

Lotnicze skanery jednofotonowe i skanery Geigera kontra skanery wielofotonowe, cz. II

Doświadczenia produkcyjne

Zaawansowane technologicznie skanery kosztują obecnie miliony dolarów, a opracowanie surowych danych stanowi barierę dla większości użytkowników. Dlatego już myśli się o nowych modelach biznesowych, które umożliwią potencjalnym klientom dostęp do danych w rozsądnej cenie.



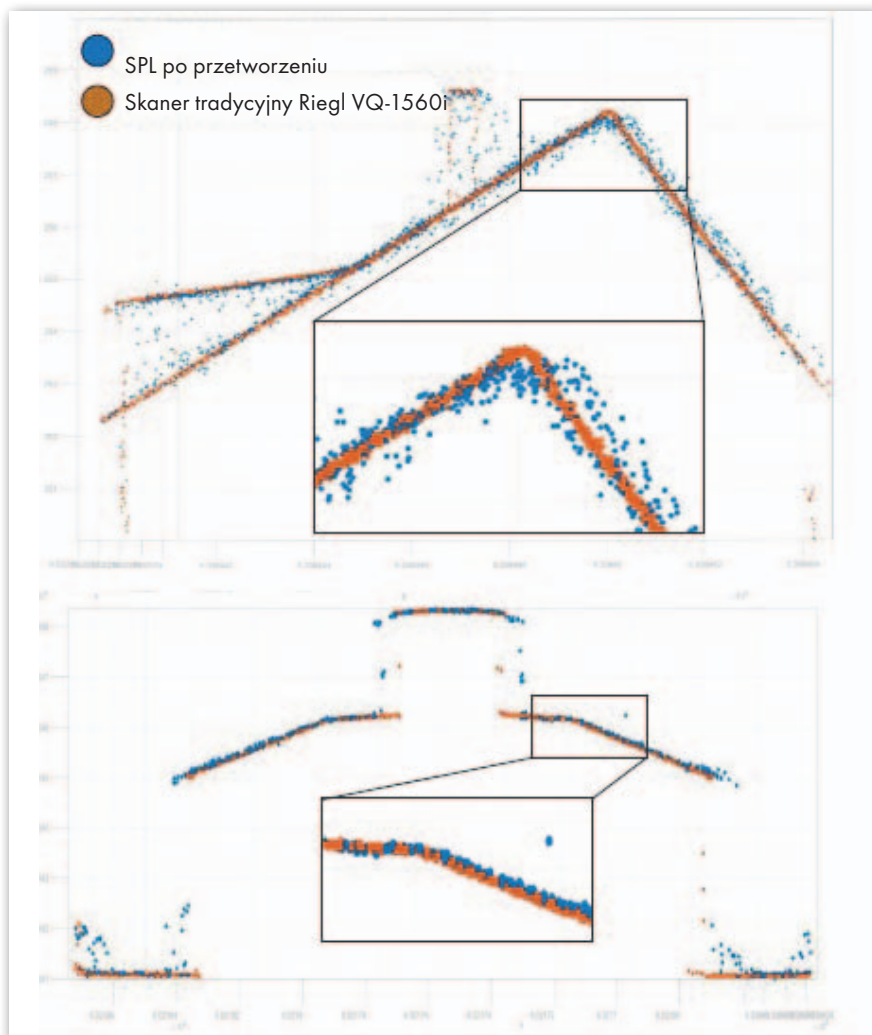
Rys. 1. Porównanie obrazów intensywności [Leusink, 2019]

Zdzisław Kurczyński

Zainteresowanie skanerami jednofotonowymi i skanerami Geigera [część I artykułu w GEODECIE 9/2019 – red.] jest duże, choć na razie trudno mówić o bogatym doświadczeniu produkcyjnym. Pojawia się sporo publikacji i wystąpień konferencyjnych, w tym autorstwa twórców tych nowych technologii. Na rynku komercyjnym jest obecnie dostępny skaner jednofotonowy SPL100 dystrybuowany przez firmę Leica Geosystems, a wyprodukowany przez Sigma Space Corporation jako HRQLS-2 (szczegóły techniczne w I części artykułu). W Europie jeden skaner SPL100 działa już produkcyjnie w duńskiej firmie COWI, a na rynku północnoamerykańskim operuje skaner Geigera jako usługa oferowana przez producenta, firmę Harris IntelliEarth [Mandlbürger i inni, 2019].

Duże firmy i organizacje branży geoinformacyjnej realizują pionierskie projekty obliczone bardziej na testowanie nowej technologii niż rutynową produkcję. Można już jednak pokusić się o wstępne oceny. Autorzy prac badawczych zwykle ogniskują swoje zainteresowania na wybranych zagadnieniach:

- gęstości punktów skanerowych,
- wydajności skanowania,
- penetracji roślinności i detekcji powierzchni gruntu poniżej,



Rys. 2. Przekroje przez chmury punktów, obszar zabudowany. Porównanie precyzji odwzorowania płaszczyzny dachu [Mandlbürger, 2019]

- penetracji zbiorników wodnych (dla SPL pracującego w zakresie zielonym),
- występowaniu martwych pól,
- przetwarzaniu wstępnym surowych danych, w tym filtracji szumów,
- dokładności geometrycznej rekonstrukcji obiektu.

Wyniki użycia nowych technik są konfrontowane z wynikami najlepszych skanerów tradycyjnych lub istniejącymi bazami danych. USGS (Służba Geologiczna USA) ustanowiła 4 standardy dla techniki LiDAR określane jako QL (poziom jakości, Quality Level): od QL0 (najwyższy) do QL3. Standardy te definiują m.in. wymaganą gęstość, precyzję rozumianą jako powtarzalność wysokości na gładkiej poziomej powierzchni, różnice wysokości w pasie pokrycia poprzecznego oraz błąd średni wysokości w obszarach z roślinnością i bez niej.

Na podstawie zebranych doświadczeń Ron Roth (kierownik produkcji firmy Leica Geosystems, dystrybutora skanera SPL100) konkluduje, że technologia SPL spełnia standard QL1 (gęstość ≥ 8 pkt/m kw. i błąd średni wysokości

≤ 10 cm). SPL nie może zastąpić tradycyjnej technologii w zakresie standardu QL0 wymagającego błędu średniego wysokości ≤ 5 cm i precyzji ≤ 3 cm [Stoker, 2018].

Gottfried Mandlbürger (pracownik naukowy Uniwersytetu Technicznego w Wiedniu) przytacza doświadczenia z pilotażowego opracowania danych pozyskanych skanerem jednofotonowym SPL100 w terenie miejskim [Mandlbürger, 2019; Mandlbürger i inni, 2019]. Podczas nalotu zrealizowanego w lipcu 2018 r. z wysokości 4000 m wykonano 10 szeregów z pokryciem poprzecznym 50% i gęstością 20 pkt/m kw. Nalot powtórzono we wrześniu 2018 r. ze skanerem VQ-1560i (Riegl). Z wysokości 750 m wykonano 18 szeregów z pokryciem poprzecznym 50% i gęstością nominalną 20 pkt/m kw. Z porównania wynika:

1. SPL działa z wysokiego pułapu, co daje szersze szeregi i ogranicza ich liczbę na obiekcie. Oznacza to większą wydajność przy porównywalnej gęstości punktów.

2. Skaner tradycyjny z analizą pełnego kształtu fali powracającej (FWF) daje

ostrzejsze kontury obiektów topograficznych i budynków (rys. 2) oraz bardziej wiarygodny pomiar energii powracającego sygnału. W połączeniu z kalibracją skanera daje to wiarygodny pomiar odbicia obiektów.

Występujące rozbieżności na ostrych konturach (np. krawędzie dachów) sygnalizują również inni autorzy. Te rozbieżności rosną wraz z wysokością lotu, co sugeruje, że ich przyczyną mogą być niedokładności pomiaru kątów nachylenia platformy w locie (błędy IMU).

3. Penetracja roślinności przy pełnej roślinności (liście na drzewach) w przypadku SPL jest możliwa, ale ograniczona. Analiza pełnego kształtu fali (FWF) w tradycyjnym skanerze daje pod tym względem lepsze możliwości.

4. Precyzja pomiaru dla SPL jest bardzo wysoka dla powierzchni poziomych i gładkich (2-3 cm), spada dla powierzchni nachylonych i słabo odbijających (10 cm). Dane ze skanera tradycyjnego charakteryzują się bardzo wysoką dokładnością dla różnych powierzchni (1-3 cm).

• Pilotaż COWI

Simon Musäus (wiceprezes COWI, światowego potentata na rynku geoinformacyjnym), dzieląc się doświadczeniem produkcyjnym w użyciu skanera SPL100, stwierdza, że jest on rewolucją w obszarze rozwiązań lidarowych [Musäus, 2019]. Technikę jednofotonową postrzega jako logiczny kolejny krok w opracowaniach wielkoobszarowych. Rozwój dotychczasowych skanerów liniowych wskazuje na podwajanie co 2 lata częstotliwości generowania impulsów laserowych. Skaner SPL100 przełamuje barierę na poziomie 6 MHz efektywnej częstotliwości, czyli 6 milionów punktów na sekundę.

Firma COWI w latach 2017-2018 zrealizowała w Europie 7 projektów pilotażowych o łącznej powierzchni 18 tys. km kw. z użyciem skanera SPL100. To doświadczenie pozwala na następujące konkluzje:

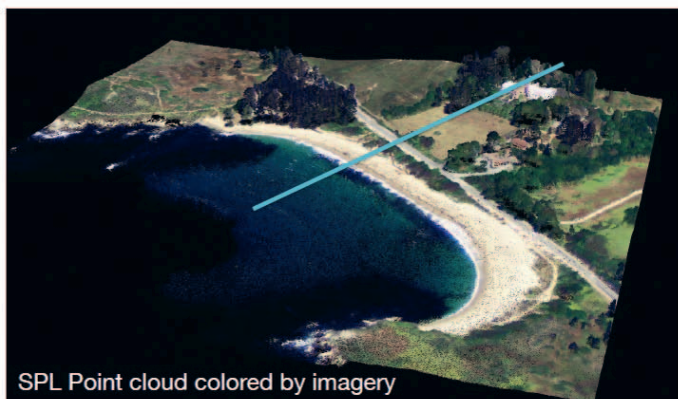
1. Parametry geometryczne i atrybutowe obszaru leśnego mogą być wyekstrahowane z danych pozyskanych skanerem SPL z wysokości 3800 m z dokładnością podobną lub nieco wyższą niż w przypadku konwencjonalnego skanera operującego z wysokości 400 m, przy podobnej gęstości punktów.

2. Zaletą skanera SPL jest lepsza penetracja gęstej roślinności.

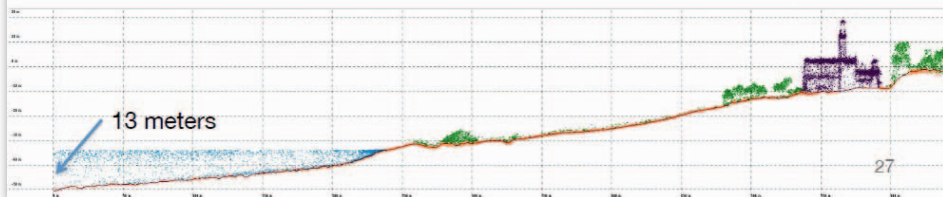
3. Dzięki wirującemu promieniowi (skaner Palmera) mniej jest „martwych pól”, co jest szczególnie cenne w obszarach miejskich.

4. Wysokość i prędkość lotu oraz gęstość punktów umożliwiają efektywniej-

Sample:
Double Pass
7500 ft
180 kts

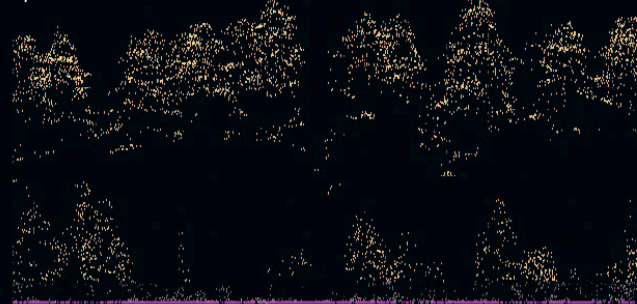


Profile



Rys. 3. Przekrój przez chmurę punktów zbiornika wodnego – skaner jednofotonowy HRQLS-1, wys. lotu 2300 m, prędkość lotu 330 km/h [John, Degnan, 2018; Sirotka]

a)



Leica SPL100

Altitude: 3800 m

Average point density: 25

Field of view: 30

b)



Optech Titan

Wavelength: 1064 nm

Altitude: 400 m

Average point density: 39

Field of view: 30

Rys. 4. Przekrój przez chmurę punktów w obszarze zalesionym: a) skaner jednofotonowy SPL100, wys. lotu 3800 m, gęstość 25 pkt/m kw.; b) skaner tradycyjny Optech Titan, długość fali 1064 nm, wysokość lotu 400 m, gęstość 39 pkt/m kw. [Wästlund, 2019]

sze krycie obszaru danymi przez SPL. Wydajność jest 2-3 razy większa niż w najlepszych systemach tradycyjnych.

5. SPL może realizować nawet kilka misji na dobę, w porze dziennej i nocnej, o ile pozwoli pogoda.

6. SPL stale się rozwija. Przyszłe badania powinny iść w kierunku minimalizacji negatywnego wpływu szumu solarnego i jego filtracji, szczególnie w badaniach środowiska leśnego.

Ponadto autor podkreśla znaczenie i trudności obróbki surowych danych.

Bardzo wymagające obliczeniowo pozostaje ich przetwarzanie (system potrzebuje blisko 20 razy większych zasobów). To zadanie nie dla każdego, ale uwzględniając wzrost mocy obliczeniowej komputerów zgodnie z prawem Moore'a, problem ten zostanie wkrótce przewyżczony.

• Testy AHN

Jeroen Leusink relacjonuje doświadczenie z użycia skanera SPL100 i Riegl 1560i DW w programie AHN (Actueel Hoogtebestand Nederland) [Leusink,

2019]. Do badań wykorzystano 3 obszary testowe na terenie:

- rolniczym, wymagana gęstość 8 pkt/m kw.,
- miejskim, wymagana gęstość 60 pkt/m kw.,
- stref pływów, grobli, krajobrazu rolniczego, wymagana gęstość 8 pkt/m kw.

Wnioski dotyczące skanera SPL100:

1. LiDAR zielony (SPL) daje wyniki znacznie bardziej zaszumione niż podczerwony (systemy tradycyjne).

2. Uzyskana geometria obiektów jest zaskakująco dobra.

3. Punkty wokół dachów wskazują gorszą dokładność kątową. To wpływ błędów pomiaru kątów nachylenia skanera (czujnik IMU).

4. Gęstość punktów ogólnie jest dobra, ale podlega fluktuacjom wzdłuż szeregu, słabe są odbicia od dachów; gęstość jest mniejsza od zakładanej (30-40%). Dla spełnienia wymagań AHN należy planować znacznie większą gęstość (3-4 razy).

5. Penetracja roślinności wydaje się słabsza.

Ostateczna ocena jest taka, że SPL100 jest obiecujący, szczególnie w obszarach o ograniczonej dostępności ruchu powietrznego (bo loty na wyższym pułapie). Pożądany jest jednak dalszy rozwój rozwiązań w tym zakresie.

Komentując powyższe doniesienia, warto zwrócić uwagę na duży rozrzut zagadnień i oczekiwań użytkowników. Wnioski nie zawsze są jednoznaczne, bywa, że się różnią w odniesieniu do tych samych kwestii. Nie we wszystkich przypadkach potwierdza się wyższość nowych technik. W niektórych aplikacjach i przy konkretnych oczekiwaniach nowe skanery sprawdzają się lepiej, w innych gorzej. Nowe techniki są obiecujące, ale pożądany i oczekiwany jest ich dalszy rozwój.

• Ankieta i projekt EuroSDR

Organizacja EuroSDR (European Spatial Data Research, dawniej OEEPE) planuje międzynarodowy projekt badawczy, którego celem jest ocena nowych technik [Bernard i inni, 2019]. W 2018 roku rozpisała ankietę dotyczącą rozumienia i doświadczeń w zakresie nowych technik laserowych. Ankietę rozesłano poprzez sieć EuroSDR oraz ISPRS (Międzynarodowe Towarzystwo Fotogrametrii i Teledetekcji). Zareagowało 120 respondentów z 42 krajów, w tym narodowe agencje kartograficzne (odpowiedniki naszego GUGiK). Prawie połowa z nich potwierdziła świadomość istnienia technik SPL i GmL, ale niewiele deklaruje jakiegokolwiek doświadczenie z tego zakresu. Ci, którzy zetknęli się z takimi danymi, dostrzegają ich zalety w: dużej gęstości punktów, dużej

wydajności, wysokim pułapie lotu oraz w szybkim pomiarze obszarów leśnych. Za ograniczenia uznają: wysoki poziom szumów, mniejszą dokładność geometryczną, duże koszty inwestycyjne. Respondenci zgodnie potwierdzają potrzebę lepszego poznania technologii, zanim podejmą decyzję o jej wykorzystaniu. Dobrą formą wsparcia merytorycznego byłaby niezależna ocena jakości danych i ich możliwości.

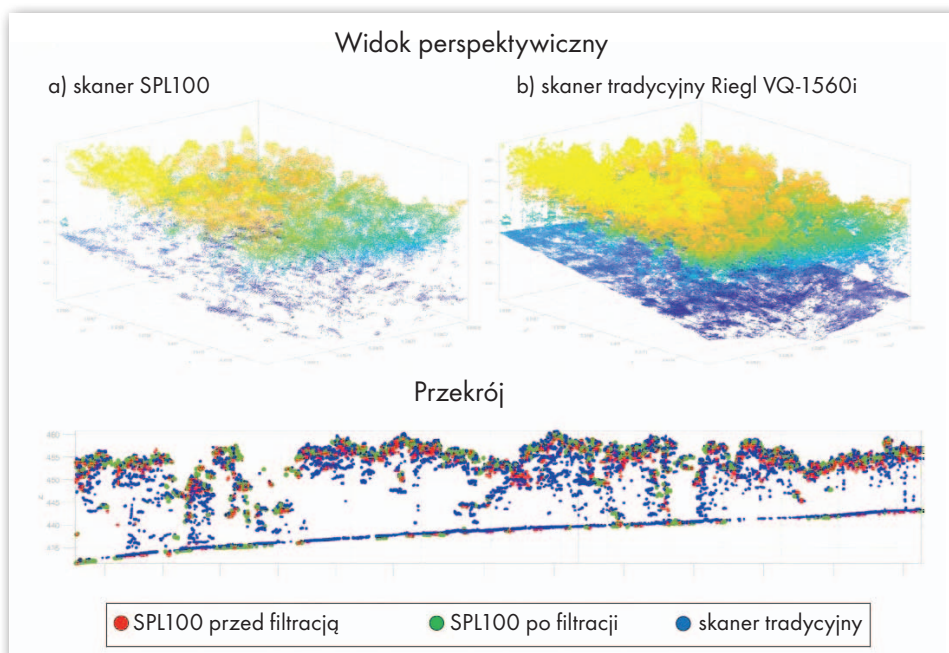
Wychodząc naprzeciw tym oczekiwaniom, EuroSDR podjęła inicjatywę zorganizowania projektu dotyczącego niezależnej oceny nowych technologii. Ich dostawcy zaoferowali dostarczenie danych. Przyjętą praktyką takich projektów jest swobodny dostęp do danych wszystkich zainteresowanych oraz seminaria, gdzie można się dzielić wynikami. W części finalnej należy się spodziewać obszernego i rzetelnego raportu naukowego z wynikami uzyskanymi przez uczestników. Projekt potrwa 2 lata (2019-2020), wstępne wyniki są oczekiwane w 2020, a końcowe – w 2021 roku.

• Podział rynku

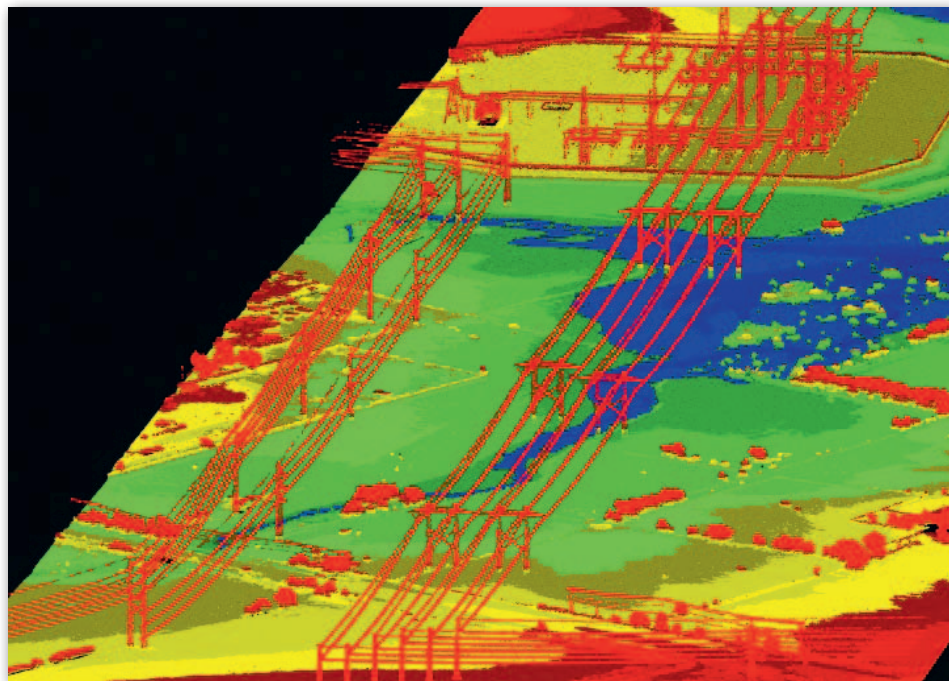
Czy skanery jednofotonowe i skanery Geigera zmieniają sytuację na rynku geoinformacyjnym? Nowe technologie dramatycznie zwiększają gęstość punktów i szybkość ich pozyskiwania. Wielu ekspertów uważa, że to istotnie zwiększy wydajność mapowania 3D. Obie te techniki różnią się od tradycyjnych tym, że w miejsce jednego impulsu laserowego mamy setki i tysiące punktów laserowych. Przyczyniają się do tego m.in. niezwykle czułe fotodiody odbiorcze, zdolne rejestrować pojedyncze fotony energii świetlnej. Konsekwencją jest możliwość pozyskiwania bardzo gęstych chmur punktów oraz lotów na dużo wyższych pułapach, co z kolei skutkuje znacznym zwiększeniem wydajności. Tim Ellis (dyrektor programu w firmie Harris) uważa, że pozwoli to na całkowicie nowe zastosowania tych skanerów [Higgins, 2017].

Bardziej powściągliwi eksperci podkreślają, że konwencjonalne technologie bazujące na rejestracji dyskretnych ech i analizie pełnego kształtu fali powracającej (FWF) pozostaną na rynku, a wysoka gęstość punktów oferowana przez nowe technologie jest okupiona spadkiem jakości geometrycznej i precyzji. W takim tonie wyraża się Andreas Ullrich (Riegl). Zaznacza, że brak intensywności dla każdego sygnału stanowi problem w takich zadaniach, jak klasyfikacja czy detekcja cech obiektów.

Ron Roth (kierownik produkcji Leica Geosystems) uważa, że obecna technika jest dobrze dopasowana do wymaganych



Rys. 5. Chmury punktów w obszarze leśnym [Mandlbürger i inni, 2019]



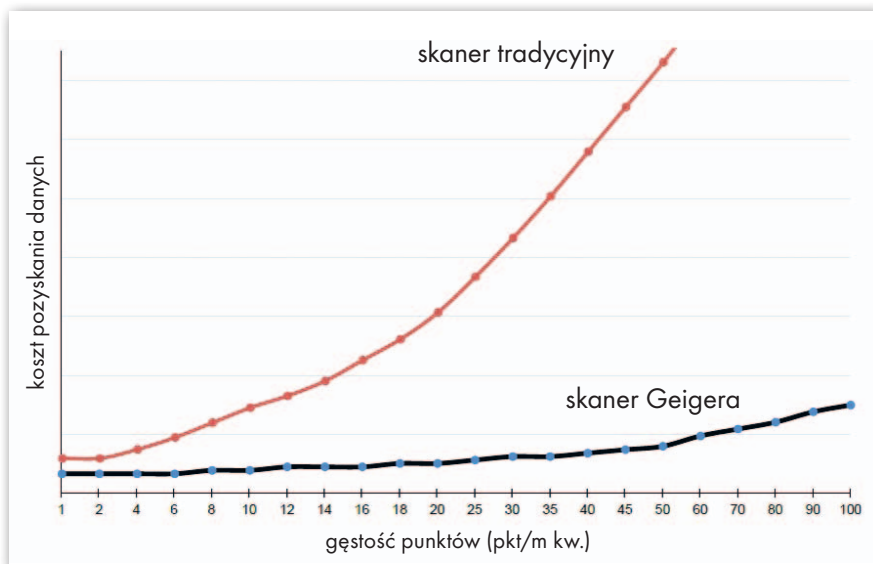
Rys. 6. Linie energetyczne widoczne na danych ze skanera jednofotonowego SPL100 [Roth, 2019]

dużych dokładności na poziomie 3-6 cm, podczas gdy nowe techniki są bliżej dokładności 5-10 cm. Dotychczasowe rozwiązania wygrywają, gdy wymagana jest najwyższa dokładność oraz pełna informacja o intensywności i kształcie fali powracającej [Higgins, 2017].

Nie bez znaczenia jest tu wielkość obszaru. Konwencjonalne techniki wykazują wyższość w opracowaniu obszarów małych i średnich. Nowe technologie, dzięki zwiększonej gęstości punktów i wydajności prac, prowadzą do obniżenia kosztów jednostkowych. Trend ten jest wyraźnie widoczny wraz ze wzrostem obszaru opracowania (rys. 8).

Analizując obecny rynek, Ron Roth szacuje, że około 1/3 projektów jest zorientowana na pozyskanie danych o najwyższej dokładności i wierności oddania kształtu obiektu możliwych do osiągnięcia przez tradycyjne skanery liniowe. Pozostałe 2/3 projektów dobrze odpowiadają możliwościom skanerów jednofotonowych i skanerów Geigera.

Podział rynku skanowania laserowego i miejsce na nim nowych technologii pokazano na rysunku 8 w formie ściętego ostrosłupa. Poziome osie to: wielkość obiektu i koszt mobilizacji. Oś pionowa to dokładność geometryczna i precyzja. Segment rynku oznaczony na niebiesko



Rys. 7. Relacja między gęstością punktów laserowych a kosztem ich pozyskania – porównanie skanerów tradycyjnych i skanera Geigera [Romano, 2015]

jest przeznaczony dla tradycyjnych, liniowych skanerów. Segment zielony jest dedykowany dla nowej technologii (SPL i GmL). Segment ciemnoniebieski może być obsługiwany zarówno przez technologie tradycyjne, jak i nowe, ale wybór tych drugich nie musi być optymalny. Jak więc widać, nowe technologie (SPL i GmL) najlepiej sprawdzają się na dużych i bardzo dużych obiektach, przy zapotrzebowaniu na dużą gęstość punktów (skala od regionalnej do kontynentalnej).

• U progu zmian

Należy tu dodać, że trwają intensywne badania w zakresie poprawy dokładności i precyzji oraz znalezienia alternatywnych metod dostarczenia informacji o intensywności odbitych sygnałów. Oczekiwany jest postęp zarówno w sprzęcie, jak i oprogramowaniu do opracowania danych. Obecnie jesteśmy na etapie, w którym końcowi użytkownicy jeszcze nie są dość świadomi nowych możliwości. Potrzebują je „zoba-

czyć” i ocenić, na ile różnią się od tego, co znają i co już sprawdziło się w praktyce. Trudno również mówić o rozwiniętym rynku dostawców. To wszystko dopiero przed nami.

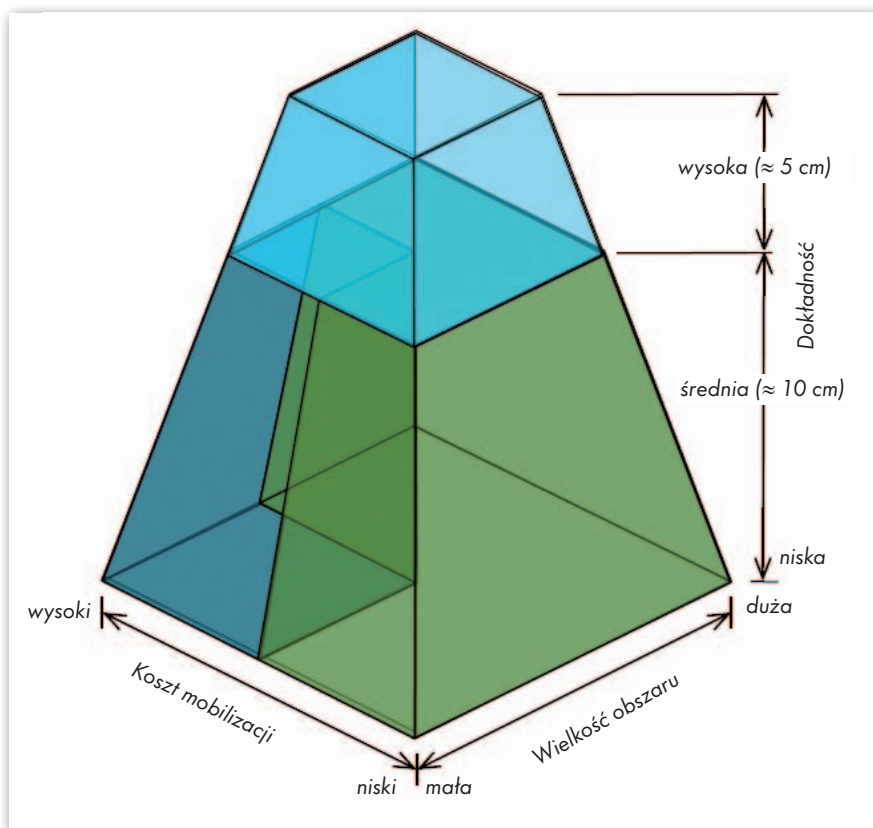
Ron Roth (Leica Geosystems) porównuje tę sytuację do nie tak dawnego przejścia z lotniczych kamer analogowych na cyfrowe. Choć rynek zareagował szybko, to firma ma klientów, którzy nadal wykorzystują kamery na film zwojowy i skanery do zdjęć.

Qassim Abdullah (firma Woolpert) ocenia, że nowe technologie zdominują rynek w najbliższych 5-10 latach. Ale nawet później znajdują się zadania lepiej dopasowane do skanerów konwencjonalnych, np. mniejsze obiekty „korytarzowe”.

Obecnie nowe skanery kosztują miliony dolarów, a opracowanie surowych danych stanowi barierę dla większości użytkowników. Dlatego już myśli się o nowych modelach biznesowych, które umożliwią potencjalnym użytkownikom dostęp do danych bez zakupu drogiego sprzętu na własność i bez samodzielniego, bardzo wymagającego obliczeniowo wstępnego opracowania danych.

Kończąc prognozy zastąpienia istniejącej technologii przez nowe skanery, chciałbym podzielić się pewną refleksją. Bardzo ludzką cechą jest sceptycyzm, a nawet obawa przed nowym. Kiedy w latach 90. wchodziła technika lidarowa, postrzegano ją tylko jako źródło danych wysokościowych do budowy NMT. Twierdzono wówczas, że LiDAR nigdy nie zastąpi fotogrametrii opartej na zdjęciach. Dziś oba te źródła danych bardzo się do siebie zbliżyły i wzajemnie wzmacniają (efekt synergii), np. w zakresie budowy modeli 3D. To zbliżenie przejawia się m.in. w tym, że automatyczne opracowanie zdjęć często jest realizowane poprzez wstępne wygenerowanie z nich gęstych chmur punktów, a więc formy kojarzonej z danymi lidarowymi. Szczególnie wyraźnie widać to np. w automatycznym opracowaniu zdjęć pozyskanych z bezałogowych platform (BSL) i generowaniu z nich NMT, NMPT i modeli 3D w formie *mesh*. Nic nie stoi na przeszkodzie, żeby z czasem podobnie stało się z nowymi technikami skanowania. A zatem, jak mawiał Charles Dickens, „nigdy nie mów nigdy”.

prof. Zdzisław Kurczyński
Politechnika Warszawska



Rys. 8. Podział rynku skanowania laserowego: jasnoniebieski – skanery tradycyjne, zielony – nowe technologie (SPL i GmL), ciemnoniebieski – segment wspólny [Roth, 2019]

Problematykę najnowszych skanerów autor przedstawi także na Forum Użytkowników LiDAR – POLSCAN

Literatura w I części artykułu opublikowanej w GEODECIE 9/2019