

Joanna JANICKA<sup>1</sup>  
Wioleta BŁASZCZAK-BĄK<sup>2</sup>  
Anna SOBIERAJ<sup>3</sup>

## PORÓWNANIE POMIARÓW Z INWENTARYZACJI LINII WYSOKIEGO NAPIĘCIA ZA POMOCĄ LOTNICZEGO SKANINGU LASEROWEGO ORAZ TACHIMETRII

Inwentaryzację linii energetycznych można przeprowadzić korzystając ze wsparcia lotniczego skaningu laserowego oraz innych technologii takich jak metody klasyczne czy GPS. Metody te wymagają innego nakładu finansowego, sprzętu i liczby osób opracowujących dane. W pracy porównano wyniki pomiarów inwentaryzacji linii elektroenergetycznych wysokiego napięcia 110 kV relacji Modzyszyn-Tczew.

**Słowa kluczowe:** skaningu laserowy, technologia GPS, tachimetria, inwentaryzacja linii elektroenergetycznych

### 1. Wprowadzenie

Głównym, nadrzędnym celem inwentaryzacji linii elektroenergetycznych jest poprawa bezpieczeństwa energetycznej sieci oraz zwiększenie efektywności ekonomicznej inwentaryzacji. Opracowano wiele metod monitoringu linii napowietrznych, wśród nich można wyróżnić monitoring naciągu i zwisu przewodów, a także monitoring stanu elementów konstrukcyjnych przewodów i słupów [6], [7]. Monitoring może polegać na wykonywaniu inwentaryzacji sieci elektrycznych w określonych w przepisach odstępach czasowych.

---

<sup>1</sup> Autor do korespondencji: Joanna Janicka Instytut Geodezji, UWM Olsztyn ul. Oczapowskiego 1, 89 523-42-04, joannasuwm@gmail.com

<sup>2</sup> Wioleta Błaszczak-Bąk Instytut Geodezji, UWM Olsztyn ul. Oczapowskiego 1, [wioleta.blaszczak@uwm.edu.pl](mailto:wioleta.blaszczak@uwm.edu.pl)

<sup>3</sup> Anna Sobieraj, Katedra Geodezji, Politechnika Gdańska, [anna.sobieraj@wilis.pg.gda.pl](mailto:anna.sobieraj@wilis.pg.gda.pl)

Inwentaryzacja ma na celu [1]:

- pomiar odkształceń słupów (w tym pylonów) energetycznych,
- ocenę postępu deformacji morfologicznych terenu w okolicy linii energetycznej w celu określenia ich wpływu na przyszłe odkształcenia instalacji,
- określenie naciągu oraz ryzyka zerwania kabli energetycznych na podstawie oceny zwisu,
- badanie ekspansji pokrywy roślinnej w celu zapobiegania ewentualnym kolizjom z liniami energetycznymi,
- planowanie miejsc budowy nowych linii energetycznych.

Inwentaryzację można wykonać przy wykorzystaniu zaawansowanych technologii pomiarowych takich jak LiDAR (LightDetection and Ranging), GPS (Global Positioning System) lub metod klasycznych. Do inwentaryzacji można wykorzystać zarówno technologię lotniczego skaningu laserowego (Airborne Laser Scanning, ALS) jak również naziemnego skaningu laserowego (Terrestrial Laser Scanning, TLS). W literaturze można spotkać się z wieloma opracowaniami na ten temat np. [3], [4], [5]. W pracy zaprezentowano i porównano wyniki przeprowadzonej inwentaryzacji metodami ALS i GPS.

## **2. Pomiary inwentaryzacyjne z wykorzystaniem technologii ALS, GPS oraz tachimetrii**

Inwentaryzację linii energetycznych można wykonać wykorzystując między innymi technologię GPS RTK. W oparciu o dotychczasowe doświadczenia można stwierdzić, że metoda ta posiada wiele zalet, między innymi:

- dużą dokładność pomiaru sytuacyjnego (wykorzystując zestaw GPS można uzyskać dokładność do 10 cm. W przypadku linii zlokalizowanych na terenach wiejskich, jest to dokładność w wielu wypadkach przewyższająca dokładność komputerowych map.),
- pomiar linii energetycznych może odbywać się z jednoczesną wizją terenową, co ma wpływ na wiarygodność danych, a także dokładnie określa stan sieci i temperaturę otoczenia w momencie jej pomiaru),
- łatwość pomiaru,
- dużą wydajność (zastosowanie pojedynczego zestawu GPS pozwala w ciągu roku zinwentaryzować ponad 300 km linii niskiego napięcia.),
- niski koszt pomiarów (przystępna cena instrumentu, a także pomiar z jednoczesną wizją terenową obniżają koszt wykonywanej usługi).

Inną technologią możliwą do zastosowania w pomiarach inwentaryzacyjnych napowietrznych sieci energetycznych jest lotniczy skaningu laserowy (ALS). Technologia ta ma wiele istotnych zalet, które sprawiają, że ALS wykorzystywany jest do pomiaru linii energetycznych. Można wśród nich wyróżnić następujące elementy:

- pomiar jest całkowicie niezależny od warunków oświetleniowych,
- pomiar jest możliwy nawet przy pełnym zachmurzeniu, o ile podstawa chmur jest wyższa od wysokości lotu. Tylko silny deszcz i mgła, tj. warunki ograniczające penetrację promienia laserowego, stanowią przeszkodę. Oznacza to, że w naszych warunkach klimatycznych prawie połowa dni w roku nadaje się do wykonywania pomiarów,
- możliwość przenikania przez warstwę roślinności. Przy dużej gęstości próbkowania jest stosunkowo łatwo (na etapie obróbki danych) odróżnić i wyeliminować odbicia od koron drzew od odbić od gruntu. Właściwość ta czyni technologię skaningu laserowego przydatną na obszarach zalesionych, a tam przecież często biegną linie energetyczne,
- inwentaryzację połączoną z inspekcją linii elektroenergetycznych wykonujemy podczas jednego oblotu. Pozwala to w krótkim czasie pozyskać wyniki pomiarów.

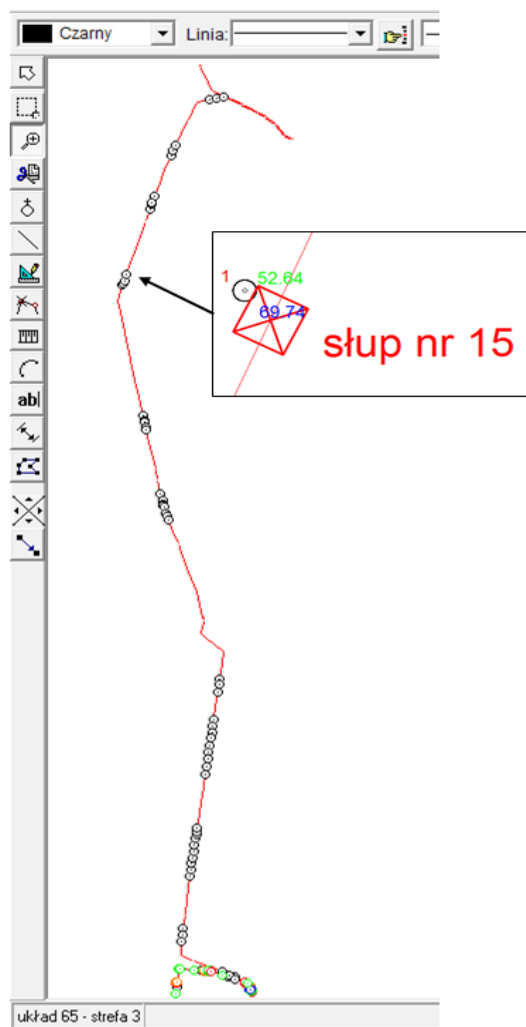
Pomimo wielu zalet metoda ta ma jednak pewne wady. Po pierwsze trudniej jest jednak niż w przypadku GPS opracować dane z uwagi na ich ogromną ilość oraz stosunkowo wysoki koszt samej aparatury i usługi.

### 3. Charakterystyka obiektu

W celu przeprowadzenia badań i analiz wykorzystano wyniki z pomiaru linii energetycznych wysokiego napięcia 110 kV relacji GPZ (Główny Punkt Zasilania) Modzyszyn-Tczew udostępnione przez firmę Energa S.A. Pomiarzy wykonała firma GEO-BAK Usługi Geodezyjno-Kartograficzne. W pomiarach uczestniczyli również autorzy publikacji. Do wykonania pomiarów wykorzystano sprzęt GPS Leica Viva Net-Rover o dokładności pomiarów poziomych do  $\pm 5$  cm oraz wysokościowych do  $\pm 10$  cm. Pomiar wykonywano z wykorzystaniem strumienia poprawek ze stacji referencyjnych ASG EUPOS. Natomiast pomiary ALS wykonała firma Visimind.

Na rys. 1 zaprezentowano przebieg inwentaryzowanej linii.





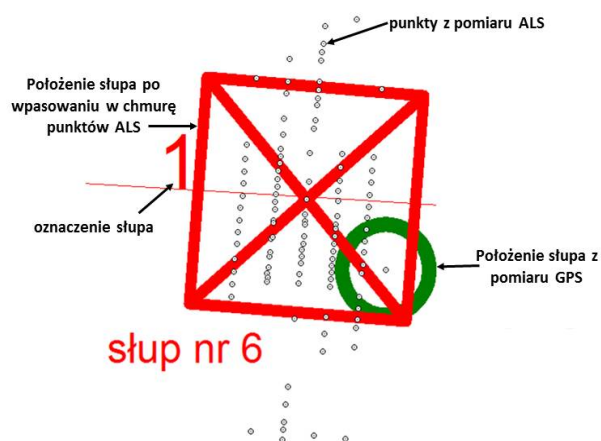
Rys. 1. Przebieg linii energetycznej wysokiego napięcia pomierzonej techniką ALS i GPS.

Fig. 1. The course of high-voltage power line measured using ALS and GPS technology.

#### 4. Badania

Przedmiotem badań jest zaprezentowanie wyników pomiaru słupów energetycznych, których położenie sytuacyjne określano z zastosowaniem technologii lotniczego skaningu laserowego oraz wyników otrzymanych przy zastosowaniu metody GPS RTK oraz wyników pomiarów wysokościowych uzyskanych ze skaningu lotniczego i z pomiaru klasycznego z wykorzystaniem dalmierza.

Na rys. 2 przedstawiono fragment wyników pomiaru dwoma metodami.



Rys. 2. Wyniki pomiarów słupa energetycznego wykonanych technologią ALS i GPS

Fig. 2. The powerline pole measured using GPS technology ALS



Rys. 3. Przykład fundamentu słupa energetycznego wysokiego napięcia 110 kV

Fig. 3 Example of the Energy pole basement.

Wynikiem pomiaru słupów linii energetycznych z wykorzystaniem ALS jest zbiór punktów. Zbiór tworzony jest po wykonanej klasyfikacji chmury punktów. Należy podkreślić, że każdy słup reprezentowany jest przez inny układ różnej liczby punktów. Spośród nich wybierany jest jeden punkt, który będzie reprezentował słup. W niniejszej publikacji jest to punkt wybrany metodą wyznaczenia środka ciężkości figury, którą definiują skrajne punkty należące do słupa.

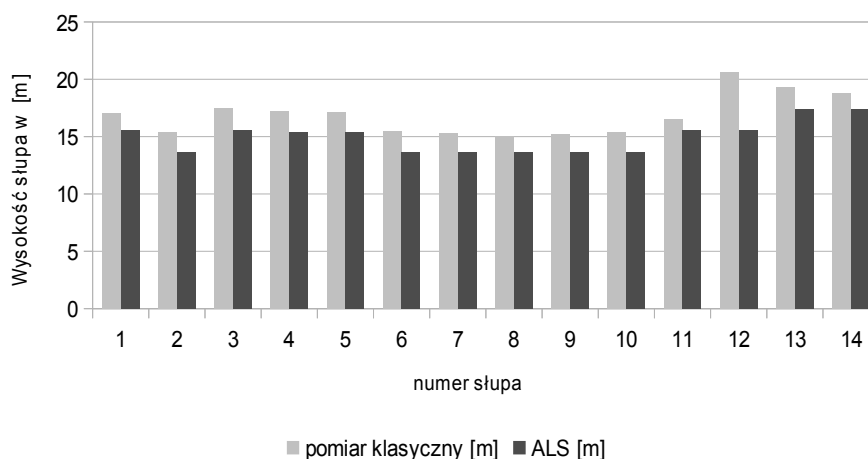
Wynikiem pomiaru GPS jest jeden punkt terenowy. Biorąc pod uwagę konstrukcję słupa pomiar GPS RTK wykonywany był przy słupie. Zastosowanie dwóch różnych metod pomiaru daje nam wyniki w postaci dwóch różnych punktów, które mogą reprezentować słup. Należy tu podkreślić, że do celów inwentaryzacji linii wysokiego napięcia określenie położenia (sytuacyjnego) słupa może być wykonane z dokładnością nawet do 1m, ponieważ celem inwentaryzacji jest sprawdzenie stanu technicznego słupa, a nie jego bardzo dokładna lokalizacja, co jest istotne np. w procesie tworzenia mapy sytuacyjno-wysokościowej do celów projektowych. Inwentaryzacja linii powinna obejmować min. pomiar wysokości słupów, długości przęseł oraz zwisów przewodów.

W pracy porównywana będzie wysokość słupów wyznaczona dwiema metodami pomiaru rozumiana jako odległość pomiędzy rzędną terenu, a rzędną pierwszego izolatora na słupie.

Pomiary przeprowadzone na linii wysokiego napięcia pomiędzy Modzysznem, a Tczewem pozwoliły porównać otrzymane wysokości słupów. Do analiz wybrano fragmenty pomiaru: Polmo-Subkowy, Subkowy-Lignowy i Lignowy-Majewo. Na odcinku Polmo-Subkowy znajdują się 54 słupy energetyczne. Wszystkie z nich pomierzono z wykorzystaniem lotniczego skaningu laserowego, natomiast 12 słupów pomierzono klasycznie.

Wyznaczone wartości wysokości słupów na odcinku Polmo-Subkowy z obu metod pomiaru, a także różnice wysokości zestawiono w tabeli 1. Następnie różnice te zobrazowane zostały na rys. 4.

Wysokości słupów na odcinku Polmo-Subkowy



Rys. 4. Wykres wysokości słupów na odcinku Polmo-Subkowy.

Fig. 4. The heights of the powerline poles (section Polmo-Subkowy).

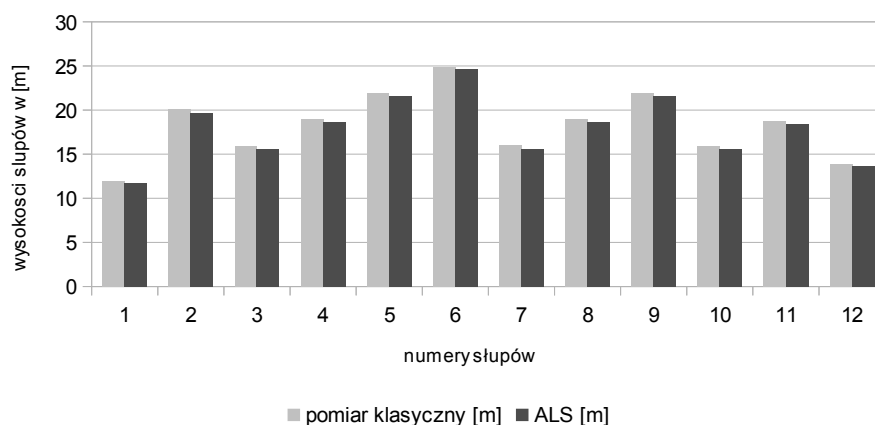
Tabela 1: Wysokości słupów linii elektroenergetycznych (odcinek Polmo-Subkowy)

Table 1: The heights of the powerline poles (section Polmo-Subkowy).

| Wysokość słupa linii elektroenergetycznej |                      |         |             |
|---|----------------------|---------|-------------|
| nr słupa                                  | Pomiar klasyczny [m] | ALS [m] | różnica [m] |
| 1   | 16,00                | 15,60   | 0,40        |
| 2   | 13,90                | 13,60   | 0,30        |
| 3   | 16,00                | 15,60   | 0,40        |
| 4   | 15,80                | 15,40   | 0,40        |
| 5   | 15,72                | 15,40   | 0,32        |
| 6   | 13,96                | 13,60   | 0,36        |
| 7   | 14,00                | 13,60   | 0,40        |
| 8   | 14,00                | 13,60   | 0,40        |
| 9   | 13,95                | 13,60   | 0,35        |
| 10  | 14,00                | 13,60   | 0,40        |
| 11  | 16,04                | 15,60   | 0,44        |
| 12  | 15,90                | 15,60   | 0,30        |
| 13  | 17,80                | 17,40   | 0,40        |
| 14  | 17,80                | 17,40   | 0,40        |

Na podstawie rys. 4 i tabeli 1 można zaobserwować, że otrzymane różnice wysokości pomiędzy wynikami otrzymanymi na podstawie pomiarów klasycznych i ALS są rzędu około 0,2-0,4 m. Różnice, które występują w dość systematyczny sposób pomiędzy wyznaczonymi wysokościami mogą wynikać z nieuwzględnienia wysokości fundamentów (rys 3), na których posadowione są słupy energetyczne. Skanowanie lotnicze obejmuje szerszy obszar, z którego wybierane są punkty reprezentujące słup energetyczny. Podczas pomiarów klasycznych wybierany jest konkretny punkt, a sygnał na który wykonywany jest pomiar stoi zazwyczaj przy samym słupie, a zatem na fundamencie. W tabeli 2 przedstawiono wysokości słupów energetycznych z pomiaru wykonanego na odcinku Subkowy-Lignowy. Następnie zobrazowano je na rys. 5. Fragment ten obejmował 34 słupy, spośród których tylko dla 12 możliwy był pomiar.

## Wysokości słupów na odcinku Subkowy-Lignowy



Rys. 5. Wykres wysokości słupów na odcinku Subkowy-Lignowy

Fig. 5. The heights of the powerline poles (section Subkowy-Lignowy).

Tabela 2: Wysokości słupów energetycznych (odcinek Subkowy-Lignowy).

Table 2 The heights of the powerline poles (section Subkowy-Lignowy).

| Wysokość słupa linii elektroenergetycznej |                      |         |             |
|---|----------------------|---------|-------------|
| nr słupa                                  | Pomiar klasyczny [m] | ALS [m] | różnica [m] |
| 1   | 12,00                | 11,70   | 0,30        |
| 2   | 20,10                | 19,70   | 0,40        |
| 3   | 15,95                | 15,60   | 0,35        |
| 4   | 18,93                | 18,60   | 0,33        |
| 5   | 21,90                | 21,60   | 0,30        |
| 6   | 24,90                | 24,60   | 0,30        |
| 7   | 16,00                | 15,60   | 0,40        |
| 8   | 19,00                | 18,60   | 0,40        |
| 9   | 21,95                | 21,60   | 0,35        |
| 10  | 15,90                | 15,60   | 0,30        |
| 11  | 18,77                | 18,40   | 0,37        |
| 12  | 13,90                | 13,60   | 0,30        |

Analizując rys. 5 i tabelę 2 można stwierdzić, że na tym fragmencie podanym inwentaryzacji również otrzymano różnice około 0,3-0,7 m. Ostatnim fragmentem, na którym wykonano pomiary klasyczne i ALS był odcinek Li-



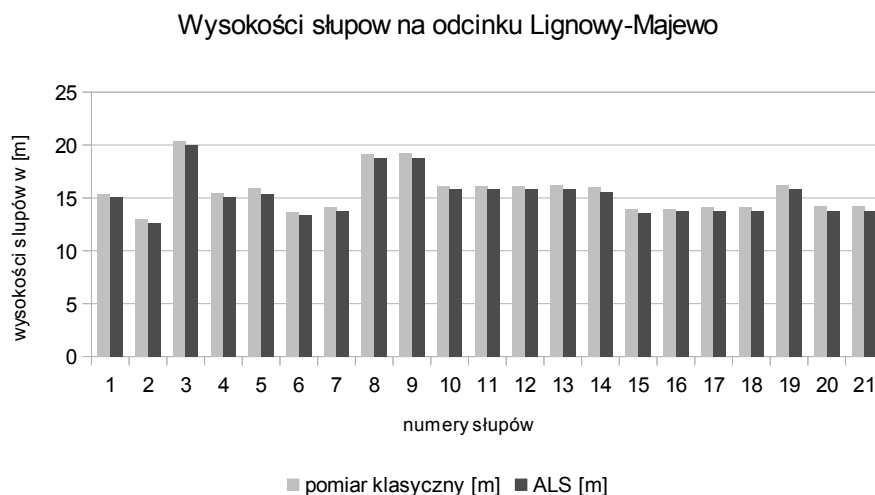


gnowy - Majewo. Fragment ten obejmował 56 słupów, z których pomiarem klasycznym objętych zostało 21 słupów. W tabeli 3 zaprezentowano wyniki z obliczonymi wysokościami słupów, a na rys. 6 zobrazowano różnice między otrzymanymi wysokościami słupów.

Tabela 3: Wysokości słupów energetycznych (odcinek Lignowy-Majewo).

Table 3: The heights of the powerline poles (section Lignowy-Majewo).

| Wysokość słupa linii elektroenergetycznej |                      |         |             |
|---|----------------------|---------|-------------|
| nr słupa                                  | Pomiar klasyczny [m] | ALS [m] | różnica [m] |
| 1   | 15,35                | 15,10   | 0,25        |
| 2   | 12,97                | 12,60   | 0,37        |
| 3   | 20,35                | 20,00   | 0,35        |
| 4   | 15,46                | 15,10   | 0,36        |
| 5   | 15,89                | 15,40   | 0,49        |
| 6   | 13,65                | 13,40   | 0,25        |
| 7   | 14,17                | 13,80   | 0,37        |
| 8   | 19,15                | 18,80   | 0,35        |
| 9   | 19,20                | 18,80   | 0,40        |
| 10  | 16,10                | 15,80   | 0,30        |
| 11  | 16,10                | 15,80   | 0,30        |
| 12  | 16,10                | 15,80   | 0,30        |
| 13  | 16,23                | 15,80   | 0,43        |
| 14  | 16,00                | 15,60   | 0,40        |
| 15  | 13,98                | 13,60   | 0,38        |
| 16  | 13,95                | 13,80   | 0,15        |
| 17  | 14,15                | 13,80   | 0,35        |
| 18  | 14,15                | 13,80   | 0,35        |
| 19  | 16,20                | 15,80   | 0,40        |
| 20  | 14,20                | 13,80   | 0,40        |
| 21  | 14,20                | 13,80   | 0,40        |



Rys. 6. Wykres wysokości słupów na odcinku Lignowy-Majewo.

Fig. 6. The heights of the powerline poles (section Lignowy-Majewo)

Na odcinku Lignowy-Majewo można zauważyć, że sytuacja powtarza się. Otrzymane wyniki z obu metod różnią się o około 0,15 do 0,70 m.

## 5. Wnioski

Analizując wyniki zawarte w tabeli 1, tabeli 2 i tabeli 3 zaobserwowano, że wysokości słupów otrzymane z pomiarów klasycznych i ALS różnią się. Zaprezentowane wyniki porównania pomiaru ALS z pomiarem klasycznym pokazują rozbieżności w dokładności wyznaczenia wysokości słupów w obu metodach. Różnice mogą wynikać między innymi z następujących faktów:

1. Pomiar klasyczny jest wykonywany obok słupa, a z pomiaru ALS wybierany jest jeden punkt, który reprezentuje środek słupa.
2. Błędy wynikające z klasyfikacji chmury punktów. Punkty obrazujące słup wybierane są na podstawie algorytmów automatycznej klasyfikacji, następnie przeprowadzana jest klasyfikacja manualna.
3. Wysokość posadowienia słupa w metodzie ALS wyznaczana jest na podstawie punktów klasyfikowanych jako terenowe. U podstawy słupów rośnie zazwyczaj roślinność. Zakrzaczenia śródpolne i przydrożne i wysoka trawa mogą powodować błędne wyznaczenie rzędnej terenowej.
4. Błędy wynikające z metody identyfikacji jednego punktu z chmury punktów obrazujących słup.



5. Nie ma pewności, że wybrany punkt reprezentujący słup energetyczny z pomiaru ALS ma pomierzoną wysokość do pierwszego przęsła. W metodzie klasycznej pomiar wykonuje się do pierwszego izolatora. W trakcie pomiaru linii energetycznych ważna jest temperatura powietrza, natężenie prądu płynącego w przewodach. Ma to wpływ na strzałkę ugięcia przewodu i może powodować duże różnice w pomiarze wysokości do przęsła.

Obie technologie pomiarowe mogą być wykorzystywane do inwentaryzacji linii energetycznych. ALS jest pomiarem szybszym i tańszym w przypadku dużego obszaru opracowania. ALS szybko pozyskuje dane pomiarowe, ale jest kłopot z opracowaniem dużych zbiorów danych, dlatego przetwarzanie tych danych jest bardzo czasochłonne, wymaga odpowiedniego, drogiego oprogramowania i wielu osób opracowujących pomiar. W podejściu klasycznym jest odwrotnie. Dużo czasu i pracy potrzebne jest do wykonania samego pomiaru, natomiast krótszy jest czas i mniej pracochłonne jest opracowanie danych. Ze względu na dokładność lepszy jest pomiar klasyczny. Dlatego przeważnie przyjmuje się, że pomiar ALS wykonywany jest na całym obszarze opracowania, natomiast pomiar klasyczny z wykorzystaniem tachimetru wykonuje się kontrolnie na wybranych słupach, a także w miejscach gdzie linia energetyczna: przebiega nad wodą (problem z wyznaczeniem przebiegu przęsła), lasem (problem z określeniem wysokości terenowych i odległości przęsła do terenu. Podstawą do podejmowania decyzji odnośnie zakresu modernizacji/przebudowy linii elektroenergetycznych lub ich poszczególnych elementów jest audyt. Dla tych celów zalecana/wymagana jest dokładność znacznie wyższa niż otrzymana w wyniku pomiaru prezentowanymi metodami. Zatem, jeżeli w wyniku inwentaryzacji wykonanej za pomocą technologii ALS okaże się, że linia elektroenergetyczna wymaga dokładniejszych analiz wówczas cała trasa przebiegu linii powinna być pomierzona metodami klasycznymi.

## Literatura

- [1] Bartodziej G., Tomaszewski M.: Polityka energetyczna i bezpieczeństwo energetyczne, Wydawnictwo Federacji Stowarzyszeń Naukow-Technicznych Energetyka i Środowisko, 2008.
- [2] Baltsavias E.P.: Airborne laser scanning: basic relations and formulas, ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, tom. 54, wydanie 2-3, 1999, s. 199-214 Wydanie II. Warszawa.
- [3] Graniczny M., Kamiński M., Piątkowska A., Surała M.: Wykorzystanie lotniczego skaningu laserowego do inwentaryzacji i monitoringu osuwiska w rejonie Łańnicy (gmina Lanckorona), Pogórze Wielickie, Karpaty zewnętrzne. Przegląd Geologiczny, vol. 60, nr 2, 2012.



- [4] Jwa Y., Sohn G., Kim H. B.: Automatic 3D power line reconstruction using Airborne Laser Scanning. Laser scanning 2009, IAPRS, Vol. XXXVIII, Part 3/W8 , 2009, Paris, France, September 1-2.
- [5] Pfeifer N, Höfle B, Briese C, Rutzinger M, Haring A.: Analysis of the backscattered energy in terrestrial laser scanning data. International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences vol 37 (Part B5), p.1363–1368, 2008.
- [6] Tomaszewski M., Krawiec M.: Przegląd wybranych metod monitoringu napowietrznych linii elektroenergetycznych, 2012
- [7] Zator S., Michalski P.: Możliwości wykorzystania naziemnego skaningu laserowego w diagnostyce linii energetycznych, 2012

### **THE COMPARISON OF MEASUREMENTS HIGH VOLTAGE POWER LINES WITH AIRBORNE LASER SCANNING AIR AND TACHOMETRY**

#### **S u m m a r y**

The inventory of power lines can be performed using technology ALS and another technologies such as classical methods or GPS. These methods require a different financial effort, equipment and the number of people developing the data. The study compared the results of measurements of inventory of the high voltage power line between two objects Modzyszyn and Tczew.

**Keywords:** inventory, power lines, ALS, tachometry

*Przesłano do redakcji: 30.05.2015*

*Przyjęto do druku: 10.01.2016*

DOI: 10.7862/rb.2015.185