

VYUŽITIE LETECKÉHO LIDARU NA SLEDOVANIE POLOHYVODIČA ELEKTRICKÉHO VEDENIA

Alena Otčenášová

KVES, Elektrotechnická fakulta, Žilinská univerzita v Žiline, Slovensko
alena.otcenasova@fel.uniza.sk

Marek Höger

KVES, Elektrotechnická fakulta, Žilinská univerzita v Žiline, Slovensko
marek.hoger@fel.uniza.sk

Juraj Altus

KVES, Elektrotechnická fakulta, Žilinská univerzita v Žiline, Slovensko
juraj.altus@fel.uniza.sk

Abstract – The article deals with data scanned by airborne LiDAR Trimble Harrier 68i built in the flying carrier PA-34 Seneca and their utilization for position monitoring of overhead power lines conductors. Monitoring of protection corridors, close surroundings of conductors and their heights above ground facilitates prevention of dangerous situation arising, which could jeopardize humans which can be found in the area of power line, as well as prevention of line's failure states that lead to financial losses connected with physical deterioration of the line or/and with energy not supplied to consumers.

Kľúčové slová – letecký LiDAR; TerraScan; prenosové a distribučné vedenie; ochranné pásmo vedenia; maximálny priehyb; výška vodiča nad zemou.

Úvod

S rastúcimi požiadavkami na spoľahlivosť v dodávkach elektrickej energie stúpajú nároky na prenosové a distribučné spoločnosti, ktoré musia udržiavať existujúce vedenia v bezporuchovom stave.

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 pásma pravidelne kontrolovať a čistiť najmä od neustále dorastajúcej vegetácie.

Nie menej dôležitým sledovaným faktorom sú priehyby vodičov. Veľkosť priehybu závisí v prvom rade od teploty vonkajšieho prostredia. Okrem toho postupom času vodiče starnú, menia sa ich mechanické vlastnosti a vo vodiči dochádza k metalurgickému tečeniu materiálu. Postupne narastá

ich priehyb v jednotlivých rozpätiach. To môže spôsobiť, že výška vodiča nad zemou alebo vzdialenosť od objektov pod vedením môže klesnúť pod normou vyžadované hodnoty [1].

Jednou z možností ako získať relevantné informácie je pravidelná kontrola týchto vedení. Pretože ide o rozsiahle liniové zariadenia, ich kontrola je časovo aj technicky veľmi náročná. V prenosovej sústave (vedenia 400 kV a 220 kV) 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 (110 kV a menej) sa ochranné pásma a samotné vedenia štandardne kontrolujú pomerne jednoduchým spôsobom – pochôdzkou 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.

V článku je diskutované o možnostiach využitia technológie leteckého laserového skenovania na získanie informácií o polohách jednotlivých vodičov trojfázových elektrických vedení a zmenách ich výšok nad zemou v súvislosti s teplotou okolia či starnutím vodičov. Uvádzaná technológia leteckého skenovania umožňuje rýchle a efektívne získavanie informácií, ktoré je možné automaticky spracovávať pre tvorbu digitálneho modelu skenovaného vedenia. Takto získané údaje nám môžu poskytnúť včasné varovania pred poškodením vodičov, či stožiarov, ako aj pred zásahom vegetácie do blízkosti vedenia. Taktiež je táto technológia vhodná pri prieskume nových území, ktoré by boli vhodné na výstavbu elektrických vedení, či už z dôvodu posilnenia existujúcej infraštruktúry alebo zaistenia prenosu výkonu vyrábaného napríklad z obnoviteľných zdrojov elektrickej energie.

II. VPLYV TEPLoty NA PRIEHYB VODIČA

Teplota je jedným z najdôležitejších činiteľov ovplyvňujúcich dimenzovanie a stavbu vedení. Vplyvom teploty

sa mení namáhanie vo vodiči a súčasne aj jeho priehyb, pri vyšších teplotách sa znižuje pevnosť materiálov. Pre návrh vedení je preto dôležité poznať najnižšiu a najvyššiu hranicu teploty. Na samotný vodič má vplyv teplota vzduchu závislá od intenzity slnečného žiarenia, od uhla dopadu slnečných lúčov, od prúdenia vzduchu a tiež prúdové zaťaženie vodiča.

Na Slovensku sa uvažuje s teplotami od $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ do $+40\text{ }^{\circ}\text{C}$ ak uvažujeme so základnou úrovňou spoľahlivosti vedenia 1, čiže dimenzovaním vedení na bezporuchovú a dobu prevádzky 50 rokov [2]. Teplota $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ je normou určená referenčná teplota, pri ktorej je najväčšia pravdepodobnosť vzniku dodatočného zaťaženia vedenia – námrazy.

Teoreticky sa závislosť polohy vodiča a jeho priehybu od teploty určuje pomocou tzv. stavovej rovnice vodiča. Stavová rovnica vodiča vonkajšieho silového vedenia vyjadruje závislosť mechanického napätia nielen od teploty, ale aj od dodatočného zaťaženia, napr. ak sa na vedení vyskytuje námraza, alebo ak na vedenie pôsobí vietor a tiež od rozpätia, čiže od vzdialenosti medzi stožiarmi.

Stavová rovnica má tvar

$$\sigma_{H1}^3 + \sigma_{H1}^2 \cdot \left[\frac{\gamma^2 \cdot E}{24} \cdot \left(\frac{a \cdot z_0}{\sigma_{H0}} \right)^2 + \alpha \cdot E \cdot (\vartheta_1 - \vartheta_0) - \sigma_{H0} \right] - \frac{\gamma^2 \cdot E}{24} \cdot (a \cdot z_1)^2 = 0, \quad (1)$$

kde σ_{H1} je mechanické namáhanie vodiča v horizontálnom smere pri sledovanej teplote (Pa), σ_{H0} mechanické namáhanie vodiča v horizontálnom smere pri teplote $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ a námraze, ktorá vo väčšine prípadov predstavuje najnepriaznivejšie východzie podmienky (Pa), γ je merná tiaž čistého, nezaťaženého vodiča ($\text{N} \cdot \text{m}^{-3}$), E je modul pružnosti materiálu vodiča, a je vzdialenosť medzi stožiarmi vedenia, z_0 je pretáženie vodiča pri teplote $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ a námraze, z_1 je pretáženie vodiča pri hľadanej teplote, α je súčiniteľ teplotnej rozťažnosti materiálu vodiča v $^{\circ}\text{C}^{-1}$, ϑ_1 je teplota, pre ktorú sa počítajú všetky sledované premenné v $^{\circ}\text{C}$ a ϑ_0 je rozhodujúca východzia teplota $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ [2].

Výsledok riešenia stavovej rovnice Newtonovou iteračnou metódou na základe požiadavky na výpočet tzv. montážnej tabuľky pre konkrétny charakteristický typ lana 110 kV vedenia AlFe 240/39 a rozpätie 300 m je uvedený v tabuľke 1.

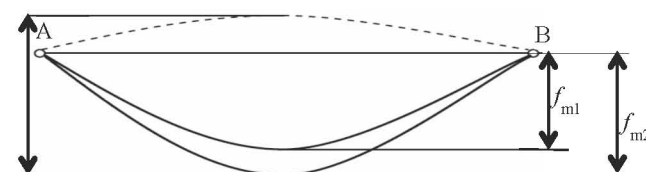
Tabuľka 1 – Montážna tabuľka

$\vartheta(^{\circ}\text{C})$	-30	-20	-10	-5	-5 + námraza
σ_H (MPa)	35,09	34,24	33,45	33,08	93,48
f_m (m)	10,99	11,26	11,52	11,66	12,79
$\vartheta(^{\circ}\text{C})$	0	10	20	30	40
σ_H (MPa)	32,71	32,02	31,36	30,75	30,16
f_m (m)	11,79	12,04	12,29	12,54	12,78

V tabuľke 1 je uvedené, že priehyb so zmenou teploty od $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ do $+40\text{ }^{\circ}\text{C}$ sa mení od 10,99 do 12,79 m (pri teplote

$-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ a námraze), čo je rozdiel 1,80 m vo výške nad zemou, s ktorým je nutné už pri projekčnom návrhu vedenia uvažovať.

Na obrázku 1 je znázornená riešená problematika ohľadne rôzne veľkých maximálnych priehybov v strede sledovaného rozpätia f_{m1} a f_{m2} v závislosti od teploty.



Obrázok 1 – Rôzne maximálne priehyby vodiča v rozpätí v závislosti od teploty okolia

III. VPLYV STARNUTIA VODIČA NA JEHO PRIEHYB

Je známe, že na vodičoch vonkajších elektrických vedení, ktoré sú vystavené počas svojej životnosti rôznym tepelným a mechanickým namáhaniam, dochádza nielen k pružným (vratným) zmenám, ale aj k trvalému predĺženiu vodičov, ktoré pozostáva z troch nasledujúcich zložiek [2]:

- predĺženie podmienené veľkosťou pôsobiaceho mechanického zaťaženia,
- predĺženie závislé od času pôsobenia mechanického zaťaženia,
- predĺženie v dôsledku pôsobenia mechanického napätia v bodoch prekríženia drôtov nad sebou nachádzajúcich sa vrstiev vodiča.

Predĺženie ε_G ($\text{mm} \cdot \text{km}^{-1}$) uvedené v bode a) je zapríčinené geometrickým sadaním drôtov jednotlivých vrstiev vodiča, pričom predpokladáme, že toto predĺženie nie je závislé od času a je len funkciou pôsobiaceho mechanického zaťaženia. Predĺženie ε_M ($\text{mm} \cdot \text{km}^{-1}$) uvedené v bode b) je spôsobené metalurgickým tečením hliníkových drôtov. Trvalé predĺženie, ktoré vzniká v dôsledku križenia drôtov sa zvyčajne zanedbáva.

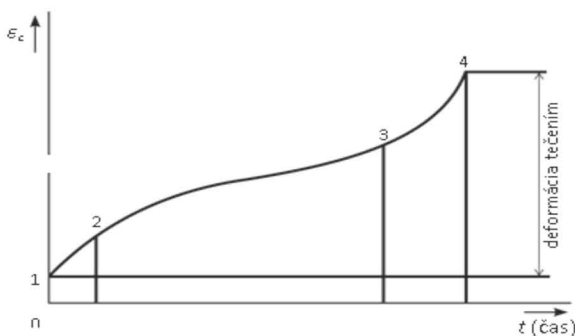
GEOMETRICKÉ SADANIE DRÔTOV

Pri mechanickom zaťažení zlaneného vodiča sa veľmi rýchlo prejaví predĺženie lana, ktoré závisí od veľkosti pôsobiaceho mechanického napätia a štruktúrneho zloženia lana. V procese navíjania lana zaujmú jednotlivé drôty a vrstvy polohu, ktorá nie je konečná. Medzi drôtmí a vrstvami existuje určitá voľnosť, takže pri prvom napnutí lana, t. j. pri rozvíjaní a ťahaní vodičov, resp. pri ich predpínaní, sa drôt usadí v novej polohe vzhľadom na ostatné drôty. Navyše dochádza ku vzájomnému pôsobeniu medzi vrstvami, čo vyvoláva lokálnu deformáciu v bodoch dotyku medzi drôtmí rôznych vrstiev, a tým aj ďalšiemu sadnutiu drôtov. Je veľmi ťažké teoreticky analyzovať tento jav, a preto je výhodnejšie vykonať jeho rozbor empirickými metódami. Treba poznamenať, že jav geometrického sadania drôtov je prakticky nezávislý od času a v skutočnosti sa môže skončiť v krátkom čase.

METALURGICKÉ TEČENIE

V prípade, že nejaký materiál je vystavený mechanickému zaťaženiu dlhší časový interval, dochádza v jeho molekulovej štruktúre k trvalým zmenám. Vodiče vonkajších vedení sú mechanicky zaťažené počas celej životnosti, takže v dôsledku vnútorných štrukturálnych zmien vzniká na nich aj trvalé predĺženie. Tak napr. na hliníkových drôtoch vyrobených ťahaním sa vytvorí určitý typ vnútornej molekulovej štruktúry, ktorá sa však bude meniť vplyvom dlhodobého mechanického zaťaženia tak, že molekuly budú zaujímať nové polohy, pokiaľ nenastane rovnovážny stav vnútorných síl[2].

Priebeh trvalej deformácie v závislosti od času pri konštantnej teplote a mechanickom napätí je znázornený všeobecnou krivkou tečenia na obr. 2. Časť 0-1 zodpovedá okamžitej deformácii pri krátkodobom pôsobení mechanického zaťaženia (geometrické sadanie drôtov). V počiatočnom, nie príliš dlhom časovom intervale (úsek 1-2) dochádza k pomerne veľkému predĺženiu, tzv. primárne tečenie. V úseku 2-3 sa táto deformácia v závislosti od času spomalí. Dochádza k tzv. sekundárnemu tečeniu. Úsek krivky medzi bodmi 3-4 predstavuje tzv. terciárne tečenie, kedy sa deformácia zrýchľuje a končí sa lomom v bode 4. Metalurgické tečenie sa musí počítať pre dlhé obdobie (10 až 30 rokov).



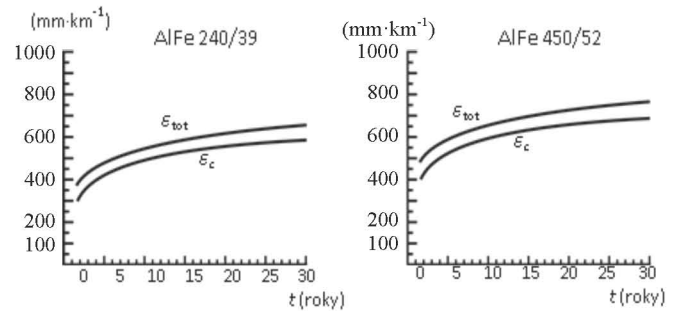
Obrázok 2 – Priebeh trvalej deformácie vodiča

Celkové predĺženie vodiča je možné vyjadriť vzťahom

$$\varepsilon_{\text{vysl}} = \varepsilon_G(\sigma_{\text{max}}) + \varepsilon_M(\sigma_H(t), t, T_V), \quad (2)$$

kde $\varepsilon_{\text{vysl}}$ je celkové trvalé predĺženie vodiča ($\text{mm} \cdot \text{km}^{-1}$), ε_G trvalé predĺženie vodiča spôsobené geometrickým sadnutím drôtov ($\text{mm} \cdot \text{km}^{-1}$), ε_M trvalé predĺženie vodiča spôsobené metalurgickým tečením ($\text{mm} \cdot \text{km}^{-1}$), σ_{max} maximálne mechanické namáhanie vodiča (MPa), σ_H mechanické namáhanie vodiča horizontálne (MPa), t je čas pôsobenia mechanického namáhania σ_H (h) a T_V je teplota vodiča ($^{\circ}\text{C}$).

Z rovnice vyplýva, že celkové trvalé predĺženie vodiča $\varepsilon_{\text{vysl}}$ je súčet predĺžení spôsobených geometrickým sadnutím drôtov ε_G a metalurgickým tečením vodiča ε_M , pričom ε_G závisí len od maximálneho mechanického napätia vodiča σ_{max} (MPa) a ε_M je funkciou mechanického napätia $\sigma_H(t)$ (MPa), času pôsobenia t (hodiny až roky) a teploty vodiča T_V ($^{\circ}\text{C}$).



Obrázok 3 – Trvalé predĺženie vodičov AlFe 240/39 a AlFe 450/52

Na obrázku 3 sú znázornené trvalé predĺženia vodiča AlFe 240/39 a AlFe 450/52 v závislosti od času získané z prevádzkovej praxe.

IV. APLIKÁCIA VÝSLEDKOV Z LETECKÉHO SKENOVANIA NA RIEŠENÚ PROBLEMATIKU

Testovanie prebehlo leteckým LiDARom Trimble Harrier 68i zabudovaným do leteckého nosiča PA-34 Seneca. Stručné zhrnutie parametrov Harrier 68i je uvedené v tabuľke 2.

Tabuľka 2 – 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

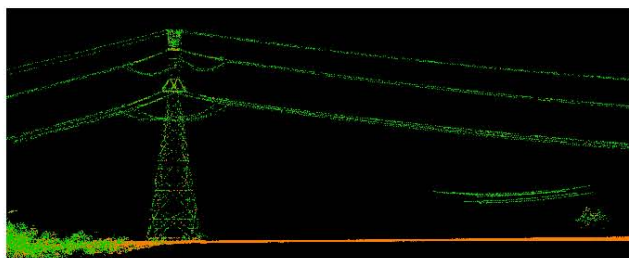
Ako skenovaná oblasť bol zvolený pás medzi elektrickou stanicou Varín a obcou Stráňavy. Táto oblasť bola zvolená vzhľadom na to, že týmto úsekom prechádza niekoľko vedení rôznych napäťových úrovní, a to: vedenie 400 kV č. 495, dvojité 110 kV vedenia 7845/7854, 7733/7704, 7717/7718 a jednoduché 110 kV 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 [4].

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 napäťových 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 [4].

DETEKCIA VODIČOV

Kľúčovou funkciou pri monitoringu vedení s využitím LiDARu je identifikácia vodičov. Ako je zrejmé z obrázku 4, skener je schopný zaznamenať vodiče na vedeniach všetkých potenciálne zaujímavých napäťových hladín. Na obrázku 4 je bočný pohľad na vedenie 400 kV v okolí kotevného stožiaru typu „mačka“. Zreteľne viditeľné sú ako fázové vodiče, tak aj zemniace láná.



Obrázok 4 –Bočný náhľad na úsek vedenia 400 kV, v pravej časti je zreteľné križovanie vedenia 22 kV

Zároveň je v pravej časti 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 (napr. 22 kV).

Modul TerraScan disponuje funkciou pre automatickú detekciu vodičov. Používateľ zadefinuje 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 priehybovej krivky, ktorá je opísaná rovnicou nepružnej reťazovky a ktorá má tvar

$$y = c \cdot \cosh \frac{x}{c}, \quad (3)$$

kde x a y sú zodpovedajúce súradnice každého bodu na priehybovej krivke a c je parameter reťazovky v metroch.

Pri detekcii je možné stanoviť medzné konštanty reťazoviek c , 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 napäťových 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.

Vzhľadom na netypicky vysokú hustotu bodov zabezpečenú viacnásobným skenovaním rovnakej 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 (3). Keďže požadovaný tvar je v rámci istých medzí dopredu známy, mala by na úspešnú detekciu vodičov postačovať aj nižšia hustota bodov.

Aby bolo možné aspoň čiastočne overiť schopnosť softvéru rozpoznávať vodiče aj pri nižších hustotách bodov, zredukovali sme body v jednom z vyšetřovaných 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.

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.

KONTROLA VOENOSTI OCHRANNÉHO PÁSMO

Rovnako je možné vyhľadávať objekty zasahujúce do ochranného pásma vedenia, ktoré sú vymedzené zvislými rovinami vedenými po oboch stranách vedení vo vodorovnej vzdialenosti meranej kolmo na vedenie a je stanovené 15 m pre vedenia s menovitým napätím od 35 kV do 110 kV vrátane, či 20 m pre vedenia od 110 kV do 220 kV vrátane [9]. V ochrannom pásme je zakázané bez súhlasu vlastníka vedenia zriaďovať stavby alebo umiestňovať iné konštrukcie.

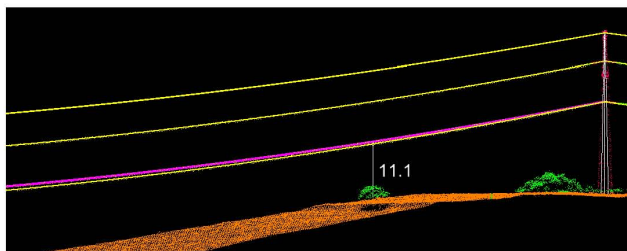
Po zadefinovaní minimálnej povolenej vzdialenosti cudzích objektov od vedenia systém automaticky vyhľadá všetky miesta, kde sa nachádzajú body zasahujúce do zvoleného ochranného priestoru. Tento stav je možné využiť na kontrolu,

či nedochádza k nebezpečnému priblíženiu sa cudzích objektov k vodičom vedenia, napr. vegetácie. 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 odlišiť. Výsledný zoznam identifikovaných problémov je možné exportovať do súboru.

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

KONTROLA PRIEHYBU VODIČOV

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 (obrázok 6).



Obrázok 6 – Automatické vyhľadanie a zakótovanie miesta s minimálnou výškou vodiča nad terénom

Distribučné spoločnosti majú väčšinou predstavu v ktorých oblastiach sú vedenia z hľadiska sledovaného kritéria ohrozené. Kontrola priehybu vodiča a určenie minimálnej výšky nad zemou predstavujú reálne údaje, ktoré umožňujú sledovať, či poloha vodiča zodpovedá požiadavkám normy, kde je povedané v akej výške nad zemou v závislosti od napätovej hladiny vedenia a typu terénu (poľnohospodárska pôda, dopravné komunikácie, ihriská, rieky,...) sa musí najnižší bod vodiča nachádzať [1].

Pre sledovanie reálneho vplyvu teploty na priehyb vodiča a zistenie jeho výšky nad zemou by však bolo nutné skenovanie tej istej oblasti vykonávať viackrát do roka, aby boli zaznamenané situácie v súlade s rozsahom teplôt uvedených v montážnej tabuľke (tabuľka 1) a následne tieto rôzne stavy bolo možné porovnať. To znamená, že by sa malo nalietavať pri mínusových teplotách, okolo $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$, ale predovšetkým v situácii, keď je $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ teplota okolia za súčasnej námrazy na vedení a potom pri najvyšších možných teplotách okolia, kde teória hovorí o $+40\text{ }^{\circ}\text{C}$. Jedna z týchto situácií je rozhodujúca

z hľadiska najväčšieho priehybu na vedení a teda najnižšie položené bodu vodiča. Pri všetkých ostatných teplotách je priehyb vodiča menší.

Taktiež v súlade s uvedenou teóriou ohľadne starnutia vodičov a tým zväčšovania ich priehybu by bolo vhodné robiť porovnávacie merania, avšak s väčším časovým odstupom ako je sledovanie počas rôznych ročných období – zima, leto. V tomto prípade by bolo vhodné uprednostniť vedenia na hranici ich životnosti, čo je 30-40 rokov a viac a opakovane každý rok za podobných klimatických podmienok (napr. teploty okolo $+30\text{ }^{\circ}\text{C}$ a viac v okolí vodiča) alebo aj menej často v závislosti od stavu vedenia skenovať polohu najnižšie položeného pracovného vodiča týchto trojfázových vedení a v prípade potreby, čiže nedodržania normou požadovaných hodnôt potom prijať opatrenia na vyriešenie problému niektorým z uvedených spôsobov.

RIEŠENIA PRE ZABEZPEČENIE DOSTATOČNEJ VÝŠKY VODIČOV NAD TERÉNOM

V praxi existuje viacero spôsobov ako je možné pri jestvujúcich vonkajších elektrických vedeniach s pôvodnými pred mnohými rokmi inštalovanými fázovými vodičmi dosiahnuť požadovanú výšku vodičov nad terénom v súlade s požiadavkami normy [1]. Pri výbere riešenia je nevyhnutné vždy zohľadniť všetky možné vplyvy, ktoré môžu ovplyvniť spoľahlivosť a bezpečnú prevádzku zariadenia. Treba zhodnotiť technický stav ocelevej konštrukcie stožiarov, typ izolácie a stav (fyzické opotrebovanie) fázových vodičov.

Pri vedeniach v prevádzke viac ako tridsať rokov je nanajvýš pravdepodobné zistenie, že mechanické namáhanie v kotevnom úseku je nižšie ako pôvodné projektované namáhanie, a preto je potrebné prepočítať montážne tabuľky a zistiť rozdiel. Pokiaľ by sa zistil napr. leteckým skenovaním problém s výškou vodiča nad zemou, bolo by možné riešiť problém napr. vyregulovaním fázových vodičov, to znamená, že by došlo k dodatočnému napnutiu dotknutých vodičov v danom kotevnom úseku podľa prepočítanej montážnej tabuľky. Samozrejme len vtedy, pokiaľ to dovoľia ostatné rozhodujúce prvky na vedení ako napr. kotevné svorky. Pri napínaní nesmie dôjsť k pretrhnutiu vodičov, nesmie povoliť konštrukcia stožiara, či jeho základová doska.

Ďalšou možnosťou je výmena nosných izolátorových reťazcov za polokotevné závesy, ktoré spôsobia celkové skrátenie dĺžky izolátora a následne je vodič na celom rozpätí vo výške o tento rozdiel vyššej. Ďalej je možné nainštalovať prizmatické závesy na nosné stožiare alebo použiť vodiče s inými mechanickými vlastnosťami ako boli pôvodné, tzv. nízkorozťažné vodiče, na priehyb ktorých oveľa menej vplýva teplota, a teda aj maximálny priehyb na tom istom rozpätí je menší. Môžu sa zvýšiť stožiare dotknutého rozpätia vložením ďalších výškových dielov do pôvodnej konštrukcie stožiarov.

Výber odporúčaného riešenia je potom realizovaný na základe technicko-ekonomického zhodnotenia celého postupu riešenia problému.

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. V článku je ukázaná využiteľnosť systému Harrier 68i integrovaného do PA-34 pre účely určovania výšky vodičov vedení rôznych napäťových hladín nad zemou, najbližšieho okolia vodičov a ich ochranných pásiem. Možnosti a kvalita automatických funkcií modulu TerraScan zameraných na monitoring vedení sú pre tento účel dostatočné. Taktiež kvalita výstupných dát, najmä získavaná hustota bodov je vyhovujúca.

Pomocou priebežného sledovania polohy vodičov, konkrétne dodržania ochranného pásma, predovšetkým však sledovania či sa v najbližšom okolí vodičov nevyskytujú žiadne porasty alebo stavby, ktoré by sa mohli nebezpečne priblížiť k vodičom a tiež bezpečnej výšky nad zemou je možné predchádzať vzniku situácií nebezpečných pre človeka nachádzajúceho sa v blízkosti týchto elektrických vedení, ako aj zamedzeniu poruchových stavov na vedeniach, ktoré vedú k finančným stratám v súvislosti s fyzickým poškodením vedení, alebo s nedodávkou elektrickej energie odberateľom.

POĎAKOVANIE

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

LITERATÚRA

- [1] STN EN 50341-1 (33 3300): 2006. Vonkajšie elektrické vedenia so striedavým napätím nad 45 kV. Časť 1: Všeobecné požiadavky. Spoločné špecifikácie.
- [2] OTČENÁŠOVÁ, A.: Mechanika vonkajších silových vedení, EDIS, Žilinská univerzita v Žiline, 2010, ISBN 978-80-554-0181-2, 245 strán.
- [3] THE SANBORN MAP COMPANY, Inc. Electric transmission corridor mapping. [online]. Colorado springs: USA, 2010. [cit: 2014-16-01]. Dostupné na internete: http://www.forestportal.sk/SitePages/projekt/doc/SANBORN_electricity_transmission.pdf.
- [4] HÖGER, M., HOLUBEC, M., OTČENÁŠOVÁ, A., SZABOVÁ, M.: Overenie možností mapovania koridorov vonkajších elektrických vedení leteckým lidarom v podmienkach SR, sympóziu GIS Ostrava, 27. – 29. 1. 2014.
- [5] HARRAP, R., LATO, M.: An Overview of LIDAR: collection to applications, 2010.
- [6] Z. LI a et al.: Toward automated power line corridor monitoring using advanced aircraft control and multisource feature fusion, Journal of Field Robotics, zv. 29, 1. vyd., p. 4–24, 2012.
- [7] SOHN, G., JWA, Y., KIM, H. B.: Automatic powerline scene classification and reconstruction using airborne lidar data, ISPRS Annals of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Zv. I-3, 21. 8. – 1. 9. 2012, pp. 167-172, 2012, Melbourne, Austrália
- [8] BOBÁL, P., HOLUBEC, M.: Základné princípy Lidar a možnosti jeho využitia, Zborník z konferencie INAIR, 2013.
- [9] Zákon o energetike, Zákon NR SR 251/2012 Z. z., § 43.