr. 12**), ktoré boli určené s geodetickou presnosťou ($m_{xy} \leq 0,14$ m).

Výpočet polohovej presnosti

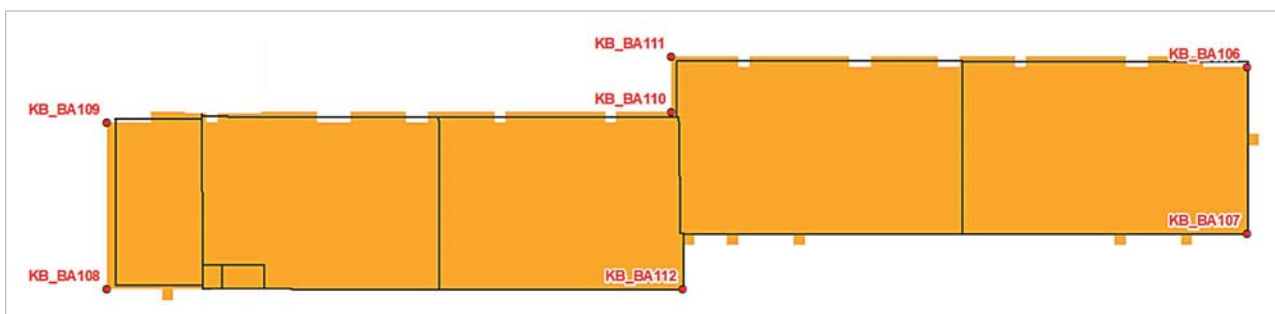
Okrem vizuálnej kontroly sa taktiež vykonal výpočet horizontálnej odchýlky Δ_{xy} medzi vybranými kontrolnými bodmi na hranici prekážok (**obr. 13**) a lomovými bodmi prí-



Obr. 11 Konverzia polygónov prekážok na línie



Obr. 12 Porovnanie polohy prekážok s vrstvou parcel VKM



Obr. 13 Kontrolné body na hranici prekážky

slušných parciel z VKM. Na kontrolu boli vybrané vyhovujúce prekážky, ktoré:

- zodpovedali stavbám evidovaným v katastri nehnuteľností (napr. rodinné a bytové domy, administratívne budovy atď.),
- mali pravidelný pravouhlý geometrický tvar s plochou strechou,
- pokrývali celú parcelu C z VKM.

Kontrola polohovej presnosti bola vykonaná na vybraných prekážkach z oblasti letísk. Prekážky boli vytvárané z rastra DMP, ktorého bunka má tvar štvorca s rozmermi 1 x 1 m. Výsledný tvar prekážky bol tým pádom zgenerovaný vzhľadom na veľkosť bunky rastra DMP. Tomuto faktu tiež zodpovedal aj výsledok kontroly polohovej presnosti v podobe strednej polohovej chyby vypočítanej na zvolených kontrolných bodoch, ktorej hodnoty sa pohybovali okolo 0,9 m a približovali sa k rozmerom bunky rastra DMP.

Pri vyhodnotení výsledkov kontroly treba tiež počítať s tým, že v katastri sa zameriava a eviduje pôdorys stavieb, kým vytvorené prekážky z DMP zachytávajú vyššie časti stavieb nad 15 m alebo 50 m, kde tvar objektu stavby nemusí byť presne zhodný s jej pôdorysom. Tento fakt tak tiež môže spôsobiť rozdiely v polohe kontrolných bodov pri porovnaní s údajmi katastra nehnuteľností.

5.2 Kontrola výškovej presnosti prekážok na vybraných stavebných objektoch

Pre overenie výškovej presnosti vytvorených prekážok boli použité vybrané stavebné objekty poskytnuté Dopravným úradom, ktorých výška bola zameraná presnými geodetickými metódami. Príklady:

1. Piešťany – Ružový Mlyn

Kontrola výškovej presnosti sa realizovala na najvyššom bode prekážky, ktorý zodpovedal kontrolnému bodu (KB) č. 6. Umiestnenie KB na stavebnom objekte je zobrazené na obr. 14. Poloha KB na mračne bodov z LLS je zobrazená na obr. 15 a jeho poloha na vytvorenej prekážke je zobrazená na obr. 16. Geodeticky zamerané súradnice KB sú uvedené v tab. 2.

Výpočet vertikálnej odchýlky ΔH na KB sa vykonával podľa vzťahu:

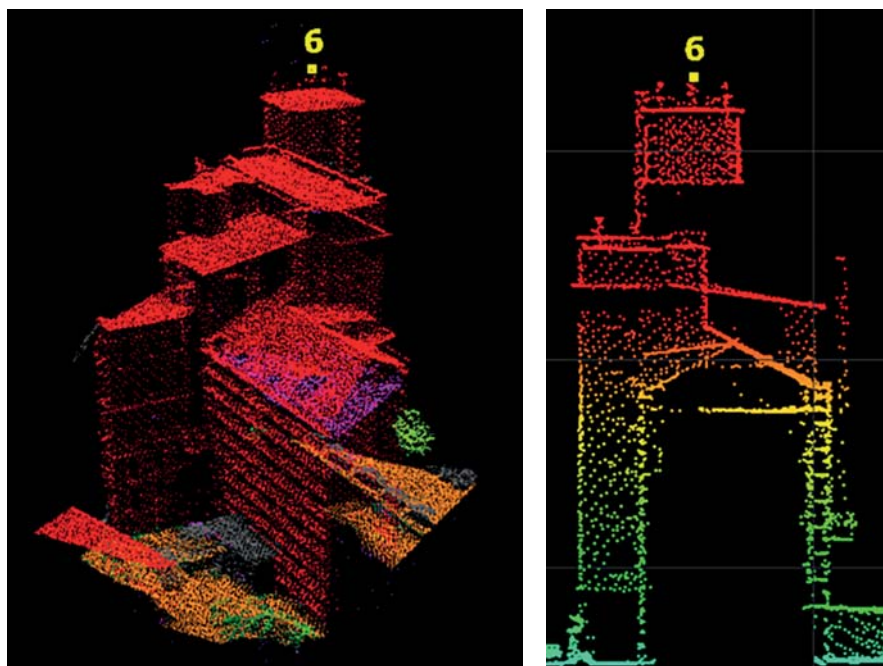
$$\Delta H_i = H_{KBi} - H_{ref} \quad (1)$$

kde H_{KB} je výška KB určená z výšky časti vytvorenej prekážky, na ktorej KB leží, H_{ref} je referenčná výška KB získaná geodetickým meraním.

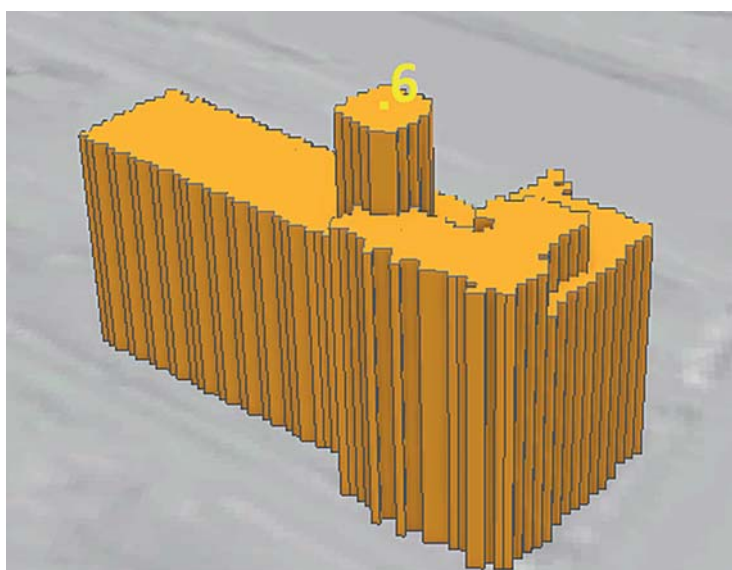
Na základe výpočtu bol rozdiel ΔH vo výške najvyššej časti identifikovanej prekážky H_{KB} a geodeticky zameranou výškou najvyššej časti stavebného objektu H_{ref} rovný 5 cm (tab. 3).



Obr. 14 Umiestnenia KB č. 6 na stavebnom objekte



Obr. 15 Zobrazenie polohy KB č. 6 na mračne bodov



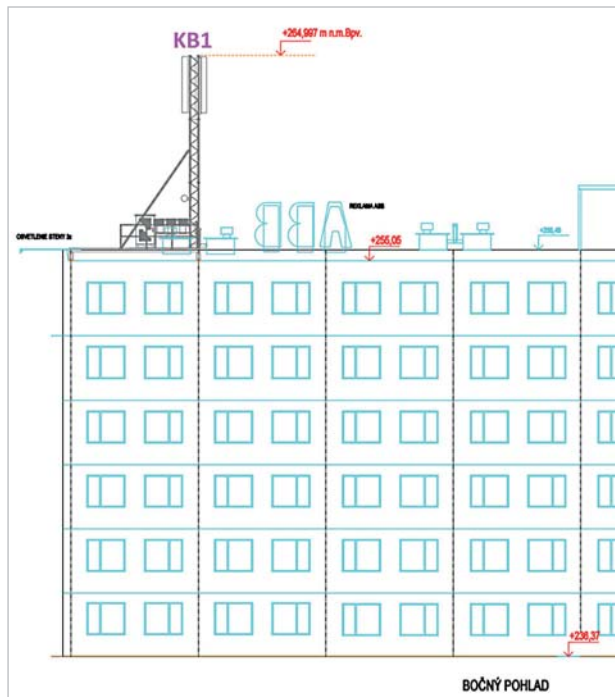
Obr. 16 3D zobrazenie vytvorenej prekážky s KB č. 6

Tab. 2 Referenčné súradnice geodeticky zameraného KB prekážky v súradnicovom systéme S-JTSK(JTSK03) (kód EPSG:8353) a výškovom systéme Bpv (kód EPSG:8357)

KB	X_{ref} [m]	Y_{ref} [m]	H_{ref} [m]
6	-516609,57	-1236360,35	205,41

Tab. 3 Výsledná vertikálna odchýlka ΔH na KB

KB	H_{ref}	H_{KB}	ΔH [m]
6	205,41	205,36	-0,05



Obr. 17 Umiestnenie KB na stavebnom objekte

2. Budova na Gemerskej ulici 2068/3 v Košiciach

Kontrola výškovej presnosti prekážky sa realizovala na KB, ktorý zodpovedal polohe a výške antény na streche stavebného objektu. Tento KB predstavoval najvyšší bod prekážky. Umiestnenie KB na stavebnom objekte je zobrazené na obr. 17. Poloha KB na vytvorenej prekážke je zobrazená na obr. 18. Geodeticky zamerané súradnice KB č. 6 sú uvedené v tab. 4.

Na základe výpočtu bol rozdiel ΔH vo výške najvyššej časti identifikovanej prekážky H_{KB} a geodeticky zameranou výškou najvyššej časti stavebného objektu H_{ref} rovný 5 cm (tab. 5).

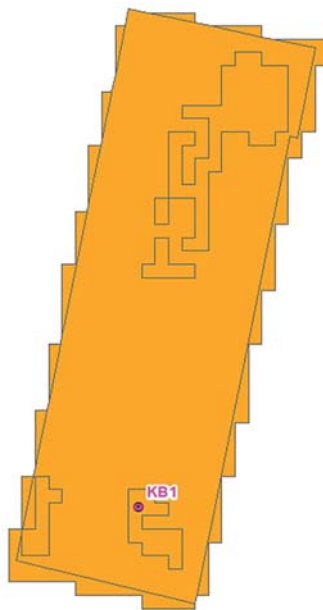
3. Bratislava - Perla Ružinova (Veža C)

Kontrola výškovej presnosti sa vykonala porovnaním súradníc geodeticky zameraných bodov na stavebnom objekte a súradníc KB určených na vytvorenej prekážke:

- KB 3 a 4 – komíny približne v strede strechy, ktoré zodpovedajú najvyššej časti stavby,
- KB 7 – bleskozvod na streche budovy.

Umiestnenie KB na stavebnom objekte je zobrazené na obr. 19. Poloha KB na mračne bodov z LLS je zobrazená na obr. 20 a ich poloha na vytvorenej prekážke je zobrazená na obr. 21. Geodeticky zamerané súradnice KB sú uvedené v tab. 6.

Vypočítané vertikálne odchýlky ΔH na vybraných KB identifikovanej prekážky sú uvedené v tab. 7.



Obr. 18 Poloha KB na vytvorenej prekážke

Tab. 4 Referenčné súradnice geodeticky zameraného KB prekážky v súradnicovom systéme S-JTSK(JTSK03) (kód EPSG:8353) a výškovom systéme Bpv (kód EPSG:8357)

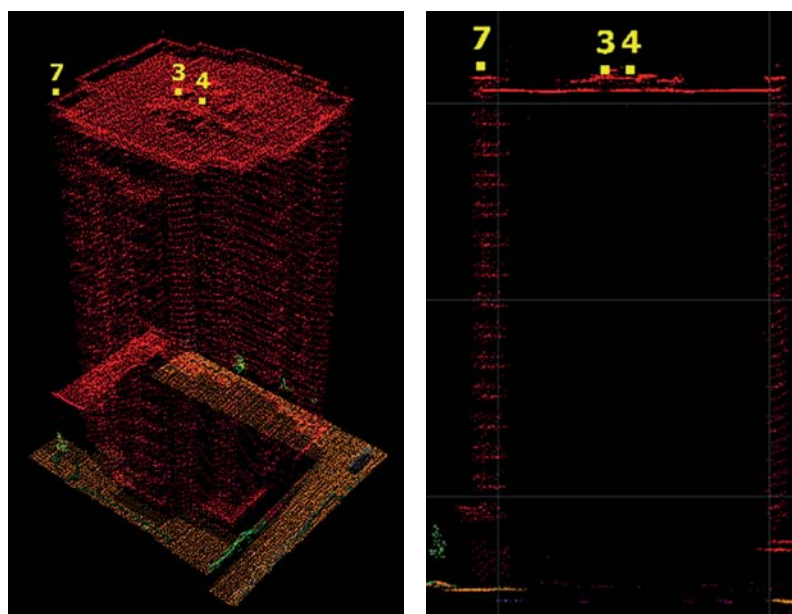
KB	X_{ref} [m]	Y_{ref} [m]	H_{ref} [m]
1	-263364,11	-1241724,33	265,00

Tab. 5 Výsledná vertikálna odchýlka ΔH na KB

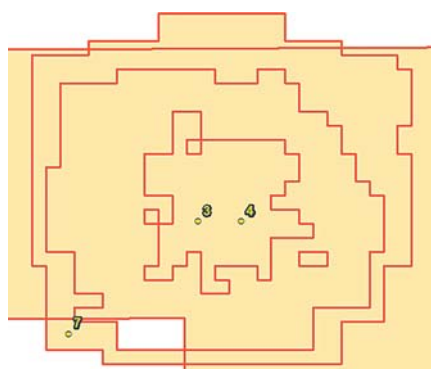
KB	H_{ref}	H_{KB}	ΔH [m]
1	265,00	264,95	-0,05



Obr. 19 Umiestnenia KB na stavebnom objekte



Obr. 20 Zobrazenie polohy KB na mračne bodov



Obr. 21 Poloha KB na vytvorenej prekážke

Tab. 6 Referenčné súradnice geodeticky zameraného KB prekážky v súradnicovom systéme S-JTSK(JTSK03) (kód EPSG:8353) a výškovom systéme Bpv (kód EPSG:8357)

KB	X_{ref} [m]	Y_{ref} [m]	H_{ref} [m]
3	-569197,23	-1280615,86	187,15
4	-569194,13	-1280615,86	187,20
7	-569206,46	-1280623,86	187,58

Tab. 7 Výsledné vertikálne odchýlky ΔH na KB

KB	H_{ref} [m]	H_{KB}	ΔH [m]
3	187,15	187,43	0,28
4	187,20	187,43	0,23
7	187,58	187,57	-0,01

6. Výsledky analýzy

Výsledkom vykonanej analýzy bola geodatabáza identifikovaných prekážok AD s výškou 15 m a viac v kruhu s polomerom 5 km so stredom v referenčnom bode letísk Bratislava (LZIB ARP), Piešťany (LZPP ARP), Malacky (LZMC ARP), Žilina (LZZI ARP), Sliač (LZSL ARP), Poprad (LZTT ARP), Košice (LZKZ ARP), Prešov (LZPW ARP), Užhorod (UKLU ARP) a takisto prekážok FIR s výškou 50 m a viac na území definovanom horizontálnymi hranicami FIR Bratislava (štátna hranica SR). Prekážky zachytené v naskenovanom mračne bodov boli identifikované a vložené do databázy aj so všetkými požadovanými atribútmi (obr. 22).

Príklady objektov prekážok zobrazené v mračne bodov a výsledných identifikovaných prekážok na ortofotomozaike:

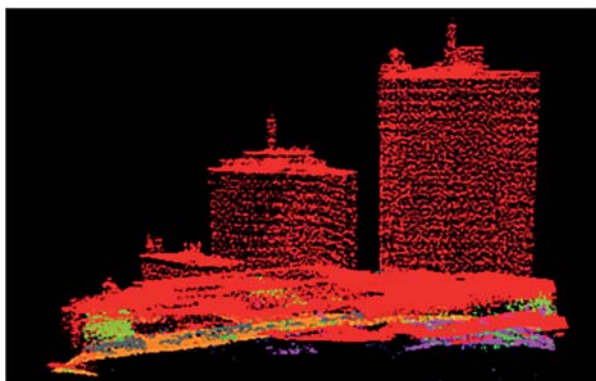
- Building (budova, obr. 23a),
- Chimney (komín, obr. 23b),
- Tower (veža, obr. 23c),
- Power line (elektrické vedenie, obr. 23d).

Oblasti analyzovaných letísk s identifikovanými prekážkami AD s výškou nad 15 m sú znázornené na obr. 24. Detail kruhovej oblasti s polomerom 5 km okolo letiska LZIB ARP (Bratislava) spolu so zistenými prekážkami je znázornený na obr. 25. Rozmiestnenie identifikovaných prekážok FIR s výškou nad 50 m na území SR je znázornené na obr. 26.

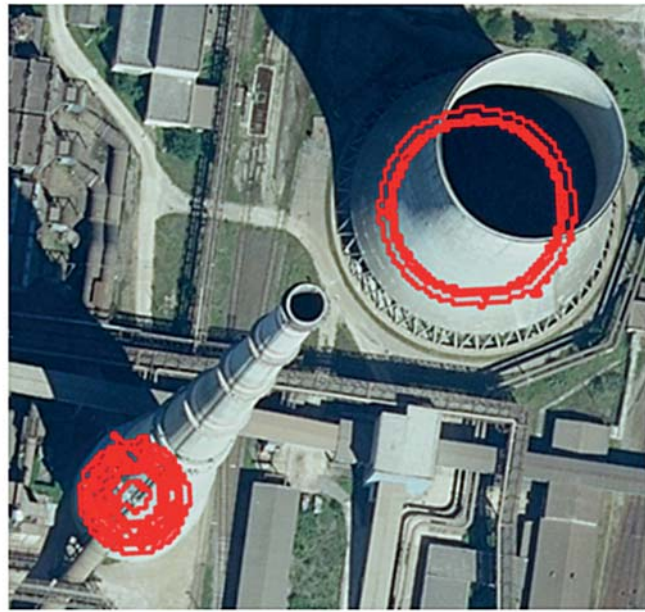
Štatistika počtu prekážok FIR nad 50 m podľa atribútu OBSTACLETYPE_CODE je uvedená v tab. 8. Štatistika počtu prekážok AD nad 15 m podľa atribútu OBSTACLETYPE_CODE z oblasti vybraného letiska Bratislava (LZIB ARP) je uvedená v tab. 9.

Najviac objektov preto v databáze tvorili prekážky typu Vegetation a Power Line. Vzhľadom na postup generovania prekážok z rastrov DMR a DMP s veľkosťou bunky s rozmermi 1 x 1 m je reálny tvar prekážky hlavne pri elektrických vedeniach či vegetácii väčšinou zložený z viacerých polygónov, pričom každý tento polygón tvorí v databáze samostatný objekt. Tomuto faktoru zodpovedá aj vysoký počet objektov identifikovaných prekážok v databáze.

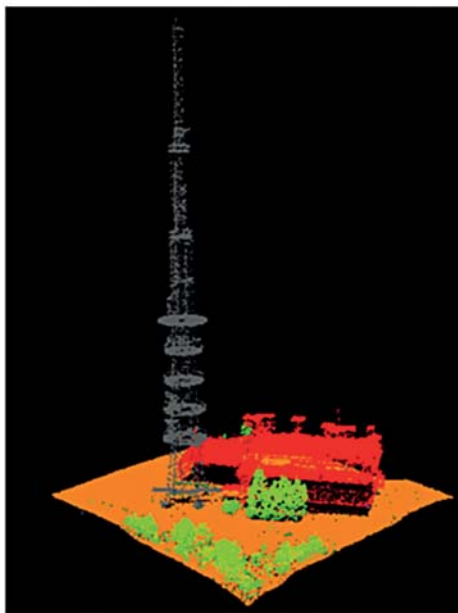
OBJECTID *	ClientKey_Id	Revision_Date	Elev_Val	Height_Val	ObstacleType_Code	DistVert_UOM	SOURCE_TXT	SHAPE_Length
740671	GKU_LLS_112627d6-ba88-4a89-8ffb-7b46f3b7d46a	23. 10. 2021	535,73	77,37	Tower	Meters	LLS	37,802398
740672	GKU_LLS_ffcc752c-1a9f-4bbf-b4a7-e2e20887c887	23. 10. 2021	524,64	66,32	Tower	Meters	LLS	3,519421
740673	GKU_LLS_43a80903-eece-4a8a-a14a-634eef607e69	23. 10. 2021	510,98	52,68	Tower	Meters	LLS	3,999923
740674	GKU_LLS_8478b888-50f0-40da-810d-26d901638438	23. 10. 2021	535,02	76,67	Tower	Meters	LLS	5,999885
740675	GKU_LLS_060dee78-3d20-4517-91df-02e5e34aed3b	23. 10. 2021	522,24	63,92	Tower	Meters	LLS	5,098949
740676	GKU_LLS_7057114e-a293-4208-9eeb-80899505f5a2	23. 10. 2021	546,85	89,37	Tower	Meters	LLS	48,34381
740677	GKU_LLS_9ed6d049-edcc-4c94-8025-b036c0c5b47f	23. 10. 2021	535,02	76,67	Tower	Meters	LLS	15,999772
740678	GKU_LLS_28cbe261-b77d-4d0e-a48f-e75dae3c48a4	23. 10. 2021	382,26	157,28	Chimney	Meters	LLS	9,564418
740679	GKU_LLS_6c950350-2579-4bc5-b31f-cfdd3981eddb	23. 10. 2021	282,49	56,36	Chimney	Meters	LLS	3,918183
740680	GKU_LLS_6e5a92c5-b660-4c77-a647-da10c078adc6	23. 10. 2021	278,26	52,08	Chimney	Meters	LLS	5,087981

Obr. 22 Ukážka atribútovej tabuľky vrstvy prekážok *ObstacleLine* v geodatabáze

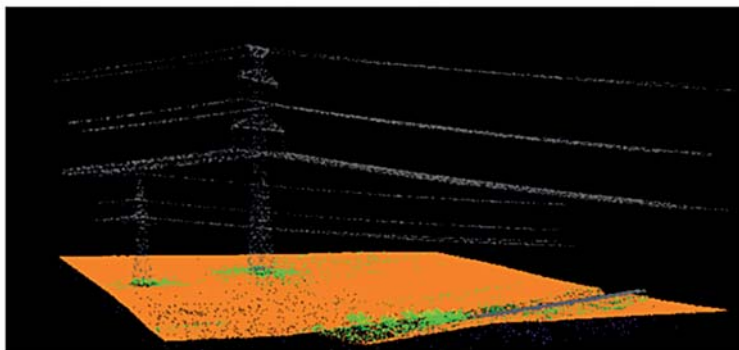
Obr. 23a Building (budova)



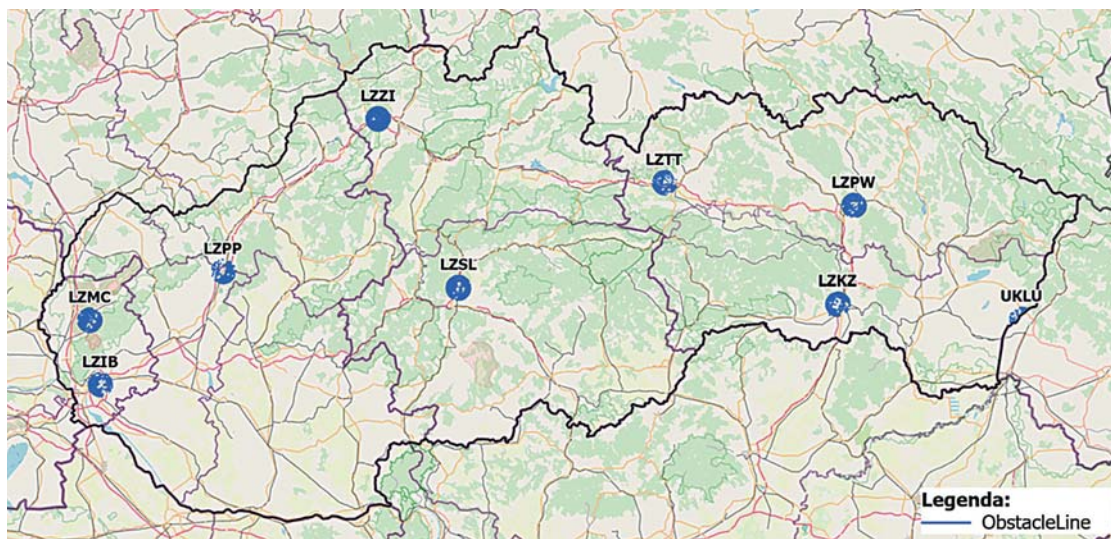
Obr. 23b Chimney (komín)



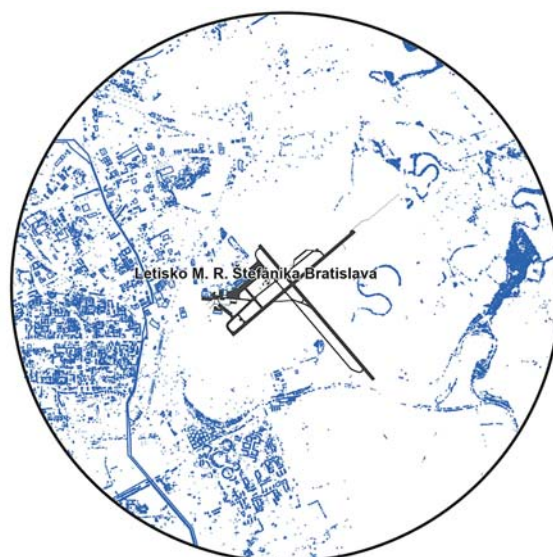
Obr. 23c Tower (veža)



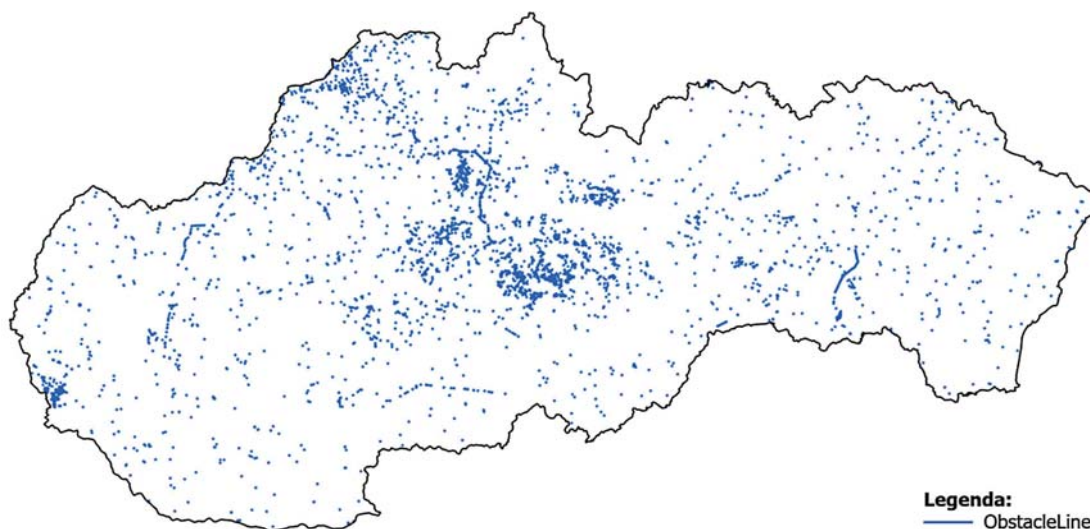
Obr. 23d Power line (elektrické vedenie)



Obr. 24 Oblasti analyzovaných letísk s prekážkami



Obr. 25 Detail analyzovanej oblasti okolo letiska LZIB ARP (Bratislava) spolu s prekážkami



Obr. 26 Poloha identifikovaných prekážok FIR s výškou nad 50 m na území SR

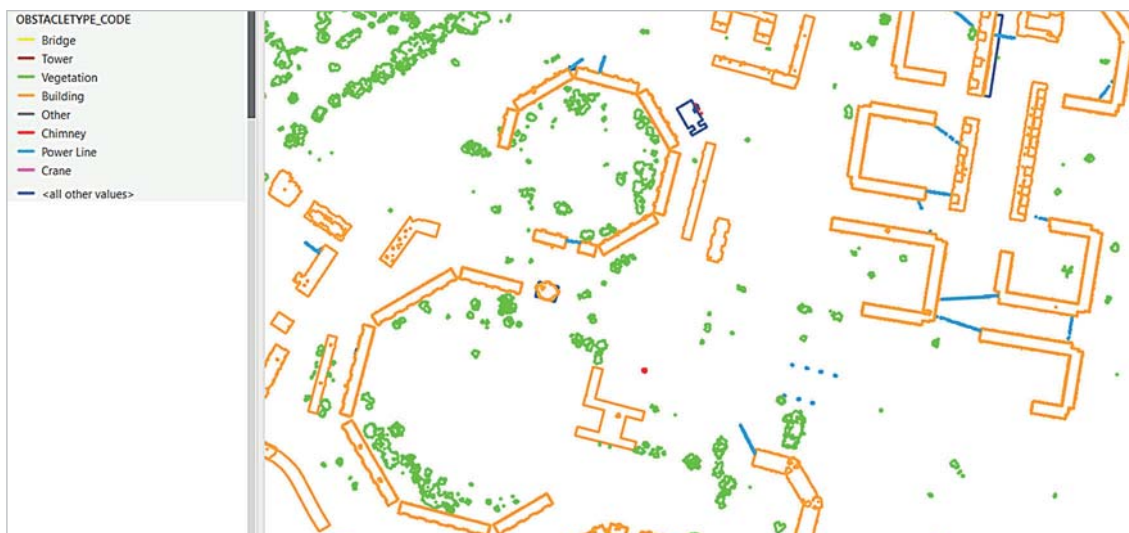
Tab. 8 Štatistika počtu objektov prekážok FIR nad 50 m z celého územia SR podľa atribútu OBSTACLETYPE_CODE

OBSTACLETYPE_CODE	Počet objektov
Bridge	80
Building	2 645
Crane	13
Tower	2 528
Vegetation	9 683
Other	2
Chimney	3 441
PowerLine	26 356

Tab. 9 Štatistika počtu objektov prekážok AD nad 15 m z oblasti letiska Bratislava (LZIB ARP) podľa atribútu OBSTACLETYPE_CODE

OBSTACLETYPE_CODE	Počet objektov
Bridge	190
Building	10 778
Crane	440
Tower	56
Vegetation	57 670
Other	392
Chimney	100
PowerLine	11 819

Ukážky vizualizácie časti prekážok AD s výškou nad 15 m z oblasti letísk (obr. 27, 28 a 29).



Obr. 27 Zobrazenie prekážok podľa atribútu OBSTACLETYPE_CODE (typ prekážky) v ArcGIS Pro



Obr. 28 Zobrazenie prekážok podľa atribútu HEIGHT_VAL (výška prekážky) v ArcGIS Pro



Obr. 29 3D zobrazenie prekážok vo forme polygónov nad DMR v ArcGIS Pro

7. Záver

Pri LLS vzniká podrobné a polohovo a výškovo presné mračno bodov, ktoré možno použiť na zostavenie digitálnych výškových modelov a takisto ako základné vstupné údaje pre určovanie výškových prekážok.

Proces identifikácie prekážok pomocou LLS závisí predovšetkým od kvality použitých vstupných údajov, na ktorú vplyvajú napr.:

- Hustota skenovania mračen bodov, od čoho závisí aj detail zachytených objektov.
- Presnosť klasifikácie mračen bodov, čo má následne vplyv na tvorbu produktov DMR a DMP, ktoré sú použité na generovanie objektov prekážok.
- Aktuálnosť údajov – dátum, kedy bolo skenovanie realizované a vyhotovené mračno bodov použité na identifikáciu prekážok.

Pri určovaní prekážok z údajov LLS tiež treba brať do úvahy skutočnosť, že z naskenovaného mračna bodov sú odstránené utajované objekty v zmysle Zákona o ochrane utajovaných skutočností č. 215/2004 Z. z., ktoré sa tak z tohto dôvodu v identifikovaných prekážkach nebudú nachádzať.

Dôležitú a nevyhnutnú súčasť celého procesu tvorby prekážok z údajov LLS tvorí kontrola kvality údajov, ktorá

služi na odhalenie chýb vstupných údajov, chýb vzniknutých pri generovaní prekážok, kontrolu a dopĺňanie atribútov a takisto overenie polohovej a výškovej presnosti.

Výsledky kontroly výškovej a polohovej presnosti potvrdili, že mračná bodov získané pomocou LLS a z nich odvodené produkty DMR a DMP sú dostatočne presné a využiteľné aj na automatizovanú identifikáciu prekážok pri letovej prevádzke.

LITERATÚRA:

- [1] LEITMANNOVÁ, K.-GÁLOVÁ, L.: Slovensko už má digitálny model reliéfu z celého územia. Geodetický a kartografický obzor, 2023, roč. 69/111, č. 12, s. 265–273.
- [2] EUROCONTROL. Terrain and Obstacle Data Manual [online]: Brussels, 2021, [cit. 2025-06-01]. Available from: <https://www.eurocontrol.int/publication/eurocontrol-terrain-and-obstacle-data-manual>.

Do redakcie došlo: 3. 7. 2025

Lektoroval:
Ing. Petr Dušánek,
Zeměměřický úřad