

OVERENIE MOŽNOSTÍ MAPOVANIA KORIDOROV VONKAJŠÍCH ELEKTRICKÝCH VEDENÍ LETECKÝM LIDAROM V PODMIENKACH SR

Marek HÖGER¹, Miroslav HOLUBEC², Alena OTČENÁŠOVÁ³, Martina SZABOVÁ⁴

¹ KVES, Elektrotechnická fakulta, Žilinská univerzita v Žiline, Univerzitná 1, 010 26, Žilina, Slovensko
Marek.Hoger@fel.uniza.sk

² YMS, a.s., Hornopotočná 1, 917 01, Trnava, Slovensko
miroslav.holubec@yms.sk

³ KVES, Elektrotechnická fakulta, Žilinská univerzita v Žiline, Univerzitná 1, 010 26, Žilina, Slovensko
Alena.Otcenasova@fel.uniza.sk

⁴ Department of Geography, University of Victoria, 3800 Finnerty Road, Victoria, BC, Canada V8P 5C2
szabova@office.geog.uvic.ca

Abstrakt

V súvislosti s otváraním možností zberu údajov prostredníctvom nových technológií sa objavili nové perspektívne oblasti, ako napr. zber údajov technológiou lidar, kde za použitia lietadla alebo helikoptéry je možné získať rýchly a vysoko kvalitný obraz zemského povrchu a objektov na ňom. Článok rozoberá možnosti použitia lidarových technológií pri mapovaní koridorov elektrického vedenia. Na konkrétnom príklade demonštruje tieto postupy v podmienkach Slovenskej republiky. Na základe získaných výsledkov konštatuje, že kvalita výstupných dát, najmä získavaná hustota bodov je dostatočná pre účely monitoringu a analýzy stavu vedení a ich ochranných pásiem.

Abstract

Novel perspective technologies such as Light Detection And Ranging (LIDAR) opened up new possibilities for data collection. Lidar system mount on an aircraft or a helicopter can rapidly acquire high quality image of the earth's surface and man-made structures. The paper discusses the possibilities of using lidar technology in corridor mapping, and more specifically it presents a method of electric transmission line mapping in the Slovak republic. Based on the results obtained, we can conclude that the quality of output data, especially the density of points collected, is sufficient for the purposes of monitoring and analysis of transmission lines and their buffer zones.

Kľúčové slová: letecký LIDAR; elektrické vedenie; ochranné pásmo vedenia; TerraScan

Keywords: airborne LIDAR; electric transmission line; transmission line corridor; TerraScan .

1. ÚVOD

LIDAR (Light Detection And Ranging; LiDAR) je progresívna technológia ktorá využíva laserový lúč pre rýchly spôsob merania pozície fyzikálnych objektov s vysokou presnosťou a v súčasnosti sa popri klasickej fotogrametrii stáva významným zdrojom informácií o zemskom povrchu a objektoch na ňom. Lidar zhromažďuje vysoko presné informácie o zemskom povrchu vo forme rozptýlených a neorganizovaných bodov, nazývaných tiež mračno bodov, ktoré musí byť neskôr spracované do podoby použiteľnej informácie. Na základe umiestnenia lasera delíme spôsob zberu údajov do dvoch základných skupín, a to na letecký a pozemný, ktoré sa ďalej ešte delia na mobilné, statické, topografické a batymetrické [1]. Detailným rozborom rozdielov v použití technológií LiDAR a fotogrametriu, popisom výhod a nevýhod a iných aspektov zberu údajov pomocou oboch technológií sa zaoberá viacero autorov [2] [3] [4] [5].

Získané dáta sú po nalietaní spracované tak, že je vykonávaná geometrická korekcia údajov a neskôr prebieha postprocessing dát pre získanie fyzických objektov alebo povrchov. Procesom klasifikácie a filtrácie sú zo zdrojových dát získavané objekty ako napr. vegetácia, vodné útvary alebo fyzické objekty ľudskej činnosti. Špecializované softvérové algoritmy umožňujú dodatočné automatizované odstránenie ťažko

identifikovateľných objektov, ako sú napr. osobné automobily. Výstupom spracovania lidarových dát môžu byť buď klasifikované formy zemského povrchu alebo spracované 3D mračno bodov. Prvý z prístupov je dobre preskúmaný, aj keď technologicky a časovo náročný. Samotné spracovanie mračna bodov je pomerne novým postupom, ktorý pred nás stavia nové výzvy [6].

Výstupy môžu obsahovať digitálny terénny model (DTM) v pravidelnej gridovej alebo trojuholníkovej sieti, filtrované body zemského povrchu, výškové body objektov (budovy, vegetácia a pod.), intenzity odrazov alebo automatizovane generované vrstevnice. Pre generáciu zemského povrchu (DTM) existuje mnoho algoritmov, často zameraných na konkrétnu problematiku. Výber konkrétnej metódy pre spracovanie závisí od požiadavky na druh a kvalitu výstupov [7], [8]. Pre zvýšenie kvality výstupov digitálneho modelu terénu sa používa priama alebo stereoskopická metóda, ktorá je často najnáročnejšou a časovo najdlhšou etapou spracovania údajov. Problémy pri spracovaní lidarových dát boli sumarizované vo viacerých odborných článkoch [9]. Ako uvádzajú [Harrap & Lato, 2010], momentálne je spracovanie údajov ovplyvnené dvoma základnými problémami. Po prvé, „neexistuje dostupný komplexný softvérový nástroj, ktorý by zabezpečil celú reťaz spracovania údajov od ich zberu až po finálne výstupy.“ Údaje tak musia byť presúvané medzi jednotlivými softvérmi a častokrát musia byť realizované viaceré konverzie údajov. Po druhé, „samotné objemy dát sú tak rozsiahle - pohybujú sa rádovo v stovkách gigabytov, že nie je možné na existujúcich pracovných staniciach realizovať niektoré výpočty bez predošlého rozdelenia vstupov na rôzne menšie jednotky.“

Dôležitým aspektom je tiež skutočnosť, že dnešné postupy na generovanie objektov sú závislé od operátora. V tejto oblasti prebieha rozsiahly vedecký výskum, avšak „doteraz sa nepodarilo zostaviť plne automatizovaný algoritmus, ktorý by na základe analýzy mračna bodov dokázal rozpoznať a identifikovať objekty na zemskom povrchu“ [7].

Možnosti praktického využitia údajov získaných z lidarového skenovania sú rôzne. Jednou z oblastí je využitie pre mapovanie líniových objektov, ako napr. objektov elektrického vedenia, líniových potrubných vedení alebo cestnej a železničnej siete, tzv. corridor mapping. Pre mapovanie sú využívané najmä helikoptéry alebo lietadlá letiace v nízkych letových výškach. Tu je možné využitie získaných údajov napr. na zisťovanie výšky vegetácie nad (v prípade plynovodov a ropovodov) alebo pod vedením (v prípade elektrických vedení), podrobné mapovanie a pasportizáciu pre výstavbu dopravnej infraštruktúry, ale aj zisťovanie zmien a posunov po výstavbe, ako napr. posuny objektov alebo pohyby zemského povrchu. V tejto oblasti bolo publikovaných viacero prác [10], [11], [12], [13]. Praktickou ukážkou takéhoto výskumu bolo nalietanie 1380km dlhého 550kV elektrického vedenia v Manitobe [14]. Ako uvádza McLaughlin (2006) [15], existujúce algoritmy sú schopné správne identifikovať až 86,9% bodov tvoricich elektrické vedenie.

2. APLIKÁCIA LIDAROVÉHO SKENOVANIA V PRAXI

V súčasnosti je prenos a distribúcia elektrickej energie v rámci elektrizačných sústav zabezpečovaná prevažne vonkajšími vzdušnými vedeniami. Pre lepšiu predstavu o rozsahu týchto systémov – len samotnú prenosovú sústavu SR tvoria vonkajšie vedenia s celkovou dĺžkou približne 2300 km. Rozsah distribučných sietí je ešte násobne väčší - rádovo niekoľko tisíc kilometrov vedení 110 kV a niekoľko desiatok tisíc kilometrov vedení 22 kV.

Na rozdiel od káblových vedení sú vzdušné vedenia vystavené meniacim sa klimatickým podmienkam a sú vo zvýšenej miere ohrozované okolitým prostredím, napríklad vegetáciou. Z tohto dôvodu je nutné udržiavať okolo vedení dostatočne široké pásmo bez vyššej vegetácie či iných objektov, ktoré by mohli vedenie ohroziť. Pre zaistenie spoľahlivej prevádzky je potrebné tieto ochranné pásma pravidelne kontrolovať a čistiť najmä od neustále dorastajúcej vegetácie.

Druhým sledovaným faktorom sú priehyby vodičov – postupom času vodiče starnú, menia sa ich mechanické vlastnosti a postupne sa zvyšuje ich priehyb, v dôsledku čoho môže ich vzdialenosť od terénu či objektov v ochrannom pásme klesnúť pod normou vyžadované hodnoty.

V prenosovej sústave sa pri kontrole vedení využíva aj letecká technika, exponované úseky vedenia sa kontrolujú s pomocou vrtuľníka, kde okrem vizuálnej kontroly sa vykonáva aj snímanie termovíziou.

V prípade distribučných sústav sa ochranné pásma a samotné vedenia štandardne kontrolujú pomerne jednoduchým spôsobom – pochôdkou technika pod vedením. Tento spôsob je samozrejme náročný na personál a čas. Ani jeden z uvedených spôsobov navyše neposkytuje dostatočne presný obraz o aktuálnom stave vedenia a ochranného pásma.

Jednou z možností, ako získať presné informácie o stave vedenia a jeho ochranného pásma, je skenovanie s leteckým LiDARom. Výstupom je relatívne presný priestorový model, na základe ktorého je možné vykonať pomocou softvérových nástrojov čiastočne automatizovaným spôsobom kontrolu voľnosti ochranného pásma, priehybov vodičov, ako aj iných potenciálne zaujímavých skutočností. V ďalších častiach tohto článku budeme demonštrovať možnosti leteckého LiDARu pri monitorovaní vedení rôznej napäťovej úrovne v podmienkach Slovenska s využitím softvérového nástroja TerraScan.

Použitý systém a skenovaná oblasť

Testovanie prebehlo s leteckým LiDARom Trimble Harrier 68i zabudovaným do leteckého nosiča PA-34 Seneca. Stručné zhrnutie parametrov Harrier 68i je uvedené v tabuľke 1.

Tab. 1. Základné parametre lidarového systému Harrier 68i

Frekvencia pulzov (PRR)	80 kHz – 400 kHz	Uhlové rozlíšenie	0.001 °
Frekvencia skenovania	10 Hz – 200 Hz	Hustota bodov (50 m/s)	5.8 pt·m ⁻² @800 m AGL
Zorný uhol	45 ° – 60 °	Presnosť vertikálna	< 0.25 m
Operačná výška	30 – 1600 m AGL	Presnosť horizontálna	< 0.15 m

Ako skenovaná oblasť bol zvolený pás medzi elektrickou stanicou Varín a obcou Stráňavy. Táto oblasť bola zvolená vzhľadom na to, že týmto úsekom prechádza niekoľko vedení rôznych napäťových úrovní, a to: vedenie 400 kV č. 495, dvojité 110 kV vedenia 7845/7854, 7733/7704, 7717/7718 a jednoduché 110 kV vedenie 7844. Do skenovanej oblasti zasahujú aj úseky vzdušných vedení 22 kV a tiež ju križuje elektrifikovaná železničná trať s trakčným systémom 3 kV DC. Na vedeniach v skenovanej oblasti je použitých viacero typov stožiarov (priehradová konštrukcia, ohraňované stožiare, predpätý betón). V oblasti navyše dochádza ku križovaniu vedení rôznych napäťových úrovní. Vedenia v skenovanej oblasti prechádzajú rôznym typom terénu – polia, križovanie vodného diela Žilina, až po úseky s vyšším porastom. Oblasť je preto vhodná pre všestranné testovanie možností lidarovej technológie. Skenovaná oblasť je zobrazená na obr. 1.



Obr. 1. Skenovaná oblasť (Varín – Stráňavy)

Skenovanie prebehlo z výšky cca 650 m nad terénom pri rýchlosti približne 210 km.h^{-1} . Aby bolo možné testovať, aká minimálna hustota bodov je potrebná pre identifikáciu vedení rôznych napätových úrovní, bola skenovaná oblasť nalietaná niekoľkokrát. Výsledná hustota bodov tak dosahuje miestami až 30 pt.m^{-2} .

Pre spracovanie získaných dát bol použitý softvérový modul TerraScan vo verzii 013.013, ako CAD rozhranie bol použitý softvér MicroStation V8i.

3. SPRACOVANIE ZÍSKANÝCH DÁT

Pri spracovaní získaných dát bolo hlavným cieľom overiť:

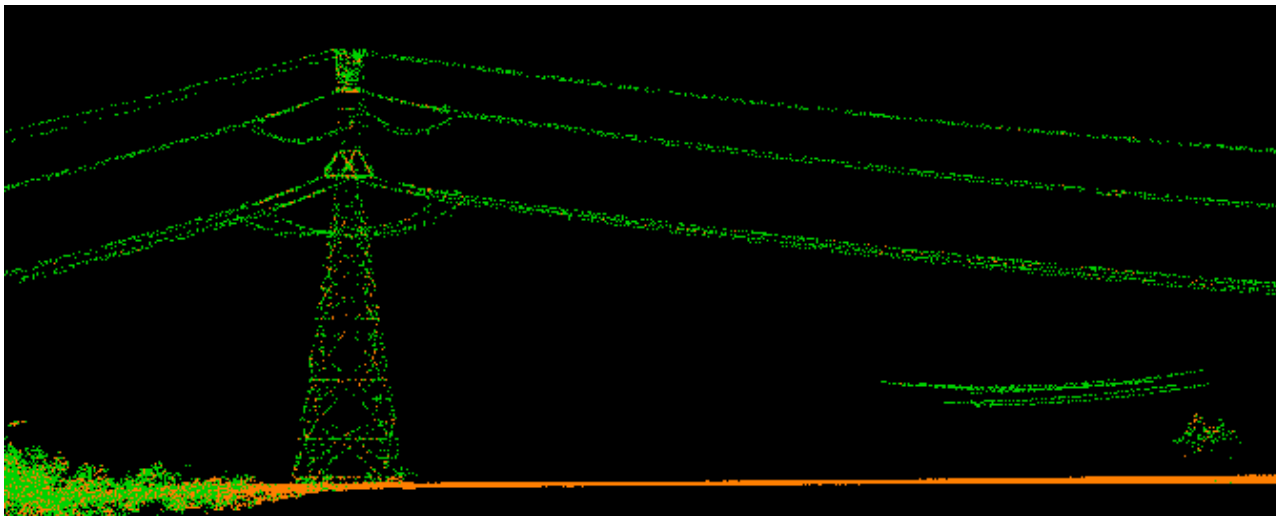
- možnosti automatickej detekcie vodičov a ich vektorizácie,
- možnosti detekcie stožiarov a ich vektorizácie,
- možnosti kontroly priehybu vodičov a ich minimálnej výšky nad terénom,
- možnosti automatickej kontroly ochranného pásma vedenia.

Prezentované výsledky boli získané pri maximálnom dostupnom rozlíšení. Zatiaľ neboli testované možnosti softvéru pri redukovanej hustote bodov, s výnimkou krátkeho úseku vedenia 22 kV, na ktorom bola schopnosť detekcie vodičov vykonaná aj pri zníženej hustote.

Detekcia vodičov

Kľúčovou funkciou pri monitoringu vedení s využitím LiDARu je identifikácia vodičov. Ako je zrejme z obrázku 2, skener je schopný zaznamenať vodiče na vedeniach všetkých potenciálne zaujímavých napätových hladín. Na obrázku 2 je bočný pohľad na vedenie 400 kV v okolí kotevného stožiaru typu

„mačka“. Zreteľne viditeľné sú ako fázové vodiče, tak aj zemniace laná. Zároveň v pravej časti je viditeľné križovanie vedenia 22 kV vedeného popod vedenie 400 kV. Táto situácia demonštruje schopnosť systému zaznamenať nielen masívne zväzkové vodiče prenosového vedenia, ale aj podstatne tenšie vodiče distribučného vedenia.

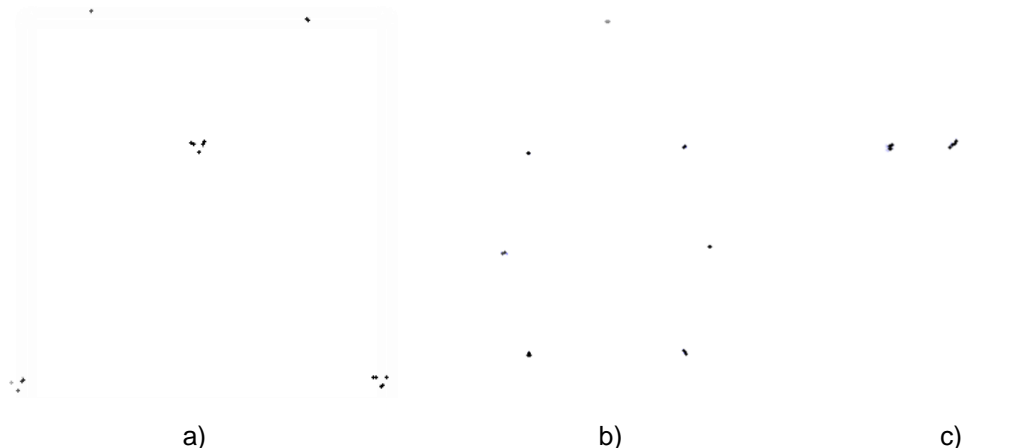


Obr. 2. Bočný náhľad na úsek vedenia 400 kV, v pravej časti je zreteľné križovanie vedenia 22 kV

Modul TerraScan disponuje funkciou pre automatickú detekciu vodičov. Používateľ zdefiniuje pomocou lomenej čiary os vyšetřovaného vedenia, systém následne automaticky prehľadá priestor okolo definičnej čiary vo zvolenej šírke a automaticky vyhľadá a klasifikuje body patriace vedeniu. Pri rozpoznávaní sa využíva fakt, že mračno bodov reprezentujúce vodič musí rešpektovať tvar zavesenej reťazovky. Pri detekcii je možné stanoviť medzné konštanty reťazoviek, ktoré ešte majú byť považované za vodiče. Okrem klasifikácie bodov funkcia tiež umožňuje vektorizovať mračno bodov reprezentujúce vodiče.

Počas testovania uvedenej funkcie systém dokázal spoľahlivo rozpoznať a vektorizovať vodiče všetkých troch vyšetřovaných napätových hladín. Problém s detekciou nastal len na úsekoch vedenia s veľmi malým priehybom (napr. v úseku kde vedenie vstupuje do elektrickej stanice. Pri vhodnej parametrizácii bol systém dokonca schopný s vysokou úspešnosťou rozoznať jednotlivé vodiče vo zväzkových vodičoch (fázový vodič je tvorený zväzkom viacerých lán, typicky dvomi až tromi) vedenia 400 kV. Takáto presnosť je samozrejme z praktického hľadiska zbytočná a úplne postačuje nahradenie zväzku jediným vodičom.

Na obrázku 3 sú zobrazené priečne rezy vedeniami jednotlivých napätových hladín (obrázok je pre vyšší kontrast prevedený na čierno-biely). V prípade vedení 400 kV sú fázové vodiče tvorené zväzkom troch lán usporiadaných do rovnostranného trojuholníka s hranou 40 cm. Tieto trojuholníky sú na priečnom reze zreteľne viditeľné a zároveň demonštrujú pomerne vysokú presnosť skenovania, ktorá bola v tomto prípade výrazne vyššia než udávaná výrobcom LiDARu.



Obr. 3. Priečný rez vedením a) 1x400 kV, b) 2x110 kV c) 1x22 kV rovinná konzola (obrázky nie sú v mierke)

Vzhľadom na netypicky vysokú hustotu bodov zabezpečenú viacnásobným skenovaním rovnej oblasti je samozrejme na mieste otázka, aká bude úspešnosť pri zníženej hustote bodov. Z hľadiska detekcie vodičov by nižšia hustota nemala predstavovať zásadný problém vzhľadom na už spomínaný fakt, že polohy všetkých bodov patriacich vodiču musia s určitou toleranciou zodpovedať rovnici reťazovky. Keďže požadovaný tvar je v rámci istých medzí dopredu známy, mala by na úspešnú detekciu vodičov postačovať aj pomerne nízka hustota bodov.

Aby bolo možné aspoň čiastočne overiť schopnosť softvéru rozpoznávať vodiče aj pri nižších hustotách bodov, zredukovali sme body v jednom z vyšetovaných kvadrantov na hustotu zodpovedajúcu jednému preletu. Hustota v tomto prípade dosahovala približne $5 \text{ pt.} \cdot \text{m}^2$, čo môžeme považovať za bežne dostupnú hustotu pre tento typ skenovania. Prvé experimenty potvrdzujú, že aj pri tejto hustote je možné automaticky rozpoznať vodiče aj na 22 kV vedeniach, avšak proces je náročnejší na parametrizáciu vyhľadávacieho algoritmu a algoritmus je celkovo chybovejší.

Najproblematickejším bodom pri rozpoznávaní vedení je nutnosť vytvoriť definičnú čiaru vedenia. Táto by mala prechádzať osou vedenia s uzlom vytvoreným vo vrchole každého stožiaru. Vzhľadom na fakt, že aj v prípade prenosových vedení, u ktorých rozpätie stožiarov dosahuje aj niekoľko 100 m, pripadajú na 1 km vedenia 3-4 stožiare, je vytvorenie definičnej čiary pre vedenie dlhé niekoľko desiatok km pomerne prácne. Situácia je ešte komplikovanejšia v prípade vedení 110 kV, kde sú rozpätia ešte o niečo kratšie.

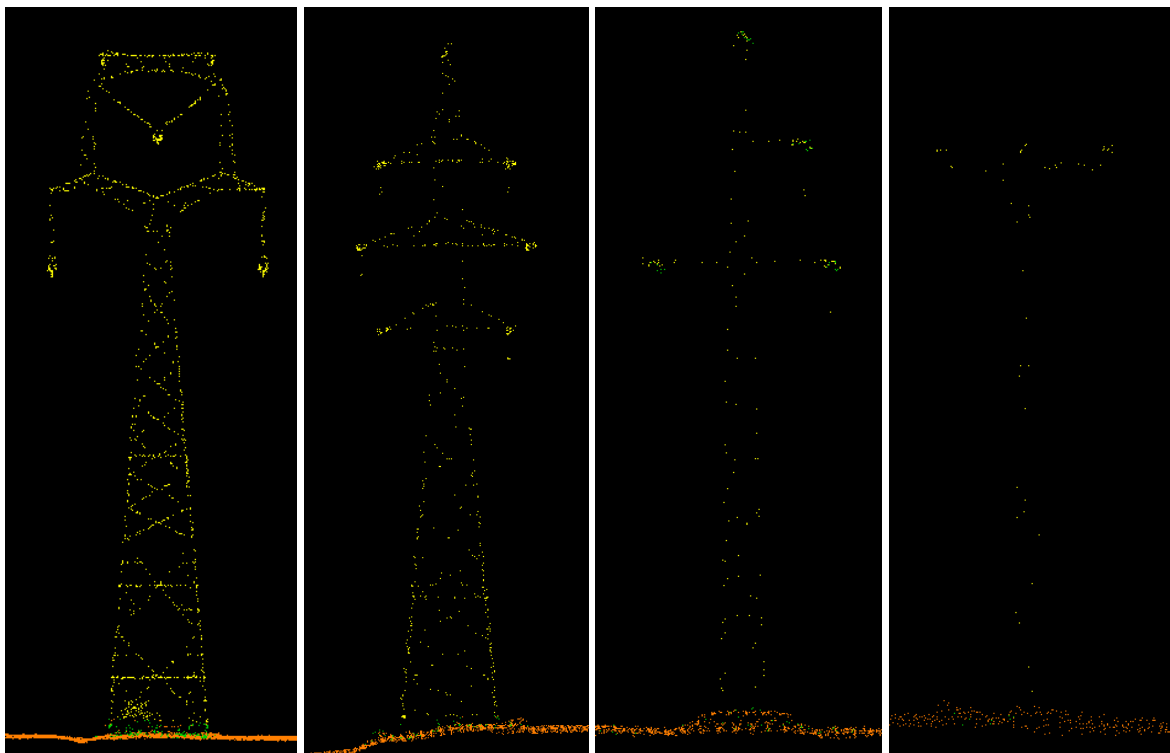
Pri opakovanom spracovaní toho istého koridoru je samozrejme v prípade, že nedošlo k prekládke vedenia, možné využiť pôvodne vytvorenú definičnú čiaru a tým celý proces podstatne urýchliť.

Pochopiteľne, v prípadoch, keď automatická detekcia z nejakého dôvodu úplne zlyháva, je možné klasifikovať body patriace vodičom ručne a rovnako aj ručne definovať vektorizovanú reťazovku. Tieto manuálne operácie sú však pomerne časovo náročné.

Detekcia stožiarov

Na obrázku 4. sú zobrazené ukážky rôznych typov stožiarov zaznamenaných v skenovanej oblasti. Zo zaznamenaných dát bolo vo všetkých prípadoch možné spoľahlivo určiť typ stožiaru. U stožiarov vyšších napäťových hladín sú zreteľné aj detaily, priečky prihradovej konštrukcie a izolátorové reťazce.

Nižšiu kvalitu má zobrazenie ohraňovaných stožiarov 110 kV. Ohraňované stožiare majú štíhlejšiu konštrukciu, navyše u prihradovej konštrukcie je vyššia šanca na viacnásobný odraz laserového lúča (a tým získanie viacerých bodov) ako u plného tela ohraňovaných stožiarov. Napriek tomu je možné typ stožiaru spoľahlivo identifikovať.

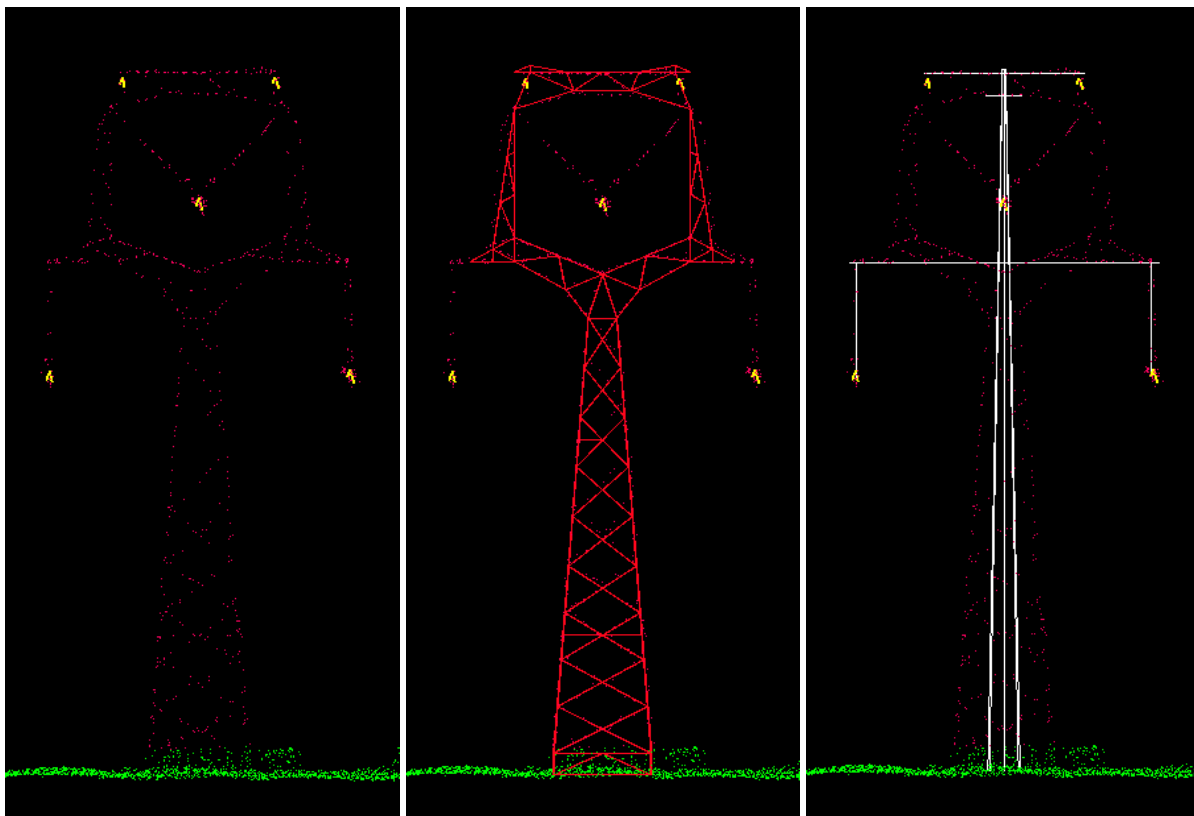


Obr. 4. Ukážka zobrazenia rôznych typov stožiarov, zľava 1x400 kV „mačka“, 2x110 kV „súdok“, ohraňovaný stožiar 1x110 kV, 1x22 kV rovinná konzola (obrázky nie sú v jednotnej mierke)

Na rozdiel od pomerne veľmi dobre fungujúcich nástrojov na prácu s vodičmi je vektorizácia stožiarov prakticky manuálnou záležitosťou. Systém automaticky umiestňuje vektorový model do uzla definičnej čiary vedenia. Následne je však nutné manuálne určiť výšku stožiara, polohu aj šírku ramien. Vektorizovaný model je len veľmi primitívnou náhradou reálneho stožiara a len problematcky sa aplikuje v prípade iných typov stožiarov ako jednodriekových s ramenami po bokoch centrálnej veže.

Keďže na vedeniach sa používa len obmedzené množstvo typov stožiarov, je možné v prípade požiadavky na vernejšie vektorové zobrazenie využiť import vopred pripravených modelov vytvorených napríklad v modelovacom nástroji SketchUp. Import a umiestnenie modelu je porovnateľne náročné ako vytvorenie jednoduchého modelu pomocou vstavaných nástrojov TerraScan. Porovnanie vektorizácie stožiara 400 kV typu „mačka“ pomocou importovaného modelu a pomocou vstavaných nástrojov je na obrázku 5.

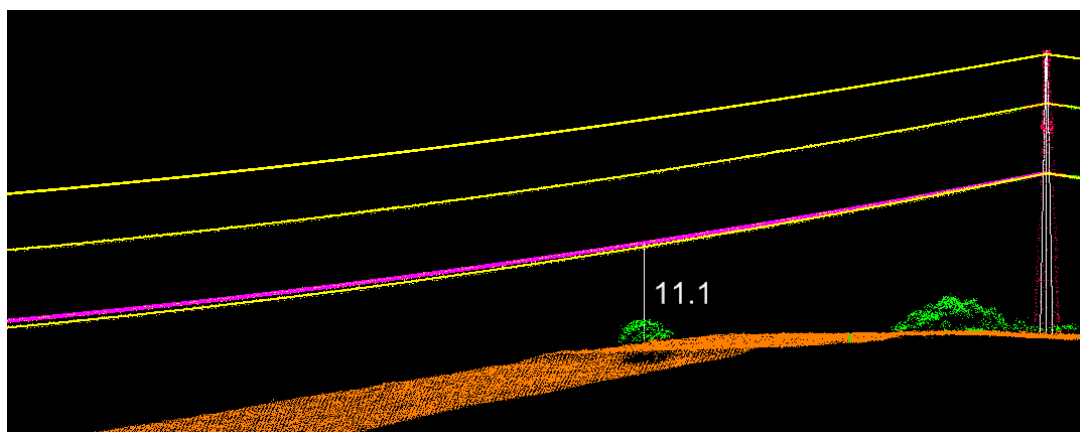
Samotnú vektorizáciu stožiarov v podobe, ako je implementovaná v module TerraScan, možno považovať za viac-menej kozmetickú záležitosť. Podstatnejším nedostatkom je absencia funkcie pre automatickú klasifikáciu bodov tvoriacich telo stožiara. Ručná klasifikácia je samozrejme možná (a s využitím rezov aj pomerne pohodlná a rýchla) avšak pri počte niekoľkých stoviek stožiarov patriacich jednému vedeniu je táto klasifikácia extrémne prácna. Navyše, bez správnej klasifikácie bodov patriacich stožiariu nie je možné korektné používať nástroje na automatickú kontrolu voľnosti ochranného pásma, keďže nesprávne klasifikované body stožiara sú systémom považované za vysokú vegetáciu, a tým za objekt zasahujúci do ochranného pásma vedenia.



Obr. 5. Ukážka možností vektorizácie stožiarov VVN, zľava postupne pôvodné mračno bodov, importovaný vektorový model a model vytvorený pomocou modulu TerraScan

Kontrola priehybu vodičov a kontrola voľnosti ochranného pásma

Pre kontrolu priehybu vodičov a určenie minimálnej výšky nad zemou je k dispozícii automatizovaný nástroj. Podmienkou je predošlá úspešná vektorizácia vodičov. Následne po aktivácii nástroja a zvolení vybraného fázového vodiča je identifikovaný bod jeho najnižšej výšky nad terénom a táto výška je zakótovaná (obr. 6).



Obr. 6. Automatické vyhľadanie a zakótovanie miesta s minimálnou výškou vodiča nad terénom

Rovnako je možné vyhľadávať objekty zasahujúce do ochranného pásma vedenia. Po zedefinovaní minimálnej povolenej vzdialenosti cudzích objektov od vedenia systém automaticky vyhľadá všetky miesta, kde sa nachádzajú body zasahujúce do zvoleného ochranného priestoru. Zoznam potenciálnych konfliktov sa následne zobrazí používateľovi. Ten následne rozhodne, či sa jedná o chybu v klasifikácii (stáva sa, že nie všetky body vodiča sú korektne preklasifikované zo svojej pôvodnej triedy) alebo bol skutočne identifikovaný nebezpečný objekt. Následne je možné zakótovať vzdialenosť od vodiča k tomuto objektu

a body, ktoré narúšajú ochranný priestor, preklasifikovať do zvolenej triedy tak, aby ich bolo možné jednoducho odlíšiť. Výsledný zoznam identifikovaných problémov je možné exportovať do súboru.

Finálna kontrola priestoru okolo vedenia sa realizuje postupnou vizuálnou kontrolou jednotlivých úsekov vedenia medzi dvomi stožiarimi. Vedenie je zobrazované súčasne vo viacerých rezoch, aby bolo možné efektívne posúdiť stav terénu a vegetácie pod vodičmi. Táto manuálna fáza je opäť pomerne prácna a časovo náročná.

4. ZÁVER

Využitie lidarových systémov pre monitoring elektrických vedení je vo svete bežnou praxou. Kvalita výstupov a ich využiteľnosť sa však výrazne líši podľa použitého systému a nosiča. Cieľom tejto práce bolo overiť využiteľnosť systému Harrier 68i integrovaného do PA-34 pre účely kontroly vedení rôznych napäťových hladín a ich ochranných pásiem, s ohľadom na predpokladané nižšie hustoty bodov získané počas skenovania týmto systémom z dôvodu relatívne vysokej minimálnej rýchlosti PA-34 a požadovanej letovej výšky nad terénom. Druhým cieľom práce bolo prakticky overiť možnosti a kvalitu automatických funkcií modulu TerraScan zameraných na monitoring vedení.

Na základe získaných výsledkov možno skonštatovať, že kvalita výstupných dát, najmä získavaná hustota bodov, je dostatočná pre účely monitoringu a analýzy stavu vedení a ich ochranných pásiem. S využitím modulu TerraScan je možné tieto dáta efektívne spracovať, pričom citeľnou slabinou spomínaného modulu je jeho nedostatočná schopnosť rozpoznávať stožiare vedenia. Ako nepostačujúce tiež možno hodnotiť implementované nástroje na generovanie reportov.

Tieto zistené nedostatky sú však impulzom k snahe v budúcnosti implementovať vlastné algoritmy pre automatickú klasifikáciu bodov a prípadne pokročilejšieho generovania výstupov. Tejto snahe nahráva aj podpora prostredia MicroStation pre spoluprácu s platformu .NET a využívanie otvoreného formátu *.las modulom TerraScan.

LITERATÚRA

- [1] P. AXELSOON, „Processing of laser scanner data - algorithms and applications.,“ *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, zv. 54, %1. vyd.2-3, pp. 138-147, 1999.
- [2] E. BALTSAVIAS, „Airborne laser scanning: basic relations and formulas.,“ *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, zv. 54, %1. vyd.2-3, pp. 199-214, 1999.
- [3] E. BALTSAVIAS, „Airborne laser scanning: existing systems and firms and other resources.,“ *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, zv. 54, %1. vyd.2-3, pp. 164-198, 1999.
- [4] E. P. BALTSAVIAS, „A comparison between photogrammetry.,“ *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 54, pp. 83-94, 1999.
- [5] P. BOBÁL a M. HOLUBEC, „Základné princípy Lidar a možnosti jeho využitia.,“ *Zborník z konferencie INAIR*, 2013.
- [6] E. GHANNOUM a Z. KIELOCH, „Use of modern technologies and software to deliver efficient design and optimization of 1380 km long bipole III ± 500 kV HVDC transmission line, Manitoba, Canada.,“ *Transmission and Distribution Conference and Exposition. IEEE PES.*, pp. 1-6, 2012.
- [7] R. HARRAP a M. LATO., „An Overview of LIDAR: collection to applications.,“ 2010.
- [8] Z. LI a et all, „Toward automated power line corridor monitoring using advanced aircraft control and multisource feature fusion.,“ *Journal of Field Robotics*, zv. 29, %1. vyd.1, p. 4–24., 2012.
- [9] Y. e. a. LIU, „Classification of Airborne LIDAR Intensity Data Using Statistical Analysis and Hough Transform with Application to Power Line Corridors.,“ *Digital Image Computing: Techniques and Applications, 2009. DICTA '09.*, p. 462–467, 2009.
- [10] M. LU a . Z. KIELOCH, „Accuracy of Transmission Line Modeling Based on Aerial LiDAR Survey.,“

Power Delivery, IEEE Transactions, zv. 23, %1. vyd.3, p. 1655 –1663, 2008.

- [11] R. McLAUGHLIN, „Extracting transmission lines from airborne LIDAR data.“ *Geoscience and Remote Sensing Letters*, zv. 3, %1. vyd.2, p. 222 – 226, 2006.
- [12] R. e. a. NOBREGA, „A noise-removal approach for lidar intensity images using anisotropic diffusion filtering to preserve object shape characteristics.“ *ASPRS 2007 Annual Conference, Tampa, Florida, May 7-11, 2007.*, 2007.
- [13] G. SOHN, Y. JWA a H. B. KIM, „Automatic powerline scene classification and reconstruction using airborne lidar data.“ *ISPRS Annals of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Zv. %1 z %2I-3, pp. 167-172, 2012.
- [14] D. TIEDE a T. BLASCHKE, „An integrated workflow for LIDAR / optical data mapping for security applications.“ *International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and spatial information sciences.*, 2004.
- [15] A. WEHR a U. LOHR, „Airborne laser scanning - an introduction and overview.“ *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, zv. 54, %1. vyd.2-3, pp. 68-82, 1999.

Článok je publikovaný ako jeden z výstupov projektu: „Brokerské centrum leteckej dopravy pre transfer technológií a znalostí do dopravy a dopravnej infraštruktúry ITMS 26220220156.“



Podporujeme výskumné aktivity na Slovensku/ Projekt je spolufinancovaný zo zdrojov EÚ