

Chmura punktów, czyli co pod kosówką piszczy

Skanowanie laserowe dla grotołazów

Paweł Kroh

Technologia laserowa pojawiła się w jaskiniach wiele lat temu. Odpustowy wskaźnik-breloczek z czerwonym światłem, wykorzystywany do wskazywania punktu pomiarowego koledze z busolą, to pierwsze znane mi zastosowanie lasera w kartowaniu jaskiń. Trudno oczywiście tu mówić o zastosowaniu lasera w miernictwie jaskiniowym, jednak ten jakże poręczny przyrząd był wykorzystywany przez tyle kartujących zespołów, że należy mu się jedno zdanie we wstępie... Następne były dalmierze, dalmierze połączone z kompasem aż do współczesnych DistoX czy CaveSniper. Laser nie jest obcy grotołazom. Nowym etapem tej technologii jest skanowanie laserowe zwane także LIDARem (Light Detection and Ranging).

Zasada działania skanera jest podobna do innych pomiarowych urządzeń laserowych. Urządzenie wysyła wiązkę światła, a następnie oblicza czas, w jakim ona powraca po odbiciu od celu. Na tej podstawie określone jest położenie punktu, od którego wiązka się odbiła. Zasadnicza różnica polega na tym, że skaner nie wysyła jednej wiązki. Wysyła ich miliony oraz rejestruje miliony punktów odbicia. Jeden z najpopularniejszych skanerów na rynku zbiera (przy standardowym, średnim ustawieniu gęstości skanowania) 28 mln odbić w czasie jednego pięciominutowego skanowania. Dzięki temu uzyskuje się

bardzo precyzyjny model przestrzenny skanowanego obiektu. Precyzja pomiaru zależy od odległości, charakteru powierzchni, wilgotności, przejrzystości powietrza i wielu innych parametrów. Dokładność modeli 3D wykonywanych w dogodnych warunkach (np. obiekty zabytkowe, dokumentacje architektoniczne, projekty przemysłowe itp.) może sięgać poniżej centymetra. Wynikiem pracy jest tak zwana chmura punktów (point cloud), którą w ramach późniejszych prac można przetworzyć na model 3D.

Film wykonany przez firmę Scanning3D w Jaskini Olsztyńskiej, za namową kolegów z Wielkopolskiego Klubu, dobrze obrazuje chmurę punktów (serwis YouTube, link do filmu jest od dawna na forum speleo.pl). Oglądając warto pamiętać, że na potrzeby filmów przereźda się chmurę punktów kilkudziesięciokrotnie. Wpisanie hasła „cave, laser scanning” w serwisie YouTube również da efekt w postaci kilkudziesięciu linków do zeskanowanych obiektów.

Skanowanie dzieli się na trzy zasadnicze grupy – skanowanie naziemne (TLS – terrestrial laser scanning), skanowanie lotnicze (ALS – airborne laser scanning) oraz skanowanie mobilne (MLS), który w rzeczywistości jest odmianą skanowania lotniczego, gdyż wykorzystuje zbliżone rozwiązania techniczne, a różni się sposobem transportu sprzętu. W jaskiniach można wykorzystywać TLS oraz, w niektórych przypadkach, MLS. Skanowanie lotnicze może mieć jednak niebagatelne znaczenie eksploracyjne, dlatego też poświęcę mu poniżej kilka akapitów.

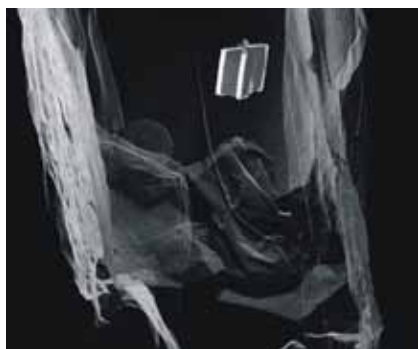
Naziemne skanowanie laserowe jest technologią wykorzystywaną w wielu naukach od kilkunastu lat. W jaskiniach stosowany był przez geografów, zoologów, archeologów, paleontologów; przy jego pomocy tworzą



Paweł Kroh – zatrudniony w Instytucie Geografii Uniwersytetu Pedagogicznego. Obecnie pracuje nad możliwościami wykorzystania skaningu laserowego w badaniach środowiska przyrodniczego, także jaskiń. Członek Sądeckiego Klubu Taternictwa Jaskiniowego, instruktor PZA, ratownik GOPR, przewodnik tatrzański.

modele 3D jaskiń, obliczono objętość lodu jaskiniowego, dokumentowano wykopaliska archeologiczne oraz malunki i ryty naścienne, określano liczebność kolonii nietoperzy i in. Literatura naukowa na ten temat nie jest jeszcze bardzo bogata, niemniej jednak jest co czytać... Wszelkoność skaningu umożliwia opracowanie niemal wszystkiego, co wyobraźnia badacza pozwoli uzyskać z bardzo precyzyjnego modelu 3D. Nie jest czymś nowym także w polskich jaskiniach. Skanowanie było wykonane w Jaskini Niedźwiedziej w Kletnie (Uniwersytet Wrocławski), w Jaskini Olsztyńskiej (Scanning3D), w Jaskini Stajnia (Państwowy Instytut Geologiczny), w Jaskini Kroczyckiej (Uniwersytet Warszawski), w Jaskini Nietoperzowej (AGH), w Jaskini Głębokiej (AMC, w ramach kursu kartowania KTJ). W ramach prac przeprowadzonych przede mnie wraz z firmą Scanning3D zeskanowano jaskinie fliszowe: Diablą Dziurę w Bukowcu, Roztoczańską, Żłotniańską oraz część Niedźwiedziej (w Beskidzie Sądeckim). Prace wykonane zostały do celów naukowych oraz ratowniczych dla Grupy Krynickiej GOPR.

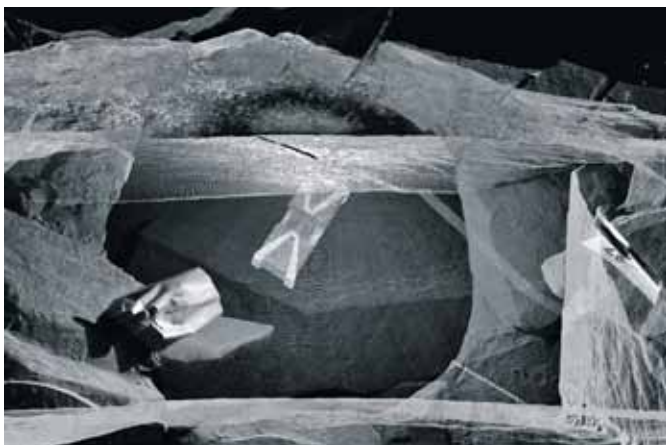
Trudno przecenić walory tak obrazowego i precyzyjnego materiału. Jest jednoznaczny i obiektywny, nie zależy od doświadczenia rysownika, nie wymaga wykształcenia w ręce „skali pod ołówkiem”, nie opiera się na ciągu



◀ Ryc. 1. Fragment pojedynczego skanu z Diabłej Dziury w Bukowcu z worem jaskiniowym, widok z boku

▽ Ryc. 2. Fragment pojedynczego skanu z Diabłej Dziury w Bukowcu ze szpejarką, widok z góry

Ryc. 3. Stanowisko pomiarowe w Jaskini Roztoczańskiej • fot. G. Welniak. ▽



szkieletowym (zawsze subiektywnym) tylko na milionach dokładnych pomiarów, umożliwia zrobienie przekroju w dowolnym cięciu i płaszczyźnie. Żadna inna technika stosowana do tej pory nie daje tak plastycznych, obrazowych i precyzyjnych danych o jaskini. Naukowo – jest trudna do przecenienia. Dla ilustracji zamieszczam dwa fragmenty skanów z worem jaskiniowym i woreczkiem sprężutowym, pokazujące rzeźbę ścian, spągu oraz inne obiekty – wory, linę itp. (ryc. 1 i 2). Krótko mówiąc narzędzie idealne do kartowania. Ale... istnieje dużo ograniczeń. Sprzęt jest bardzo drogi (najtańszy skaner to około 90 tys. zł). Skaner to także bardzo wrażliwa elektronika, lusterko, szkło, wyświetlacz LCD (ryc. 3 i 4). Nie lubi wody, mrozu, błota. Waży od kilku do kilkunastu kilogramów. Wymaga specjalnych baterii, które rozładują się po kilku godzinach skanowania, oraz transportu innego sprzętu. Skanowanie trwa długo, ważne jest dobre ustawienie stanowisk pomiarowych oraz punktów referencyjnych (są nimi kule i tarcze widoczne na rycinach).

Podsumowując – warto skanować jaskinie. Otrzymuje się wszechstronny, bardzo bogaty i szczegółowy materiał. Ale prawda jest taka, że wielkość, wrażliwość i cena sprzętu powodują, iż wciąż nie nadaje się on do dokumentacji eksploracyjnej. Ponieważ jednak technologia pędzi niczym kursant po linie (w dół i bez shunta) może już za kilka lat dostaniemy do rąk kieszonkowe, odporne na wstrząsy skanery. Już powstał i jest w fazie testów nowy smartfon Google'a o nazwie Project Tango, tworzący obraz 3D otoczenia w czasie rzeczywistym przy pomocy dwóch kamer, procesorów obrazu i pomiaru głębi. Na rynku występuje od bardzo niedawna niezbyt duży, ręczny skaner mobilny o zasięgu 30 m dedykowany do pracy w kopalniach i dobrze nadający się do skanowania jaskiń.

▽ Ryc. 4. Stanowisko pomiarowe przy otworze Diabiej Dziury w Bukowcu • Fot. Paweł Kroh

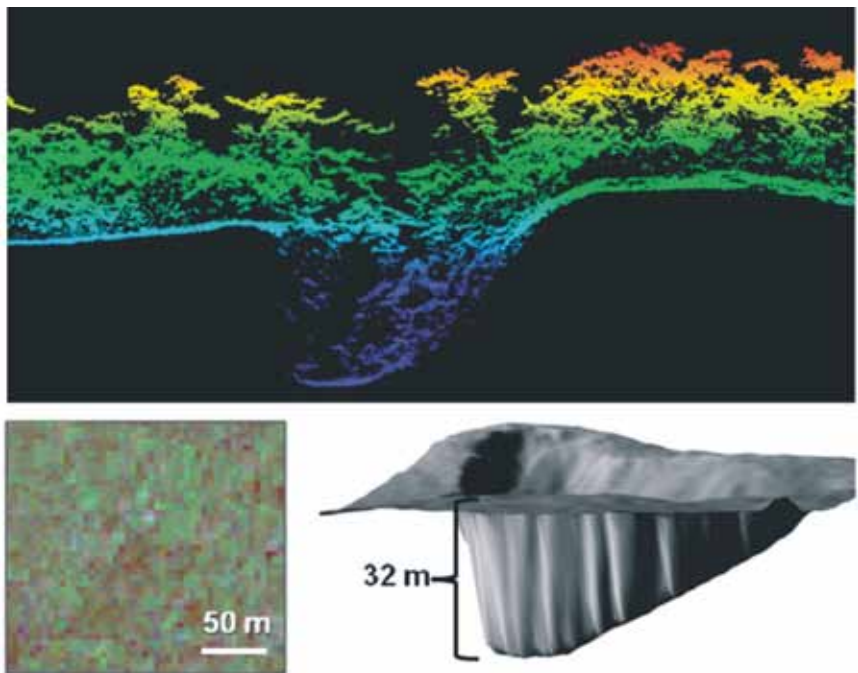


▷ Ryc. 6. Lotnicza chmura punktów. 1) Chmura punktów z barwami RGB z ortofotografii; 2) Sklasyfikowana chmura punktów: brąz – grunt, jasna zieleń – roślinność wysoka, ciemna zieleń – roślinność niska, pomarańcz – budynki; 3) rzeźba terenu po „zjęciu” innych obiektów z gruntu; 4) numeryczny model terenu o rozdzielczości pół metra. Skośna linia to figle robione przez darmowe oprogramowanie. Denerwujące, ale nieprzeszkadzające w interpretacji materiału.

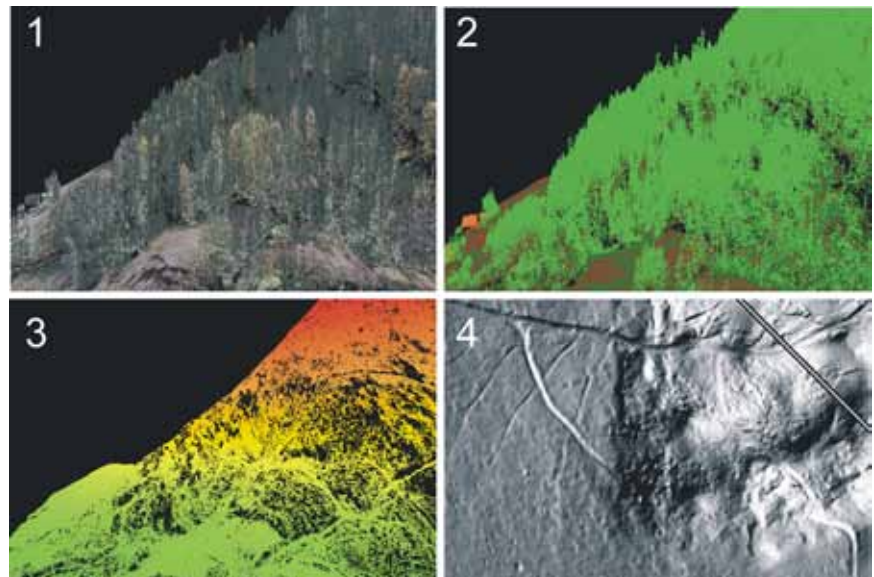
Lotniczy skaning laserowy (ALS) niesie ze sobą ogromne perspektywy na rozwój eksploracji powierzchniowej. Wnikliwemu czytelnikowi z naukowym zacięciem polecam publikację na temat zastosowania tego narzędzia w *Journal of Cave and Karst Studies* (Weishampel J.F. et al, 2011, vol. 73, no. 3, p. 187–196). Skaning lotniczy ma możliwość rejestracji kilku odbić na jednym promieniu lasera (najnowsze skanery naziemne też mają tę funkcję, ale rzadko). Promień odbija się od koron drzew, gałęzi, krzewów i – ostatecznie – od gruntu. Dzięki temu uzyskujemy bardzo bogatą informację o terenie. Przy pomocy odpowiedniej klasyfikacji chmury punktów możemy określić, które odbicie pochodzi od roślinności, które od budynków, które od gruntu. W efekcie możemy na ekranie „zdjąć” całą roślinność z gruntu i uzyskać precyzyjny numeryczny model terenu. W polecanej

powyżej publikacji wykonano to dla terenu krasowego znajdującego się pod okapem lasu tropikalnego. Na 200 km² zlokalizowano 61 awenów, z których wcześniej znany był tylko jeden. Część z nich przekracza 60 metrów głębokości. Wysokorozdzielcze zdjęcia satelitarne dawały jedynie obraz koron drzew, nie zdradzając ukrytego poniżej krasu... (ryc. 5). Jest tylko jeden mankament – kto zapłaci za nalot?

Na koniec informacji na temat lotniczego LIDARu warto dodać, że w ramach tworzenia Informatycznego Systemu Osłony Kraju przed Nadzwyczajnymi Zagrożeniami (ISOK) 60% Polski jest pokryte nalotem o gęstości 4 pkt./m², niemal wszystkie większe miasta mają gęstość 12 pkt./m². Kolejne obszary będą pokryte nalotami w najbliższych latach. Dane te udostępni CODGiK, bezpłatnie do celów naukowych i dydaktycznych oraz



△ Ryc. 5. Lotnicza chmura punktów sklasyfikowana według wysokości względnej dla terenu lasu tropikalnego. Poniżej po lewej zdjęcie satelitarne tego terenu pokazujące jedynie korony drzew, po prawej model studni po usunięciu roślinności (Źródło: Weishampel J.F. i in. 2011, cytacja w tekście, zmienione).



odpłatnie dla innych celów (ok. 4 zł za 1,2 km²). Większość podstawowych analiz można wykonać na darmowym oprogramowaniu, takim jak LasTools i QGIS, choć profesjonalne oprogramowanie jest baaardzo drogie. Zasób Centralnego Ośrodka obejmuje swoim zasięgiem całe Tatry. Możliwe jest więc przyrodniczo nieinwazyjne „wycięcie

w pierń” kosodrzewiny i zerknięcie co się pod nią kryje bez odchodzenia od komputera... Taki numeryczny model terenu Tatr jest dostępny do przeglądania w Internecie. Dla przykładu, jakie możliwości niesie lotnicza chmura punktów i jej analiza, zamieszczam obraz pewnego osuwiska po usunięciu drzewostanu jodłowo-bukowego w Beskidzie

Wyspowym oraz numeryczny model terenu wykonany na tej podstawie (ryc. 6).

Na koniec bardzo dziękuję firmie Scanning3D. Zgodzili się przyjechać w wolnym czasie, ze swoim prywatnym sprzętem, ubłocić go i ryzykować uszkodzenie po to, by zrobić coś nowego i ciekawego. Naprawdę fajni ludzie. □

Jaskiniowy Kataster Tatr

Darek Lubomski

Projekt jest próbą zestawienia w jednym miejscu wszystkich danych kartograficznych dotyczących jaskiń tatrzańskich. Działając w oparciu o program Walls, główną koncepcją jest stworzenie zestawienia przestrzennego ciągów pomiarowych, współrzędnych otworów jaskiń oraz siatki terenu. W zamyśle projekt ma być dostępny dla wszystkich zainteresowanych, którym ułatwi działalność jaskiniową i edukacyjną. Ma być także pomocny w eksploatacji oraz ma wspierać badania naukowe.

Zebranie wszystkich danych nie jest łatwym zadaniem, poszczególne ciągi pomiarowe kartowane były przez różne osoby, w różnych dekadach, różnymi przyrządami. Część pomiarów jest nieaktualna lub błędna. Aby usprawnić pracę, zdecydowałem się korzystać ze stosowanych przez informatyków systemów kontroli wersji GitHub. Pod adresem:

<https://github.com/dlubom/Jaskiniowy-Kataster-Tatr-Zachodnich> można śledzić postępy pracy, pobrać najnowszą wersję projektu oraz zobaczyć historię zmian. Dostępny tam jest także link do gotowych, wygenerowanych już modeli 3D wraz z siatką terenu.

Pomysł na projekt nie jest nowy – prace zapoczątkowali Wiktor Bolek oraz Dariusz Bartoszewski zestawiając pomiary Śnieżnej, później Marcin Gala, a następnie Piotr Stelmach, Krzysztof Borgiel i Jacek Szczygiał. Obecnie projektem zajmuje się autor niniejszego tekstu.

Zestawienie zawiera wiele jaskiń, jednak ogromu nadal brakuje, dlatego zachęcam autorów pomiarów do podsyłania ich na adres: darek.lubomski@gmail.com.

Osoby nieoptyczne w programie Walls mogą podejrzeć efekty pracy w przeglądarce inter-



Dariusz Lubomski – taternik jaskiniowy od 2010 r., wcześniej pasjonat wspinaczki. Od 2010 r. działa również nieprzerwanie w zarządzie Sopotkiego Klubu Taternictwa Jaskiniowego. W 2014 r. po raz czwarty uczestniczył w sopocko-wrocławskiej wyprawie w Hagengebirge. Mimo znacznej odległości z Sopotu dość często odwiedza Tatry i nie tylko.

netowej, wystarczy wejść na adres <https://sketchfab.com/dlubom> i wybrać „Jaskiniowy Kataster Tatr”. □

Znaczenie dokumentacji kartograficznej w badaniach morfologii i genezy jaskiń

Andrzej Tyc

Plan jaskini, jak mapa w badaniach powierzchniowych, stanowi podstawę wielu działań naukowych dotyczących poznania jej środowiska. Bez dobrej dokumentacji kartograficznej trudno sobie wyobrazić możliwość prowadzenia prac badawczych w jaskiniach. Przestrzenne rozmieszczenie badanych zjawisk jest jednym z najważniejszych elementów poznania w naukach o Ziemi, w tym w speleologii. Precyzyjna lokalizacja obserwowanych zjawisk na powierzchni terenu jest dziś możliwa dzięki nowoczesnym technikom pozycjonowania satelitarnego. Pozwalają one ponadto by niemal każdy badacz mógł dokonać takiej lokalizacji samodzielnie przy użyciu coraz doskonalszych urządzeń GPS. Zastosowanie tych technik i tego podejścia w jaskiniach jest niemożliwe, więc od dokładności i szczegółowości planów zależy tak naprawdę jakość wyników badań speleologicznych. Wyjątkowo, dokumentacja kartograficzna w postaci podstawowego planu

i przekroju jaskini, powstaje bezpośrednio w trakcie badań. Jeszcze rzadziej sam badacz jest twórcą takiej podstawowej dokumentacji kartograficznej.

Niniejsza notatka nie ma na celu krytycznej oceny istniejących planów jaskiń, a tym bardziej ich twórców. Chcę tu zwrócić uwagę na potrzebę tworzenia pełnej dokumentacji oraz na oczekiwania co do informacji, które mogłaby zawierać. Z uwagi na swoje zainteresowania badawcze, związane z geomorfologią i genezą jaskiń często korzystam z wykonanych już planów, przekrojów obiektów, nie tylko naszych krajowych. Moje działania naukowe skupione są na obszarach wyżynnych i gór średnich, stąd moje uwagi w niewielkim stopniu dotyczą dużych jaskiń alpejskich, gdzie proces tworzenia dokumentacji jest dużo bardziej złożony i nastawiony na nieco inną skalę poznania.

Plan służy nam w badaniach morfologii często jako podkład do nanoszenia własnych



Andrzej Tyc – absolwent Uniwersytetu Śląskiego, doktor nauk o Ziemi Uniwersytetu im. A. Mickiewicza w Poznaniu, obecnie wykładowca w Katedrze Geomorfologii na Wydziale Nauk o Ziemi Uniwersytetu Śląskiego. Zawodowo zajmuje się geomorfologią, speleologią i ochroną przyrody. Badania związane z jaskiniami prowadzi głównie na Wyżynie Krakowsko-Częstochowskiej. W ostatnich kilku latach realizował międzynarodowy projekt dotyczący morfologii i genezy jaskiń hypogenicznych w Polsce, Słowenii i Australii.

obserwacji w jaskini, ale narysowany zgodnie z zasadami sztuki sam zawiera już wiele istotnych informacji geomorfologicznych (m.in. tekst i rysunki Mateusza Golicza na s. 18–19 w numerze 2/75 JASKIŃ). Kartujący jaskinię nie musi posiadać szczegółowej wiedzy geologicznej czy geomorfologicznej, by wykonać