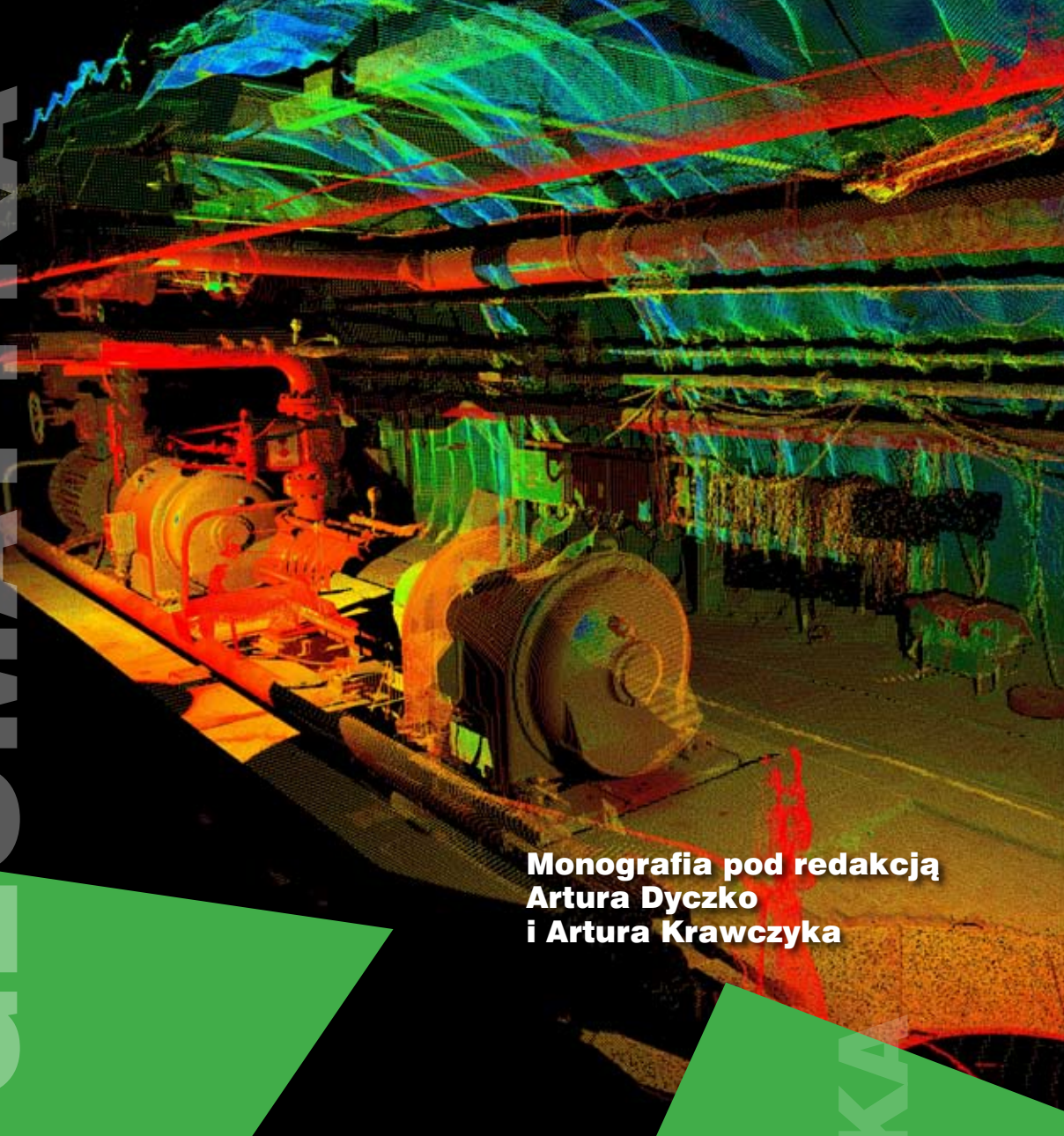


GEOMATYKA



Monografia pod redakcją
Artura Dyczko
i Artura Krawczyka

GEOMATYKA GÓRNICZA

PRAKTYCZNE ZASTOSOWANIA

GEOMATYKA

WYDAWNICTWO FUNDACJI DLA AGH
KRAKÓW 2013

Patron
Jubileuszowego wydania
Materiałów Konferencyjnych SEP
1992-2021



KGHM
P O L S K A M I E D Ź



Geomatyka górnicza

Praktyczne zastosowania 2013



Bentley[®]
Sustaining Infrastructure

Instytut Gospodarki
Surowcami Mineralnymi i Energią
POLSKIEJ AKADEMII NAUK

AKADEMIA GÓRNICZO-HUTNICZA
Katedra Górnictwa Podziemnego

Komisja Geomatyki Górniczej PTIP

Geomatyka górnicza

Praktyczne zastosowania
MONOGRAFIA

Praca zbiorowa
pod redakcją naukową
Artura Dyczko i Artura Krawczyka

Szkoła Eksploatacji Podziemnej
Kraków 2013

**GEOMATYKA GÓRNICZA - PRAKTYCZNE ZASTOSOWANIA,
MONOGRAFIA**

REDAKCJA

Artura Dyczko
Artura Krawczyka

RECENZENCI

dr hab. inż., prof. AGH Zygmunt Niedojadło
prof. dr hab. inż. Antoni Sroka

REDAKCJA TECHNICZNA, SKŁAD I ŁAMANIE TEKSTU

PROJEKT OKŁADKI

FASTWORK&NAVIGATOR

Zdjęcie na okładce Sławomir Kubiak

Wizualizacja chmury punktów powstałej podczas skanowania
podszybia szybu 1.2 w LW „Bogdanka” S.A.

WYDAWCA

Fundacja dla Akademii Górniczo-Hutniczej
im. Stanisława Staszica w Krakowie
al. Mickiewicza 30
30-059 Kraków
e-mail: f-agh@agh.edu.pl
www.fundacja.agh.edu.pl

ISBN 978-83-62079-13-1

Fundacja dla Akademii Górniczo-Hutniczej im. Stanisława Staszica

Copyright for this edition by Fundacja dla Akademii Górniczo-Hutniczej
im. Stanisława Staszica, 2013

Copyright by LW „Bogdanka” S.A., 2012

DRUK

Drukarnia PATRIA, Kraków

Wydanie I. Nakład 200 egz.

Spis treści

Długość sesji RTK a dokładność wyznaczenia przemieszczeń pionowych na terenach górniczych	7
Ocena możliwości zastosowania satelitarnych pomiarów GPS–RTK do wyznaczania przemieszczeń punktów przestrzennej sieci obserwacyjnej na terenach górniczych	21
Wykorzystanie technologii TLS do budowy trójwymiarowego modelu wyrobisk górniczych KGHM PM S.A.	35
Modelowanie i wizualizacja obiektów górniczych wchodzących w skład Rezerwatu Przyrody Nieożywionej Groty Kryształowe Kopalni Soli Wieliczka S.A.	49
Skanning, modelowanie i animacja 3D wyrobisk zabytkowej kopalni ćwiczebnej „Sztygarka”	63
Wdrożenie aplikacji przeznaczonych do obsługi danych geologicznych w Kompanii Węglowej S.A.	79
Technologia Xaris jako środowisko modelowania i prowadzenia obiektowych map górniczych	93
Możliwości zastosowania naziemnej interferometrii radarowej w górnictwie	107
Monitoring przemieszczeń szczytów wież szybowych kopalni LW „Bogdanka”, w technologii GNSS	121



Długość sesji RTK a dokładność wyznaczenia przemieszczeń pionowych na terenach górniczych

Kamil Maciuk, Paulina Lewińska, Łukasz Borowski

AGH w Krakowie

Badania finansowano z funduszy statutowych AGH nr: 11.11.150.005

1. Wstęp

Węgiel jest jednym z najważniejszych zasobów naturalnych Polski. W naszym kraju w większości pozyskiwany jest on w kopalniach podziemnych, a eksploatację prowadzi się metoda zawałową. Jest to najtańszy, a więc jednocześnie najbardziej ekonomiczny typ eksploatacji, posiadający jednak stosunkowo duże efekty uboczne. Sama technologia wydobywania zakłada wybieranie złożeń, którego grubość może przekraczać dwa metry, a powstałych pustek nie wypełnia się. Pozwala się na naturalne osiadanie górotworu. Może to skutkować bardzo dużymi obniżeniami terenu, a nawet w odpowiednich warunkach powodować deformacje nieciągłe. Wielkość oraz rodzaj tych deformacji zależy od wielu czynników, m.in. rozmiaru pól eksploatacji, miąższości, głębokości zalegania złożeń, własności górotworu czy prędkość postępu eksploatacji. Jeżeli powyższe czynniki deformacji górotworu są znane to przy wykorzystaniu odpowiednich algorytmów możliwe jest szacowanie zagrożenia powierzchni terenu i obiektów pod wpływem eksploatacji górniczej [1].

Podstawowe teorie dotyczące ruchów górotworu podczas eksploatacji górniczej powstały w połowie XX wieku, ich autorami byli między innymi Knothe i Litwniniszyn. Teoria Knothe'a zyskała dużą popularność z uwagi na to, iż nie wymaga ona znajomości dokładnego układu warstw geologicznych w górotworze. Rozkład ten jest trudny do zbadania – wymaga wielu odwiertów oraz badań geologicznych. Czynności te są kosztowne i jak się okazuje często niekonieczne – teoria zakłada, że ruch masy górotworu jest losowy, przy założeniu, że model górotworu jest ośrodkiem sytym zbudowanym z ziaren. Ponadto przyjęto warunek jednorodności górotworu i stałości objętości w procesie jego deformacji. Oznacza to, że ośrodek skalny w stanie wyjściowym przed eksploatacją jest złożony z dużej ilości elementów, których ruch można rozpatrywać w oparciu o model statystyczny. Ze względu na tak dużą wielkość próby oparcie teorii o rozkład Gaussa powinno dawać dobre rezultaty. Jeżeli przez element powierzchni w kształcie szczeliny usuniemy pewną objętość masy nadległego górotworu to wówczas w nadległych horyzontach utworzą się krzywe dzwonowe. Przy niewielkich ubytkach wpasowują się one w krzywą Gaussa, lecz przy ich wzroście rozbieżności są coraz większe. Jednak z uwagi na niewielki stosunek wybranego materiału do całej objętości górotworu przyjmujemy opisane oszacowanie za właściwe [2]. W ten sposób powstaje niekiedy obniżenia. Knothe wyprowadził wzory pozwalające na wyliczenie podstawo-

wych parametrów kształtu tej niecki. Są nimi: obniżenie, nachylenie, krzywizna oraz przemieszczenie poziome. Do wyliczenia tych wartości konieczne są tylko dwa parametry: współczynnik eksploatacji oraz rozproszenie wpływów [1]. Wyznacza się je na podstawie pomiarów na liniach obserwacyjnych założonych na terenie występujących lub przewidywanych deformacji. Powinny one spełniać poniższe warunki [2]

- usytuowane prostopadle do frontu eksploatacji;
- obejmują cały zasięg jej wpływów;
- przedmiotem eksploatacji powinien być jeden pokład;
- górotwór nie powinien być zaburzony uskokami tektonicznymi;
- proces deformacji powinien być zakończony;

Powyższe warunki traktować należy jako ogólne. Ponadto powinny być także brane pod uwagę uwarunkowania terenowe, ułożenie pól eksploatacji oraz inne czynniki mogące wpłynąć na budowę samej sieci pomiarowej.

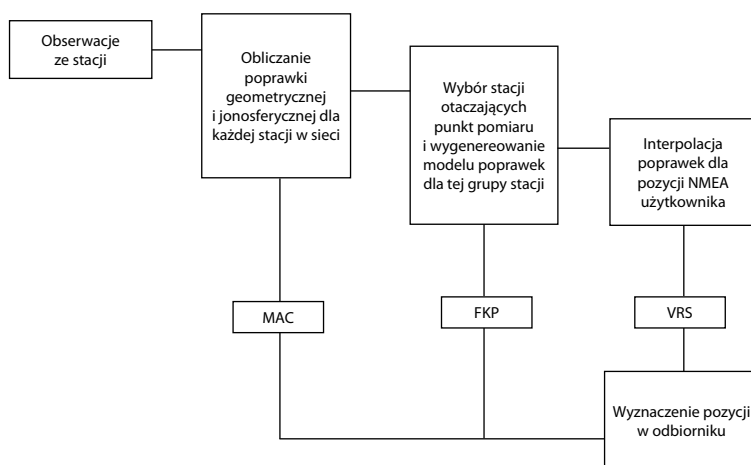
2. Techniki satelitarne

Pomiary kinematyczne GPS i GNSS w czasie rzeczywistym (RTK, ang. Real Time Kinematic) znajdują coraz szersze zastosowanie w wielu dziedzinach działalności człowieka. Zapewnia ona użytkownikowi wysoką dokładność wyznaczenia pozycji w sposób prosty a co najważniejsze natychmiastowy. Wykorzystanie tego typu pomiarów jest bardzo szerokie przede wszystkim w dziedzinie geodezji, budownictwa, opracowaniach GIS-owych czy kartograficznych.

Idea utworzenia poprawek sieciowych RTK (tzw. Network RTK – NRTK) powstała w połowie lat 90 [3]. Standardowy pomiar z wykorzystaniem pojedynczej stacji bazowej ograniczony jest długością wektora odbiornik–baza w zależności od wymaganej dokładności wyznaczenia pozycji. Zasadniczo przyjmuje się zastosowania pojedynczej stacji bazowej w rozwiązaniach precyzyjnych dla wektorów o długościach maksymalnie do 10–20 km. W przypadku poprawek sieciowych odległości te mogą być większe z uwagi to, iż odbiornik znajduje się wewnątrz sieci stacji referencyjnych, gdzie poprawka dla pojedynczego odbiornika jest interpolowana dla danego obszaru. W przypadku tego typu rozwiązań przyjmuje się, że odległości do stacji referencyjnych mogą wynosić nawet 70–100 km [4]. Dla przykładu w przypadku europejskich systemów EUPOS (ang. European Position Determination System, należy do nich polski ASG–

–EUPOS) przyjęto, iż odległości między stacjami nie powinny przekraczać 70–80 km. Średnie odległości między stacjami ASG–EUPOS wynoszą około 70 km [5].

W ramach systemu ASG–EUPOS możliwe jest korzystanie z dwóch różnych poprawek sieciowych. VRS (ang. Virtual Reference Station) i MAC (ang. Master and Auxiliary Concept). Poprawka FKP (niem. Flächenkorrekturparameter) z uwagi na bardzo małe zainteresowanie użytkowników została wyłączona w lipcu 2011 r. Badania przeprowadzone przez wykonawcę systemu i użytkowników potwierdzają powtarzalność otrzymywanych współrzędnych w optymalnych warunkach terenowych w granicach $\pm 0,03$ m w poziomie i $\pm 0,05$ m w pionie [6].



Rysunek 1. Schemat poprawek sieciowych [7]

Schemat działania poprawek sieciowych przedstawia rysunek 1. Różnice wynikają głównie z ilości operacji, które ma wykonać odbiornik w celu wyznaczenia pozycji. W przypadku poprawki MAC odbiornik otrzymuje jedynie informacje dotyczące poprawki geometrycznej i jonosferycznej dla każdej zarejestrowanej stacji w obrębie całej sieci. W przypadku poprawki FKP [8] odbiornik uzyskuje model poprawek jedynie dla stacji otaczających odbiornik. Poprawka VRS natomiast dostarcza odbiornikowi najbardziej kompletny zestaw informacji. W przypadku tego typu poprawek przy wykorzystaniu depezy NMEA (komunikacja rover–baza) obliczana jest przybliżona pozycja odbiornika. Następnie w pobliżu odbiornika tworzona jest wirtualna stacja referencyjna, z której odbiornik uzyskuje odpowiednią poprawkę do pozycji.

W przypadku poprawek z pojedynczej stacji odbiornik uzyskuje poprawkę z poje-

dynczej permanentnej stacji referencyjnej, bądź stacji bazowej ustawionej na punkcie o znanych współrzędnych. Zaletą tego typu rozwiązania jest uniezależnienie pomiaru od sieci stacji referencyjnych. Do wad należy posiadanie dwóch odbiorników umożliwiających łączność (najczęściej radiową) baza-rover, ponadto dokładność tej metody maleje ściśle wraz ze wzrostem odległości od stacji referencyjnej/bazowej.

3. Metodyka badań

Pomiary, dla terenów zagrożonych wpływami eksploatacji górniczej na poszczególnych liniach lub całych sieciach pomiarowych wykonuje się okresowo. O ile istnieje taka możliwość sieć zakłada się przed rozpoczęciem wydobywania oraz zaistnienia jego wpływów. Odległości między punktami warunkują nie tylko zasady opisane w pierwszym rozdziale, ale także warunki terenowe, budowa geologiczna oraz dane – jeżeli istnieją – z wcześniejszych badań na tym lub podobnym terenie.

Pierwszy pomiar powinien być wykonany bezpośrednio po fizycznym założeniu sieci punktów i krótkim okresie jej stabilizacji, stanowi on odniesienie dla wszelkich dalszych pomiarów. Tradycyjnie stosuje się do tego celu niwelację precyzyjną – daje ona najlepsze wyniki a przy obecnym rozwoju instrumentów nie jest tak żmudna jak kiedyś. Pomiar pierwotny i wtórny powinny być wykonane w miarę możliwości tym samym instrumentem i przy zachowaniu tych samych dokładności.

Pomiary zarówno pierwotne jak i wtórne mogą być nawiązane do reperów o znanej stałej wysokości. Wtedy szukane bądź zakładane są nowe punkty wysokościowe znajdujące się poza oczekiwanym zasięgiem wpływu eksploatacji. Takich punktów powinno być przynajmniej trzy, a przed każdym kolejnym pomiarem konieczne jest wykonanie pomiaru ich stałości. W tym celu wykonuje się niwelację między poszczególnymi punktami i na tej podstawie sprawdza czy nie zaistniały zmiany wysokości. Jeżeli taka zamiana miała miejsce punkt nie zostaje wyłączony z sieci kontrolnej. Nadaje się mu nową wysokość i włącza z powrotem do sieci. Ponadto dowiązanie punktów z sieci reperów do sieci pomiarowej powinno zawsze odbywać się tą samą drogą, tzn. zawsze powinien być wykorzystywany ten sam reper nawiązawszy i ten sam punkt sieci pomiarowej musi stanowić koniec nawiązania. W ten sposób możliwa jest kontrola czy nie wystąpiły błędy grube na etapie nawiązania. Możliwe jest też prowadzenie pomiarów względnych. Wtedy nie wykonuje się nawiązania tylko sprowadza różnice wyso-

kości na mierzonych punktach między seriami. Dla teorii Knothego nie jest konieczna znajomość wysokości w konkretnym systemie odniesień przestrzennych, a jedynie obniżenie między stanem wyjściowym terenu, a stanem o przejściu eksploatacji.

Celem pracy było określenie dokładności technik satelitarnych do badania przemieszczeń – głównie wysokościowych – punktów na powierzchni Ziemi. W tym celu przeprowadzono pomiary na dwóch polach testowych. Polem testowym I była osnowa pomiarowa złożona z czterech punktów rozmieszczonych na terenie zurbanizowanym. Polem testowym II był zbiór 35 punktów obustronnie nawiązanych, rozmieszczonych wzdłuż prostej. Punkty tworzyły sztuczną nieckę obniżeniową, w obrębie której wysokości punktów mierzono przed i po symulowanym obniżeniu terenu.

4. Pomiar GPS

W artykule analizowano dokładność wyznaczenia pozycji odbiornika w zależności od długości trwania sesji pomiarowej metodą RTK, szczególnie chodziło tu o sprawdzenie dokładności wyznaczenia wysokości. Zaletą niwelacji jest jej wysoka precyzja, jest to jednak metoda pracochłonna, a co za tym idzie kosztowna. Mimo coraz bardziej zaawansowanego postępu w dziedzinie pomiarów satelitarnych wyznaczenie wysokości elipsoidalnej jest o wiele mniej dokładne niż określenie współrzędnych płaskich. Dokładność jej jest wciąż niższa niż wysokość wyznaczona w wyniku niwelacji precyzyjnej, a nawet technicznej. Współrzędna ta charakteryzuje się w przybliżeniu trzykrotnie większym błędem aniżeli pozostałe współrzędne geodezyjne wyznaczone w wyniku pomiarów satelitarnych [9].

W przypadku pola testowego I wykorzystano poprawki z sieci ASG-EUPOS i jej śląsko-małopolskiej podsieci – MSPP (Małopolski System Pozycjonowania Precyzyjnego) [10]. Na każdym z punktów pomierzono współrzędne w interwałach 3, 10 i 30

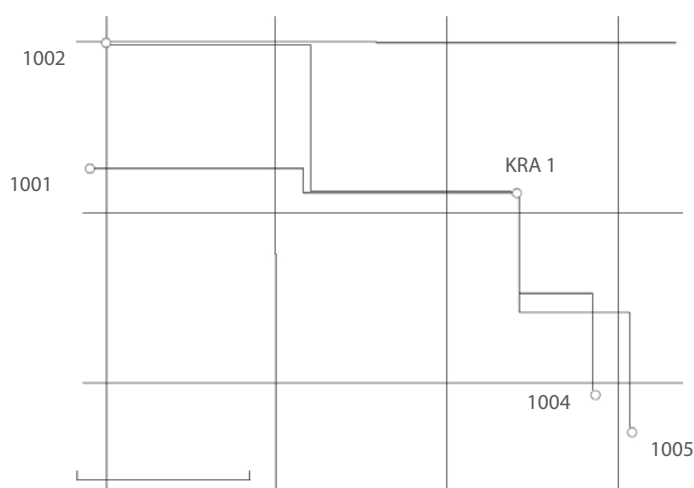


Rysunek 2. Schemat rozmieszczenia I pola testowego względem wykorzystanych stacji referencyjnych.

sekundowych w trzech niezależnych seriach, z wykorzystaniem czterech różnych poprawek. W trzech pierwszych seriach wykorzystywano poprawki z pojedynczych stacji referencyjnych: KRA1 [Kraków], PROS [Proszowice] i KATO [Katowice] (Rysunek 2). Czwartą serią natomiast były poprawki sieciowe VRS z serwisu MSPP. Poprawki pojedynczych stacji uzyskiwane były z serwisu ASG-EUPOS, poprawka sieciowa – MSPP. Współrzędne każdego z punktów pola testowego I określono poprzez dwukrotne, synchroniczne pomiary statyczne w 4-godzinnych sesjach pomiarowych z interwałem 5-sekundowym, otrzymane współrzędne przyjęto jako wzorcowe do dalszych obliczeń. Współrzędne płaskie przedstawione są w układzie współrzędnych prostokątnych „2000”, składową wysokościową jest wysokość elipsoidalna w układzie WGS-84.

Rysunki 2 i 3 prezentują przybliżone odległości między wyznaczanymi punktami, a stacjami referencyjnymi. Stacja KRA1 dla w ramach pola testowego I znajdowała się w odległości 140–250 metrów od mierzonych punktów. Pozostałe punkty (PROS, KATO) znajdowały się w odległościach odpowiednio 30 i 70 km.

W skład pola testowego II wchodziło 35 punktów rozmieszczonych równomiernie na obustronnie nawiązanym odcinku o długości 1550 metrów. Dla tego pola analizowano poprawki z pojedynczej stacji bazowej. Punkty na których w sposób jednoznaczny zaznaczono miejsca posadowienia łat znajdowały się w odstępach 42–45 metrów. W pierwszej kolejności wykonano dwukrotny pomiar niwelacji precyzyjnej za pomocą instrumentu DNA firmy Leica, uzyskując dokładność niezamknięcia ciągu 22 mm.



Rysunek 3. Schemat rozmieszczenia I pola testowego względem stacji KRA1

Następnie wykonano pomiar RTK GPS – na każdym z punktów mierzono ich składowe wysokościowe w interwałach 3, 10 i 30 sekundowych. Po wykonaniu pierwszego pomiaru punkty zostały odpowiednio obniżone według założonego projektu tak aby przypominały kształtem nieckę. Następnie powtórzono zarówno pomiar niwelacyjny (błąd niezamknięcia ciągu – 23 mm), jak i pomiar GPS RTK uzyskując na każdym z punktów dwukrotną różnicę wysokości z niwelacji i pomiaru GPS (przed i po obniżeniu terenu).

5. Wyniki

5.1. Pole testowe I

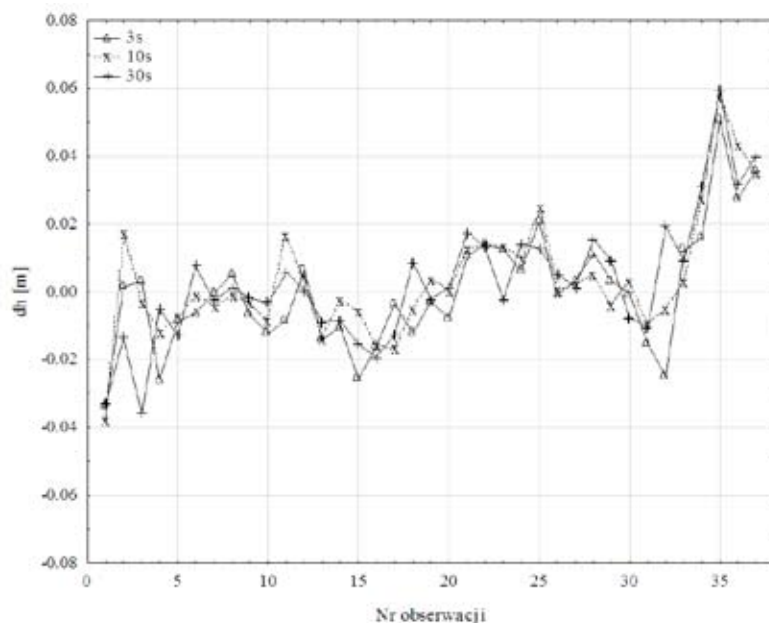
Wyniki pomiaru pola testowego I prezentuje tabela 1. Kolumna 1 stanowi numer punktu pomiarowego, kolumna 2 zawiera interwał pomiarowy wyrażony w sekundach. Kolumna numer 3 stanowi określenie stacji nawiązania w przypadku poprawek z pojedynczej stacji, bądź poprawki sieciowej (VRS). Kolumny 4–6 stanowią kolejno odchyłki dx, dy i dz składowych względem położenia wzorcowego. Kolumna 7 stanowi określenie rozwiązania. Rozwiązanie „fix” określane jest jako rozwiązanie precyzyjne (całkowitoliczbowe wartości nieoznaczoności). Rozwiązanie typu „float” określane także jako rozwiązanie zgrubne, stanowi określenie pozycji poprzez rozwiązanie nieoznaczoności w postaci liczb rzeczywistych (niecałkowitoliczbowe wartości nieoznaczoności). Rozwiązanie „std” (standalone) to rozwiązanie różnicowe przy wykorzystaniu obserwacji kodowych. Analogiczne znaczenie jak w przypadku kolumn 1–7 stanowią kolumny 8–14 dla pozostałych punktów.

Tabela 1 prezentuje odchyłki poszczególnych składowych każdego z punktów od wartości oczekiwanej w zależności od typu rozwiązania i czasu trwania sesji na punkcie. Dokładność wyznaczenia każdej ze składowych współrzędnych maleje w miarę wzrostu odległości od stacji referencyjnej i długości trwania sesji na punkcie. Chcąc uzyskać rozwiązania o dokładnościach rzędu pojedynczych milimetrów należy stosować jedynie rozwiązania precyzyjne (fix). W przypadku bardzo bliskich odległości do stacji referencyjnej (KRA1) osiągnięte są dokładności około 1 cm dla każdej ze składowych w przypadku rozwiązań precyzyjnych. Jednak już w przypadku wektora rzędu 30 km niemożliwe jest osiągnięcie tak wysokich dokładności. W przypadku tego

Punkt	Interwał [s]	Stacja/ Poprawka	dx [m]	dy [m]	dz [m]	rozwią- zanie	Punkt	Interwał [s]	Stacja/ Poprawka	dx [m]	dy [m]	dz [m]	rozwią- zanie
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1001	30	KRA1	0.004	0.008	0.020	fix	1004	30	KRA1	-0.312	-0.090	0.060	float
	10		0.003	0.007	0.010	fix		10		0.003	-0.013	0.010	fix
	3		0.004	0.005	-0.001	fix		3		0.015	-0.002	0.007	fix
	30	PROS	-0.038	0.069	0.080	fix		30	PROS	0.015	0.011	0.039	fix
	10		-0.018	0.037	0.055	fix		10		0.013	0.042	0.146	fix
	3		-0.014	0.034	0.086	fix		3		0.008	0.056	0.212	fix
	30	KATO	0.632	0.022	0.873	float		30	KATO	0.011	-0.118	0.046	float
	10		0.439	-0.080	1.062	float		10		-0.472	4.777	2.596	float
	3		0.350	-0.264	0.909	float		3		-0.383	3.648	1.237	float
	30	VRS	0.010	0.012	-0.013	fix		30	VRS	0.031	-0.009	-0.004	fix
	10		0.011	0.011	-0.017	fix		10		0.406	0.234	-0.536	fix
	3		0.012	0.016	-0.012	fix		3		0.028	-0.037	-0.011	fix
1002	30	KRA1	0.332	0.143	0.303	fix	1005	30	KRA1	0.001	0.021	0.047	fix
	10		0.179	0.293	-0.146	float		10		0.012	0.020	0.033	fix
	3		0.032	0.333	-0.130	float		3		0.013	0.016	0.035	fix
	30	PROS	0.005	0.041	-0.026	fix		30	PROS	1.089	-5.394	18.501	float
	10		0.010	0.042	-0.024	fix		10		-0.994	-6.749	22.126	float
	3		0.005	0.027	-0.011	fix		3		-1.804	-5.868	21.140	float
	30	KATO	-2.059	1.333	-0.292	float		30	KATO	1.006	0.239	27.567	float
	10		-0.851	1.228	-0.139	float		10		1.459	0.494	0.853	float
	3		-1.518	1.089	-0.676	float		3		0.884	0.428	-0.550	float
	30	VRS	-0.014	-0.002	0.034	fix		30	VRS	-1.238	0.046	3.100	float
	10		0.566	-0.096	0.640	fix		10		0.210	-0.676	1.448	float
	3		0.747	-0.217	0.978	std		3		0.219	-0.596	0.969	float

Tabela 1. Wykaz różnic współrzędnych w zależności od długości trwania sesji na punkcie i odległości do stacji bazowej

wektora (stacja PROS) daje się zauważyć bardzo duża losowość otrzymanych rozwiązań na każdym z punktów w zależności od długości czasu trwania sesji na punkcie. Wynika to najprawdopodobniej z różnych warunków terenowych w trakcie pomiaru (przysłonięcia horyzontu, konfiguracja satelitów). W przypadku poprawek sieciowych VRS dokładność wyznaczenia współrzędnych była na porównywalnym poziomie jak w przypadku poprawek ze stacji KRA1. Rozwiązanie to (VRS) jest jednocześnie najbardziej niezawodne i niezależne, dając wyniki obarczone najmniejszymi błędami każdej ze składowych.



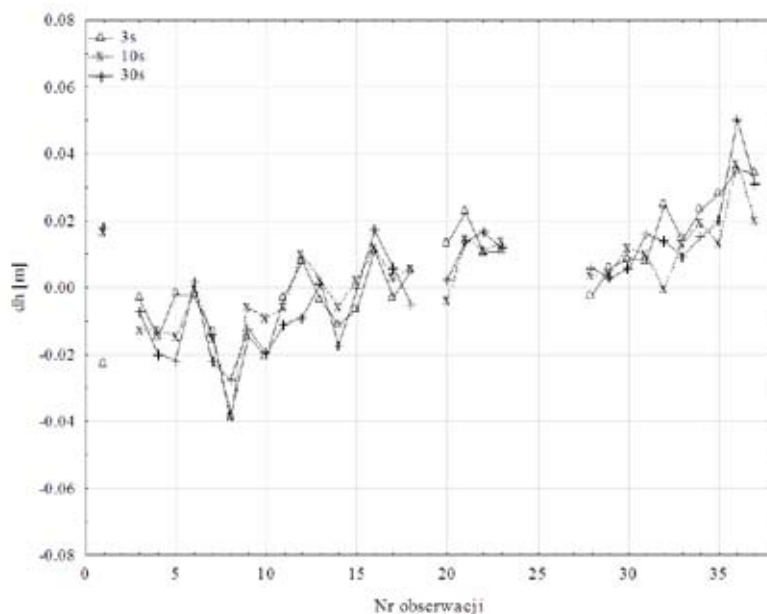
Rysunek 4. Otrzymane odchyłki od wartości oczekiwanej w sesji I.

5.2. Pole testowe II

Dokładność wyznaczenia składowej wysokościowej jest silnie uzależniona zarówno od czasu trwania sesji pomiarowej na punkcie jak i aktualnej konfiguracji satelitów oraz miejsca pomiaru w przypadku poprawek z pojedynczej stacji. Na rysunku 4 zaprezentowano odchyłki składowej wysokościowej między wartościami uzyskanymi z niwelacji, a pomiarem RTK GPS, w zależności od czasu trwania pomiaru na punkcie na polu testowym II.

Pomiar na kolejnych punktach przeprowadzany był co około 2 min. Jak widać na rysunku 4 wartości odchyłek w zależności od długości sesji pomiarowej są silnie skorelowane z czasem trwania i miejscem pomiaru. Tłumaczyć to można dwoma czynnikami: po pierwsze wpływ miała aktualna konfiguracja satelitów. Drugim czynnikiem była odległość od stacji bazowej – w analizowanym polu testowym było to od około 800 m do 1500 m na końcach ciągu niwelacyjnego.

Podobne wyniki otrzymano po symulowanym osiadaniu, brakujące punkty na rysunku 5 stanowią uszkodzone, bądź wyrwane punkty w ciągu. Rysunek 5 prezentuje wykres wartości odchyłek pomiaru RTK GPS od wartości oczekiwanej z niwelacji. Wraz z odległością od stacji bazowej maleje dokładność wyznaczenia wysokości. Po-



Rysunek 5. Otrzymane odchyłki od wartości oczekiwanej w sesji II.

nadto widać silną korelację między wartościami odchyłek dla każdej długości sesji. Odchyłki te są uzależnione od czasu i miejsca pomiaru. Wynika to najprawdopodobniej z podobnego układu satelitów i odległości od stacji bazowej, gdyż warunki terenowe na całej długości ciągu można przyjąć jako jednakowe.

pole testowe	interwał pomiarowy [s]		
	3	10	30
I	0.0170	0.0179	0.0186
II	0.0214	0.0220	0.0224

Tabela 2. Zestawienie wartości odchyłek standardowych analizowanych pól testowych [m]

Tabela 2 prezentuje zestawienie otrzymanych wartości odchyłek standardowych wyrażoną w metrach, w zależności od długości trwania sesji pomiarowej na każdym z punktów. Nie ma znaczących różnic w tych rozwiązaniach w zależności od długości trwania sesji pomiarowej na punkcie. Najbardziej optymalny wydaje się stosunkowo krótki czas pomiaru na punkcie, ale powtórzony co najmniej dwukrotnie w celu kontroli wiarygodności pomiaru.

6. Podsumowanie

W wyniku przeprowadzonych analiz wyników rozwiązań pomiarów satelitarnych z obu pól testowych stwierdzono:

- w przypadku wykorzystania poprawek z pojedynczej stacji rozwiązania precyzyjne możliwe są jedynie w przypadku krótkich wektorów, rzędu co najwyżej kilku kilometrów;
- dla takich wektorów sposób generowania poprawki (z pojedynczej stacji, bądź z sieci) nie wpływa na dokładność pomiarów,
- długość sesji pomiarowej nie ma istotnego wpływu na dokładność pomiarów, zarówno w przypadku wykorzystania poprawek sieciowych, jak i z pojedynczej stacji,
- w celu osiągnięcia najwyższych dokładności należy korzystać tylko i wyłącznie z rozwiązań precyzyjnych.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Knothe, *Prognozowanie wpływów eksploatacji górniczej*, wyd. Śląsk, Katowice 1986
- [2] Ostrowski J. (pod red.), *Ochrona środowiska na terenach górniczych*, Wydawnictwo Instytutu Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN, Kraków 2001
- [3] Rizos C, *Network RTK research and implementation – A geodetic perspective*, Journal of Global Positioning Systems 1(2), 2002, 144–150
- [4] Janssen V., *A comparison of the VRS and MAC principles for network RTK*, International Global Navigation Satellite Systems Society, IGNSS Symposium 2009, 1–3 December, 2009
- [5] Plewako M., *Wpływ długości czasu pomiaru techniką RTK GPS w systemie ASG-EUPOS na dokładność wyznaczania współrzędnych punktu*, Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich, Nr 2/Iv/2012, Polska Akademia Nauk, Oddział w Krakowie, S. 99–104
- [6] www.asgeupos.pl
- [7] Wajda S., *Podstawowe pojęcia związane z pomiarami satelitarnymi w systemie ASG-EUPOS*, Szkolenie Służby Geodezyjnej i Kartograficznej, Zegrze, 28–29 listopada 2011 r.

-
- [8] Wübbena G., Bagge A., *RTCM Message Type 59–FKP for transmission of FKP*, Version 1.0, Geo++*, White Paper, Nr. 2002.01
 - [9] Góral W., *Precyzyjny pomiar wysokości elipsoidalnej za pomocą GPS na obszarze ograniczonym siecią stacji permanentnych KRAW+ASG-PL*, Geodezja, Tom 9, Zeszyt 2/1, Kraków, 2003,
 - [10] Jaworski L., *Wielofunkcyjny system precyzyjnego pozycjonowania satelitarnego ASG-EUPOS*, GUGiK,



Ocena możliwości zastosowania satelitarnych pomiarów GPS–RTK do wyznaczania przemieszczeń punktów przestrzennej sieci obserwacyjnej na terenach górniczych

Paweł Sopata

Akademia Górniczo–Hutnicza im. St. Staszica w Krakowie

1. Wstęp

W Polsce występują złoża surowców mineralnych, których eksploatacja przynosi korzyści ekonomiczne i społeczne. Przemysł górniczy, poza oczywistym faktem dostarczania różnych surowców, zatrudnia dużą liczbę osób, które zamieszkują rejony związane z tą gałęzią gospodarki. Na obszarze Polski znajduje się spora liczba czynnych, bądź zlikwidowanych już zakładów górniczych, związanych z podziemnym wydobywaniem węgla kamiennego, rudy miedzi lub w mniejszym stopniu innych surowców skalnych.

Efektom prowadzenia wielowiekowej już podziemnej eksploatacji złóż w Polsce są deformacje i przekształcenia powierzchni terenu. Najczęstszym skutkiem robót górniczych jest powstawanie niecek obniżeniowych, oddziałujących niekorzystnie na zabudowę terenu jak i całą infrastrukturę techniczną.

Realizacja koniecznych do rozwoju państwa różnego typu inwestycji nie omija również terenów górniczych. W chwili obecnej doskonały przykład stanowi problem braku dobrej jakości dróg umożliwiających szybką i sprawną komunikację. Rozwiązuje się go poprzez budowę nowych autostrad, dróg ekspresowych, czy modernizację istniejących linii kolejowych, również w rejonach zagrożeń wynikających z robót górniczych.

Z tego powodu w miejscach lokalizacji tych inwestycji w obszarach górniczych, należy je projektować z uwzględnieniem zarówno dotychczasowych jak i mogących wystąpić w przyszłości wpływów poeksploatacyjnych. Również fakt zaniechania eksploatacji złoża nie zwalnia inwestora z konieczności bieżącej kontroli powierzchni terenu, na której dokonywana jest inwestycja, szczególnie w rejonach gdzie dawniej (przeważnie na niedużych głębokościach) wydobywano surowce rudne. W takich rejonach może to stwarzać zagrożenie wystąpienia deformacji nieciągłych. Sytuacja ta wymusza na inwestorach zapewnienie okresowego prowadzenia monitoringu powierzchni terenu w trakcie realizacji budowy.

Zakres i rodzaj obserwacji uzależniony jest od rodzaju i rozmiarów inwestycji. W tym względzie można postawić wniosek, że obecny rozwój techniki w zakresie monitorowania wpływów górniczych nadąża za potrzebami. Wykorzystując metody satelitarne oparte o globalny system pozycjonowania GPS, można prowadzić pomiary geodezyjne oraz monitorować powierzchnię terenu, uzyskując praktycznie na bieżąco przestrzenną pozycję obserwowanych punktów. Okresowe pomiary tego rodzaju

umożliwiają wyznaczenie przemieszczeń punktów przestrzennej sieci obserwacyjnej, służące w dalszej kolejności ocenie ewentualnych zagrożeń dla prowadzonych w rejonach podziemnej eksploatacji górniczej inwestycji.

Wprowadzane obok klasycznych, nowoczesne metody pomiarów należy ocenić pod względem możliwości ich wykorzystania w konkretnych zadaniach pomiarowych. Ważny jest tutaj zarówno aspekt dokładnościowy jak i ekonomiczny, który powinien być rozpatrywany na tle możliwości usprawnienia pracy oraz otrzymywania wyników o odpowiedniej jakości.

2. Przestrzeń i metodyka badań

Rejon badań obejmował tereny górnicze Górnego Śląska, w których nie realizowano bieżącej eksploatacji złoża węgla kamiennego, co de facto ułatwiło późniejsze prowadzenie analiz. Ostatnia eksploatacja górnicza w rejonie badań prowadzona była 5 lat przed prezentowanymi pomiarami. Niezbędne do przeprowadzenia przedmiotowej oceny dane obserwacyjne pozyskiwane były w oparciu o sieć trwale stabilizowanych punktów ziemnych. Sieć tę stanowiła grupa ponad 120 punktów, rozmieszczonych wzdłuż realizowanej inwestycji drogowej [2]. W badaniach wykorzystano dwie metody pomiarowe. Jedną z nich była klasyczna, precyzyjna niwelacja geometryczna, stanowiąca bazę porównawczą dla zrealizowanych pomiarów wysokościowych drugą metodą (GPS–RTK), podlegającej ocenie. Pomiary wysokościowe, realizowane w klasyczny sposób, poprzedzono kontrolą stałości odpowiednio dobranych punktów nawiązania, wymaganą szczególnie na terenach górniczych. Wyniki tej kontroli zostały uwzględnione w przeprowadzonych analizach, rzutując na ostateczne wnioskowanie.

Dla celów oceny metody GPS–RTK pod względem jej możliwości zastosowania do pomiarów przemieszczeń punktów na terenach górniczych zrealizowano dwie serie obserwacyjne, obejmujące pięciomiesięczny przedział czasowy. W każdej serii prowadzono równolegle pomiary klasyczne i satelitarne. Pomiary GPS–RTK realizowano w oparciu o sieć stacji permanentnych ASG–EUPOS.

Pomiary wysokościowe wykonywano w dwóch różnych układach, niwelację geometryczną w układzie Kronsztadt 86, pomiary GPS w odniesieniu do elipsoidy WGS–84. Jednak ze względu na różnicowy charakter otrzymywanych wyników (okresowe

przemieszczenia pionowe) nie miało to istotnego znaczenia i pozwoliło na porównanie wyników.

Dla współrzędnych płaskich, przy pomiarach satelitarnych wszystkich punktów sieci, wykorzystano państwowy układ współrzędnych 2000. Pomimo braku innych pomiarów w tym zakresie, mogących stanowić (jak w przypadku pomiarów wysokościowych) bazę porównawczą, zaistniałe warunki terenowe umożliwiły również ocenę metody GPS-RTK w aspekcie monitorowania przemieszczeń poziomych punktów sieci.

3. Dokładność pomiarów

Ocena możliwości metody GPS-RTK w aspekcie wykrywania przemieszczeń punktów powierzchni terenu musi uwzględniać dokładność zrealizowanych w tym celu pomiarów. Od tego zależy bowiem poziom istotności otrzymywanych końcowych wyników. Problem ten można sprowadzić do określenia pewnej granicznej wartości (w tym przypadku przemieszczenia punktu), poniżej której należy uznać, że pomierzona wielkość mieści się w zakresie dokładności metody, a zatem nie stanowi wiarygodnego wyniku zarówno pod względem ilościowym jak i jakościowym.

Analizę dokładnościową wyników pomiarów niwelacji geometrycznej punktów sieci przeprowadzono na tle przyjętej dokładności współrzędnych wysokościowych wyznaczonych dla poszczególnych punktów pomiarowych.

Rzędne wysokościowe punktów nawiazania opracowane na podstawie zrealizowanych pomiarów kontrolnych wykazały różnice, w stosunku do wartości katalogowych, w zakresie ± 10 mm. Wartość tę przyjęto za dokładność nawiazania wysokościowego pomiarów niwelacyjnych realizowanych na punktach sieci. Największa wartość błędu (teoretycznie) powinna wystąpić dla punktu usytuowanego w środkowej części ciągu. Ze względu na dwustronne nawiazanie ciągu niwelacyjnego można oszacować maksymalny średni błąd wyznaczenia wysokości punktu o wartości $\pm 10 \text{ mm} \cdot \sqrt{2}$, czyli około ± 14 mm. Ze względu na charakter pomiaru niwelacyjnego (niwelacja precyzyjna z dokładnością $\pm 1 \text{ mm}/1 \text{ km}$) oraz długość ciągu dochodzącą do nieco ponad 4 km, błędy samego pomiaru nie powinny powodować istotnego wzrostu oszacowanej wyżej wartości. W związku z tym można przyjąć, że wyznaczone przewyższenie punktu, na podstawie określonych z wyrównania ciągów wysokości punktów, obarczone będzie błędem średnim, wynoszącym około $\pm 14 \text{ mm} \cdot \sqrt{2}$, czyli około ± 20 mm. Dla uprosz-

czenia analiz dla każdego mierzonego punktu w ciągu przyjęto oszacowane powyżej takie same dokładności wyznaczenia: wysokości punktu i różnicy wysokości z dwukrotnego pomiaru.

Oszacowana wartość dokładności wyznaczonych różnic wysokości (przemieszczeń pionowych) z metody niwelacji geometrycznej stanowi swoistą miarę w przeprowadzonej dalej analizie. Zatem, według przyjętej dla tej metody miary, wartości obniżenia w granicach ± 20 mm nie świadczą o Pionowych ruchach powierzchni terenu w zdefiniowanym obszarze badań.

W przypadku pomiarów GPS-RTK praktycznie nie występuje problem niestabilności elementów nawiazania. Realizuje się je bowiem w oparciu o zdefiniowaną matematycznie w systemie GPS powierzchnię odniesienia, którą stanowi elipsoida. Z opracowania i analiz zrealizowanych w latach 2009–2010 (na dość dużą skalę) pomiarów tego typu na terenie górniczym LW „Bogdanka” S.A. [1] wynika, że dokładność wyznaczenia różnicy wysokości punktu metodą GPS-RTK w oparciu o sieć ASG-EUPOS dla punktów markowanych w terenie (niestabilizowanych trwale), nie przekracza ± 3 cm z odchyleniem standardowym ± 13 mm. Wartości te przyjęto do analiz wyników wysokościowych obserwacji satelitarnych GPS-RTK zrealizowanych na stabilizowanych punktach sieci przestrzennej, jako wstępną miarę oceny tych wyników.

Rezultaty powyższych badań wskazują także, że dokładność pomiaru sytuacyjnego punktów, prowadzonego w dość sprzyjających warunkach terenowych metodą GPS-RTK w oparciu o sieć ASG-EUPOS, nie przekracza generalnie ± 3 cm, niezależnie od miejsca pomiaru w stosunku do lokalizacji stacji permanentnych. Dokładność tę również przyjęto jako miarę szacunkową do analiz pomiarów sytuacyjnych metody satelitarnej GPS-RTK, wykonanych na punktach analizowanej sieci przestrzennej.

4. Wyniki pomiarów

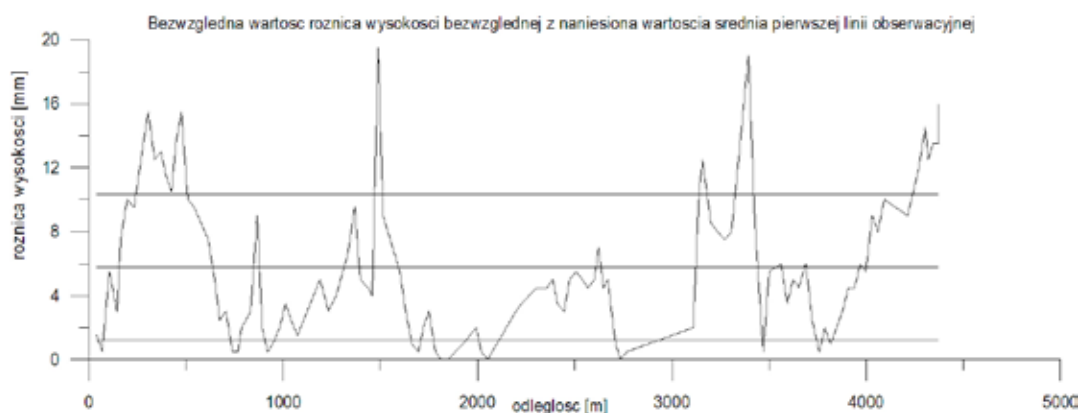
4.1. Niwelacja precyzyjna

Pierwszy etap prac stanowiło opracowanie wyników pomiarów niwelacyjnych, stanowiących bazę porównawczą dla rezultatów metody satelitarnej. W tym celu zestawiono wysokości oraz różnice wysokości pomierzonych punktów sieci z dwóch serii obserwacyjnych, obejmujących okres 5 miesięcy. W okresie tym zaobserwowano generalnie niewielkie różnice wysokości poszczególnych punktów. Różnice przeważającej liczby

punktów sieci oscylowały w zakresie ± 20 mm, czyli w granicach oszacowanej wcześniej dokładności wyznaczenia wskaźnika. Wyjątek stanowiło kilka wartości przekraczających ten zakres, dochodzących maksymalnie do 55 mm. Jednak biorąc pod uwagę wyniki zanotowane na sąsiednich punktach sieci (w otoczeniu tych punktów), nie było podstaw do stwierdzenia, iż wykazane zmiany wysokości były wynikiem działalności górniczej. Zjawisko deformacji powierzchni terenu (o charakterze ciągłym) przy braku robót górniczych w tym rejonie oraz braku stwierdzonych deformacji nieciągłych nie może zachodzić punktowo. Mając na uwadze dość gęste rozmieszczenie punktów oraz fakt, że pomierzone różnice wysokości punktów sąsiednich mieściły się w granicach dokładności pomiaru stwierdzono, że najprawdopodobniej przyczyną zmian wysokościowych tych punktów mogły być ich uszkodzenia mechaniczne, wynikające z prowadzenia robót budowlanych lub ewentualnie inne, trudne dziś do zdefiniowania przyczyny.

Przyjęta wcześniej dokładność wyznaczenia różnic wysokości z dwóch serii niwelacyjnych, została zweryfikowana prostą analizą statystyczną, przeprowadzoną dla bezwzględnych wartości wyznaczonych różnic wysokości punktów. W tym celu wyliczono średnią (bezwzględną) wartość obliczonych różnic wysokości analizowanych punktów sieci wraz z odchyleniem standardowym, świadczącym o przeciętnym rozproszeniu poszczególnych wyników wokół tej średniej.

Bezwzględna wartość stwierdzonych pomiędzy seriami różnic wysokości punktów



Rys. 1. Bezwzględne wartości różnic wysokości z wartością średnią i zakresem odchylenia standardowego (metoda niwelacji precyzyjnej)

Figure 1. Absolute value of differences with average value and scope of standard deviation (method of precise leveling)

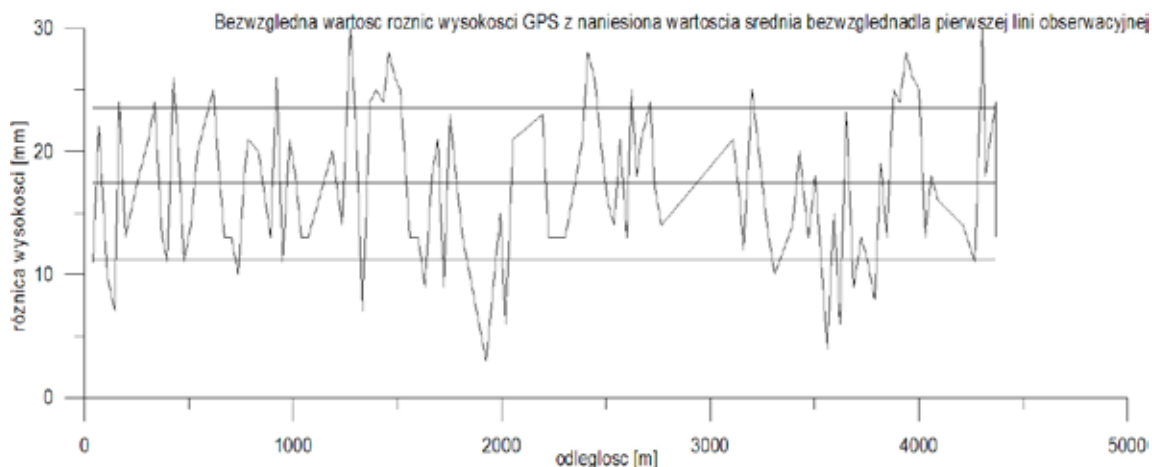
wyniosła 5.75 mm z odchyleniem standardowym ± 4.55 mm. Wartości te można uznać w tym przypadku za charakterystykę dokładnościową obliczonych różnic wysokości punktów sieci. Jak widać, wyniki obliczeń nie przekraczają wykonanego wcześniej oszacowania błędu średniego (dla punktów w środkowej strefie ciągu niwelacyjnego: ± 20 mm), świadcząc o poprawności wykonanych analiz i pewnej ostrożności we wnioskowaniu opartym na wykonanych szacunkach (wartość szacunkowa przekracza wartości statystyk). Ponadto wyniki wskazują, że oszacowaną wartość (na poziomie ± 20 mm) można rozpatrywać w tym przypadku w kategoriach błędu granicznego.

Dla wyraźniejszego zobrazowania uzyskanych wyników, przedstawiono wykres (rys. 1) bezwzględnych wartości różnic wysokości poszczególnych punktów sieci między wykonanymi metodą niwelacji precyzyjnej seriami pomiarowymi. Na wykresie widać wyraźnie, że wartości mieszczą się w przedziale szacunkowym ± 20 mm. Świadczy to, szczególnie przy braku bieżącej eksploatacji górniczej, o stabilności powierzchni terenu w obranym rejonie badań na wykazanym poziomie istotności.

4.2. Pomiar wysokościowy GPS–RTK

Na podstawie zestawionych wyników pomiarów wysokościowych GPS–RTK oraz obliczonych różnic wysokości poszczególnych punktów z dwóch serii pomiarowych stwierdzono, że różnice wysokości punktów, za wyjątkiem zaledwie dwóch punktów, mieściły się w granicach ± 30 mm, czyli w przyjętej wstępnie szacunkowej dokładności pomiaru. Odwołując się do rozdziału 4.1, przeprowadzone pomiary niwelacyjne (niwelacja precyzyjna) na problematycznych punktach nie wykazały podobnych zmian wysokościowych. Powodem zwiększonych (ponad oszacowany poziom dokładności) różnic wysokości tych punktów była najprawdopodobniej zbyt wysoka błędność poprawek przesłanych ze stacji bazowych, co mogło mieć niekorzystny wpływ na wartości pomierzonych wysokości.

Przyjętą wcześniej dokładność (wyznaczenia różnic wysokości) metody GPS–RTK zweryfikowano, podobnie jak w przypadku pomiarów niwelacyjnych, prostą analizą statystyczną. Średnia bezwzględna wartość wyznaczonych różnic wysokości wyniosła w tym przypadku 17.41 mm, z odchyleniem standardowym ± 6.16 mm. Wartości te charakteryzują dokładność wyznaczonych metodą GPS–RTK różnic wysokości punktów sieci. Podobnie jak w przypadku wyników niwelacji geometrycznej, wyliczone



Rys. 2. Bezwzględne wartości różnic wysokości z wartością średnią i zakresem odchylenia standardowego (metoda GPS-RTK)
 Figure 2. Absolute value of differences in height with average value and scope of standard deviation (GPS-RTK method)

dokładności nie przekraczają wstępnie przyjętej wartości szacunkowej, którą można również i w tym przypadku uznać za błąd graniczny wynoszący ± 30 mm.

Na wykresie (rys. 2) przedstawiono bezwzględne wartości różnic wysokości poszczególnych punktów sieci. W celu uzyskania wiarygodnych wyników analizy z wykresu usunięto punkty, których dwukrotny pomiar wykazał znaczne zmiany wysokości, niezwiązane ze zjawiskiem obniżen powierzchni terenu. Efektem tego jest dość regularna fluktuacja obliczonych wartości różnic wysokości, oscylujących w przedziale ± 30 mm (błąd graniczny). Oznacza to, że w nawiązaniu do stałej powierzchni odniesienia (w każdym punkcie) istnieje możliwość uzyskania wyników zapewniających wykazaną dokładność. Problemem mogą być jedynie niekorzystne lokalne warunki dla prowadzonego tą techniką pomiaru, wpływające ostatecznie na jakość wyniku. Jednak, jak okazało się na tle badanej sieci, wystąpiły one na pojedynczych punktach, których eliminacja w procesie poprawnie wykonanej analizy nie nastręczyła dużych trudności.

4.3. Pomiar sytuacyjny GPS-RTK

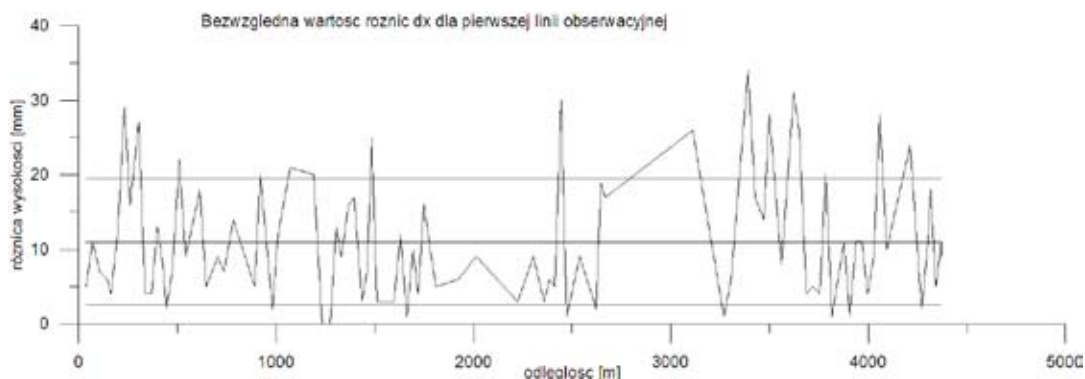
Na podstawie wyników zrealizowanych pomiarów współrzędnych płaskich wyznaczono różnice dx i dy współrzędnych punktów sieci z dwóch serii obserwacyjnych.

Obliczone wartości dx i dy przeważającej liczby punktów sieci osiągały różnice w założonym przedziale dokładności pomiaru, oszacowanym na poziomie ± 30 mm. Wyjątek stanowiło 7 punktów, dla których wyznaczone wartości przekroczyły ten zakres. Największa różnica wyniosła $dy = 66$ mm. Zagęszczona sieć (1 punkt na około 35 metrów) nie wykazała podobnych zmian na punktach sąsiednich. Biorąc pod uwagę wyniki pomiarów wysokościowych, na podstawie których stwierdzono brak istotnych ruchów powierzchni terenu w rejonie badań stwierdzono, że przyczyną zwiększonych różnic dx i dy względem osi układu współrzędnych, mogły być najprawdopodobniej zbyt wysokie błędności poprawek przesłanych ze stacji bazowych (patrz rozdz. 4.2). W pojedynczych przypadkach nie należy zatem wykluczać także możliwości naruszenia lub uszkodzenia punktów pomiarowych.

Fakt braku bieżącej działalności górniczej w rejonie badań umożliwił przeprowadzenie analizy dokładności pomiaru sytuacyjnego wyłącznie w oparciu o wyniki dwóch serii obserwacyjnych zrealizowanych metodą GPS-RTK (bez konieczności odniesienia go do bazy porównawczej).

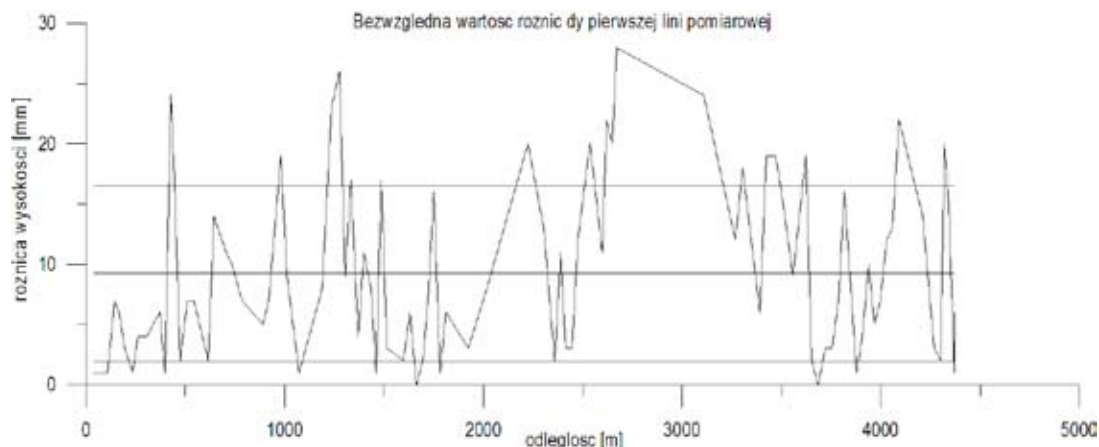
Przyjętą powyżej wstępnie dokładność pomiaru w tym zakresie zweryfikowano analizą statystyczną, przeprowadzoną osobno dla różnic współrzędnych dx i dy . Podobnie jak w przypadku analiz pomiarów wysokościowych wyznaczono bezwzględne średnie wartości obliczonych różnic dx i dy wraz odchyleniem standardowym, świadczącym o przeciętnym rozproszeniu wyników względem wyznaczonych wartości średnich.

Średnia bezwzględna wartość różnic dx wyniosła 11.42 mm z odchyleniem stan-



Rys. 3. Bezwzględne wartości różnic dx z wartością średnią i zakresem odchylenia standardowego (metoda GPS-RTK)

Figure 3. Absolute value of dx differences with average value and scope of standard deviation (GPS-RTK method)



Rys. 4. Bezwzględne wartości różnic dy z wartością średnią i zakresem odchylenia standardowego (metoda GPS-RTK)

Figure 4. Absolute vale of dy differences with average value and scope of standard deviation (GPS-RTK method)

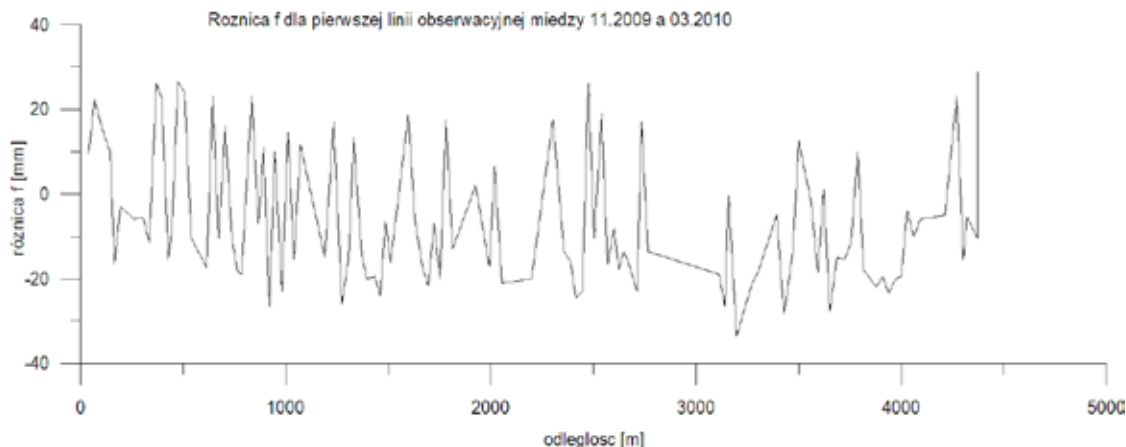
dardowym ± 8.92 mm, natomiast średnia bezwzględna wartość różnic dy wyniosła 9.59 mm z odchyleniem standardowym ± 7.83 mm. Wartości te, podobnie jak przy pomiarach wysokościowych, można traktować jako charakterystykę dokładnościową obliczonych różnic dx i dy współrzędnych punktów sieci. Wyniki uzyskane w przeprowadzonej analizie mieszczą się w założonej wcześniej błędności pomiaru, tak więc wartość ± 30 mm można rozpatrywać w aspekcie błędu granicznego.

Poniżej przedstawiono dwa wykresy bezwzględnych wartości różnic współrzędnych punktów dx (rys. 3) i dy (rys. 4) między wykonanymi seriami obserwacyjnymi. Wartości te mieszczą się w przedziale założonego błędu granicznego ± 30 mm. Z analizy statystycznej wyeliminowano punkty, które najprawdopodobniej uzyskały niekorzystne poprawki lokalne.

5. Porównanie wyników pomiarów wysokościowych z metody niwelacji geometrycznej i metody GPS-RTK

W niniejszym rozdziale dokonano porównania obliczonych na podstawie dwóch serii obserwacyjnych różnic wysokości określonych w oparciu o pomiary zrealizowane metodą niwelacji geometrycznej i metodą GPS-RTK.

W oparciu o wyznaczone obiema metodami pomiarowymi różnice wysokości punktów sieci przestrzennej obliczono różnice (odchyłki) pomiędzy odpowiadają-



Rys. 5. Odchyłki różnic wysokości wyznaczonych z metody niwelacji geometrycznej i z metody GPS-RTK
Figure 5. Deviation between differences in height measured with precise leveling and GPS-RTK methods

cymi sobie wynikami uzyskanymi na poszczególnych punktach. Przebieg odchyłek, przedstawiony na rysunku 5 nie wykazuje konkretnego trendu, wartości te są losowe, zawierając się w przedziale od -33 mm do 29 mm.

Korzystając z rezultatów przeprowadzonych wcześniej ocen dokładnościowych wyników różnic wysokości (z obu analizowanych metod pomiarowych) można dokonać formalnej oceny uzyskanych wyników (obliczonych odchyłek). Opierając się na wyznaczonych błędach granicznych różnic wysokości, wynoszących:

[11] ± 20 mm – metoda niwelacji geometrycznej,

[12] ± 30 mm – metoda GPS-RTK,

można wyznaczyć wartość graniczną dla wyliczonych odchyłek. Korzystając z prawa przenoszenia błędów średnich uzyskuje się $m = \sqrt{30^2 + 20^2} = \pm 36$ mm. Jak wynika z danych przedstawionych na wykresie żaden z wyników policzonych odchyłek nie przekracza tej wartości. Zatem wszystkie odchyłki mieszczą się w granicach błędów ich wyznaczenia, świadcząc o poprawności wykonanych pomiarów z uwzględnieniem ich dokładności. Potwierdza to również wcześniejszy pogląd o stabilności powierzchni terenu, uwzględniając poziom istotności ($\pm 2-3$ cm), wynikający z wykonanych pomiarów geodezyjnych.

6. Podsumowanie wyników badań

Niniejszy artykuł przedstawia wyniki i analizę pomiarów przestrzennych, zrealizowanych w okresie 5. miesiący metodą GPS-RTK na zastabilizowanej sieci punktów geodezyjnych wzdłuż budowanego odcinka drogi. Pomiar wysokościowy skonfrontowano z wynikiem klasycznych pomiarów niwelacji precyzyjnej. Zrealizowane pomiary, zarówno klasyczne jak i satelitarne (prowadzone w oparciu o sieć ASG-EUPOS), oceniono pod względem dokładnościowym, co umożliwiło ostateczne wnioskowanie o ich przydatności do wyznaczania przemieszczeń punktów przestrzennej sieci obserwacyjnej w rejonach podziemnej eksploatacji górniczej.

Na podstawie przeprowadzonych i zaprezentowanych w syntetyczny sposób analiz, sformułowano kilka wniosków, które przedstawiono poniżej.

W przedmiotowym rejonie badań nie prowadzono bieżącej eksploatacji złoża węgla kamiennego. Ostatnia eksploatacja górnicza prowadzona w tym rejonie została zakończona 5 lat przed realizacją przedstawionych pomiarów. W związku z tym wyniki pomiarów niwelacji precyzyjnej na założonej wzdłuż realizowanej inwestycji sieci punktów obserwacyjnych wykazały brak obniżen powierzchni terenu, wynikających bezpośrednio z zakończonych robót górniczych. Ewentualne niewielkie pionowe ruchy powierzchni terenu mieściły się w granicach dokładności wykonanych pomiarów niwelacyjnych i nie przekroczyły 2 cm w okresie 5 miesięcy. Uwzględniając jednak charakter obliczonych przyrostów obniżen (o znakach zarówno ujemnych jak i dodatnich) można ostatecznie wnioskować o braku przemieszczeń pionowych, a wyznaczone wartości różnic wysokości na poszczególnych punktach sieci pozwalały traktować je w kategoriach błędów przypadkowych.

Relatywnie niska dokładność wyznaczenia wysokości punktów (w granicach ± 14 mm) i różnic wysokości (w granicach ± 20 mm) metodą niwelacji precyzyjnej wynikała bezpośrednio z dokładności wysokościowych punktów nawiazania, których pomiar i analiza stałości wykazały ich niestabilność na poziomie ± 10 mm (także w stosunku do danych katalogowych). Niestalość w czasie punktów nawiazania na terenach górniczych stanowi duży problem przy realizacji klasycznych pomiarów geodezyjnych, szczególnie o dużej precyzji.

Dokładność wyznaczonych różnic wysokości poszczególnych punktów sieci z przeprowadzonych równolegle w tym samym czasie pomiarów wysokościowych metodą

GPS–RTK wyniosła, w zakresie błędu granicznego, ± 30 mm i okazała się porównywalna z wynikiem uzyskanym z precyzyjnych pomiarów niwelacyjnych nawiązanych do niestabilnych punktów wysokościowych, zlokalizowanych na terenie górniczym. Pomiary satelitarne GPS–RTK odniesione do zdefiniowanej stałej powierzchni elipsoidy, uniezależniają pomiar od ewentualnych ruchów powierzchni terenu w rejonie pomiarów, w szczególności na terenach górniczych.

Porównanie wyników pomiarów wysokościowych (różnic wysokości punktów sieci) zrealizowanych w tym samym czasie metodą niwelacji geometrycznej i metodą GPS–RTK wykazało zbieżność wyników, z uwzględnieniem uzyskanych dokładności pomiarów.

Uwzględniając powyższe wyniki analiz, wskazujące, że teren górniczy w rejonie badań był uspokojony, można wnioskować również o braku występowania tam istotnych przemieszczeń poziomych (brak niecki obniżeniowej). Pozwoliło to analizować cykliczne pomiary sytuacyjne punktów sieci przestrzennej, wykonane metodą GPS–RTK, w aspekcie dokładnościowym.

Średnie błędy położenia punktów z dwukrotnego pomiaru metodą GPS–RTK oscylują w zakresie ± 30 mm. Wartość ta znajduje potwierdzenie w zrealizowanych wcześniej na terenie górniczym LW „Bogdanka” podobnych pomiarach deformacji powierzchni terenu.

W przypadku terenów górniczych za bardziej ekonomiczną metodę pomiarów obniżen należy uznać pomiar GPS–RTK, przeprowadzony w oparciu o sieć stacji referencyjnych systemu ASG–EUPOS. Czas przeprowadzenia pomiarów klasycznych (niwelacja precyzyjna), włącznie z koniecznością kontroli stałości punktów nawiązania, jest znacznie dłuższy, a liczebność zespołu pomiarowego większa (minimum 3 osoby, dla pomiaru GPS–RTK wystarczy 1 osoba). Powoduje to, że koszt realizacji pomiarów klasycznych jest znacznie wyższy, przy uzyskaniu podobnych dokładności wyników, wystarczających dla monitorowania obniżen powierzchni terenu, przekraczających zazwyczaj znacznie poziom centymetrowy. Wniosek ten może dotyczyć również przemieszczeń poziomych, o ile centymetrowa dokładność ich wyznaczania nie zawiera się w zakresie powodującym zagrożenie dla obiektów o niskiej wytrzymałości. Pomiar GPS–RTK daje w tym względzie pogląd o przemieszczeniach poziomych gruntu, zarówno co do wartości jak i kierunku.

W przypadku pomiarów deformacji, związanych z określaniem odkształceń pozio-

mych, dokładność metody GPS-RTK przy wyznaczaniu współrzędnych płaskich jest jednak zbyt niska. Określane na tej podstawie wartości wskaźnika, nie charakteryzowałyby się odpowiednią i wymaganą precyzją.

Reasumując, należy jednak stwierdzić, że metoda GPS-RTK jest w pełni przydatna do wyznaczenia przemieszczeń punktów przestrzennej sieci obserwacyjnej w rejonie podziemnej eksploatacji górniczej, umożliwiając monitorowanie ruchów powierzchni terenu, zarówno pionowych jak i poziomych, na założonym poziomie istotności.

LITERATURA

- [1] Hejmanowski R., Sopata P., Stoch T., Wójcik A. 2011: *Zintegrowane pomiary obniżień powierzchni terenu górniczego Puchaczów V w oparciu o technologię InSAR*. Fundacja dla Akademii Górniczo-Hutniczej im. Stanisława Staszica w Krakowie. Praca naukowo-badawcza, niepublikowana.
- [2] Śliwa K. 2010: *Ocena możliwości zastosowania pomiarów GPS do wyznaczenia przemieszczeń punktów przestrzennej sieci obserwacyjnej nad podziemną eksploatacją górniczą*. Praca dyplomowa, niepublikowana.



Wykorzystanie technologii TLS do budowy trójwymiarowego modelu wyrobisk górniczych KGHM PM S.A.

Ł. Markiewicz

KGHM PM S.A. Zakłady Górnicze „Lubin”

J. Młynarczyk

KGHM PM S.A. Zakłady Górnicze „Lubin”

Sz. Olszewski

KGHM PM S.A. Zakłady Górnicze „Lubin”

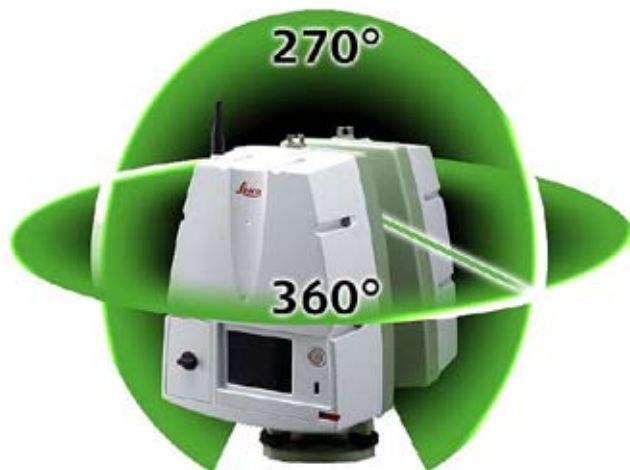
G. Patykowski

KGHM PM S.A. Zakłady Górnicze „Lubin”

1. Wstęp

Zagadnienie inwentaryzacji wyrobisk górniczych stanowi istotną część pracy działu mierniczego wszystkich zakładów górniczych. W ciągu kilkudziesięciu lat funkcjonowania kopalni, przetestowano wiele typów sprzętu geodezyjnego, rozwiązań technologicznych i metod pozyskiwania danych w oparciu o które tworzone mapy. Naturalną konsekwencją rozwoju technologicznego jest wykorzystanie skanera laserowego do opracowania trójwymiarowego modelu wyrobisk. Nowa technologia pozwala na określenie położenia sytuacyjno – wysokościowego milionów punktów w krótkim czasie. Jest to wydajność nieosiągalna dla obecnie wykonywanych pomiarów wykorzystujących tachimetry elektroniczne.

Naziemny skanowanie laserowe jest techniką pomiaru polegającą na odbiciu od wirującego lustra wiązki lasera w zadanym kierunku, oraz rejestracji powracającej wiązki fali elektromagnetycznej w trybie fazowym bądź impulsowym. Podczas pomiaru lustro rotuje automatycznie wokół własnej osi w zakresie 360o równocześnie skanując sferę nad instrumentem – rysunek 1.



Rys. 1. Skaner laserowy Leica ScanStation C5 [2]
Figure 1. Laser Scanner Leica Scan Station C5

Skanery wykorzystujące zjawisko przesunięcia w fazie, po odebraniu fali porównują ją z falą referencyjną. Skanery impulsowe, pomiar długości realizują poprzez określenie czasu wyjścia fali, odbicia od obiektu i powrotu do układu. Tryb fazowy w porównaniu z impulsowym charakteryzuje mniejszy zasięg, który jest częściowo

rekompensowany przez większą szybkość pomiaru. Z kolei tryb impulsowy, cechuje duży zasięg, mniejsza ilość szumów, lecz dłuższy niż w przypadku skanerów fazowych czas pomiaru [3].

Efektom skanowania są miliony punktów o znanych współrzędnych x , y , z , oraz parametrach intensywności odbicia, która odzwierciedlana jest w kolorystyce pozyskanej chmury punktów.

Na podstawie kilkuletnich obserwacji rynku skanerów laserowych, połączonych z próbnymi pomiarami realizowanymi w warunkach kopalnianych, przy wykorzystaniu instrumentów czołowych producentów na rynku, podjęto decyzję o wykorzystaniu skanera Leica ScanStation C5 do budowy trójwymiarowego modelu wyrobisk górniczych. Instrument ten stanowi platformę rozwojową, dającą możliwość rozbudowy o dodatkowe opcje w każdym momencie użytkowania.

Z uwagi na środki zarezerwowane na realizację zadania, oraz jego cele w początkowym etapie wdrożenia, postanowiono uzupełnić skaner o dwie z czterech możliwych opcji. Zwiększony został zasięg pomiarów z 35 m do 300 m, oraz przyspieszono proces skanowania z 25000 pkt/s do 50000 pkt/s. Rozwiązanie to pozwala na zmniejszenie liczby stanowisk pomiarowych, oraz zwiększenie ich wydajności przez skrócenie czasu pracy w terenie.

Istotnym elementem budowy trójwymiarowego modelu wyrobisk górniczych jest aplikacja do obróbki chmur punktów. Do realizacji zadania wykorzystujemy modułowe oprogramowanie Leica Geosystems HDS Cyclone. Do najważniejszych funkcji programu należy kontrola skanowania, nadawanie orientacji i georeferencji, edycja chmur punktów, modelowanie oraz analizy przestrzenne.

2. Skanowanie laserowe w KGHM PM S.A.

Po dokonaniu wyboru urządzenia nastąpił jego zakup, połączony z krótkim szkoleniem w zakresie obsługi i funkcjonalności oprogramowania. W naszym przypadku szkolenie trwało dwa dni i należy podkreślić, iż w jego wyniku możliwe jest jedynie wyrobienie sobie poglądu na temat możliwości wykorzystania urządzenia, natomiast specyfika obiektów, z którymi mamy do czynienia w zakładzie górniczym, nie pozwala na prostą implementację technologii i metod pomiarowych wykorzystywanych na powierzchni. Dla przykładu wykorzystanie do georientacji technologii GPS jest

w warunkach kopalnianych niemożliwe [4]. Można powiedzieć, że każdorazowo przed przystąpieniem do realizacji konkretnego zadania, należy przeanalizować możliwości wykorzystania jego wyników i pod tym kątem dobrać technologię wykonania, obejmującą między innymi problematykę georeferencji, która jest nie mniej istotna niż sam zasadniczy proces skanowania. Kolejnym istotnym aspektem utrudniającym zastosowanie technologii skaningu laserowego w warunkach dołowych są częstokroć ograniczone gabaryty obiektów, które należy poddać inwentaryzacji, co w połączeniu z zagospodarowaniem przestrzeni wyrobisk poprzez montaż różnego rodzaju urządzeń i infrastruktury powoduje, że nakład pracy związanej z koniecznością zaprojektowania dodatkowych stanowisk skanera oraz trudności z optymalizacją lokalizacji sygnałów wiążących skany jest znacznie większy, niż w większości projektów na powierzchni. Projekty realizowane w warunkach kopalnianych można porównać, pod kątem nakładu pracy i trudności przy realizacji, jedynie z inwentaryzacjami skomplikowanych instalacji przemysłowych.

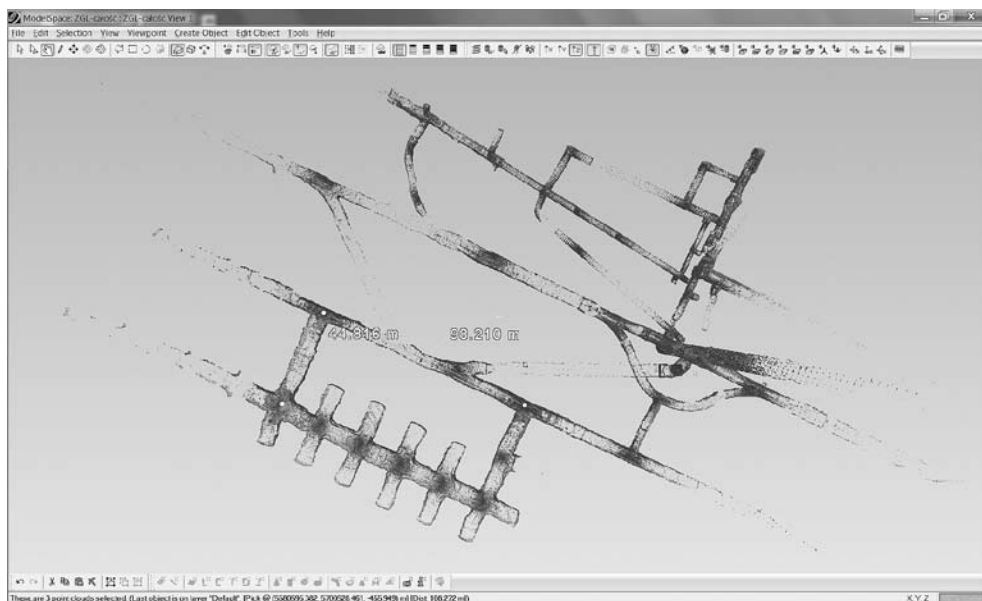
Relatywnie krótki czas użytkowania skanera w zakładzie górniczym, w powiązaniu z potrzebą wykonania testów wykorzystania technologii TLS powodują, że dotychczas wykonane projekty są jedynie stosunkowo niewielkimi „próbkami” możliwości skaningu, trudno jest więc na ich podstawie wyciągnąć obiektywne wnioski co do wydajności technologii – zwłaszcza w aspekcie komputerowej obróbki danych. W przypadku dużych projektów, zwłaszcza w odniesieniu do numerycznego modelu wyrobisk zakładu górniczego, nawet przy założeniu, że obejmuje on tylko wyselekcjonowane główne wyrobiska, może pojawić się bariera w postaci olbrzymiej ilości danych, a co za tym idzie trudności w obróbce i zarządzaniu projektem.

Aby zobrazować ilość danych uzyskiwanych w wyniku wykorzystania technologii TLS założyć należy, że w wyniku inwentaryzacji jednego kilometra typowego wyrobiska górniczego, w optymalnej rozdzielczości – gwarantującej wystarczającą dokładność przy jednoczesnej minimalizacji czasu skanowania – projekt składający się w tym wypadku z około 20 stanowisk osiągnie rozmiar około 6 GB. Jeżeli dodatkowo w wyrobisku znajdują się elementy infrastruktury technicznej, wymagające bardziej szczegółowego przedstawienia, dodatkowo zwiększy to rozmiar projektu.

Poniżej przedstawione zostaną przykłady dotychczasowych projektów, realizowanych z wykorzystaniem technologii TLS.

2.1. Skanowanie wyrobisk górniczych w rejonie podszybia

Celem tego projektu było przetestowanie możliwości i wydajności skanowania laserowego w rzeczywistych warunkach dołowych. Wybór wyrobisk w rejonie podszybia uwarunkowany był między innymi łatwością dostarczenia skanera i niezbędnego osprzętu w miejsce pomiaru, dodatkowo rejon podszybia charakteryzują się bogatą siecią wyrobisk o skomplikowanym układzie przestrzennym, zróżnicowanych gabarytach wyposażonych w liczną infrastrukturę techniczną. Wszystkie te aspekty sprawiają, że stanowią one idealny „poligon doświadczalny” dla możliwości przetestowania nowej technologii.



Rys. 2. Fragment modelu wyrobisk w rejonie podszybia

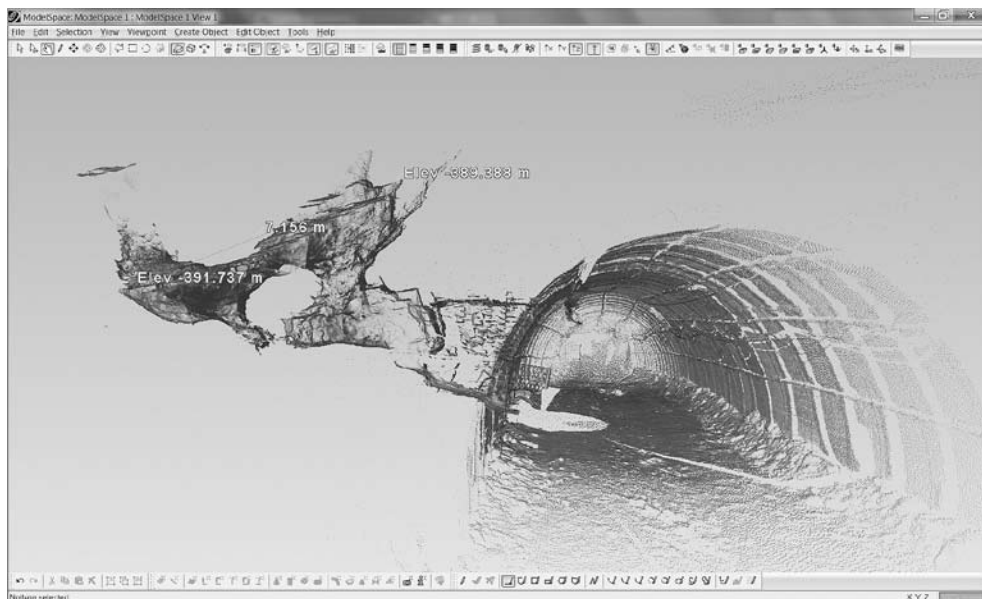
Prezentowany na rysunku 2 model przestrzenny jest efektem połączenia danych z 64 stanowisk skanera (7 dni pomiarowych), ilość danych to około 570 milionów punktów. Dane źródłowe miały rozmiar około 19 GB. Każdorazowo, przed przystąpieniem do pomiaru skanerem, wykonywano pomiar georefereny poprzez tachimetryczny pomiar położenia specjalnych tarcz HDS, które następnie po zeskanowaniu pozwalały na umiejscowienie przestrzeni zeskanowanej w geodezyjnym układzie współrzędnych. Łączenie obrazów z poszczególnych stanowisk skanera odbywało się przy pomocy specjalnych sygnałów w postaci kul, montowanych na obudowie, ociosach lub ele-

mentach wyposażenia wyrobisk. Relacje przestrzenne środków przynajmniej trzech kul, zeskanowanych z dwóch sąsiednich stanowisk, pozwalają na automatyczne połączenie pojedynczych chmur punktów. Na bazie dotychczasowych doświadczeń stwierdzić można, że jest to optymalna, pod względem dokładności, wydajności i prostoty, metoda pomiaru. Doświadczenia z realizacji tego projektu wskazują, że wystarczające jest rozmieszczenie stanowisk skanera co około 50 metrów, a więc zgodnie z geometrią typowych wyrobisk rozcinkowych w kopalniach KGHM, gdzie w interwałach 50-cio metrowych wykonuje się przecinki wentylacyjno-manewrowe łączące wyrobiska danej wiązki. Oczywiście wraz z odległością od skanera spada dokładność odwzorowania szczegółów terenowych, lecz w testowanej technologii, przy „średniej” rozdzielczości skanów, dla maksymalnej odległości od skanera wynoszącej 25 metrów siatka skanowania wynosi 25mm x 25mm, więc w ocenie autorów jest całkowicie wystarczająca w kontekście trójwymiarowego modelu wyrobisk. Wprawdzie niekorzystna ekspozycja inwentaryzowanych powierzchni wyrobisk w stosunku do wiązki laserowej, połączona z relatywnie niskim współczynnikiem odbicia, powoduje dodatkowo zmniejszenie dokładności pomiaru szczegółów terenowych, jednak efekt ten jest częściowo zniwelowany poprzez nałożenie obrazów z dwóch lub większej ilości sąsiednich stanowisk.

Podsumowując możliwości zastosowania technologii TLS do inwentaryzacji wyrobisk górniczych należy stwierdzić, że jest to jak najbardziej możliwe i celowe. Należy jednak pamiętać, iż niezmiennie istotnym elementem pomiaru jest równoległe prowadzenie sytuacyjno-wysokościowej osnowy geodezyjnej o odpowiednio wysokiej dokładności, dobranej do zakładanych efektów skanowania laserowego. Nierzadko, wobec braku odpowiednio dokładnej osnowy w wyrobiskach, w których planowane jest skanowanie, należy przewidzieć konieczność równoległego zakładania osnowy geodezyjnej wyłącznie do celów georientacji skanów.

2.2. Skanowanie pustek w górotworze

Kolejnym przykładem zastosowania skaningu laserowego była inwentaryzacja zjawisk geologicznych o charakterze krasowym, które zostały ujawnione w wyniku prowadzenia wyrobisk przygotowawczych w południowym rejonie Zakładów Górniczych „Lubin”. W tym wypadku charakterystyka obiektów, które poddano inwentaryzacji, wymagała znaczącej zmiany technologii pomiaru w stosunku do poprzedniego pro-

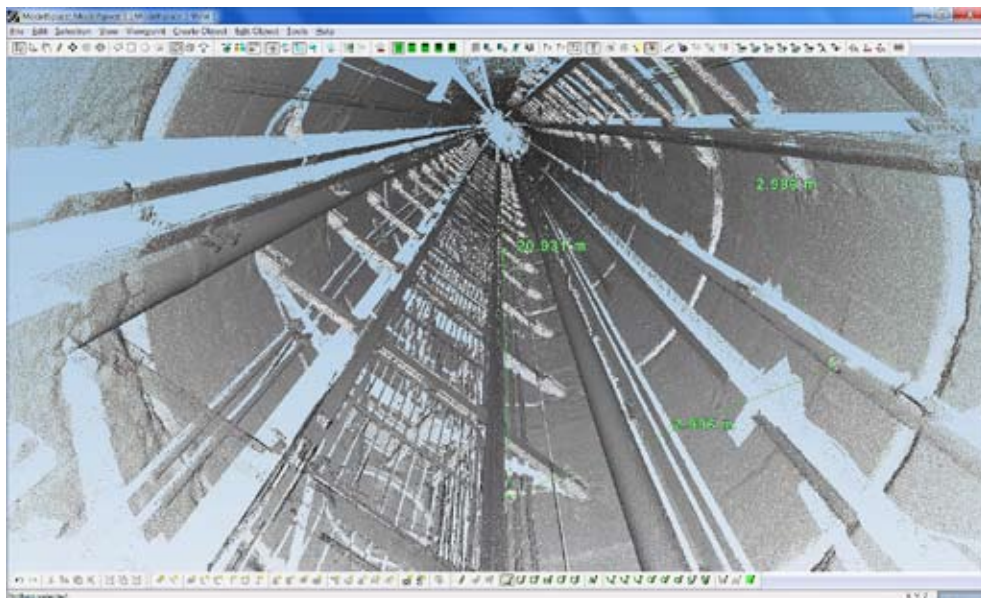


Rys. 3. Zjawisko krasowe w sąsiedztwie wyrobiska górniczego.

jektu. Dominującą niedogodnością była w tym przypadku ograniczona przestrzeń, co w połączeniu z brakiem oczywistych możliwości stabilizacji sygnałów służących do powiązania skanów zwiększała czasochłonność czynności przygotowawczych przed zasadniczym pomiarem. Dodatkowo skomplikowany kształt tych utworów, połączony z ich znacznym rozczłonkowaniem, powodował konieczność zaprojektowania konfiguracji stanowisk dostosowanej do geometrii obiektu. W podsumowaniu rezultatów tego projektu można stwierdzić, że możliwe jest zastosowanie skanowania laserowego nawet w przypadku niewielkich obiektów o skomplikowanych kształtach. Ograniczeniem są jedynie gabaryty samego urządzenia, jego ciężar utrudniający przemieszczanie go w ciasnych przestrzeniach oraz na obecnym etapie konieczność manualnej obsługi przez operatora. Doświadczenie zdobyte przy realizacji tego projektu może zostać z powodzeniem wykorzystane w przyszłości przy inwentaryzacji trudno dostępnej infrastruktury technicznej w wyrobiskach górniczych.

2.3. Próby skanowania szybów górniczych

W ramach inwentaryzacji wyrobisk górniczych w rejonie podszybia, przeprowadzono również próby wykorzystania skanowania laserowego w technologii TLS do inwen-



Rys. 4. Fragment skanu szybu

taryzacji szybów górniczych. Pierwsze próby wskazują, że pomimo dużego nasycenia przestrzeni elementami uzbrojenia szybu oraz niekorzystnych warunków w nich panujących w połączeniu z geometrią samych obiektów możliwym wydaje się zastosowanie skanowania do inwentaryzacji szybów górniczych. Najistotniejszym problemem, poza wspomnianymi powyżej, będzie zapewnienie odpowiedniej georeferencji, tak aby uzyskana w efekcie dokładność była wystarczająca w kontekście obowiązujących przepisów. Nie można wykluczyć, że w części szybów w wyniku panujących w nich warunków i innych ograniczeń zastosowanie skanowania laserowego może okazać się niemożliwe. Podkreślić jednak należy, iż w przypadku pozytywnego wyniku testów użycia skanera laserowego w szybie, ilość i jakość danych uzyskanych tą drogą może radykalnie zwiększyć wiedzę na temat stanu technicznego i przebiegu procesów deformacji, którym poddawane są szyby w warunkach oddziaływania prowadzonej eksploatacji górniczej.

2.4. Inwentaryzacja hałdy

Wreszcie ostatnim przetestowanym jak dotąd zastosowaniem technologii TLS, niezwiązanym bezpośrednio z problematyką tworzenia trójwymiarowego modelu wyrobisk górniczych, było wykorzystanie jej do inwentaryzacji hałd i składowisk. W tym

wypadku przedmiotem pomiaru był urobek wydobyty z kopalni i składowany w magazynie. Zastosowanie odpowiednio dobranych technik pomiaru i obróbki danych pozwoliło na uzyskanie w stosunkowo prosty sposób precyzyjnej informacji o kubaturze składowiska. Stworzony model składowiska pozwala na dokonywanie szeregu ciekawych analiz. W tym wypadku jednoznacznie stwierdzić można, że w porównaniu z klasycznymi metodami pomiarowymi stosowanymi do tej pory, wykorzystanie skanera laserowego do tego typu zadań przy podobnym nakładzie pracy na pomiary terenowe i obróbkę danych, daje znacznie bardziej kompletne i precyzyjne wyniki. W przypadku zwałowisk o skomplikowanej geometrii zastosowanie skaningu może wpłynąć na obniżenie nakładu pracy, zwłaszcza w odniesieniu do pomiarów terenowych.

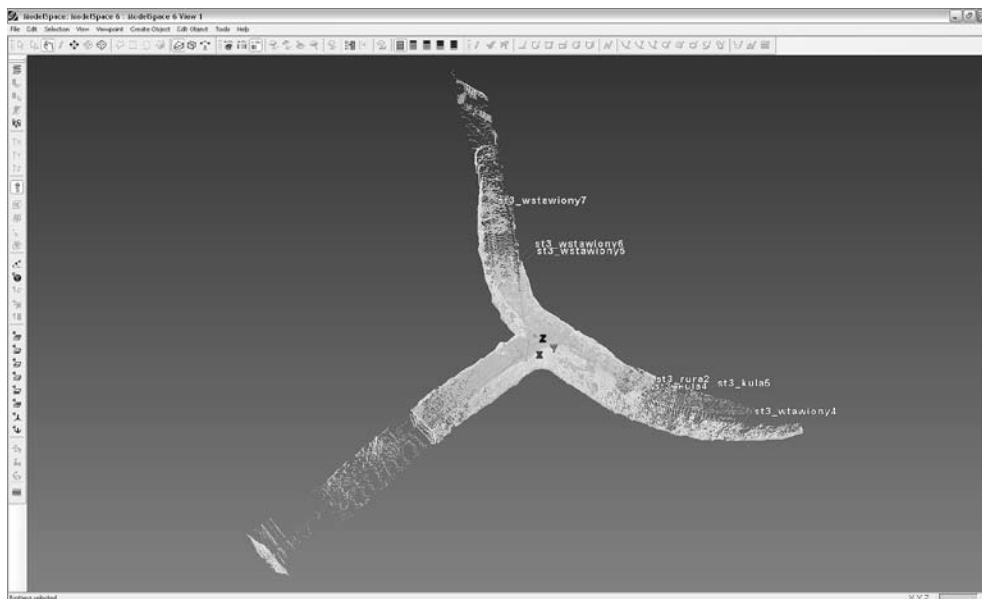
3. Produkty skaningu

Podstawowym efektem wykorzystania technologii skanowania wyrobisk górniczych jest ich wizualizacja – począwszy od najprostszych rzutów izometrycznych (dających ogólny pogląd na przestrzenną lokalizację chodników, szybów oraz urządzeń i budowli na powierzchni zakładu górniczego), a skończywszy na precyzyjnych inwentaryzacjach (bazując na których można tworzyć przekroje, obliczać objętości czy też monitorować deformacje). Do realizacji prac wykorzystano oprogramowanie Cyclone firmy Leica, którego modułowa budowa pozwala na kompleksową obsługę projektów 3D poprzez następujące operacje:

- import surowych danych z instrumentu,
- łączenie wielu stanowisk pomiarowych (chmur punktów),
- nadawanie projektowi georeferencji,
- tworzenia numerycznego modelu terenu lub trójwymiarowego modelu wyrobisk,
- tworzenie map warstwicznych,
- eksport wyników do zewnętrznych programów typu CAD, np.: MicroStation V8i firmy Bentley Systems, które pozwalają na adaptację wybranych partii przestrzeni na potrzeby istniejących map płaskich, a także do celów projektowych.

3.1. Obróbka danych

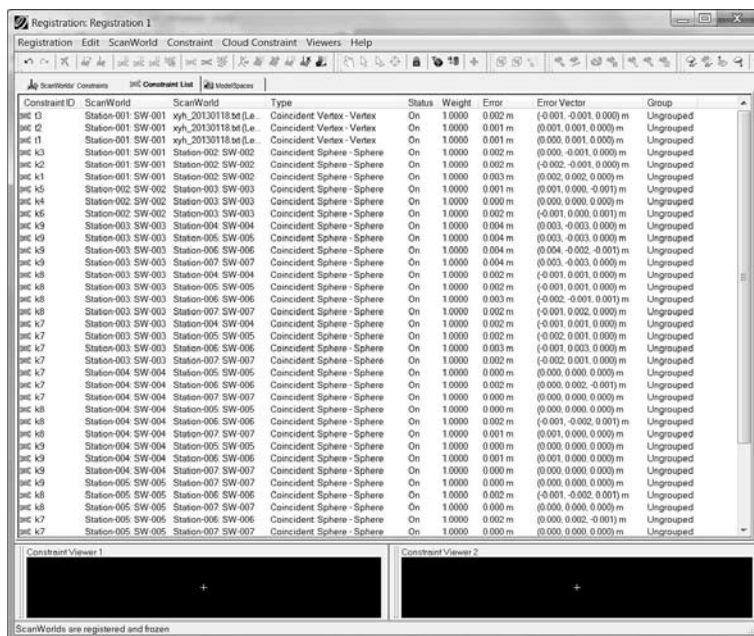
W pierwszym etapie dokonano transferu zarejestrowanych chmur punktów wraz z punk-



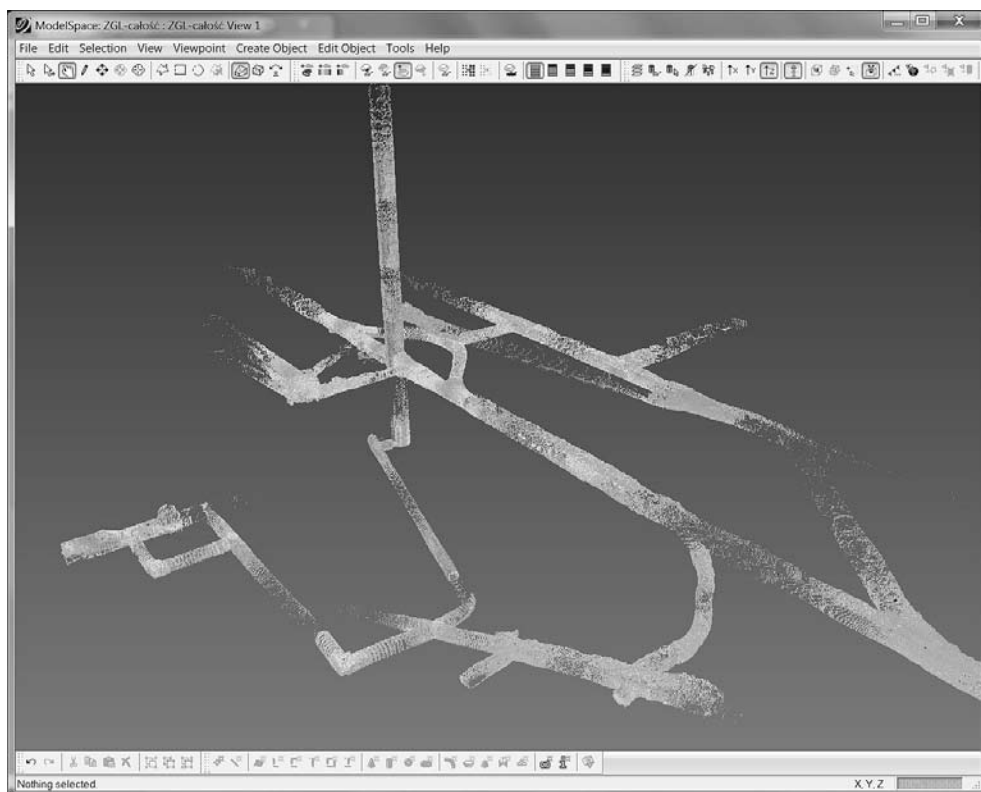
Rys. 5. Pojedyncze stanowisko

tami dostosowania (pomierzonymi tachimetrycznie) do bazy obiektowej Cyclone.

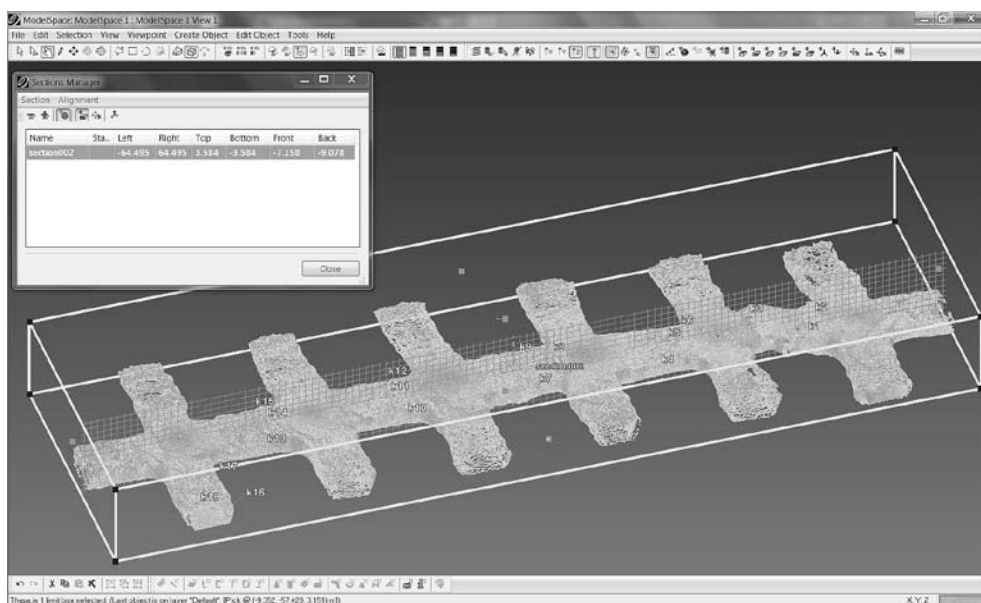
W drugim etapie, wykorzystując moduł Cyclone-REGISTER, tworzony jest zbiór stanowisk oraz nadawana jest im georeferencja, poprzez wczytanie plików tekstowych



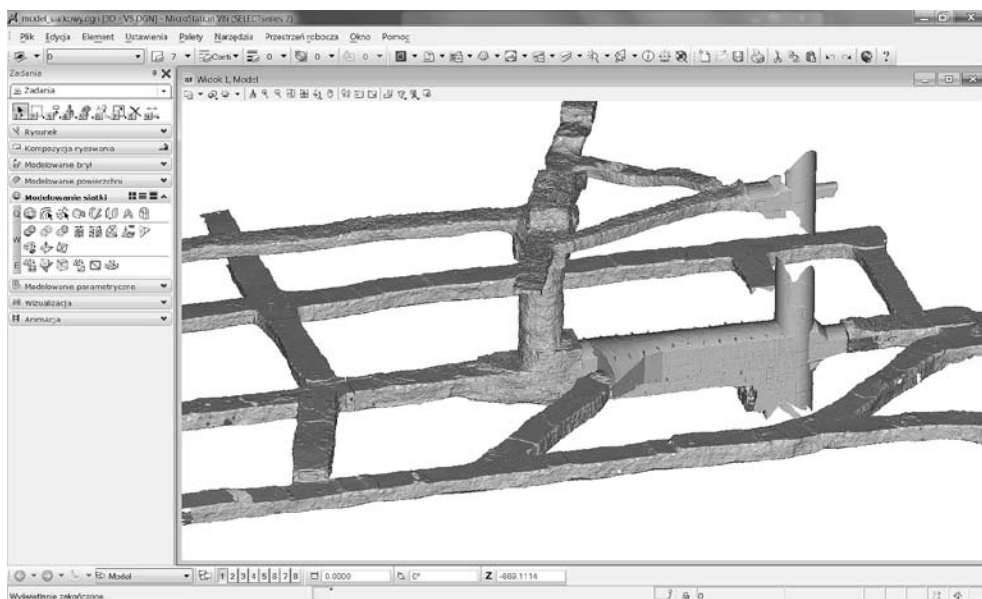
Rys. 6. Podgląd procesu rejestracji i nadania georeferencji.



Rys. 7. Skany z pojedynczych stanowisk połączone w wyniku rejestracji wraz z nadaniem georeferencji



Rys. 8. Przekrój przez dowolnie wybraną część modelu.



Rys. 9. Wyrenderowane wyrobiska

zawierających współrzędne x, y, z punktów dostosowania.

W trzecim etapie przygotowano i połączono zorientowaną w określonym układzie współrzędnych chmurę punktów. Wykorzystując moduł Cyclone-SURVEY wykonać można modelowanie, pozyskanie wybrane detali oraz wyeksportowanie ich do programów typu CAD.

4. Podsumowanie

Zamierzeniem autorów referatu było zaprezentowanie nowego podejścia do problematyki inwentaryzacji wyrobisk górniczych oraz infrastruktury technicznej przy wykorzystaniu najnowszych technologii pomiarowych dostępnych na rynku. Równolegle z testami powyższej funkcjonalności badano możliwości wykorzystania TLS w innych zagadnieniach związanych z ruchem zakładu górniczego. Prezentacja możliwości skaningu laserowego przed szerokim gremium specjalistów z działów inżynieryjno-technicznych zakładu wywołała odzew w postaci wielu pomysłów na zastosowanie tejże technologii. Do rozwiązania pozostaje kwestia związana z przekazywaniem oraz udostępnianiem danych innym działom w ramach Zakładu Górniczego. Na rynku istnieją rozwiązania pozwalające na korzystanie z efektów skanowania przez większą liczbę odbiorców za pomocą darmowej przeglądarki jednak o ograniczonej funkcjonalności.

Należy jednak nadmienić, że z uwagi na pewne ograniczenia prezentowanej metody, przed jej praktycznym wykorzystaniem należy przeprowadzić szereg dodatkowych pomiarów, które pozwolą na wiarygodną ocenę dokładności jej wyników. Z pewnością jednak już teraz można stwierdzić, że osiągnięte dotąd rezultaty skanowania w kontekście modelowania wyrobisk są zadowalające. Postawić należy jednak pytanie o zakres wyrobisk zakładu górniczego, który powinien być objęty tak precyzyjną inwentaryzacją. Przy dużych możliwościach jakie daje technologia TLS należy mieć na uwadze jej ograniczenia natury technologicznej i informatycznej.

LITERATURA

- [1] Garry Burton, *Terrestrial laser scanner*, QUEENSLAND ROADS Edition No 4 September 2007
- [2] www.leica-geosystems.pl
- [3] Geoff Jacobs, *3D Laser scanning: An ultra-fast high- definition, reflectorless topographic survey*, Professional Surveyor Magazine, maj 2004
- [4] Geoff Jacobs, *Registration and Geo- referencing*, Professional Surveyor Magazine, maj 2005



**Modelowanie i wizualizacja obiektów
górnictwch wchodzących w skład
Rezerwatu Przyrody Nieożywionej Groty
Kryształowe Kopalni Soli Wieliczka S.A.**

Wojciech Matwij

Tomasz Lipecki

AGH w Krakowie

1. Wstęp

Klasyczne geodezyjne systemy pomiarowe opierają się głównie na tachimetrycznym wyznaczeniu współrzędnych punktów. Polega ono na określeniu kąta przestrzennego oraz odległości od urządzenia do celu. W przypadku obiektów o bardzo zróżnicowanym kształcie wymagany jest pomiar bardzo dużej ilości punktów. Ręczne wskazywanie poszczególnych celów w pomiarach tachimetrycznych wymaga bardzo dużego nakładu pracy przez co staje się nieefektywne. Dlatego należy znaleźć inny system, który mógłby przyspieszyć i zwiększyć zakres prac w podziemnych zakładach górniczych. Jednym z nich jest niewątpliwie skanowanie laserowe.

Zautomatyzowanie procesu pomiaru w przyrządach pozwoliło na zwiększenie szybkości ich pracy. Powstanie tachimetrów skanujących, które potrafiły w sposób automatyczny pomierzyć nawet kilkadziesiąt punktów w ciągu sekundy zapoczątkowało proces ewolucji systemu. Dzisiaj skanery laserowe, w tym skanery panoramiczne oraz profilografy skanujące potrafią osiągnąć prędkości nawet kilkuset tysięcy do miliona punktów na sekundę. W dziedzinie geodezji górniczej dzięki zastosowaniu tych przyrządów możliwe jest nie tylko skrócenie prac pomiarowych wykonywanych w ciężkich i niebezpiecznych warunkach, ale również poszerzenie zakresu działań współczesnego działu mierniczego (Lipecki, 2010, Matwij 2011).

Działanie skanerów laserowych jest zbliżone do pomiaru tachimetrem laserowym bezlustrowym. Jediną różnicą jest szybkość pomiaru punktów, którą osiągnięto dzięki zastosowaniu wirującego z dużą prędkością pryzmatu. Urządzenie zapisuje wyznaczone w układzie skanera współrzędne X, Y, Z oraz intensywność odbitego sygnału dla każdego pomierzonego punktu. Dodatkowo montowanym elementem jest w wielu przypadkach kamera cyfrowa, dzięki której po wykonaniu pomiaru zapisywane są zdjęcia skanowanej powierzchni. Kamera w zależności od modelu skanera oraz zastosowania, montowana jest wewnątrz instrumentu lub ustawiana na specjalnej spodarcie zapewniającej jednoznaczność miejsca środka centrycznego aparatu. W specjalnym oprogramowaniu możliwe jest automatyczne nadanie każdemu punktowi z chmury, koloru (z zakresu R,G,B) po przez dopasowanie odpowiedniego piksela ze zdjęcia. Taki zabieg pozwala na lepsze zorientowanie się w skanowanych elementach, ale wymusza dobre oświetlenie obiektów, które są fotografowane. Dla potrzeb zakładów górniczych określenie koloru punktów w chmurze nie jest wymagane. Wyrobiska

są z reguły słabo oświetlone, dlatego też byłby to zabieg bezcelowy lub wymagający zbyt dużo pracy.

2. Analiza metody pod względem badanego obiektu

Ocenę przydatności wybranej metody pomiarowej należy analizować z uwzględnieniem obiektu badań, którym aktualnie się zajmujemy. W przypadku skaningu laserowego taka analiza jest konieczna z uwagi na jego różną specyfikację w odmiennych warunkach pomiarowych. W kopalni podziemnej takie warunki występują bezsprzecznie z uwagi zarówno na atmosferę, jaka w niej istnieje jak i na trudności związane np. z wstrzymaniem prac wydobywczych podczas prowadzenia pomiarów kontrolnych. W kopalni soli w Wieliczce eksploatacja nie jest już prowadzona. Z uwagi na wysoki poziom ochrony dziedzictwa naturalnego, należy wprowadzić jednak takie systemy pomiarowe, które będą w jak najmniejszym stopniu wpływać na środowisko w niej panujące. Nabiera to szczególnego znaczenia w przypadku rezerwatu „Groty Kryształowe”, w którym ochrona dóbr (unikalne w skali świata kryształy halitu) jest priorytetem (Rysunek 1).

Specyficzne warunki atmosfery, panujące w wyrobiskach wchodzących w skład rezerwatu, pozwalają jedynie na czasowy pobyt ludzi. Jest to związane głównie z wil-



Rys. 1: Zdjęcie kryształów halitu w „Rezerwacie Przyrody Nieożywionej Groty Kryształowe”

gotnością, która przy dłuższym pobycie osób niebezpiecznie wzrasta (Alexandrowicz, 2000).

Wszelkiego rodzaju badania z udziałem ludzi, prowadzone na terenie o ścisłej ochronie, zaburzają stan atmosfery, dlatego muszą być one prowadzone w jak najkrótszym czasie. Stosowanie klasycznych metod pomiaru w przypadku inwentaryzacji obiektu o bardzo zróżnicowanej budowie jest bardzo czasochłonne. Metody fotogrametryczne wymagają zastosowania odpowiedniego oświetlenia a tym samym budowy rusztowań. Nie stanowią one tym samym alternatywy dla pomiarów klasycznych. Nowoczesna technologia, na której opiera się skanowanie laserowe pozwala na znaczne skrócenie czasu pomiaru dając możliwość zarejestrowania ogromnej ilości danych w jednostce czasu. System pomiaru współrzędnych punktów nie wymaga ich oświetlenia, dlatego skraca się również czas przygotowania pomiaru.

Uwzględniając występujące czynniki środowiskowe oraz specyfikację wybranej metody pomiaru można stwierdzić, iż skanowanie laserowe jest najkorzystniejszym sposobem inwentaryzacji badanych wyrobisk (Matwij, 2011).

3. Wybór odpowiedniego edytora grafiki

Rozwój specjalistycznego sprzętu pomiarowego doprowadził do powstania wielu programów graficznych, służących do edycji pozyskanych danych. Firmy produkujące skanery laserowe opracowują własne aplikacje do obróbki danych pochodzących ze skanowania. Zawierają one najczęściej jedynie podstawowe funkcje typu: wykrywanie elementów na skanach, łączenie skanów z różnych stanowisk, podstawowe funkcje modelowania. Istotną kwestią przy wyborze odpowiedniego oprogramowania jest cel wykonywanej pracy. W wielu przypadkach wystarcza sama chmura punktów, będąca efektem złożenia skanów. Pozwala ona na wyznaczenie szukanych wielkości podczas pomiaru na tej chmurze. Wówczas nie jest wymagane żadne dodatkowe narzędzie graficzne oprócz tych, które dostarcza producent.

Jeśli nadrzędnym celem jest utworzenie bardziej zaawansowanych modeli, zbudowanie modeli graficznych wybranych obiektów, wówczas należy zastosować inne programy, służące do zaawansowanej edycji chmur punktów. Wybór odpowiedniego, uzależniony jest od wielu czynników, z których najważniejszymi są:

- format pliku zawierającego chmurę punktów,

- rozmiar pliku (uzależniony od ilości pomierzonych punktów),
- zastosowane w programie narzędzia graficzne,
- inne (m.in. szybkość działania, cena, rodzaj licencji, możliwość współpracy z innymi programami, itp.)

Format pliku wynikowego, zawierającego chmurę punktów uzależniony jest od rodzaju skanera oraz zainstalowanego „software-u”, służącego do wstępnej obróbki danych. Programy graficzne, które mają być wykorzystywane w późniejszych etapach pracy mają ograniczoną możliwość importu plików. Dlatego należy wziąć pod uwagę, jakie są dostępne formaty plików przy eksportowaniu chmury punktów w oprogramowaniu skanera.

Na rozmiar pliku zawierającego chmurę punktów składa się zarówno gęstość chmury, czyli ilość pomierzonych punktów na danej powierzchni, jak i informacje o atrybutach punktu (X, Y, Z, intensywność, RGB). W większości przypadków wielkość tą ustala się przed skanowaniem dobierając odległość pomiędzy punktami na 10 m. Kolejnym czynnikiem wpływającym na rozmiar pliku jest ilość łączonych skanów, z których składa się chmura punktów. Jeśli skanowany obiekt jest duży korzystnie jest modelować poszczególne elementy osobno, co eliminuje potrzebę korzystania z dużej ilości pamięci komputera.

Najważniejszym czynnikiem, od którego uzależniony jest dobór odpowiedniego oprogramowania są zastosowane w nim narzędzia graficzne. Informują one o możliwościach programu pod względem edycji danych pochodzących ze skanowania laserowego i decydują o możliwych efektach pracy.

Pozostałe czynniki, na jakie należy zwrócić uwagę określają zarówno cechy decydujące o wygodzie i mobilności pracy jak i o aspektach związanych z ekonomicznym podejściem do problemu doboru oprogramowania (Matwij, 2011).

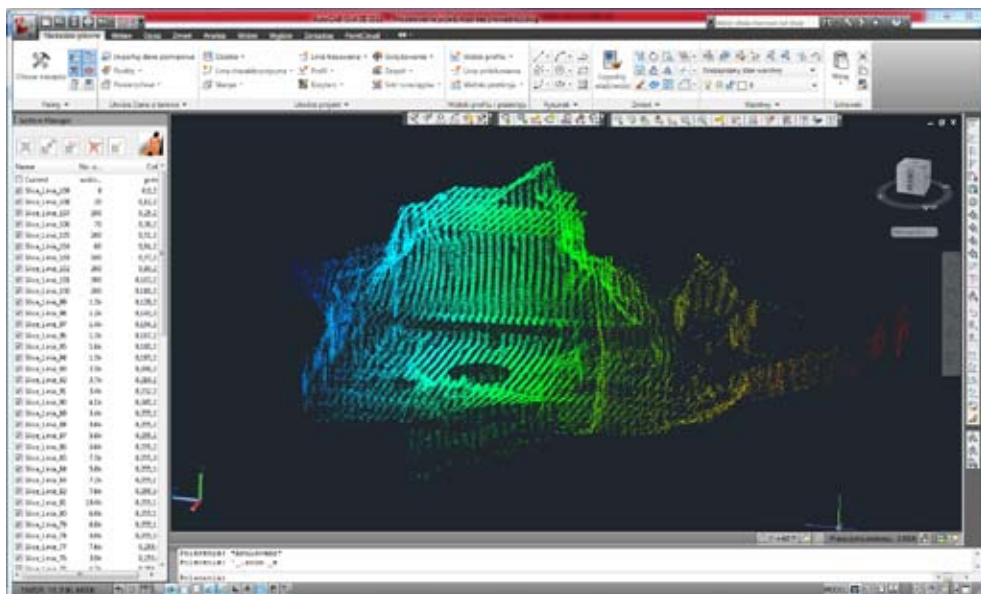
Porównanie wybranych programów graficznych pozwala na ich dogłębną analizę pod względem obróbki chmur punktów. Uwzględniając opisane wyżej czynniki porównano trzy programy: AutoCAD Civil 3D z nakładką Kubit Pointcloud, Rhinoceros 4.0 oraz Geomagic Studio 12. Każdy z programów wykorzystano do opracowania tych samych danych pochodzących ze skanowania Grot Kryształowych w Kopalni Soli Wieliczka S.A. Analiza i ocena przydatności poszczególnych programów zamieszczona została w dalszych rozdziałach.

4. Modelowanie przestrzenne

Ogrom danych rejestrowanych podczas pomiaru skanerem laserowym, wymusza na użytkownika zastosowanie odrębnych sposobów tworzenia modeli przestrzennych. Stosowanie standardowych algorytmów wprowadzało liczne ograniczenia lub generalizacje szczegółów tworzonej przestrzeni wirtualnej. W przypadku bardzo skomplikowanych i nieregularnych elementów tworzenie modeli przestrzennych było bardzo żmudne a w pewnych przypadkach niemożliwe. Należy zatem znaleźć takie sposoby budowy modeli przestrzennych, które dają możliwość zarówno generowania wysoce skomplikowanych modeli obiektów jak i wykorzystują w pełni uzyskane dane pomiarowe.

4.1. Budowa modelu przestrzennego wykorzystując profile poprzeczne wyrobisk wchodzących w skład „Grot Kryształowych”

Metoda oparta o budowę modelu dzięki wygenerowaniu profili została zastosowana w programie AutoCad Civil 3D z nakładką Kubit PointCloud. Tworzenie profili poprzecznych wyrobisk możliwe jest dzięki wygenerowaniu „plastrów” z chmury punk-



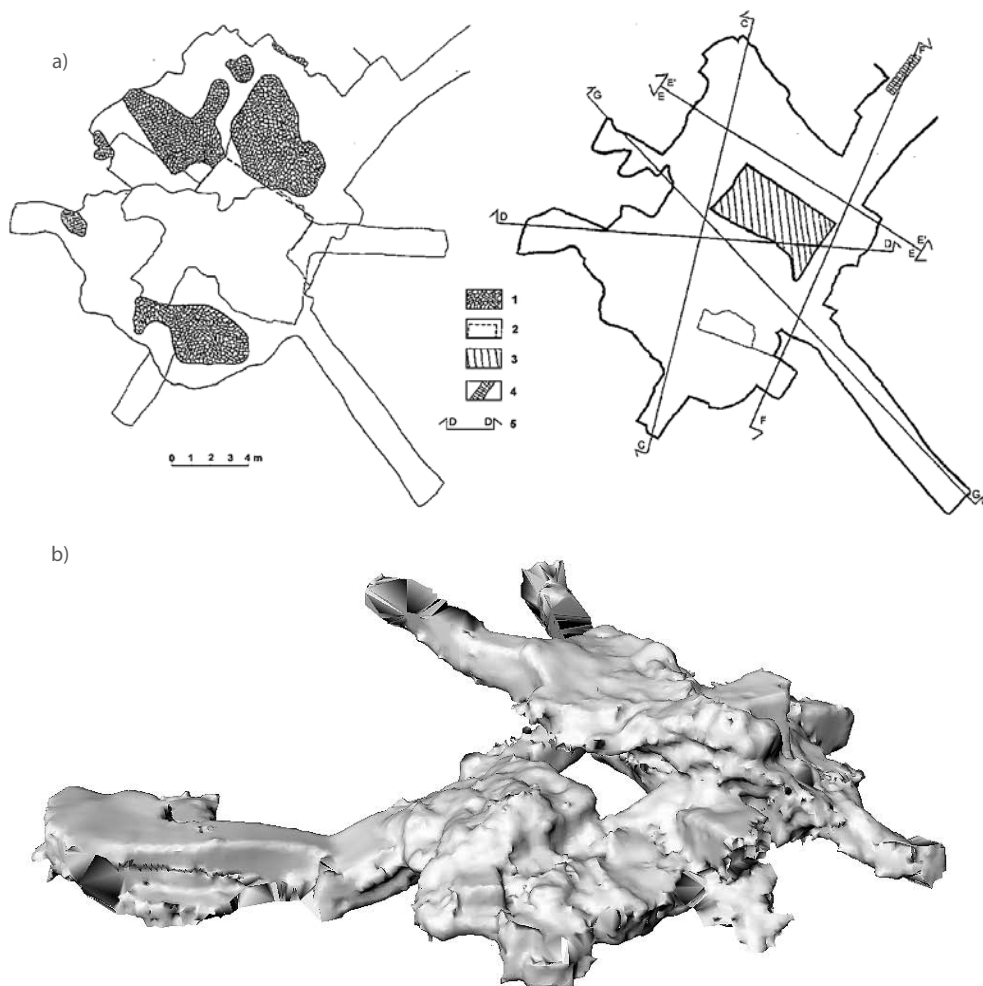
Rysunek 2: Chmura punktów reprezentująca Przedśionek, podzielona na plastry w odstępie 20 cm (Matwij, 2011)

tów wzdłuż linii, którą wykorzystuje się jako oś podłużną badanego obiektu (rys. 1) Taki sposób tworzenia przekroi pozwala na usytuowanie każdego z profili równolegle do reszty. Ułatwia to znacznie późniejszą budowę modelu i pozwala na jego lepszą analizę (Jaśkowski W., Lipecki T., 2009).

W nakładce Kubit PointCloud jest również możliwość ustawienia płaszczyzny widoku równolegle do każdego utworzonego plastra, dzięki czemu wektoryzacja profilu nie jest obarczona błędem skręcenia układu. Trudności mogą jednak wystąpić w przypadku bardzo zróżnicowanej budowy obiektu. Należy wówczas zastosować niewielkie odległości pomiędzy profilami, aby uniknąć generalizacji. Z uwagi na ograniczenia wynikające z ilości skomplikowanych przekrojów podczas łączenia ich w bryłę, należy stosować taką metodę jedynie dla długich obiektów o dość jednorodnej budowie. Znakomicie nadaje się ona do wyznaczania odchyleń obiektów wysmukłych takich jak wieże, kominy, wyrobiska lub szyby kopalniane. Do tworzenia bardziej zróżnicowanych obiektów takich jak Groty Kryształowe metoda nie sprawdza się.

4.2. Budowa modelu przestrzennego z zastosowaniem modeli siatkowych wyrobisk wchodzących w skład „Grot Kryształowych”

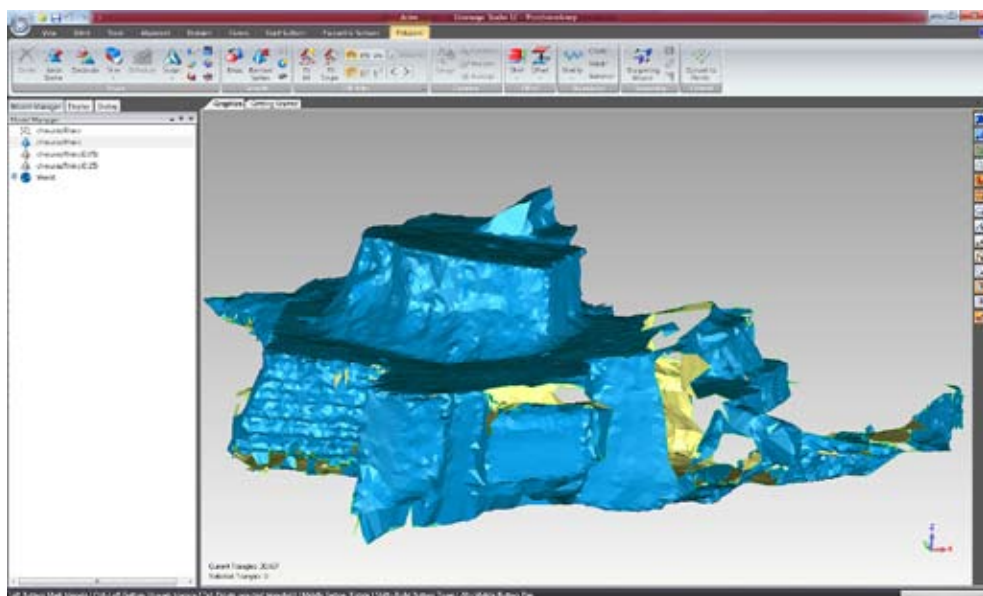
Utworzenie modelu siatkowego w odróżnieniu od wektoryzacji profili, jest operacją w pełni automatyczną. Do decyzji użytkownika należy jedynie dobór odpowiednich parametrów tworzenia modelu. Parametry są uzależnione od programu graficznego. W programie Rhinoceros 4.0 mamy do wyboru „gęstość próbkowania” odpowiadającą maksymalnym odległościom pomiędzy punktami branymi podczas łączenia pojedynczego trójkąta siatki, „liczbę konturowych komórek siatki”, z których składa się model oraz „autodopasowanie”, które określa stopień wpasowania siatki w chmurę. Dobór odpowiedniego ustawienia parametrów uzależniony jest od wielkości chmury oraz stopnia jej skomplikowania. Tworzony w ten sposób model przestrzenny obejmuje wszystkie punkty, z których składa się chmura. Skaner również jednak mierzy inne elementy, takie jak zabudowa wewnętrzna groty. Algorytm, na którym opiera się operacja łączenia punktów w siatkę, nie jest w stanie ich wyodrębnić. Dlatego należy ręcznie wyznaczyć wszystkie punkty określające wybrany obiekt. Obraz wygenerowanej siatki Górnej Groty Kryształowej widoczny jest na rysunku 3b. Na rysunku 3a przedstawiony jest plan sytuacyjny tej groty wykonany w oparciu o pomiary klasyczne. Widoczna jest



Rysunek 3: Mapa Górnej Groty Kryształowej. a) dwuwymiarowa na podstawie pomiarów klasycznych (Alexandrowicz, 2000), b) trójwymiarowa utworzona na podstawie skanu.

różnica w ilości informacji prezentowanej na rysunkach. Obydwie formy prezentacji na rysunku 3 spełniają wymagania mapy górniczej w ujęciu dwu- i trójwymiarowym.

Programem, w którym tworzenie powierzchni opiera się na modelach siatkowych jest min. Geomagic Studio 12. Analiza obiektu punktowego oraz algorytmy wstępnej obróbki chmury są w nim znacznie bardziej rozwinięte niż w Kubit PointCloud. Przed utworzeniem siatki z punktów korzystnie jest przeprowadzić redukcję szumów pomiarowych eliminując błędy wyznaczenia współrzędnych punktów skanerem laserowym przez wprowadzenie ich w statystycznie poprawne położenie. Operacja ta pozwala na

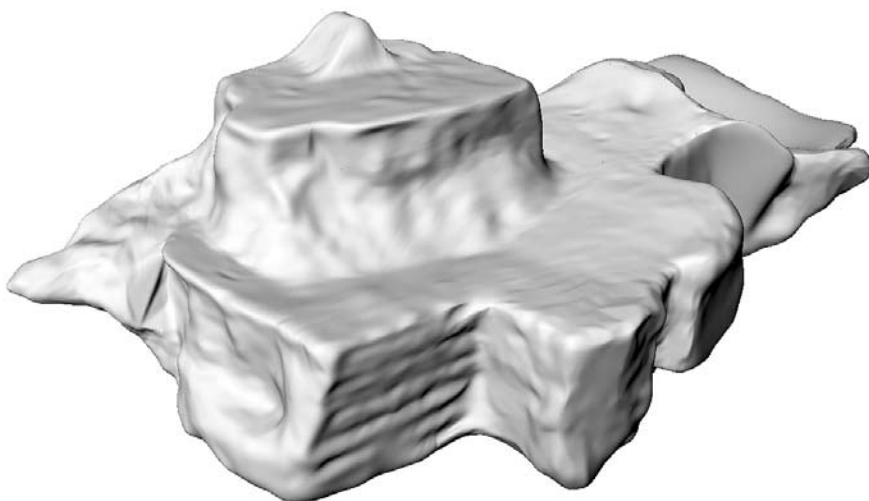


Rysunek 4: Model siatkowy Przedsionka przed zastosowaniem narzędzia do wypełniania luk i naprawy krawędzi siatki.

przyspieszenie pracy podczas tworzenia siatki z punktów, ale z drugiej strony wpływa niekorzystnie, generalizując szczegóły tworzonej powierzchni. Utworzony za pomocą powyższych działań obiekt przestrzenny (rys 4) jest w wielu miejscach nieciągły lub zawiera luki.

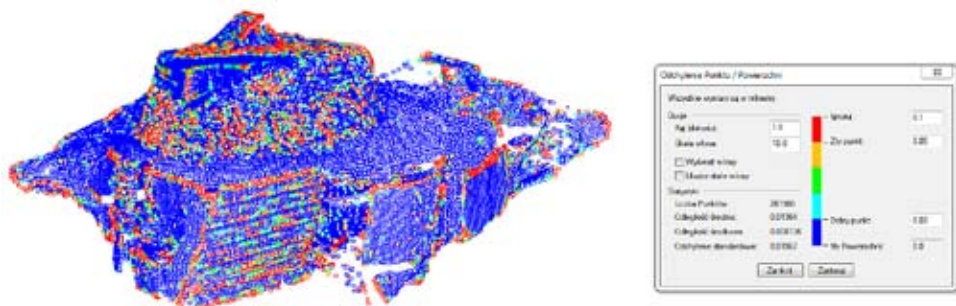
Dlatego należy wypełnić powstałe w bryle pustki oraz poprawić błędnie połączone ściany siatki. Program pozwala zautomatyzować oba procesy, co znacznie przyspiesza pracę. Wygenerowany obiekt siatkowy po zastosowaniu powyższych działań jest gotowy do prezentacji i analizy przestrzennej (rys 5).

Istotnym elementem podczas modelowania danych pochodzących z panoramicznego skanera laserowego jest dokładność wpasowania uzyskanych obiektów w chmurę punktów. W przypadku tak ogromnej liczby danych analizę dokładności należy przeprowadzić w sposób automatyczny. Pozwala to na uwzględnienie błędu położenia siatki w stosunku do każdego punktu, z którego była ona utworzona. Zastosowane w poleceniu Deviation (Program Geomagic) lub Odchylenie zestawu punktów (Program Rhinoceros) algorytmy obliczają najkrótszą odległość pomiędzy modelem a chmurą punktów a następnie wyznaczają krótką statystykę dokładnościową badanego obiektu. Analiza daje również możliwość wizualnej interpretacji precyzji modelowania zmieniając barwę punktu w zależności od dopasowania modelu (Rys. 6), tworząc tzw. rysunek hipsometryczny.



Rysunek 5: Gotowy model Przedsiębiorstwa po przeprowadzeniu korekty siatki z wizualizowany za pomocą Rhinoceros Renderer

Porównanie wpasowania modeli Grot Kryształowych pozwoliło na określenie najbardziej dokładnej metody tworzenia powierzchni z punktów dla takich danych pomiaro-



Rysunek 6. Analiza dokładności modelu Przęsionka utworzonego w programie Geomagic. (Matwij, 2011)

wych. Analiza (Tab. 1) wykazała, że lepiej dopasowane są obiekty siatkowe od modeli utworzonych z profili.

Analiza statystyczna danych przedstawionych w tabeli 1 wskazuje na tworzenie modeli z dokładnością około 15–25 mm w stosunku do pozyskanej ze skanu chmury punktów. Wartości średniej odległości są zawsze większe od median co sugeruje, że znacznie więcej punktów położonych jest poprawnym położeniu. Na wielkość średniej odległości oraz odchylenia standardowego wpływ mają punkty błędnie położone, powstałe na skutek propagacji promienia lasera przez kryształy halitu. Oznacza to, że tak utwo-

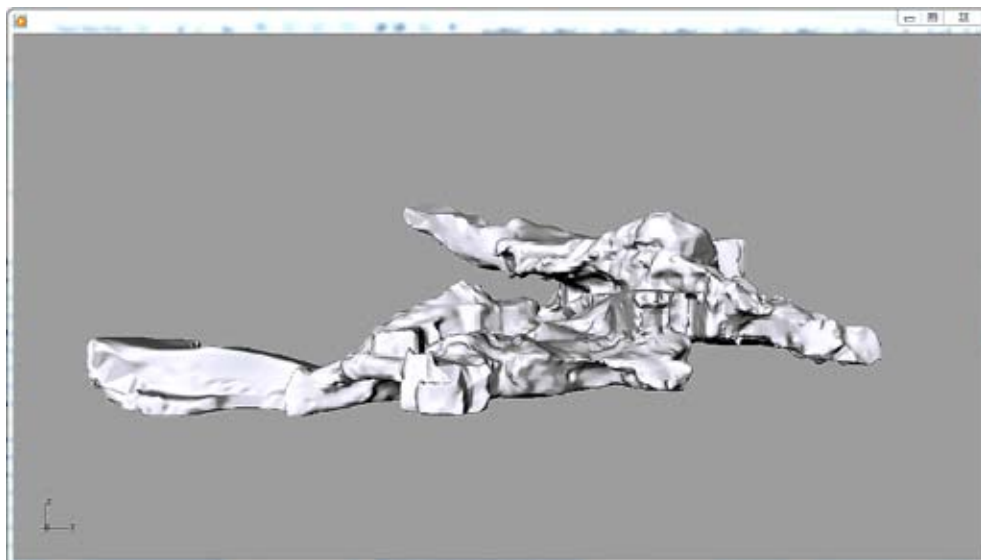
		AutoCAD + Kubit PointCloud	Rhinoceros	Geomagic
Przedsionek				
	Liczba punktów	304331	304331	304331
	Liczba punktów bliskich	290190	285873	281900
	Średnia odległość [mm]	19.3	11.3	13.6
	Odległość środkowa [mm] Mediana	10.8	6.4	8.1
	Odchylenie standardowe [mm]	21.6	13.6	15.7
Dolna Grota				
	Liczba punktów	116686	116686	116686
	Liczba punktów bliskich	109039	105202	108132
	Średnia odległość [mm]	29.6	27.5	25.6
	Odległość środkowa [mm] Mediana	22.0	19.3	17.4
	Odchylenie standardowe [mm]	25.5	19.3	24.3
Górna grota				
	Liczba punktów	801576	801576	801576
	Liczba punktów bliskich	699021	756171	743215
	Średnia odległość [mm]	31.1	21.7	18.5
	Odległość środkowa [mm] Mediana	23.6	13.6	11.0
	Odchylenie standardowe [mm]	25.9	22.3	20.4
Razem/ Średnia				
	Liczba punktów	1222593	1222593	1222593
	Liczba punktów bliskich	1098250	1147246	1133247
	Średnia odległość [mm]	26.6	20.1	19.2
	Odległość środkowa [mm]	18.8	13.1	12.2
	Odchylenie standardowe [mm]	24.3	18.4	20.1

Tabela 1. Obliczona analiza dokładności programów graficznych na podstawie raportów (Matwij, 2011).

rzne modele nie mogą służyć jako podstawa do analizy deformacji obiektu, jednak pozwalają na wizualizację i ocenę kształtu z zachowaniem kartometryczności.

5. Wizualizacja utworzonych modeli Grot Kryształowych

Multimedialny aspekt prac staje się we współczesnej nauce równie ważny jak precyzja ich wykonania. W przypadku niedostępnych dla zwiedzających Grot Kryształo-



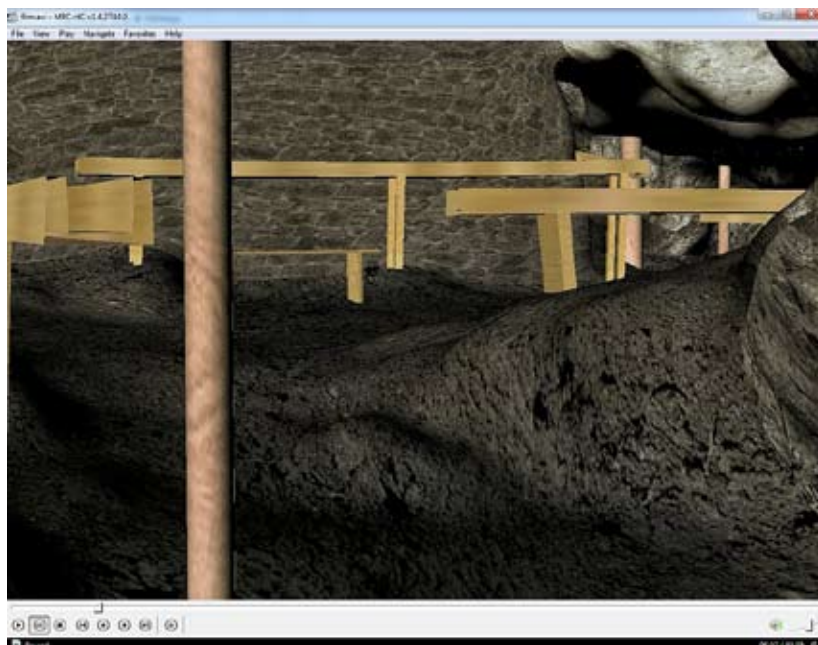
Rysunek 7. Wizualizacja zewnętrznych ścian modelu Górnej Groty kryształowej.

wych jest to podwójnie istotne. Daje możliwość zobrazowania badanych obiektów oraz przybliża tematykę ochrony dóbr kulturowych również przeciętnemu zwiedzającemu. Aby jak najdokładniej pokazać istotę Grot Kryształowych, oprócz wykonanych skanów należy sfotografować chronione obiekty. Następnie, po przez odpowiedni rendering przygotować „przyjazną” dla oka prezentację, która może działać, jako element zastępczy dla zwiedzających. Takie działania wykonano bazując na utworzonych modelach przestrzennych. Stosując odpowiednie narzędzia, utworzono krótkie prezentacje w formie filmu. Pokazują one zarówno zewnętrzny kształt każdego zamodelowanego obiektu (Rys. 7) jak i wyrenderowane wnętrze (Rys. 8).

Dla wzbogacenia prezentacji można dołączyć ścieżkę dźwiękową lub tekst, co pozwala w pełni zapoznać widza z projektem. Wszystkie zastosowane prace sprawiają, że ostateczny efekt jest atrakcyjny i przyjazny dla zrozumienia czym są Groty Kryształowe, nawet bez możliwości bezpośredniego ich zwiedzania. (Matwij, 2011).

6. Podsumowanie i wnioski końcowe.

Skaning laserowy staje się obecnie jednym z częściej stosowanych systemów pomiarowych we współczesnej geodezji. Umożliwia on znaczną poprawę jakości analizy i interpretacji środowiska nas otaczającego a zarazem w wielu przypadkach zwięk-



Rysunek 8. Animacja wizualizacji wnętrza Górnej Groty wyświetlona w programie Media Player Classic

szą dokładność prowadzonych prac. W celu zbadania kształtu i deformacji obiektów o zróżnicowanej budowie oraz trudno dostępnych ze względu na swój charakter, może być jedynym możliwym do zastosowania. Zaprezentowane w rozdziale możliwości opracowania chmury punktów, pozyskanej ze skanowania laserowego są jedynie przykładami wykorzystania takich danych. Groty Kryształowe są obiektem specyficznym, ze względu na ścisłą ochronę przyrodniczo-konserwatorską, jak również budowę (kryształy solne, które zmieniają bieg promienia laserowego). Opisane zaawansowane programy graficzne umożliwiły jednak stworzenie bardzo szczegółowych modeli przestrzennych, które nie byłyby możliwe do uzyskania klasycznymi metodami geodezyjnymi (rys. 3a). Produkowane obecnie skanery umożliwiają również wykonanie zdjęć obiektów, które daje się później wykorzystać podczas renderingu powierzchni modelu.

LITERATURA

Alexandrowicz Z. (red), 2000: *Groty Kryształowe w Kopalni Soli Wieliczka*, Polska Akademia Nauk, Instytut ochrony Przyrody, Kraków

Jaśkowski W, Lipecki T: *Application of laser scanners to determine the shape of mine excavations for safety assessment, using the example of the cross-cut Mina in the Salt Mine Wieliczka*, Reports of Geodesy, No.2 (87), 2009, str 239–250; Wyd. Pol.Warszawska

Lipecki T.: *Skaning laserowy w pomiarach geometrii i deformacji obiektów oraz urządzeń górniczych*, Przegląd Górniczy 2010/07/08

Matwij W., 2011: *Wykorzystanie panoramicznego skaningu laserowego w modelowaniu i ocenie kształtu Grot Kryształowych Kopalni Soli „Wieliczka”*, Praca dyplomowa, Kraków

Referat opracowano w ramach prac statutowych o numerze 11.11.150.195



Skanning, modelowanie i animacja 3D wzrobisk zabytkowej kopalni ćwiczebnej „Sztvgarka”

Wojciech Matwij, Grzegorz Ciepka, Paulina Lewińska

AGH Akademia Górniczo-Hutnicza

1. Wstęp

Celem artykułu jest opisanie technologii wykonania pomiaru oraz prezentacja wyników skanowania Kopalni Ćwiczebnej „SztYGarka” w Dąbrowie Górniczej. Skanowanie oraz opracowanie modelu zostało przeprowadzone przez członków „KNGK Geoinformatyka” AGH pod opieką doktorantów Wydziału Geodezji Górniczej i Inżynierii Środowiska AGH.

Kopalnia Ćwiczebna „SztYGarka” znajduje się w południowo-wschodniej części obszaru górniczego dawnej kopalni węgla „Paryż” (zlikwidowanej w roku 1995). Jej budowa rozpoczęła się w kwietniu 1927 roku. Miała ona stanowić część Państwowej Szkoły Górniczej i Hutniczej (PSGH). Dzięki posiadaniu takiego obiektu uczelnia była w stanie przeprowadzać zajęcia praktyczne w warunkach możliwie podobnych do występujących w działających kopalniach. Prowadzono w niej praktyki z zakresu górnictwa, wydobywania, wentylacji, miernictwa oraz geologii górniczej. Obiekt pełnił taką funkcję do roku 1994, po czym został przekształcony w część Muzeum Miejskiego w Dąbrowie Górniczej.

Prace konstrukcyjne odbywała się wieloetapowo. Pierwszy etap zakończył się w roku 1929. Uczniowie pomagali przy drążeniu wyrobisk-sztolni, których sumaryczną długość szacuje się na 250m. W latach 1958–1961 przeprowadzono zabezpieczenie istniejących sztolni oraz drążenie dwóch upadowych. Ponadto połączono je chodnikiem. W dalszych latach zwiększano sukcesywnie ilość wyrobisk oraz wykonano chodnik ścianowy, podścianowy, szkoleniowy i wodny. Łączna długość wyrobisk to około 530 m [4].

Kopalnia została wyposażona w adekwatny sprzęt górniczy. W jednym z chodników znajduje się wentylator przewietrzający kopalnię typu WLE-500. „SztYGarka” posiada też lutniociąg oraz wentylator lutniowy, rozprowadzający świeże powietrze do wyrobisk, oraz rozdzielnię elektryczną wraz z całym osprzętem. Kopalnia posiada także kołowrót ze stanowiskiem obsługi, służący do transportu wozów jedną z upadowych. W kolejnej części obiektu znajduje się agregat hydrauliczny obsługujący obudowy zmechanizowane typu „Fazos” 17/35/PZ. Ponadto we wnękach zamocowane są części obudowy podporowej oraz obudowa chodnikowa typu ŁP, a także stojaki górnicze typu „Valent”. W małej komorze znajduje się rozdzielnia elektryczna oraz obudowa prostokątna typu V21 oraz stojaki SN 200C. W dalszej części chodnika znajdu-

je się ściana wydobywcza wykonana w wymurówce ceglanej wzmocnionej żelbetem. Umieszczono tam obudowy typu OK1R KM-87 oraz SCG oraz stojaki „Valent” i SN 200C. Ściana wyposażona jest w kombajn górniczy typu KWB-3 oraz przenośnik „Śląsk”. Ponadto w chodniku podścianowym umieszczono przenośniki zgrzeblowe typu „Skał” oraz „Grot”. Urobek z przenośnika „Grot” dostarczany był przez przesyp do przenośnika PTG-800. Inna komora mieści pompy odwadniające P-CC oraz PW-2B – obecnie działające. Ponadto kopalnia posiada liczne ekspozycje sprzętów górniczych oraz wozów używanych pod ziemią. W jednym z chodników zlokalizowana została także niewielka kapliczka [4].

Wszystkie opisane wyżej elementy kopalni zostały zeskanowane oraz wy-modelowane. Efekty pośrednie oraz końcowe pracy można zobaczyć na stronie <http://www.youtube.com/watch?v=V5cHQL8R7yI>.

2. Skanowanie

Pomiary inwentaryzacyjne wyrobisk górniczych prowadzone są w głównej mierze klasycznymi metodami geodezyjnymi. Bazują one głównie na określeniu współrzędnych punktów osnowy kopalnianej poprzez pomiar ciągu poligonowego. Wyznaczone tym sposobem punkty służą później jako podstawa do inwentaryzacji wyrobisk, prac odbiórkowych oraz kontroli prowadzonej eksploatacji. Klasyczny system pomiarowy oparty jest na wyznaczeniu odległości oraz kierunku do danego punktu charakterystycznego. W przypadku obiektów o bardzo zróżnicowanej budowie przestrzennej następuje potrzeba rejestracji dużej ilości pikiet. Pomiar standardowymi metodami staje się wtedy wysoce nieefektywny, a rezygnacja ze szczegółowej inwentaryzacji prowadzić może do słabego odwzorowania kształtu badanego obiektu. Skanowanie laserowe pozwala natomiast na jednoczesne skrócenie czasu pomiaru oraz znaczne zwiększenie szczegółowości modelu. Dokładność określenia poszczególnych punktów uzależniona jest od rodzaju skanera, jakim prowadzone są pomiary, odległości do mierzonego obiektu oraz jakości odbitego sygnału, i waha się od kilku milimetrów do pojedynczych centymetrów [1, 2]. Biorąc pod uwagę specyficzne warunki panujące w kopalni oraz wymagane dokładności prowadzonych prac, można stwierdzić, że tego typu system stanie się w przyszłości alternatywą dla klasycznych metod inwentaryzacji wyrobisk. Wysoka szczegółowość uzyskanych danych daje również nieosiągalne dla innych sys-

temów możliwości przestrzennego wizualizowania efektów pracy.

2.1. Zastosowana technologia pomiaru oraz użyty sprzęt

Technologia skaningu laserowego ma szerokie zastosowanie w pomiarach inwentaryzacyjnych prowadzonych na powierzchni. Stosuje się ją głównie do pomiaru fasad zabytków architektonicznych, inwentaryzacji obiektów i urządzeń przemysłowych oraz modelowania zmian ukształtowania powierzchni terenu. Zasada działania skanerów laserowych polega na emisji wiązki lasera załamywanej przez wirujące lustro, podczas której wykonywany jest zarówno pomiar odległości, jak i zapis kąta przestrzennego do danego punktu. W pełni trójwymiarowa panorama mierzonej przestrzeni (tzw. chmura punktów) uzyskiwana jest poprzez obrót skanera wokół własnej osi o 180 stopni oraz jednoczesny pomiar z prawej i lewej strony urządzenia. Skanery stosowane w naziemnym pomiarze wielkoskalowym (stosowane do pomiaru obiektów o dużej powierzchni) można podzielić na dwie grupy: skanery impulsowe oraz skanery fazowe. Różnica pomiędzy tymi urządzeniami polega na innym sposobie pomiaru odległości. Skanery fazowe charakteryzują się dużą szybkością pomiaru punktów (nawet do miliona pkt/s) oraz zasięgiem od 50 do 400 m. Urządzenia wykorzystujące pomiar impulsowy często posiadają niższą prędkość pomiarową, ale dają możliwość skanowania obiektów oddalonych o kilkaset metrów do nawet 2 km.

Pomiar obiektu o dużej powierzchni należy przeprowadzić na wielu stanowiskach. Pojedyncze skany łączone są w całość poprzez wskazanie na każdym z nich tych samych punktów charakterystycznych w odpowiednim oprogramowaniu. Oprócz informacji przestrzennych, zapisowi podlega również siła powracającego impulsu oraz informacja o kolorze (w zakresie RGB). Pochodzi ona z panoramy utworzonej przez zintegrowany w skanerze (opcjonalnie) aparat cyfrowy [3].

W przypadku pomiarów wyrobisk znajdujących się na terenie kopalni „Szttygarka” zastosowano skaner fazowy Faro Focus 3D (Rys. 1). Jest to obecnie jeden z najmniejszych skanerów tego typu, charakteryzuje się dużą szybkością pomiarową (nawet do 1 mln pkt/s) oraz zasięgiem około 80 m. Podawana przez producenta dokładność pomiaru odległości mieści się w zakresie $\pm 2\text{mm}$, a dzięki wbudowanemu wewnątrz skanera cyfrowemu aparatowi istnieje możliwość utworzenia fotorealistycznego kolorowego skanu. Do połączenia wszystkich stanowisk w jedną chmurę punktów zastosowano

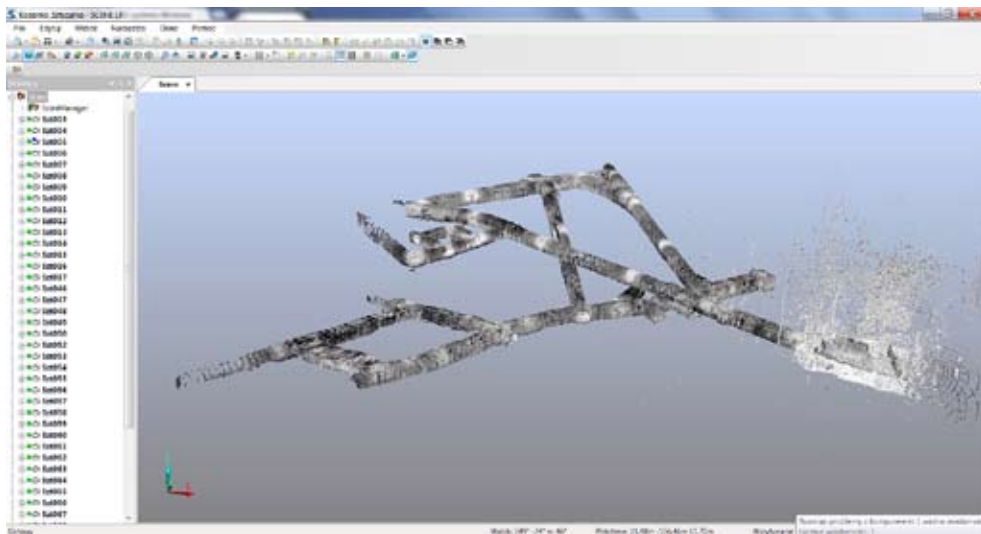


Rys. 1. Skan części wyrobiska widoczny w odcieniach szarości

następujące cele (ang. targets): szachownice naklejane na ociosach i elementach zabudowy, kule styropianowe o średnicy 15 cm oraz zamodelowane płaszczyzny. Procedurę rozmieszczania skanów, czyli wprowadzania pomiarów ze wszystkich stanowisk do jednego układu współrzędnych (lokalnego), przeprowadzono w dedykowanym do tego skanera programie Faro Scene 5.0. Efekt połączenia wraz z krótką analizą dokładności (Rys. 2) opisany został w dalszych rozdziałach.

2.2. Prace pomiarowe oraz rejestracja skanów

Aby można było dokładnie odwzorować rozmieszczenie wyrobisk górniczych wchodzących w skład kopalni ćwiczebnej, utworzonych zostało 45 stanowisk. Podczas pomiarów w skanerze wybrano opcję rozdzielczości 7,5 mm/10 m oraz „jakości” wyznaczania współrzędnych punktów (dokładność ich określenia) na poziomie średnim. Parametry skanów dobrane zostały z uwzględnieniem charakteru przyszłych prac graficznych na chmurze punktów, warunków atmosferycznych panujących w kopalni oraz ograniczonego czasu trwania prac pomiarowych (około 1 dzień). Z uwagi na bardzo słabe oświetlenie, uniemożliwiające wykonanie dobrej jakości zdjęć, wyłączony został moduł tworzenia panoram 3D. Zapis informacji o sile sygnału odbitego do skanera (intensity), wizualizowany w odcieniach szarości, w sposób wystarczający odzwierciedlał różnego rodzaju materiały i obiekty w skanie (Rys. 1). Czas trwania prac polowych



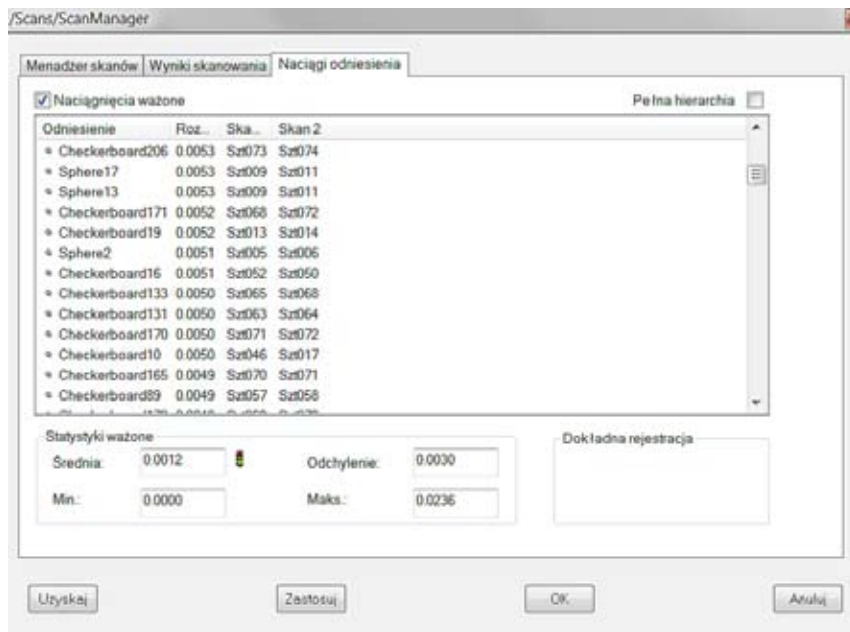
Rys. 2. Wizualizacja chmury punktów przedstawiającej przestrzenne rozmieszczenie wyrobisk kopalni ćwiczebnej „Szttygarka”

z zastosowaniem wyżej wymienionych ustawień wyniósł około 10 godzin.

Biorąc pod uwagę złożoność budowy, łączną długość korytarzy wchodzących w skład „Szttygarki” (Rys. 2) oraz ilość zarejestrowanych informacji, jest to wynik nieosiągalny dla innych metod pomiarowych.

Rejestrację skanów przeprowadzono w oprogramowaniu Faro Scene 5.0. Po utworzeniu odpowiedniego projektu w programie, zaimportowane zostały wszystkie skany. Następnie przystąpiono do znalezienia „targetów”, mających w procesie obliczeń charakter punktów węzłowych. Dodatkową informacją służącą do poprawienia dokładności wstępnej obróbki danych są zapisywane podczas pomiaru wartości wychyleń pochyłomierza. Łączenie skanów w całość, po wybraniu odpowiedniego polecenia, przebiega w sposób automatyczny. Efekt rejestracji chmury punktów widoczny jest na Rys 3.

Odchylenie standardowe obliczone podczas procesu rejestracji skanów wyniosło 3 mm przy średniej ważonej wyznaczonej z wyrównania współrzędnych targetów rzędu 1.2 mm. Ze względu na źle rozmieszczone punkty łączące, najgorzej wyznaczone zostały współrzędne zarejestrowane na skanie nr 56. Wartość błędu położenia skanera wyniosła dla tego stanowiska 2.4 mm. Biorąc pod uwagę charakter prac oraz dokładności wymagane podczas inwentaryzacji wyrobisk górniczych, jest to zaniedbywalny błąd. Podsumowując czas potrzebny na pomiar i rejestrację danych oraz jakość zapi-



Rys. 3. Statystyka wyniku rejestracji chmur punktów

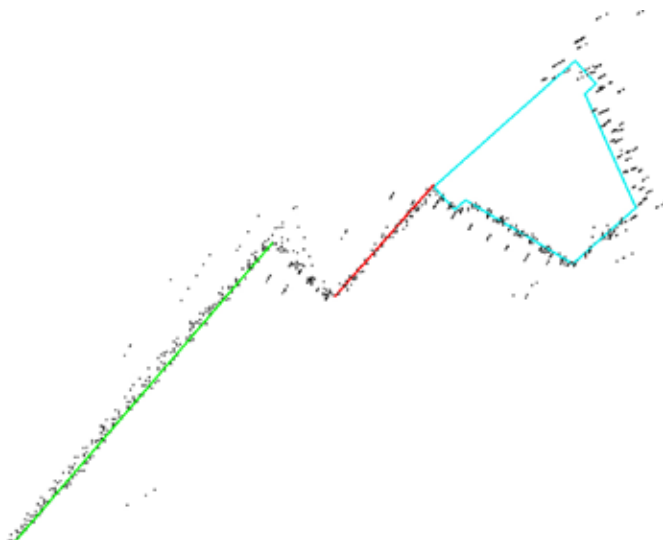
sanych informacji można stwierdzić, że skanowanie laserowe może być alternatywnym systemem pomiarowym dla tego typu prac.

3. Wykonanie modelu

Dalsze opracowanie wyników skanowania sprowadzało się do utworzenia trójwymiarowego modelu kopalni. Zostało wykonane w programie Bentley MicroStation. Chmura punktów otrzymana w końcowym etapie łączenia i kalibracji została wstępnie „przesiana”. Aby zmniejszyć jej rozmiary, usunięto pewną część punktów. Pozwoliło to na szybsze operowanie na chmurze i ograniczyło problemy związane z ciągłym przetwarzaniem tak wielkiej ilości danych. Takie ograniczenie ilości danych nie utrudnia modelowania większości elementów.

3.1. Modelowanie wyrobisk górniczych oraz obudów

Każdy proces modelowania rozpoczyna się od założenia w programie warstw, na których rysowane będą poszczególne elementy modelu. Pozwalają one na systematyzację pracy, a na późniejszym etapie ułatwiają tekstuowanie. W przypadku „Szttygarki” pro-



Rys. 4. Kolor zielony – skan kamienia, kolor czerwony – drewno, kolor niebieski – metal

ces tworzenia modelu 3D zaczęto od wyrysowania wyrobisk górniczych. Wykonano serię przekrojów pionowych przez chmurę. Ważne jest, aby poszczególne przekroje były do siebie równoległe lub były kopiami pierwszego przekroju. Ułatwia to późniejszą edycję modelu. Łącząc powstałe kształty otrzymano kształt, jaki przyjmowały poszczególne chodniki. Gęstość przekrojów zależała od specyfiki danego fragmentu wyrobiska. Na odcinakach prostych starano się wykonać minimalną ich ilość. Dodawanie niepotrzebnych przekrojów, szczególnie wykonanych niedokładnie, powoduje niepotrzebne załamania modelu oraz nienaturalne krzywizny. Na odcinkach łukowych przecięcie wykonywano nawet co 0,5 metra. Budowa tych fragmentów jest na tyle skomplikowana, że wymaga tak częstej kontroli wyglądu modelu. Jeżeli występuje zmiana geometrii tunelu, tworzy się dwa przekroje o różnej geometrii, w jednej płaszczyźnie, po czym obie części są łączone.

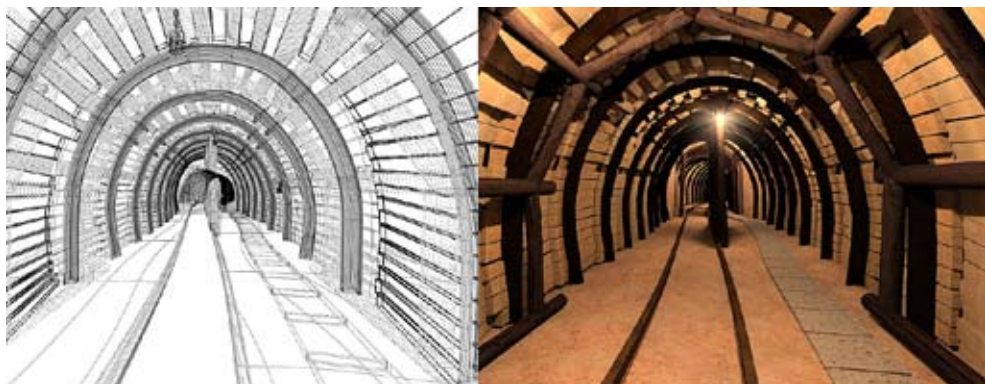
Podczas rysowania ważne jest zwrócenie uwagi na materiał, z jakiego wykonany jest dany element. Każdy rysuje się oddzielnymi przekrojami i umieszcza na innych warstwach. Ponadto materiał ma wpływ na jakość skanu. Jeżeli jest chropowaty, chmura jest stosunkowo cienka. Wiązka lasera ani nie wnika w materiał, ani nie odbija się od niego, dlatego można rysować w środku otrzymanej chmury. Inna sytuacja zachodzi w przypadku elementów metalowych. Z powodu swojej budowy powodują one refleksy i rozpraszają nieco punkty. Lepsze efekty daje rysowanie po linii wewnętrznej punktów. Elementy metalowe pokryte rdzą lub pomalowane powinny się rozpatrywać

indywiduowanie. Fragmenty wykonane z kamienia nie powodują rozproszenia punktów, wręcz przeciwnie, możemy mieć tu do czynienia z wnikaniami punktów „do wnętrza” materiału (zwłaszcza w przypadku materiałów o budowie krystalicznej). Przykładowy wynik skanu różnych materiałów przedstawia rysunek nr 4. Ogólnie rzecz ujmując, im bardziej chropowaty materiał, tym mniejsze potencjalne refleksy, nie można jednak traktować tego jako reguły. Największy problem stanowią powierzchnie szklane. Refleksy na takich materiałach mogą sięgać nawet kilkudziesięciu centymetrów. Konieczna jest staranna analiza porównawcza w celu wyizolowania takich przypadków i właściwego ich opracowania.

Pierwszym krokiem przy rysowaniu obudów jest zdobycie ich planów konstrukcyjnych. Nie ma sensu rysowanie elementów „po chmurze” i na podstawie zdjęć, gdyż można pominąć drobne, ale ważne detale, na przykład błędnie interpretując je jako wady skaningu. Warto poświęcić więcej czasu na zapoznanie się z geometrią elementu. Ponadto korzystne jest tworzenie elementów modelowanych, których konstrukcja będzie odpowiadać elementom konstrukcyjnym obiektu. Upraszcza to późniejszą ich edycję, wykorzystywanie w innych miejscach modelu oraz tekstuowanie.

Na przykład obudowy podatne pracują wraz z ruchami górotworu. Wobec tego mogą przyjmować kształty niestandardowe, ugiąć się. Taki kształt najlepiej oddaje typ linii „spline”, stworzony właśnie dla takich nieregularnych obiektów. Obudowę można modelować z trzech części typu „spline”, odpowiadających trzem elementom konstrukcyjnym. Dzięki temu otrzymuje się jej dokładny kształt przydatny do ewentualnych dalszych analiz, występujące odkształcenia są dobrze widoczne. Z drugiej strony obudowy niepodatne powinny zachować swój kształt, można więc założyć, że niewielkie odchylenia od wyglądu pierwotnego to raczej błędy skanu niż rzeczywiste zmiany kształtu. Z kolei modele zwykłych obudów betonowych można wykonać za pomocą opcji „arc”, ponieważ są to elementy regularne i zazwyczaj dobrze wpisujące się w łuki.

Podczas rysowania obudowy wykonuje się kilka przycięć chmury dla każdego jej elementu. Przynajmniej dwa z nich powinny być do siebie prostopadłe, aby możliwe było właściwe wypozycjonowanie linii typu spline na krawędzi elementu. Im więcej punktów, mniej zaburzeń i prostsza geometria obudowy, tym mniej przycięć trzeba wykonać. Należy dodatkowo zwrócić uwagę, aby elementy takie same, dla obudowy tego samego typu były wykonywane z tych samych rodzajów linii oraz takiej samej ilo-



Rys. 5. Po lewej model siatkowy wyrobiska, po prawej ten sam model pokryty teksturami.

ści elementów. W końcu obudowy wytwarzane są w produkcji taśmowej, zatem składają się z elementów niemal identycznych. Dlatego też do ich narysowania wykorzystuje się zwykle ten sam kształt i rozmiar przekroju, ponieważ górotwór ma zauważalny w stopniu dokładności chmury wpływ jedynie na krzywiznę obudowy, a nie na kształt jej przekroju.

3.2. Modelowanie elementów wyposażenia

Wewnątrz kopalni „Szttygarka” znajdują się w zasadzie wszystkie potrzebne elementy wyposażenia działającej kopalni. Skaniny laserowe zapewniły wystarczającą ilość danych do budowy modelu większości z nich, opracowano m.in. kombajn KWB-3 oraz przenośnik „Śląsk”. Niestety z powodu braku planów konstrukcyjnych wymienionych elementów podczas modelowania oparto się tylko na chmurze punktów. Mimo wszystko porównanie modelu ze zdjęciami wskazuje na to, że wyniki takiego opracowania są zadowalające. Dodatkowo wykonano model dwóch rodzajów obudów hydraulicznych stojących na przodku. Ponadto, jeśli dane na to pozwalały, uzupełniono obraz o takie detale, jak łańcuchy, kable, przewody oraz lampy.

3.3. Wykonanie tekstur

Gotowego modelu, mimo jego niewątpliwych walorów geometrycznych, nie można uznać za zupełny, dopóki nie zostanie pokryty teksturami. Jest to rodzaj zaawansowanego „kolorowania” obiektu, które można wykonać na kilka sposobów. Program MicroStation zaopatrzone jest w gotową bazę takich elementów. Po przypisaniu danej



Rys. 6. Tekstury fragmentu ociosów: z lewej tekstura koloru ściany z prawej – tekstura „displacement”

tekstury do obiektu można ją edytować. Na przykład jeżeli wybierze się „drewno”, można zmienić jego kolor, rozmiar słoików, odcień, nadać mu refleksy oraz obrócić w dowolnym kierunku. Ponadto dla niektórych pokryw można wybrać opcję „bump”, wtedy obraz nabiera wrażenie przestrzennego. Nadaje się to idealnie do powierzchni pokrytych rdzą lub piaskiem.

Możliwe jest też wykonanie tekstur przez użytkownika. W omawianym przypadku podczas skanowania zrobiono również serię zdjęć kopalni. Część z nich została wykorzystana do otekstuwowania ścian. Wgrano je do programu, dopasowano ich kształty do konkretnych obszarów i nadano odpowiednie cechy. Dodatkowo wykonano drugą teksturę – „displacement”. Składa się ona z obrazu kamieni wykonanych w skali szarości. Tekstura jest nakładana na siatkę wielokątów, a wartości pikseli określają, na jaką odległość mają zostać przemieszczane wierzchołki siatki. Nałożenie tych dwóch tekstur na siebie tworzy na podstawie powierzchni trójwymiarowy obiekt widoczny jedynie podczas generowania zrzutów ekranu i animacji. . Czyli pierwszy obraz daje kolor, a drugi określa przestrzenne położenie – jest mapą wysokości odniesioną do powierzchni, na którą został nałożony.

W projekcie „Szttygarka” zastosowano wszystkie opisane metody. Starano się, aby efekt końcowy był możliwie realistyczny przy zachowaniu niewielkich wielkości plików modelu i poziomu jego skomplikowania.

3.4. Dokładność modelu

Po zakończeniu prac nad modelem zdecydowano się na przeprowadzenie zgrubnej oceny dokładności. W losowo wybranych miejscach wykonano przekrój przez chmurę i model oraz sprawdzono odległości punktów od modelu. Wartości tych odchyłek

nie przekraczają 3 cm, a ich średnia wartość mieści się w granicach 1 cm. Dodatkowo porównano wymiary niektórych elementów obudów z ich wartościami katalogowymi. Również tutaj błędy nie przekraczały 3 cm, a ich średnia wartość wynosiła około 1 cm.

4. Prezentacja wyników

4.1. Przekroje

Kolejnym etapem była prezentacja wyników. Można to wykonać na kilka sposobów. W pierwszym kroku wykonuje się przekroje przez wybrane elementy obiektu. Pozwalają one na pokazanie dokładnej budowy modelowanych części kopalni. Ponadto mogą one stanowić sposób kontroli ewentualnych zmian zachodzących w chodnikach. Wygląd oraz rozmiary obudowy można porównać z rozmiarami wyjściowymi lub planowanymi i sprawdzić, czy otaczający górotwór nie spowodował znaczących lub groźnych zmian w obiektach podporowych.

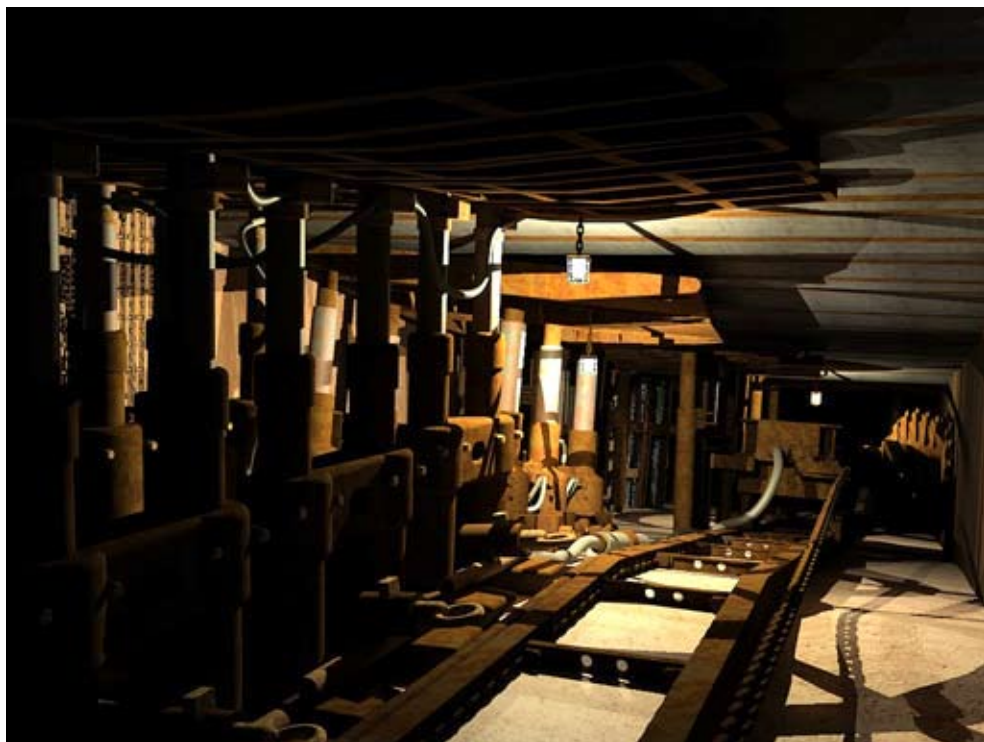
4.2. Model

Innym sposobem prezentacji wyników jest model. Można go przeglądać w programie MicroStation lub eksportować do innych programów graficznych. Użytkownik dowolnie się po nim porusza oraz ogląda elementy z wybranej perspektywy. Tekstury pozwalają oglądającemu na lepsze zapoznanie się z obiektem mierzonym, którego nigdy wcześniej nie widział.

Ponieważ ta reprezentacja jest edytowalna i w pełni metryczna, może posłużyć do planowania nowych inwestycji przez obsługę kopalni. Pozwala zlokalizować wolne przestrzenie, które mogą posłużyć za lokalizację tych elementów. Co ważne, w skład modelu wchodzi także wszelkie kable, rury i przewody, co pozwala na szybkie rozplanowanie ewentualnych przyłączy. Ponadto model stanowi rodzaj inwentaryzacji całej kopalni. Na jego podstawie można stworzyć całościowy interaktywny katalog obiektu oraz jego wyposażenia.

4.3. Animacja

Najbardziej efektownym sposobem reprezentacji wyników jest wykonanie animacji.



Rys. 8. Fragment zamodelowanego korytarza wraz z wyposażeniem.

Powinna ona prezentować możliwie dużo elementów obiektu w jak najkrótszym czasie. Dla kopalni pierwszym etapem wykonania animacji jest narysowanie tak zwanej ścieżki. Jest to, najogólniej rzecz ujmując, droga, jaką wirtualna kamera musi pokonać, aby pokazać wszystkie narysowane elementy. Ścieżka nie może mieć zbyt gwałtownych zakrętów ani zmian wysokości. W przeciwnym wypadku kamera będzie poruszać się zbyt chaotycznie. W kolejnym kroku ustala się obiekt poruszający się po ścieżce, np. kulę, a w ustawieniach kamery wskazuje się go jako obiekt śledzony. W ten sposób kamera cały czas będzie „patrzeć” na poruszającą się przed nią kulę, a nie losowo „rozglądać się” na boki. Na koniec ustala się zarówno drogę, jak i cel oraz kamerę jako niewidoczne elementy animacji. Po wybraniu rozdzielczości obrazu rozpoczyna się renderowanie.

Jest to operacja czasochłonna. Jej długość zależy od ilości detali, skomplikowania dobranych tekstur oraz od rodzaju wybranego silnika renderującego. Ten ostatni jest odpowiedzialny za ostateczny wygląd obrazu. Reguluje on kontrastowość detali, ilość oraz jakość cienia, wrażenie trójwymiarowości, odbłaski, przezroczystość oraz wiele

innych. Najlepszy z rodzajów silnika renderującego dostępny w MicroStation – Luxology – zapewnia prawie fotograficzne odwzorowanie elementów, jednak wymaga to dużo czasu. Im lepszą jakość efektu wizualnego chce się uzyskać, tym większą zdolność obliczeniową musi posiadać używany komputer. Stąd konieczne jest wybranie złotego środka między czasem oraz pożądaną jakością.

W wyniku renderowania nie uzyskuje się filmu, lecz zbiór klatek, które później trzeba zmontować. Wykonuje się to za pomocą programów spoza środowiska MicroStation. Efekt końcowy można ulepszyć dodając elementy wizualne, takie jak zatrzymania, zbliżenia, napisy oraz wiele innych. Wykonuje się to w zależności od wymagań odbiorcy projektu.

Efektom modelowania przedstawionego w niniejszym artykule są trzy filmy. Jeden z nich przedstawia samą chmurę punktów. Kolejny prezentuje nałożenie modelu na istniejącą chmurę – pokazuje zatem relacje między elementami zeskanowanymi a ich obrazem w modelu. Trzeci stanowi fotorealistyczną animację kopalni wraz z jej wyposażeniem.

5. Wnioski

Wykonywanie inwentaryzacji wyrobisk górniczych za pomocą skaningu laserowego spowodowało zmianę sposobu pracy – mniej czasu zajmują pomiary terenowe, więcej natomiast ich opracowanie komputerowe. Samo zdobycie danych jest zajęciem stosunkowo mało czasochłonnym i niewymagającym dużej ekipy pomiarowej. Natomiast opracowanie wyników wymaga znacznego nakładu czasu i, o ile to możliwe, zespołu ludzi. Z drugiej strony otrzymane rezultaty są dokładne geometrycznie. Ponadto ilość otrzymanych detali znacznie przekracza możliwości standardowych pomiarów geodezyjnych. Model będący efektem tych prac stanowi nie tylko miłą dla oka reprezentację graficzną obiektu, ale także wartościowy zbiór danych przydatnych do planowania inwestycji. Reasumując, mimo znacznych kosztów oraz czasu wymaganego do realizacji takiego projektu, jest to działanie celowe oraz przydatne.

Podziękowania

Dziękujemy za pomoc w przeprowadzeniu pomiaru zarządowi oraz pracownikom Kopalni Ćwiczebnej „Szttygarka” w Dąbrowie Górniczej. Szczególne podziękowania

składamy Panu Sebastianowi Kosakowskiemu za cierpliwość oraz pomoc techniczną. Ponadto chcieliśmy podziękować dr inż. Arturowi Krawczykowi za nadzór nad projektem oraz wszelkie cenne wskazówki.

LITERATURA

- [1] Lipecki T. (2010), *Skaning laserowy w pomiarach geometrii i deformacji obiektów oraz urządzeń górniczych*, Przegląd Górniczy 07/08.
- [2] Matwij W. (2011), *Wykorzystanie panoramicznego skaningu laserowego w modelowaniu i ocenie kształtu Grot Kryształowych Kopalni Soli „Wieliczka”*, praca dyplomowa, Kraków.
- [3] Dudek P. (2011), *Skanowanie laserowe w trójwymiarowej inwentaryzacji obiektów sakralnych*, „Parafialne ABC”, nr 3,
- [5] www.ecclesia.elamed.pl/strona-numer-3-2011-32615.html (on-line: 13.01.2013).
- [4] <http://www.muzeum-dabrowa.pl/> (on-line: 13.01.2013).



Wdrożenie aplikacji przeznaczonych do obsługi danych geologicznych w Kompanii Węglowej S.A.

Marian Poniewiera

Politechnika Śląska, Gliwice

1. Wprowadzenie

W Kompanii Węglowej S.A. w 2008 r. rozpoczęto wdrażanie Numerycznego Modelu Złoża. NMZ jest tu rozumiany bardzo szeroko jako System Informacji o Przestrzeni Górniczej. W pierwszej kolejności wprowadzano do Systemu mapy podstawowe, otwory geologiczne oraz punkty opróbowania złoża. Na tej podstawie wykonano, i nadal wykonuje się mapy pochodne, przestrzenne i jakościowe. Uzyskano dzięki temu solidną bazę umożliwiającą włączenie kolejnych działów kopalni i wprowadzanie dalších danych przestrzennych.

W 2011 roku postanowiono rozszerzyć istniejący Model o bazę danych zarządzającą informacją o próbach i parcelach geologicznych. Dane te, aktualnie przechowywane dotąd w różnych systemach, będą zaimportowane do istniejącej, jednolitej bazy danych NMZ, i co istotne, dołączone moduły parcel i prób geologicznych będą zsynchronizowane z danymi na mapach górniczych. Na ich podstawie będzie można sporządzać dokumentację o zasobach dostosowaną do aktualnych wymogów prawa oraz indywidualnych potrzeb użytkowników Systemu

Powiązanie przechowywanych danych o parcelach z jednostką organizacyjną da możliwość wykonania analiz (raportów) na wszystkich poziomach: jednostki, Centrum Wydobywczego, do którego należy jednostka, całego przedsiębiorstwa.

Integracja bazy z programami: AutoCAD i Geolisp umożliwi dwustronną wymianę danych o parcelach i próbach węgla pomiędzy mapą numeryczną a bazą danych. Powstanie możliwość pobrania, przez wcześniej wymienione oprogramowania, danych przechowywanych w kartotece prób węgla i automatycznego (po wcześniejszej akceptacji osoby uprawnionej) wniesienia prób na mapę. Na podstawie wniesionych prób można następnie utworzyć izoliny i mapy hipsometryczne obrazujące dowolny parametr złoża.

W ewidencjonowanych kartotekach parcel geologicznych uwzględniane są informacje o: pokładach, poziomach, złożach, obszarach górniczych, koncesjach, grupach parcel, filarach, polach i partiach. Wskazanie parceli na mapie umożliwia przejście do jej edycji. System umożliwia również tworzenie nowych parcel geologicznych. Narysowanie na mapie wieloboku z opisanym numerem parceli powoduje pobranie przez System z bazy danych pozostałych informacji, np. średniego zapopielenia. Istniejące w rysunku parcele można wizualizować w dowolny sposób, np. dobierając odpowied-

nie kolorowanie, typ i grubość linii. Dzięki temu łatwo można tworzyć załączniki do planu ruchu.

Z Numerycznego Modelu Złoża pobierane są automatycznie i obliczane dane, takie jak: powierzchnia, objętość, tonaż, miąższość, typ węgla, zapopielenie, gęstość przestrzenna, zasiarczenie, wartość opałowa, średni upad, średnia rzędna wysokościowa i inne. Wyniki obliczeń wykonanych w Systemie można porównać z parametrami istniejącymi w dokumentacji. Można również wyszukać w rysunku parcele spełniające określone kryteria, np. te, których odchyłki przekraczają zadaną wartość.

Moduł umożliwia również wykonanie różnych zestawień przedstawiających: sumę, wartość minimalną, maksymalną, średnią arytmetyczną i ważoną dla dowolnych wartości zgromadzonych w bazie.

Kartoteki jakościowych prób węgla są identyfikowane w zakresie: lokalizacji miejsca pobrania (współrzędne, jednostka, głębokość itp.), opisu badanej próbki, parametrów laboratoryjnych (zawartości siarki, zapopielenia, wartości opałowej itp.).

Dane dotyczące prób są wnoszone do Systemu w oparciu o przeglądarkę internetową, dzięki czemu mogą być one wprowadzane przez osoby spoza działu TMG, np. pracowników laboratorium wykonującego badania. Następnie uprawnieni użytkownicy Systemu (np. geolodzy z działu TMG) sprawdzają poprawność tych danych, np. na podstawie dokumentacji dostarczonej przez osobę wprowadzającą dane. Operator, który przyjmuje dane do Systemu ma wgląd w elektroniczny obraz dokumentu, na podstawie którego zewidencjonowano dane (np. skanu dokumentu). Dzięki oparciu Systemu o dedykowany mechanizm uprawnień, w sposób jednoznaczny wykluczono możliwość dostępu i zmiany danych przez osoby nieupoważnione.

W NMZ dane o charakterze słownikowym utrzymywane są zgodnie z przyjętą w przedsiębiorstwie strukturą organizacyjną w następujących zakresach: identyfikacja filarów wraz z nazwami, kategorie poznania, charakter zasobów, typy węgla (zgodnie z PN), charakterystyka jakości węgla.

Włączone do NMZ moduły parcel i prób geologicznych umożliwiają dynamiczne rozszerzanie kartotek i słowników o kolejne pola. Dzięki temu produkt można swobodnie dostosowywać do zmieniających się wymogów prawnych. Pozwoli to również na wykonanie kompleksowej analizy charakterystyk eksploatowanych zasobów.

Dołączenie informacji o próbach i parcelach geologicznych do NMZ jest korzystne również ze względów ekonomicznych. Architektura rozwiązania zakłada bowiem peł-

ne wykorzystanie istniejących komponentów opierających się o bazę danych Oracle, wraz z modulem umożliwiającym przechowywanie danych w formie przestrzennej Oracle Spatial. Jako serwer aplikacji zostanie wykorzystany obecnie stosowane oprogramowanie Oracle WebLogic.

2. Numeryczny model złoża

2.1. Wstęp

Numeryczny Model Złoża to baza danych wraz z oprogramowaniem umożliwiającym: aktualizację i edycję tej bazy, selektywną wizualizację wybranego fragmentu kopalni, wspomaganie sporządzania różnorodnej dokumentacji, przekrojów, profili, raportów. Tworzony jest on w oparciu o dokumenty kartograficzne oraz wyniki pomiarów geodezyjnych i geologicznych udokumentowanych w dziennikach pomiarowych. Baza danych umożliwia pracę wielu użytkownikom jednocześnie oraz pozwala na utrzymanie jednego modelu złoża i jednego zestawu danych, do których dostęp jest możliwy z dowolnego stanowiska komputerowego wchodzącego w skład Systemu. Ponadto System identyfikuje użytkowników wprowadzających zmiany w bazach danych oraz posiada zabezpieczenie przed przypadkową lub celową ingerencją w jej zawartość.

Numeryczny Model Złoża umożliwia sporządzenie, przechowywanie, przetwarzanie i aktualizację dokumentacji techniczno-ruchowej, którą zakłady górnicze mają obowiązek sporządzić zgodnie z obowiązującym prawem. Wynikowe dokumenty kartograficzne muszą spełniać wymogi określone przepisami normami i przepisami prawa polskiego.

Do zbudowania Systemu niezbędne jest posiadanie odpowiedniej infrastruktury technicznej (sprzęt komputerowy i kreślarski, oprogramowanie) oraz dysponowanie przygotowanymi do jego obsługi osobami. W KW SA zastosowano architekturę opartą na zintegrowanym pakiecie aplikacji inżynierskich: AutCAD Civil 3D, Oracle Spatial, EDBJ, GEONET i GEOLISP. Program GEOLISP umożliwia nie tylko automatyzację najczęściej wykonywanych prac w zakresie sporządzania dokumentacji kartograficznej, ale ponadto zawiera szereg programów stworzonych specjalnie na potrzeby poszczególnych działów.

O użyteczności Systemu decyduje jakość wprowadzanych danych – czym większa

dokładność wykonanych map tym większa możliwość wykorzystania ich do sporządzania w oparciu o nie różnorodnych obliczeń. Zazwyczaj wykresy, przekroje geologiczne, powiększenia wyrobisk wykonuje się dla rejonu, w którym prowadzona jest eksploatacja. Dlatego dla tych obszarów mapy wyrobisk górniczych powinny być sporządzane na podstawie danych pomiarowych i obliczeniowych. Rzadziej wykorzystywane mapy można zwektoryzować a sporadycznie używane – włączyć do Systemu w postaci rastrowej.

2.2. Pobieranie danych z Numerycznego Modelu Złoża

Złoże jest odwzorowane poprzez zestaw powierzchni TIN – siatek trójkątów, których wierzchołkami są punkty o określonych współrzędnych X, Y, Z. Parametr Z może przedstawiać np.: miąższość, spąg pokładu, zasiarczenie w danym punkcie.

Utworzoną powierzchnię można zwizualizować w postaci siatki trójkątów, izolinii lub mapy hipsometrycznej. Istnieje możliwość obliczenia objętości zawartej pomiędzy dwoma powierzchniami.

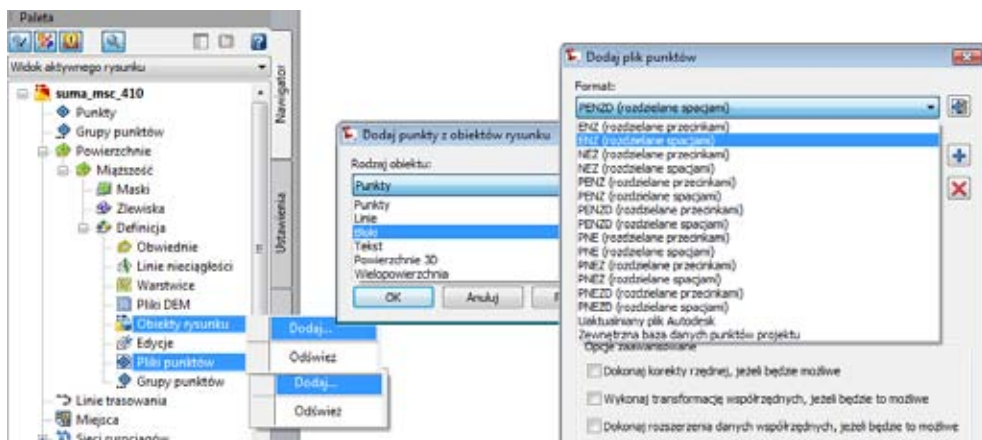
Powierzchnie mogą być tworzone automatycznie z odpowiednio przygotowanych map numerycznych, zawierających: słupki miąższości, linie nieciągłości, próby. Postępowanie w tym przypadku może wyglądać następująco: po zbudowaniu szeregu powierzchni dla miąższości, spągu pokładu, zapozielenia, zasiarczenia itp. wskazujemy obszar, np. parcelę zasobową, dla którego chcemy pobrać dane. Na podstawie zbudowanych wcześniej powierzchni system uzupełni wskazanej parceli odpowiednie atrybuty, takie jak: pole, objętość, zapozielenie itp. Następnie można sporządzić dowolne raporty czy mapy tematyczne.

Kolejnym krokiem jest powiązanie parcel na mapie z bazą opisową. Pozwala to na kontrolę wprowadzonych danych i zapewnia bardzo dokładne wyniki raportów liczonych zasobów.

Kontrolę łatwiej przeprowadza się w sposób graficzny. Istnieje szereg procedur wspomagających sprawdzanie mapy np. poprzez budowę topologii parcel.

2.2.1. Definiowanie powierzchni w programie AutoCAD Civil3D

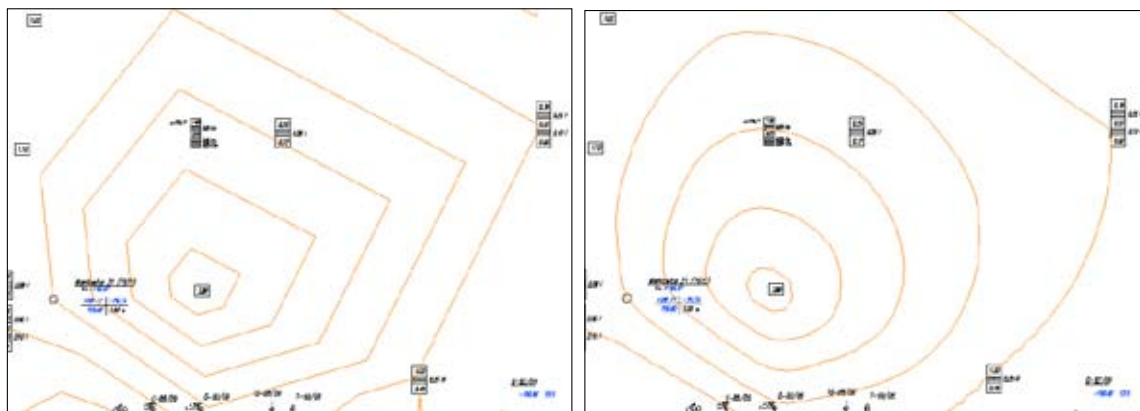
AutoCad Civil umożliwia tworzenie powierzchni z dowolnych elementów mapy – bloków, punktów, linii nieciągłości, warstw lub na podstawie danych zaimportowanych



Rys. 1. Dodawanie obiektów do utworzonej powierzchni w programie AutoCAD

Figure 1. Adding objects to the created surface in AutoCAD

z zewnętrznych plików tekstowych. Wartość parametru Z powinna odpowiadać wartości modelowanego elementu. Sposób wyświetlania utworzonej powierzchni zależy od preferencji i potrzeb użytkownika.



Rys. 2. Kontury przed i po wygładzeniu powierzchni

Figure 2. Contours before and after smoothing

AutoCAD daje możliwość przeniesienia obiektów rysunkowych (bloków, linii) na powierzchnię. Przykładowo, w wyniku przeniesienia parceli narysowanej w płaszczyźnie 2D na powierzchnię spągu pokładu, jej wierzchołkom zostaną nadane poprawne rzędne wysokościowe.

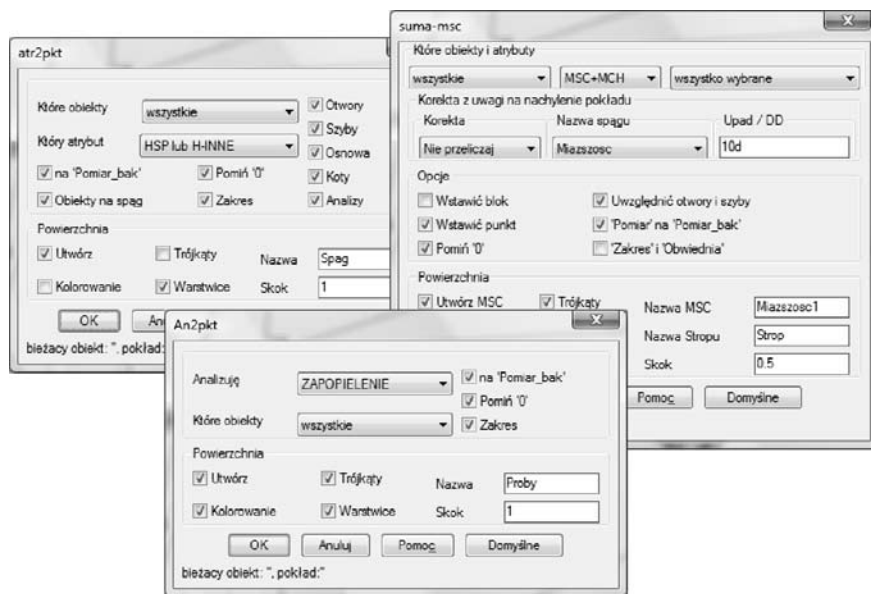
Utworzoną powierzchnię można dowolnie modyfikować. W zależności od potrzeb można ją uprościć – zmniejszając liczbę tworzących ją punktów lub skracając krawędzie trójkątów, albo wygładzić – program na podstawie odpowiedniego wie-

lomianu aproksymującego wstawi dodatkowe punkty np. w centroidach istniejących trójkątów.

2.2.2. Utworzenie powierzchni TIN z mapy numerycznej

Istniejące w systemie Geolisp programy tworzą powierzchnię na podstawie bloków: analizy chemicznej, miąższości, punktów osnowy, kot wysokościowych, otworów geologicznych, szybów. Współrzędne X i Y punktów powierzchni pokrywają się z punktem wstawienia bloku natomiast ich wartość Z jest równa wartości wybranego atrybutu.

Programy te pozwalają na szybkie zwizualizowanie utworzonej powierzchni np. poprzez wygenerowanie izolinii. Aby wygenerowana w ten sposób powierzchnia była poprawna należy pamiętać o przeprowadzeniu kontroli tworzących ją rzędnych a także dodaniu do niej linii nieciągłości.



Rys. 3. Narzędzia programu Geolisp służące do tworzenia powierzchni
Figure 3. Geolisp Tools for creating surface

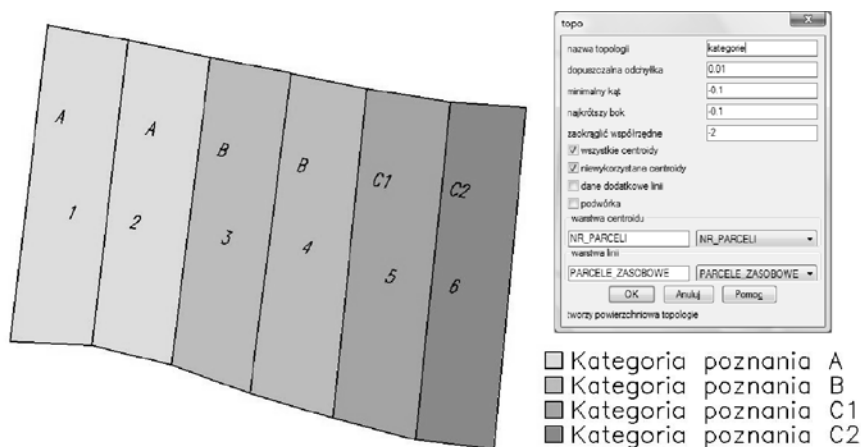
Dysponując odpowiednio przygotowanymi plikami tekstowymi można wstawić do rysunku punkty lub bloki z odpowiednimi atrybutami.

Od poprawności utworzenia obiektów rysunkowych zależy, czy będą one mogły być wykorzystane w dalszej pracy. Do każdego obiektu utworzonego w programie Geolisp są dołączone dodatkowe informacje (nazwa pokładu / poziomu, data utworzenia, źródło danych o obiektach itp.). Kontrola tych obiektów powinna polegać zatem nie tylko

na sprawdzeniu ich poprawności pod względem graficznym, ale także pod względem poprawności danych opisowych – wykorzystujemy do tego celu odpowiednie narzędzia istniejące w systemie Geolisp. Eliminację punktów obarczonych błędami grubymi umożliwia np. na sprawdzenie różnicy wysokości pomiędzy najwyższym i najniższym punktem na mapie oraz punktami sąsiadującymi, a także na wygenerowanie warstw (punkty o znacząco błędnej wysokości wymuszają powstanie dodatkowych warstw, co przy kontroli łatwo zauważyć).

2.3. Generowanie map tematycznych na bazie topologii

Topologia polega na sprawdzeniu wzajemnych relacji pomiędzy poszczególnymi obiektami mapy (wierzchołkami, liniami i centroidami).



Rys. 4. Mapa tematyczna wykonana na bazie topologii
Figure 4. Topology thematic mapping

System posiada narzędzia umożliwiające wyszukanie błędów powstałych podczas tworzenia mapy takich jak: niedociągnięcia, krótkie odcinki, nachodzące na siebie parcele itp. Na bazie utworzonej topologii można wykonać mapę tematyczną, wykorzystując do tego celu właściwości obiektów (kolor, tekst, wysokość itp.), ich dane opisowe czy też dane z zewnętrznych baz danych.

2.4. Wyszukiwanie parcel spełniających określone kryteria

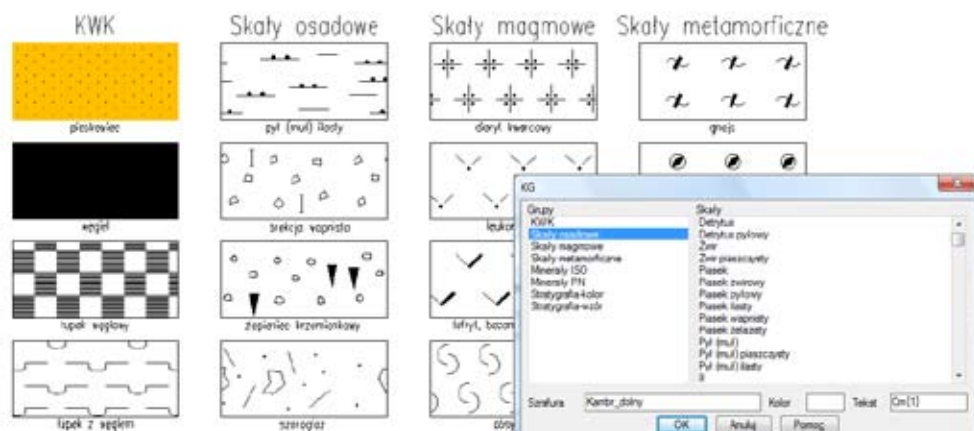
Przy pomocy narzędzi programu AutoCAD MAP można wyszukać, we wskazanych

ki wielomianów zespolonych obliczonych programem Geonet, w drugim zdefiniowano współczynniki transformacji konforemnej dla stosowanych w praktyce na kopalniach układów współrzędnych.

3. Pomocnicze aplikacje w systemie Geolisp

3.1. Kreskowanie geologiczne

Wszystkie umowne znaki skał i surowców mineralnych, stosowane na mapach górniczych, a przede wszystkim na mapach geologicznych, zostały zdefiniowane, zgodnie z Polskimi Normami, w systemie Geolisp.



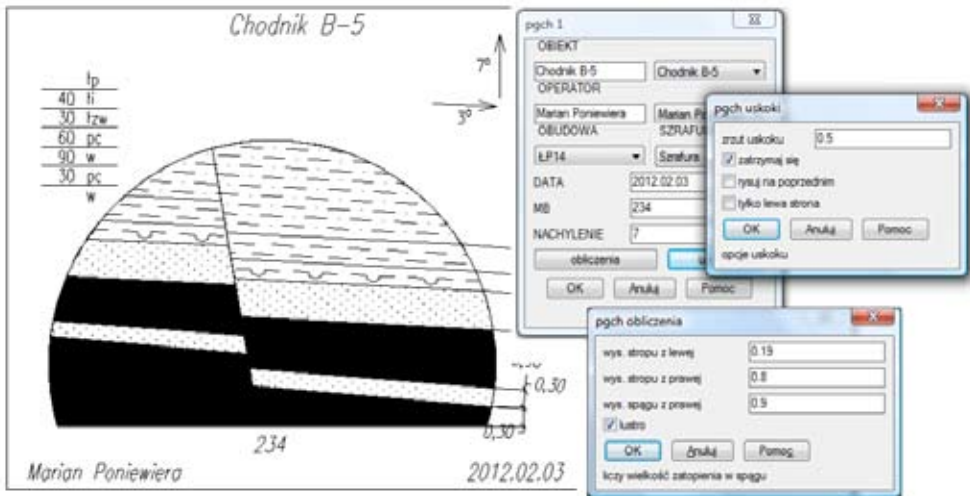
Rys. 7. Przykładowe wzory kreskowań geologicznych
Figure 7. Examples of geological hatch patterns

3.2. Przekrój geologiczny chodnika

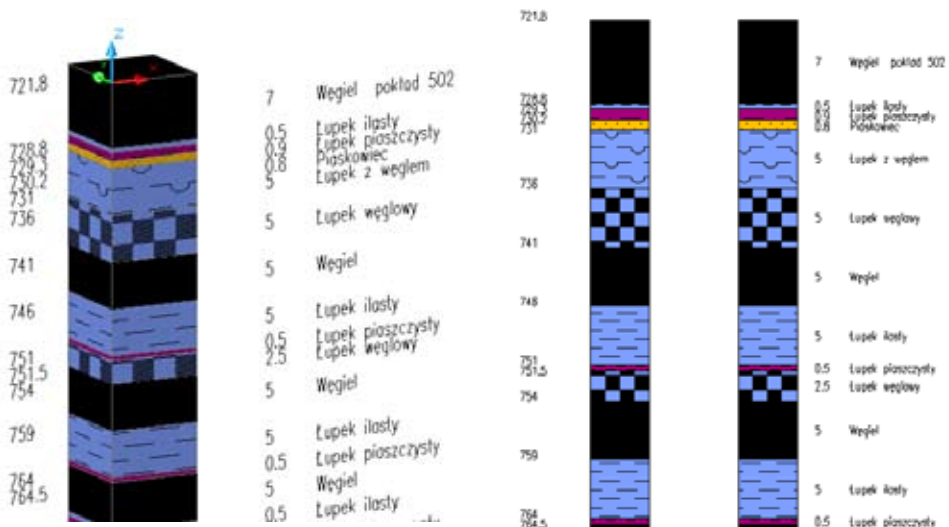
Program Geolisp umożliwia graficzne przedstawienie geologicznej budowy chodnika. Po wybraniu odpowiedniego typu obudowy i sposobu przedstawiania skał (szrafura, kolor lub kolor + szrafura) należy określić wartości miąższości dla poszczególnych warstw i wybrać rodzaje skał dla każdej z nich. Istnieje również możliwość wprowadzenia uskoku oraz obliczenia wielkości zatopienia pierwszej warstwy.

3.3. Karta otworu

Na podstawie danych zapisanych w pliku tekstowym w odpowiednim formacie można wstawić do rysunku kartę otworu wiertniczego lub profil szybu.



Rys. 8. Przekrój geologiczny chodnika
Figure 8. Soil profile of mining excavation



Rys. 9. Profil geologiczny
Figure 9. Soil profile

4. Podsumowanie

W wyniku wdrożenia aplikacji przeznaczonych do obsługi danych geologicznych w KWSA będzie możliwe:

- Ewidencjonowanie kartotek parcel geologicznych z uwzględnieniem informacji: o pokładach, poziomach, złożach, obszarach górniczych, koncesjach, grupach parcel, filarach, polach i partiach.
- Utrzymanie danych o charakterze słownikowym, zgodnie ze strukturą organizacyjną przedsiębiorstwa, w następujących zakresach: identyfikacja filarów, kategoria rozpoznania, charakter zasobów, typ węgla, charakterystyka jakości pokładów.
- Ewidencjonowanie kartotek jakościowych prób węgla w zakresie: lokalizacji miejsca pobrania, opisu badanej próbki, parametrów laboratoryjnych.
- Wnoszenie danych do Systemu w oparciu o przeglądarkę internetową – dzięki temu mogą być one wprowadzane przez osoby spoza działu TMG, np. pracowników laboratorium wykonującego badania.
- Zsynchronizowane moduły parcel i prób geologicznych z danymi na mapach górniczych.
- Automatyczne pobieranie danych z Numerycznego Modelu Złoża, takich jak: powierzchnia, objętość, tonaż, miąższość, typ węgla, zapopielenie, gęstość przestrzenna, zasiarczenie, wartość opałowa, średni upad, średnia rzędna wysokościowa i innych.
- Porównanie istniejących w dokumentacji parametrów z wyliczonymi w Numerycznym Modelu Złoża; zaznaczenie parcel o odchyłkach przekraczających zadaną wartość.
- Wyświetlenie na mapie i sporządzenie raportu parcel spełniających zadane kryteria – np. o określonej zawartości siarki, popiołu itp.
- Sporządzenie dokumentacji opisowej i mapowej o zasobach, dostosowanej do aktualnych wymogów prawa oraz indywidualnych potrzeb użytkowników Systemu.

Rozszerzenie wdrożonego w Kompanii Węglowej Systemu Numerycznego Modelu Złoża o funkcjonalności związane z zarządzaniem informacją o próbach i parcelach geologicznych, niewątpliwie ułatwi pracę, a także przyczyni się do lepszej jej organiza-

cji. Dołączone moduły parcel i prób geologicznych będą zsynchronizowane z danymi na mapach górniczych. Dołączenie informacji o próbach i parcelach geologicznych do NMZ jest korzystne również ze względów ekonomicznych. Architektura rozwiązania zakłada bowiem wykorzystanie istniejących komponentów, opierających się o bazę danych Oracle Spatial. Jako serwer aplikacji zostanie wykorzystany obecnie stosowane oprogramowanie Oracle WebLogic.

LITERATURA

- [1] Krawczyk A., Jura J. 2009: *Wybrane problemy wdrażania i prowadzenia zasobu map wyrobisk górniczych*. X Dni Miernictwa Górniczego i Ochrony Terenów Górniczych, Kraków.
- [2] Maciaszek J., Gawalkiewicz R. 2007: *Podstawy grafiki inżynierskiej dla studentów geodezji i inżynierii środowiska*, Wydawnictwo AGH, Kraków.
- [3] Pomykoł M., Poniewiera M. 2009: *Numeryczne projektowanie w geodezji górniczej*. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice.
- [4] Poniewiera M. 2010: *Model numeryczny złoża węgla kamiennego i jego praktyczne zastosowania*. Wiadomości górnicze R.LXI.



Technologia Xaris jako środowisko modelowania i prowadzenia obiektowych map górniczych

Xaris technology as an environment for modelling and maintaining object-oriented mining maps

Marek Sołowczuk, Lech Rybałko

SHH Sp. z o.o.

1. Wstęp

Jednym z podstawowych źródeł informacji obrazujących aktualny stan eksploatacji złoża jest mapa wyrobisk górniczych. Obecnie dominującym sposobem jej prowadzenia w przedsiębiorstwach górniczych jest system plikowy.

Propozycją alternatywną jest prowadzenie elementów dokumentacji mierniczo-geologicznej w środowisku bazodanowym.

Bardzo istotną cechą takiego rozwiązania jest możliwość przechowywania w bazie danych wszystkich informacji o obiekcie. W bazie danych mamy więc zarówno dane opisowe, jak i geometrię obiektu oraz jego symbolikę. Zalety takiego prowadzenia zasobu to m.in.:

- jedno źródło danych (spójność zasobu)
- jednorodność i ciągłość zasobu (eliminacja efektu „sekcyjności”)
- bezpieczeństwo danych
- łatwość archiwizacji
- szerokie możliwości analityczne (możliwość analiz geometrycznych obiektów z wykorzystaniem operatorów przestrzennych)
- możliwość publikacji danych z wykorzystaniem standardów INSPIRE oraz OGC
- Z punktu widzenia użytkownika, najważniejsze zalety rozwiązania bazodanowego to:
 - możliwość współdzielenia tych samych obszarów zasobu
 - bieżący zapis efektów pracy do bazy danych
- możliwość prezentacji danych w dowolnych konfiguracjach

2. Architektura oraz technologia

Przejęcie od systemu plikowego prowadzenia zasobu mapowego do systemu bazodanowego stanowi istotną zmianę technologiczną, która jest nieuchronną konsekwencją rozwoju technologii geoinformacyjnych wymuszonych dzisiejszymi regulacjami prawnymi oraz wprowadzanymi w ich konsekwencji standardami.

Wychodząc naprzeciw tym potrzebom firma SHH opracowała własne środowisko komponentowe o nazwie Xaris.

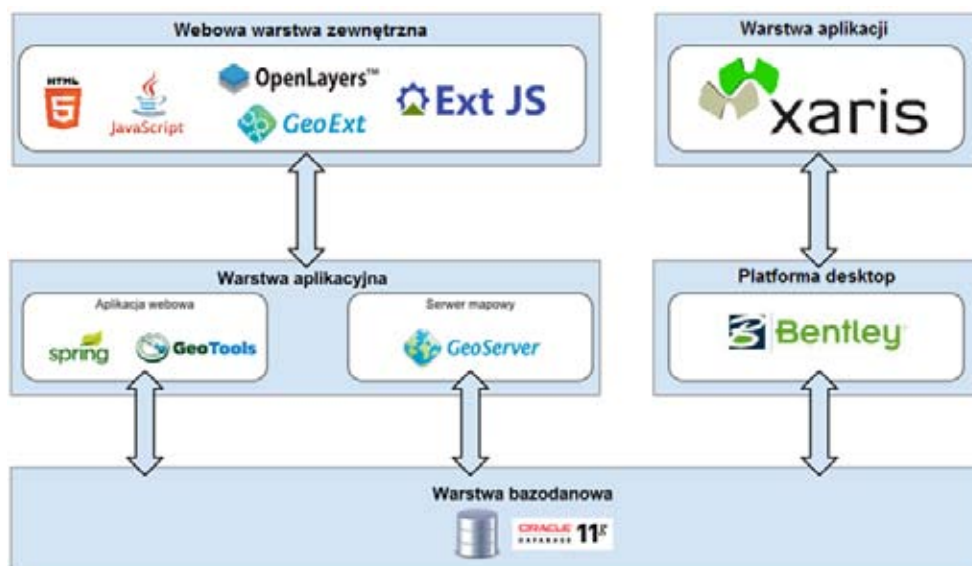
Xaris łączy cechy rozwiązania klasy desktop (aplikacje zintegrowane z platformą Bentley Systems) oraz web (oparte o oprogramowanie Open Source lub alternatywnie wykorzystujące inny webowy interfejs graficzny – np. Oracle MapViewer stanowiący część technologii Oracle Fusion Middleware).

System wykorzystuje bazę danych Oracle, a dane przestrzenne zapisuje w formacie Oracle SDO_Geometry.

- Podstawą architektury logicznej jest model trójwarstwowy złożony z:
- warstwy wewnętrznej – serwer bazy danych,
- warstwy pośredniej – w przypadku rozwiązania klasy desktop jest nią środowisko graficzne firmy Bentley, natomiast w rozwiązaniu klasy Web – serwer aplikacji (zawierający kod zarządzający aplikacją, wykonujący funkcje z zakresu logiki biznesowej, pośredniczący pomiędzy warstwą kliencką, a funkcjami udostępnianymi przez bazę danych),
- warstwy zewnętrznej – klienckiej – stanowiącej aplikację użytkownika.

Na rysunku 1 przedstawiona została Architektura logiczna Systemu Informacji Przestrzennej.

Warstwy serwera aplikacji oraz bazy danych wzbogacone są o dodatkowe biblioteki oprogramowania narzędziowego i systemowego oraz o własne rozwiązania aplikacyjne.



Rys. 1. Architektura logiczna Systemu Informacji Przestrzennej
Figure 1. Logical architecture of Spatial Information System

Rozwiązanie dostarcza bogaty zestaw metod, algorytmów i programów łatwych do wykorzystania dzięki zastosowaniu technologii komponentowej. Narzędzia te mają szerokie zastosowanie w większości procesów przetwarzania danych przestrzennych. Nowoczesne, zorientowane obiektowo funkcje, pozwalają na wydajną adaptację systemu do potrzeb użytkowników. Kontrola oraz zarządzanie wersjami obiektów, pozwala na obsługę i edycję danych w postaci scentralizowanej i rozproszonej.

Rozwiązania wykorzystane w koncepcji systemu nie narzucają ograniczeń co do ilości wymiarów przestrzeni danych. Dostrzegając korzyści z zastosowania modelu trójwymiarowego proponujemy w pełni funkcjonalne środowisko pracy mierniczych oraz geologów, jak również innych służb związanych z funkcjonowaniem przedsiębiorstwa górniczego.

3. Xaris Desktop

Jako standard wizualizacji i zaawansowanej edycji danych przestrzennych przyjęto środowisko firmy Bentley Systems reprezentowane przez grupę produktów Bentley Map v8i:

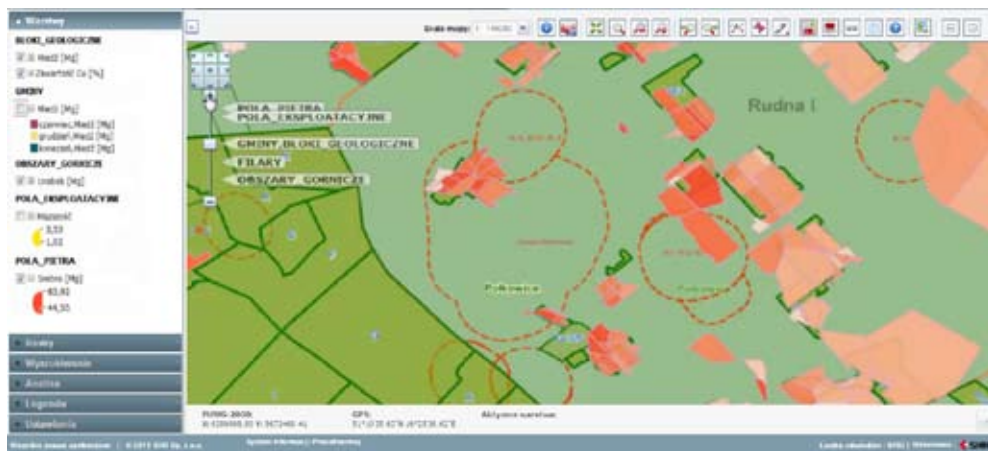
- Bentley Map Enterprise (rozszerzone środowisko edycyjne, zawiera m.in. aplikację obróbki obrazów rastrowych Descartes)
- Bentley Map (podstawowe środowisko edycyjne)
- Bentley Map PowerView (przeglądarka z wybranymi funkcjami edycyjnymi)
- Bentley PowerCivil (oprogramowanie umożliwiające m.in. modelowanie struktur geologicznych)

Wszystkie produkty Bentley generacji v8i, mogą być w pełni wykorzystane jako platforma graficzna dla aplikacji Xaris.

4. Xaris WEB

Integralną częścią środowiska Xaris są komponenty webowe. Wszystkie klasy i obiekty zamodelowane w części desktopowej oprogramowania stają się jednocześnie klasami i obiektami dostępnymi z poziomu aplikacji Web. Istotną cechą przygotowywanego modelu jest przechowywanie w bazie danych symboliki charakterystycznej dla środowiska Bentley, jak i bibliotek graficznych Webservera.

Na rysunku 2 przedstawiony został fragment mapy prezentowanej w technologii Xa-



Rys. 2. Przykład zastosowania technologii Xaris w środowisku WEB: fragment mapy zawierającej złożenie danych administracyjnych, górniczych i geologicznych

Figure 2. Example of the use of Xaris technology in the WEB environment: the map containing the submission of administrative, mining and geological data

ris WEB, zawierającej złożenie granic filarów ochronnych, granic pól eksploatacyjnych oraz informacji dotyczących jakości kopaliny w poszczególnych polach.

5. Etapy wdrażania zasobu mapowego

Implementacja prezentowanego środowiska składa się z trzech zasadniczych etapów opisanych w kolejnych punktach:

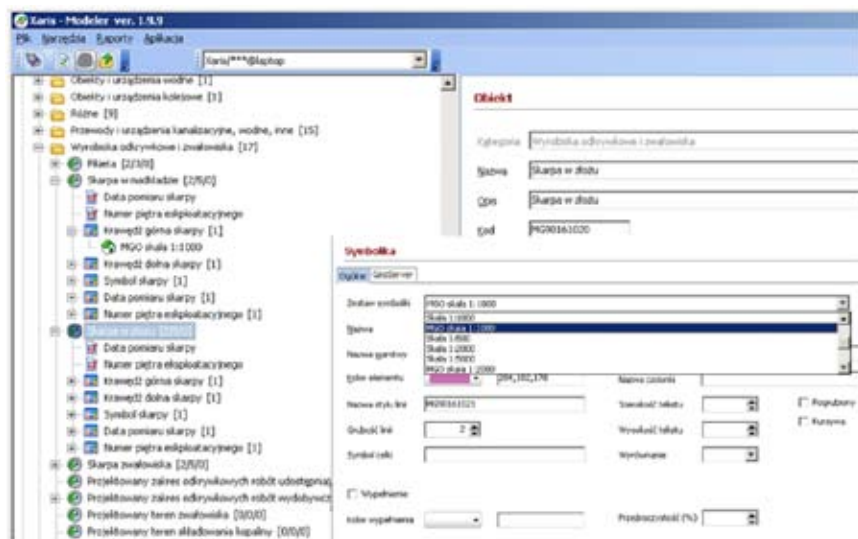
- w etapie pierwszym niezbędne jest przygotowanie modelu zasobu mapowego
- w etapie drugim – uzupełnianie treści mapy
- w etapie trzecim – analiza i raportowanie zebranych w bazie informacji.

Poniżej przedstawiony został opis ww. etapów oraz pozostałe najistotniejsze cechy środowiska.

6. Etap pierwszy: przygotowanie modelu zasobu mapowego

Przez przygotowanie środowiska pracy należy rozumieć opracowanie modelu (struktury) zasobu mapowego, który będzie obsługiwany. Modelowanie struktury jest rzeczą bardzo istotną, ponieważ prawidłowo zaprojektowana struktura pozwala na efektywną pracę użytkownikom pracującym z zasobem mapowym.

Zastosowana platforma pozwala na budowę struktury (modelu) zasobu w sposób uwzględniający zarówno wymogi norm krajowych (np. instrukcja K-1) jak i specy-



Rys. 3. Fragment modelu struktury mapy wyrobisk górniczych przedstawiający elementy skarpy eksploatacyjnej w złożu.

Figure 3. Part of the map structure model showing exploitation slope elements

ficzne wymagania norm branżowych (tu np. norm dotyczących map górniczych dla górnictwa odkrywkowego).

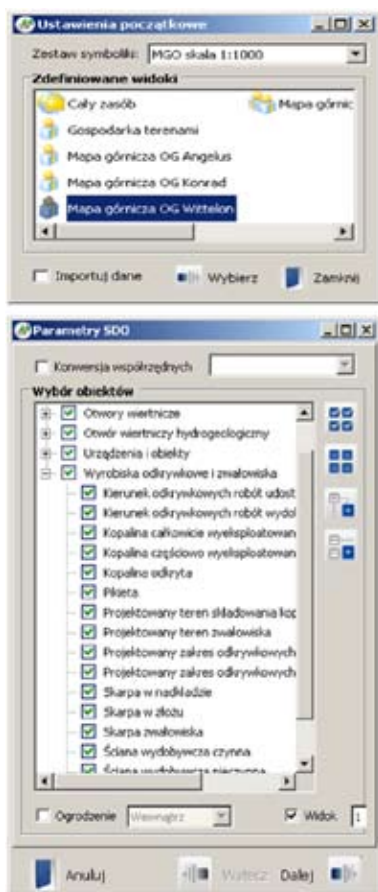
Warty podkreślenia jest fakt, że poza możliwością definiowania atrybutów graficznych elementów mapy (kolor, styl linii, itd.) możliwe jest dodawanie atrybutów opisowych (tu nr piętra eksploatacyjnego oraz data pomiaru skarpy). Aby uwolnić użytkownika od czasochłonnego obowiązku uzupełniania wartości wszystkich atrybutów część z atrybutów można zdefiniować jako nieobowiązkowe.

Model struktury zasobu pozwala również na definiowanie atrybutów elementów mapy uwzględniających różnice wynikające ze skali w jakiej ma być prezentowany zasób.

Zaznaczyć należy, że definicje elementów mapy opierają się na obowiązujących normach (tu norma PN-73 G-09016 „Umowne znaki wyrobisk odkrywkowych i zwalisk”).

7. Konfiguracja i personalizacja map tematycznych

Istotną częścią tworzenia modelu jest przygotowanie predefiniowanych konfiguracji map tematycznych (kompozycji widoków). Definiowanie zarówno zakresu jak i sposobu prezentacji treści poprzez widoki uwalnia użytkownika m.in. od konieczności



Rysunek 4. Przykład konfiguracji widoku zawierającego podstawowe elementy mapy wyrobisk górniczych

Figure 4. Example of predefined view with basic elements of minig maps. The upper part of figure contains set of views by the different mining areas

prrowadzenia oddzielnych zasobów tematycznych (np. map otworów wiertniczych) oraz stanowi przygotowanie konfiguracji pracy dla poszczególnych (grup) użytkowników. Dzięki temu oprogramowanie może być wykorzystane np. do niezależnej obsługi poszczególnych wyrobisk lub rejonów eksploatacji funkcjonujących w ramach jednego zakładu górniczego. Cecha ta z pewnością może zostać wykorzystana także w sytuacji gdy przedsiębiorstwo składa się z kilku zakładów górniczych rozproszonych geograficznie i posiadających odrębne służby mierniczo-geologiczne.

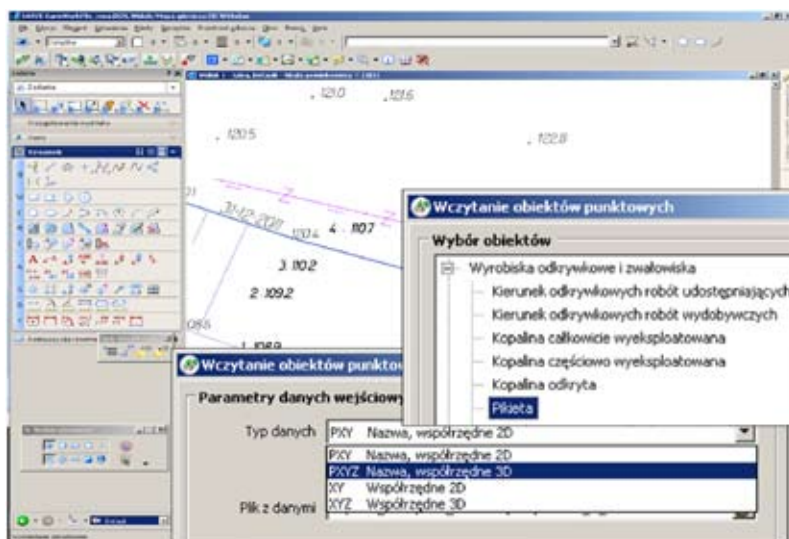
Na rysunku 4 przedstawiony został przykład konfiguracji widoku zawierającego podstawowe elementy mapy wyrobisk górniczych. Przygotowanie widoku pozwala zarówno na ograniczenie ilości elementów mapy do obsługiwanych przez danego użytkownika jak i ograniczenie geograficzne zakresu wyświetlanych danych (użytkownik obsługujący widzi jedynie dane właściwe dla własnego obszaru).

8. Etap drugi: uzupełnianie treści mapy

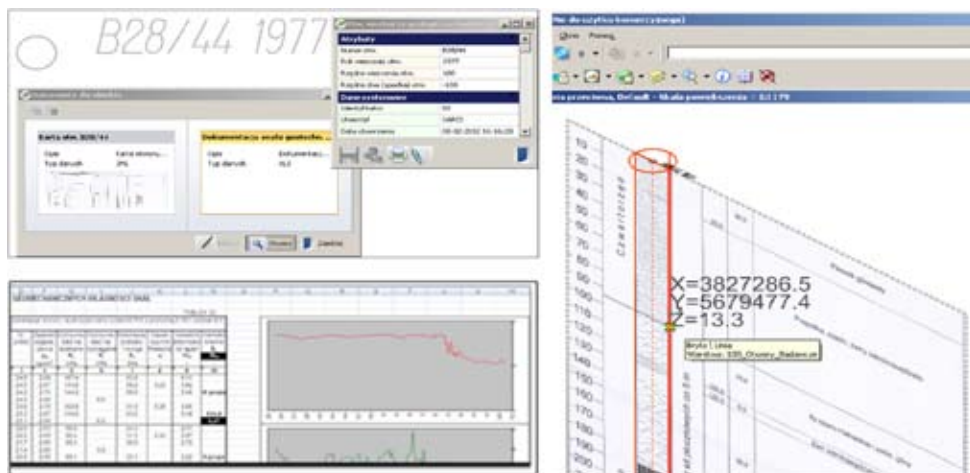
Wprowadzanie elementów mapy może odbywać się przy pomocy jednego z trzech sposobów. Pierwszym z nich jest wrysowywanie elementu na mapie przez użytkownika. Taki sposób pracy może być przydatny np. w razie konieczności przerysowania elementów mapy z materiałów archiwalnych.

Drugą metodą jest import elementów graficznych istniejących już w formacie wektorowym (np. DWG, DGN). Metoda ta jest wykorzystana np. przy integracji zasobów mapowych przedsiębiorstwa poprzez przenoszenie zasobu plikowego do bazy danych.

Trzecim sposobem jest wczytywanie danych dotyczących obiektu z plików tekstowych pochodzących np. z rejestratorów polowych. Na rysunku 5 przedstawione zostały podstawowe kroki tego procesu, czyli wybór rodzaju obiektu (tu pikiet), a następnie wskazanie konfiguracji danych w pliku źródłowym (tu plik zawierający opisy/nazwy pikiet oraz współrzędne X,Y,Z). Efektem operacji jest zapis pikiet do bazy danych oraz ich wyświetlenie w środowisku graficznym. Pikiety krawędzi górnej (w górnej części rysunku) wprowadzone zostały bez opisów, natomiast pikiety obrazujące dolną krawędź skarpy (z pogrubionymi opisami) zostały wprowadzone do bazy wraz z ich numeracją.



Rys. 5. Przykład importu elementów liniowych (tu pikiet) do środowiska Xaris
Figure 5. Point elements import Example (pickets) to the Xaris environment



Rys. 6. Przykład obsługi otworów wiertniczych. Poza graficzną reprezentacją obiektu na mapie do otworu dołączono również szereg danych dodatkowych
 Figure 6. Example of borehole stored in Xaris software. In addition to a graphical object representation on the map there is a possibility to attach a number of additional data

Bardzo istotną cechą prowadzenia zasobu mapowego w środowisku bazodanowym jest również możliwość dołączania dodatkowych informacji do wprowadzanych lub już istniejących w bazie obiektów.

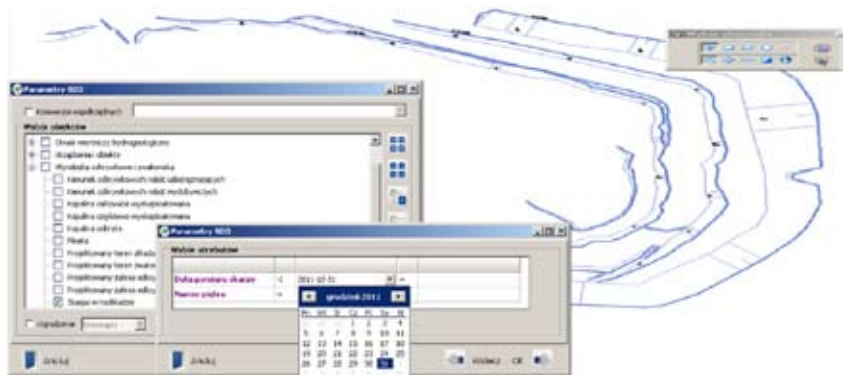
Na rysunku 6 przedstawiony został przykład obsługi otworów wiertniczych stanowiących również element mapy wyrobisk górniczych. W tym przypadku wykorzystanie środowiska bazodanowego Xaris, poza lokalizacją i danymi opisowymi (nazwa otworu, rok wiercenia, itp.) pozwala na dołączanie dokumentacji obiektu bez potrzeby czasochłonnego i kosztownego wprowadzania wszystkich danych szczegółowych do bazy danych. Tu do otworu wiertniczego dołączone zostały również wyniki analiz parametrów geotechnicznych prowadzone w arkuszu kalkulacyjnym.

Dane dołączane do obiektu mogą być na bieżąco aktualizowane (np. o wyniki kolejnych analiz: geochemicznych, mineralogicznych) co pozwala na prosty dostęp do danych specjalistycznych również z poziomu mapy wyrobisk górniczych.

Warto również zwrócić uwagę na prawą część rysunku 6, przedstawiającą zalety prowadzenia zasobu w środowisku trójwymiarowym. Na rysunku widać zeskanowaną kartę otworu wiertniczego, która została skalibrowana w przestrzeni trójwymiarowej. Oznacza to, że użytkownik odczytując dane dotyczące otworu wiertniczego porusza się w rzeczywistej przestrzeni złoża.

9. Etap trzeci: analiza i raportowanie danych

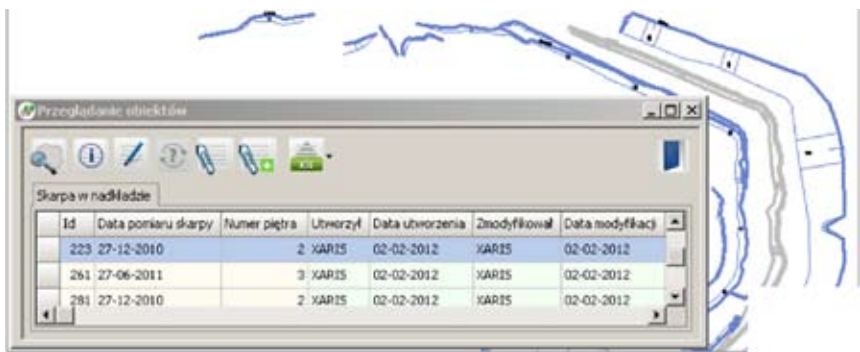
Odnośnie możliwości analitycznych szczególnie istotna jest funkcjonalność umożliwiająca przechowywanie w bazie danych zarówno geometrii jak i atrybutów obiektu. Pozwala to na analizę i wybór elementów graficznych mapy wg zadanych filtrów/



Rys. 7. Przykład prostego zapytania, którego efektem jest wyświetlenie skarp nadkładowych wyrobiska odkrywkowego wykonanych we wszystkich piętrach eksploatacyjnych do dnia 9 grudnia 2012 r.
Figure 7. Simple query example, resulting with the pit mine overburden slopes display (all operational floors until 9 December 2012)

kryteriów czy zakładanie buforów przeszukiwania (np. znajdowanie otworów wiertniczych znajdujących się w zadanej odległości od krawędzi skarpy eksploatacyjnej).

Narzędzia analityczne umożliwiają prowadzenie analiz w obie strony, tj. zarówno poprzez wyświetlenie na mapie obiektów spełniających kryteria wyboru (jak na rysunku 7) jak i odczyt atrybutów obiektu (lub grupy obiektów) poprzez jego wskazanie na mapie (rysunek 8).

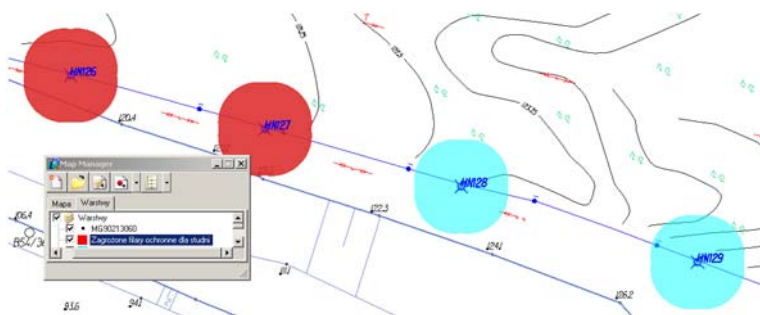


Rys. 8. Zestawienie reprezentacji graficznej obiektu wraz z odpowiadającą mu informacją tabelaryczną
Figure 8. Graphical object representation with corresponding tabular information

Bardzo istotną funkcjonalnością systemu Xaris w powiązaniu z oprogramowaniem firmy Bentley jest możliwość wykonywania analiz uwzględniających kryteria przestrzenne.

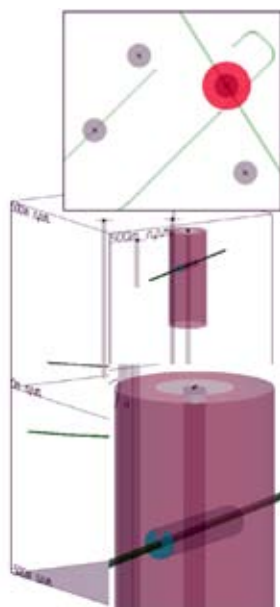
10. Analiza topologiczna elementów mapy

Na rysunku 9 przedstawiony został przykład analizy z zastosowaniem kryterium geograficznego dwuwymiarowego: czynne studnie odwadniające, które w wyniku postępu eksploatacji znalazły się w odległości mniejszej niż 25 metrów od górnej krawędzi wyrobiska (oznaczone na czerwono).



Rys. 9. Przykład analizy z kryterium geograficznym dwuwymiarowym (XY)

Figure 9. Analysis example using two-dimensional criteria: drainage wells, which are less than 25 meters from the top of the pit (marked in red).



Rys. 10 Przykład analizy z kryterium geograficznym przestrzennym (XYZ)

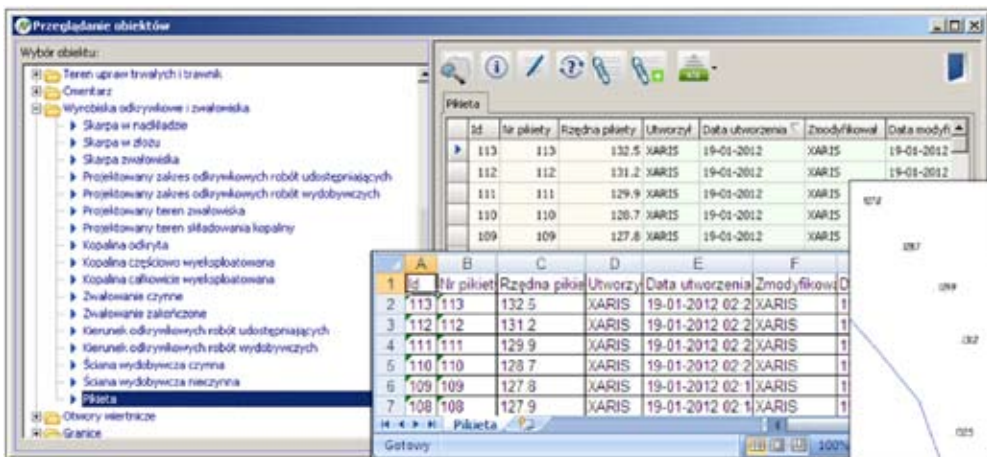
Figure 10. Result of the three-dimensional analysis: shafts (gray), which are located at a distance of less than 50 meters from the pavements (elements in green) with the additional criterion of pavement elevation gear (all pavements running between elevation of the land surface to the elevation of 200 m above sea level). As a result was indicated shaft (the figure is a vertical cylinder reddish), which runs adjacent to the pavement at about 360 m above sea level elevation (horizontal cylinder surrounded by the color blue).

Na rysunku 10 przedstawiony został wynik analizy szybów (kolor szary), które znajdują się w odległości mniejszej niż 50 metrów od chodników (elementy w kolorze zielonym) przy dodatkowym kryterium rzędnej biegu chodników (wszystkie chodniki biegnące w przedziale rzędnych od powierzchni terenu do rzędnej +200 m n.p.m.). W efekcie wskazany został szyb (na rysunku jest to pionowy walec barwy czerwonej), w sąsiedztwie którego w odległości mniejszej niż 50 m biegnie chodnik na rzędnej ok. 360m n.p.m. (otoczony poziomym walcem barwy błękitnej).

11. Raportowanie wyników analiz

Możliwość raportowania wyników analiz jest jedną z najistotniejszych cech prezentowanej technologii. Użytkownik ma do dyspozycji zarówno narzędzia umożliwiające tworzenie zestawień elementów spełniających określone kryteria jak i narzędzia umożliwiające zapis wyniku analizy do postaci raportu np. w formacie arkusza kalkulacyjnego.

Pozostając przy kwestii raportowania wyników analiz warto zwrócić uwagę na możliwości uzupełniania zakresu raportów o wyniki operacji matematycznych na



Rys. 11. Wynik analizy danych dotyczących wszystkich pikiet zarejestrowanych w dniu 18 stycznia 2012 r., które posiadają wartości rzędnych większe od 100 m n.p.m. – raport zapisany w postaci arkusza kalkulacyjnego. Uzupełnieniem takiego raportu może być również część mapowa (wyrrys), przedstawiająca lokalizację pikiet. Figure 11. Result of the analysis of all pickets data registered on 18 January 2012, which have a height value greater than 100 m above sea level and a spreadsheet form report. Mapping report, showing location of all pickets is a supplement to this report.

Skarpa w nadglądzie						
	Id	Data pomiaru	Numer piętra	Pole powierzchni [m kw.]	Wysokość skarpy [m]	Objętość [m szesc.]
	144	31-12-2011	1	3500	18	63000
	223	27-12-2010	2	2500	15	37500
	161	27-12-2010	2	250	3	750
	323	30-06-2011	3	100	2	200
	322	30-06-2011	3	75	1	75

Rys. 12. Efekt dodania do raportu dwóch kolumn źródłowych (pole powierzchni, wysokość skarpy) oraz kolumny wynikowej zawierające wartości wyliczone (tu objętość urobku) na podstawie wskazanych kolumn źródłowych

Figure 12. The effect of adding following columns to the report: two source columns (value of excavated area, the height of the slope) and the output column containing the value calculated (here the volume of excavated material)

danych źródłowych. Funkcjonalność taka może np. realizować wymóg cyklicznego raportowania danych dotyczących postępów eksploatacji. Mając zapisane w bazie danych zarówno daty stanów eksploatacyjnych jak i ich geometrię możemy na bieżąco raportować postępy robót w poszczególnych okresach.

12. Podsumowanie

Na zakończenie warto podkreślić raz jeszcze podstawowe cechy prezentowanego rozwiązania. Najważniejsze z nich to:

- integracja zasobu mapowego, czyli spójność i ciągłość danych (jedno źródło prawdy)
- skrócenie czasu dostępu do danych (poprawa efektywności pracy)
- wzrost zaufania do jakości danych
- poprawa komfortu pracy
- spadek kosztów obsługi informatycznej
- poprawa bezpieczeństwa danych.

Warto również zaznaczyć, że prezentowana technologia – jakkolwiek bazująca na przykładzie elementów mapy wyrobisk górniczych – może być wykorzystana w każdym obszarze działalności zakładu górniczego, w którym mamy do czynienia z zasobem mapowym. Co więcej, im szersze zastosowanie tym większy zwrot z inwestycji w system tej klasy.

Poniżej przedstawionych zostało kilka wybranych potencjalnych obszarów zastoso-

wań tej technologii prowadzenia zasobów mapowych przedsiębiorstwa w środowisku bazodanowym:

- wsparcie gospodarki złożem (analiza zasobów kopaliny w poszczególnych kategoriach rozpoznania, jakości, ewidencja ruchu zasobów, analiza danych i informacji geologicznych)
- wsparcie gospodarki gruntami (harmonogramowanie nabywania gruntów poprzez złożenie informacji dot. lokalizacji i struktury gruntów z informacją dot. planowanego rozwoju eksploatacji złoża),
- wsparcie zarządzania infrastrukturą techniczną (np. informacja dot. stanu przenośników)

Xaris jako środowisko obiektowe wykorzystujące jednocześnie opcję przestrzenną bazy danych Oracle oraz bogate możliwości środowiska graficznego (desktop lub WEB) może być z powodzeniem wykorzystywany w przedsiębiorstwach górniczych. Technologia ta pozwala bowiem nie tylko na efektywne prowadzenie zasobu mapowego, ale łącząc zalety środowiska bazodanowego i graficznego pozwala użytkownikowi na komfort pracy z jednym, na bieżąco aktualizowanym źródłem danych.



Możliwości zastosowania naziemnej interferometrii radarowej w górnictwie

Dr inż. Anna Szafarczyk

Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydział Geodezji Górniczej
i Inżynierii Środowiska, Katedra Geodezji Inżynieryjnej
i Budownictwa

1. Wprowadzenie

Już ponad 30 lat temu Lazzarini [5] stwierdził, iż technika geodezyjna posługuje się nie tylko instrumentami tradycyjnymi, lecz w coraz większym stopniu adaptuje koncepcje instrumentalne współczesnej fizyki, toteż definicja metod geodezyjnych wyznaczania przemieszczeń nie powinna sugerować ograniczeń co do doboru ani rozwoju koncepcji konstrukcyjnych instrumentów pomiarowych, jak również sposobów pomiarów i obliczeń; powinna natomiast uwydatniać geometryczny charakter uzyskiwanych rezultatów, właściwy technice geodezyjnej.

W zakresie wyznaczania przemieszczeń dotychczas stosowane w geodezji metody pomiarowe opierają się na analizie zmian położenia wybranych punktów w funkcji czasu. Punkty te zwane kontrolnymi, stabilizowane w gruncie lub zakładane na powierzchni mierzonego obiektu, w zależności od doboru ich usytuowania dają możliwość mniej lub bardziej pełnej analizy co do występujących deformacji całego obiektu.

Gromadzone dane i wnioski z nich wyciągane mają więc charakter dyskretny to znaczy dotyczą konkretnych punktów reprezentujących badany obiekt, a ponadto związane są z deformacjami występującymi w pewnych odstępach czasu związanych z wykonywanymi cyklami pomiarowymi. W klasycznych technologiach pomiarów geodezyjnych wciąż ograniczeniem jest brak możliwości wykonania pomiaru w trybie ciągłym, brak możliwości wyznaczania wartości przemieszczenia dowolnego, nie za-stabilizowanego punktu badanego obiektu, jak też brak możliwości pomiaru ruchów szybkozmiennych. Zastosowanie metod fizycznych w pomiarach geodezyjnych spowodowało pokonanie wymienionych ograniczeń. Obecnie dzięki zastosowaniu technologii naziemnej interferometrii radarowej przedstawione ograniczenia nie występują.

2. Interferometria radarowa

2.1. Podstawy teoretyczne interferometrii

Interferometria jest techniką radarową, która pozwala na pomiar przemieszczeń poprzez porównanie informacji o fazie fali elektromagnetycznej odbitej od obiektu w różnych momentach czasowych. Fale elektromagnetyczne odbite od obiektu różnią się informacją dotyczącą fazy w przypadku, gdy nastąpiła zmiana pozycji obiektu

w stosunku do źródła emisji fali oraz gdy nastąpiła zmiana warunków propagacji fali elektromagnetycznej.

Wartość przemieszczenia obiektu objętego obserwacjami uzyskiwana jest z informacji o zmianie fazy wyznaczonej z pomiaru radarem w różnych momentach pozyskiwania danych. Wyznaczane przemieszczenia i pomierzone zmiany fazy związane są ze sobą następującą zależnością:

$$d = -\frac{\lambda}{4\pi} \Delta\varphi \quad (1)$$

gdzie: d – przemieszczenie obiektu; λ – długość fali; $\Delta\varphi$ – zmiana fazy.

Pierwsze zastosowania techniki interferometrii były realizowane przez satelity w celu wykrywania przemieszczeń dużych powierzchniowo obszarów terenu. Dokonywane to było z rozdzielczością kilku metrów na powierzchni ziemi. Ta sama technika obecnie jest wykorzystywana w radarach instalowanych na ziemi, w sposób umożliwiający wykonanie pomiaru z rozdzielczością poniżej jednego metra [2], [3].

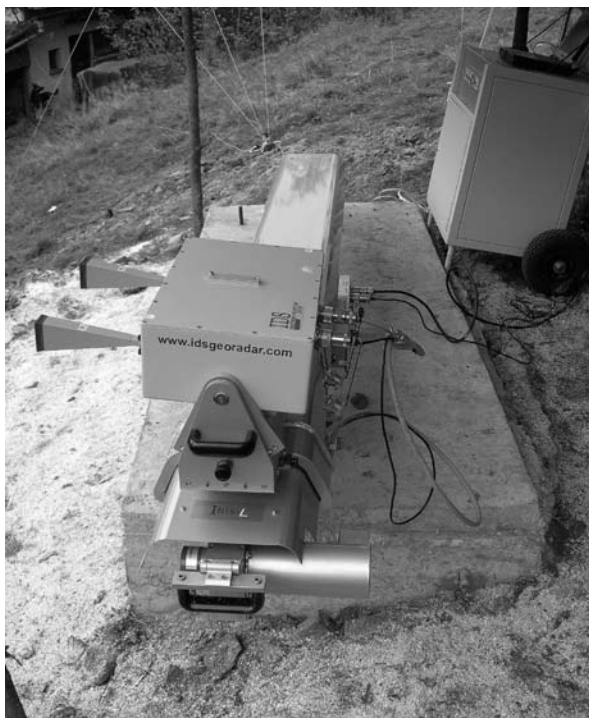
2.2. Naziemna interferometria radarowa

Pionierem w dziedzinie pomiarów z wykorzystaniem naziemnej interferometrii radarowej jest firma IDS, której długoletnia współpraca z Uniwersytetem we Florencji zaowocowała skonstruowaniem radaru, nazywanego IBIS (rys. 1).

System IBIS jest produkowany w dwóch wersjach: IBIS S oraz IBIS L, których podstawowe parametry przedstawiono w tabeli 1.

Cecha	IBIS S	IBIS L
Zasięg pracy	do 1 km	do 4 km
Dokładność pomiaru przemieszczeń	0,01 mm	0,1 mm
Rozdzielczość	0,5 m	odległościowa 0,75 m kątowna 4,3 mrad
Częstotliwość fali	do 200 Hz	
Sposób montowania	na statywie	na aluminiowej szynie o długości 2,5 m
Czas potrzebny na zaistalowanie systemu	20 min	2 h

Tabela 1. Charakterystyka systemu IBIS
Table 1. System IBIS characteristics



Rys. 1. Radar IBIS
Figure 1. Radar IBIS

System IBIS może być wykorzystywany w dwóch rodzajach monitoringu: pomiarach ruchów szybkozmiennych oraz w pomiarach przemieszczeń postępujących w dłuższym okresie czasu. Pierwszy rodzaj jest używany głównie w pomiarach drgań konstrukcji budynków. Drugi rodzaj jest szczególnie przydatny do monitoringu powierzchni terenu i obiektów przemysłowych w celu wyznaczania przemieszczeń statycznych postępujących w czasie.

Funkcjonowanie przyrządu bazuje na trzech podstawowych technikach radarowych:

1. SF-CW (Stepped Frequency – Continuous Wave),
2. SAR (Synthetic Aperture Radar),
3. interferometria.

Sercem systemu IBIS jest sensor elektromagnetyczny bazujący na technice wykorzystującej ciągłą falę o skokowo zmiennej częstotliwości. Technika ta pozwala systemowi IBIS otrzymać jednowymiarowy obraz obiektu zainteresowania z dużą rozdzielczością dzięki transmisji serii długich ciągłych fali elektromagnetycznych o zmiennej częstotliwości.

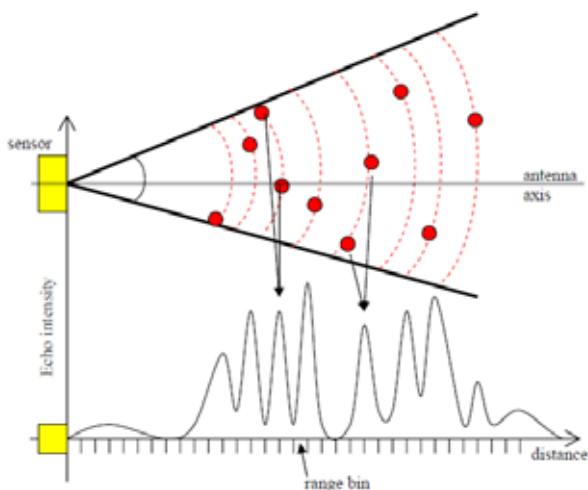
Dzięki użyciu tej techniki, IBIS system może osiągnąć rozdzielczość (range resolution) 75 cm niezależnie od maksymalnej odległości mierzonej. Rozdzielczość obrazu w kierunku obiektu będącego przedmiotem badań (ground range resolution) zależy od kąta widzenia obiektu przez sensor. Zależność pomiędzy tymi rozdzielczościami opisuje poniższy wzór:

$$\Delta x = \frac{\Delta r}{\cos \alpha} \quad (5)$$

gdzie: Δx – rozdzielczość wzdłuż obiektu; Δr – rozdzielczość wzdłuż kierunku pomiaru; α – kąt, pod którym widziany jest mierzony obiekt.

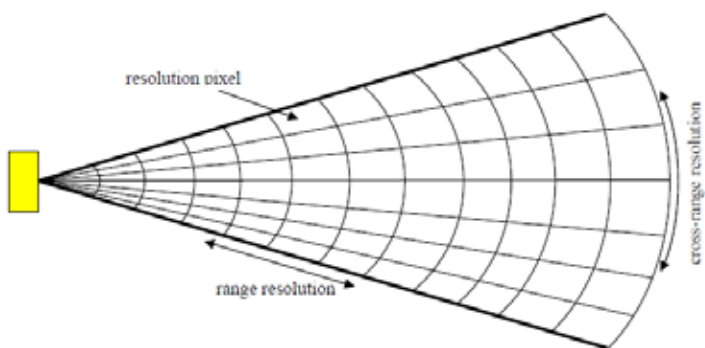
Użycie techniki SF-CW pozwala systemowi IBIS zachować tę samą rozdzielczość na kierunku emitowanej fali nawet jeśli odległość od obiektu się zwiększa.

W wersji IBIS S technika SFCW pozwala na uzyskanie jednowymiarowego obrazu mierzonego obiektu, tak jak przedstawia to rysunek 2.



Rys. 2. Rozdzielczość profilu radarowego wykonanego IBIS S [2]
Figure 2. Radar profile resolution using radar IBIS S [2]

Wynik pomiaru dla każdego odcinka emitowanego sygnału zawiera dwie informacje: amplitudę sygnału powracającego oraz jego fazę. Jeśli w danej odległości od anteny znajduje się obiekt o dużej zdolności odbijania fali elektromagnetycznej to na



Rys. 3. Rozdzielczość radarogramu wykonanego IBIS L [3]
Figure 3. Radar image resolution using IBIS L [3]

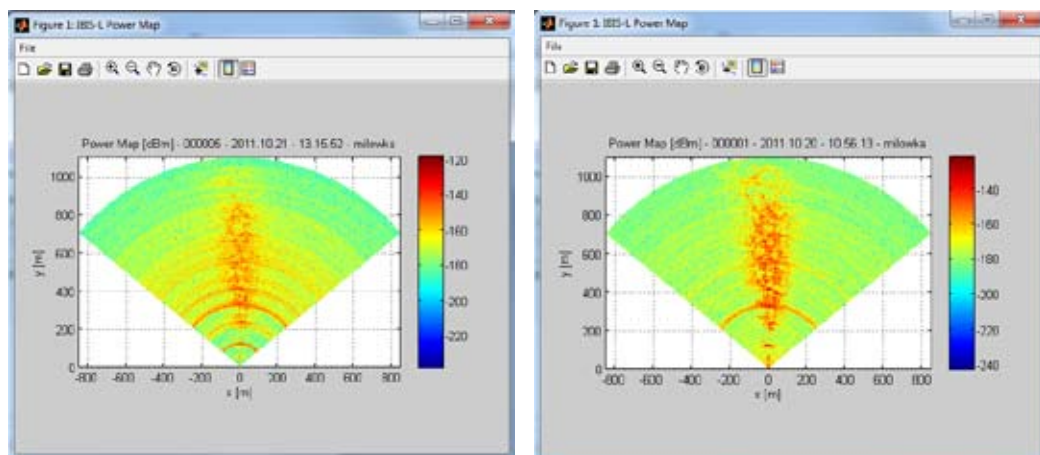
profilu radarowym uwidacznia się to zwiększoną wartością echa sygnału. Jeśli na danej odległości byłyby dwa obiekty o różnej zdolności odbicia fali to informacja na profilu odnosi się do obiektu, który ma większą zdolność odbicia.

System w wersji IBIS L jest kombinacją techniki wykorzystującej ciągłą falę elektromagnetyczną o zmiennej częstotliwości SF–CW z technologią SAR. Ma to na celu uzyskanie dwuwymiarowego obrazu terenu objętego pomiarem. Obraz ten charakteryzowany jest rozdzielczością na kierunku emitowanej fali (range) i na kierunku do niej prostopadłym (cross range).

Na rysunku 3 przedstawiono sposób, w jaki określana jest rozdzielczość podczas pomiarów z wykorzystaniem IBIS L. Każdy piksel takiego obrazu zawiera informację o amplitudzie sygnału powracającego oraz o jego fazie.

Rozdzielczość na kierunku prostopadłym do kierunku emisji fali jest zagwarantowana przez użycie technika SAR, która dzięki możliwości poruszania się radaru wzdłuż dwumetrowej szyny zapewnia rozdzielczość kątową rzędu 4,5 mrad dla omawianego systemu.

System IBIS wykorzystuje zjawisko interferometrii do pomiaru przemieszczeń obiektów. Przez cały czas trwania pomiaru, w regularnych odstępach czasu emituje on serię fal elektromagnetycznych, których faza poddana jest analizie w celu znalezienia jakichkolwiek zmian występujących pomiędzy kolejnymi emisjami wiązki. Podkreślić należy, iż wyznaczone przez system IBIS przemieszczenia radialne są składowymi wartościami przemieszczenia występującej na kierunku emisji wiązki i korygowane są poprzez odpowiednie zależności geometryczne.

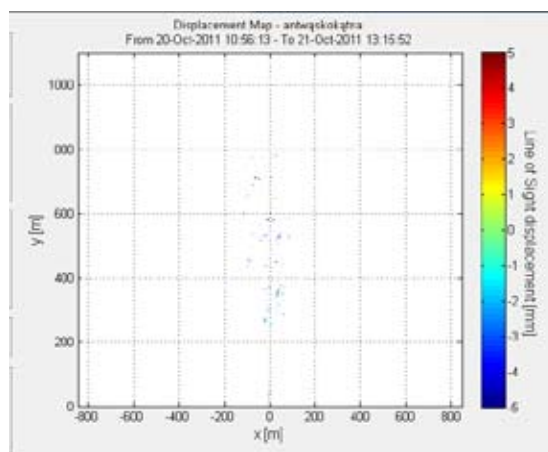


a)

b)

Rys. 4. Pomiar przemieszczeń b) na podstawie dwuwymiarowych obrazów a) wykonanych IBIS L

Figure 4. Displacement map b) with two dimensional images a) using IBIS L



IBIS L jest instrumentem umożliwiającym pomiar submilimetrycznych przemieszczeń i zapewnia następujące korzyści:

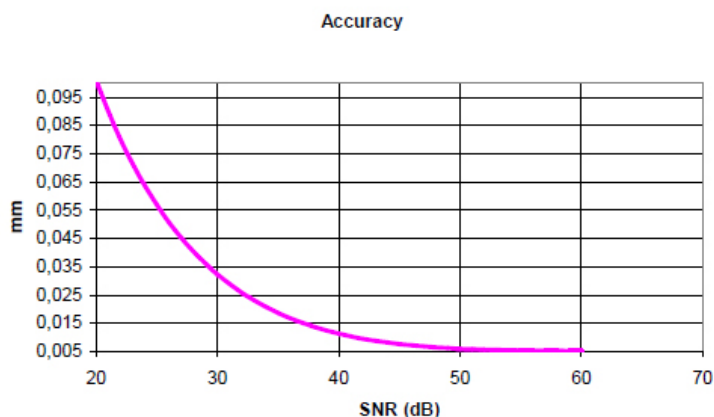
- może być używany do zdalnych pomiarów bez potrzeby dojścia (dostęp) do terenu w celu zainstalowania przyrządów, sensorów lub optycznych reflektorów,
- potrafi w trybie ciągłym i z dużą dokładnością mierzyć przemieszczenia terenu objętego zasięgiem zastosowanych do pomiaru anten,
- dostarcza jednocześnie z wykonywaniem pomiaru mapę przemieszczeń dla całego terenu objętego zasięgiem promieni emitowanych przez zastosowane anteny,
- mierzy przemieszczenia wprost z dokładnością 0,1 milimetra,
- może być wykorzystywany w dzień i w nocy i we wszystkich warunkach pogodowych.

Kombinacja rozdzielczości na kierunku emisji fali i na kierunku do niej prostopadłym daje obraz radarowy, którego piksele są rozdzielczości równej 0,75 m na kierunku fali i 4.5 mrad na kierunku prostopadłym.

Mapa obrazująca siłę odbicia sygnału poszczególnych pikseli reprezentujących teren jest przedstawiana w układzie kartezjańskim (rys. 4) [2], [3].

2.3. Wpływ warunków zewnętrznych na dokładność pomiaru

Wartość przemieszczenia wyznaczona z wykorzystaniem techniki interferometrii określana jest z dokładnością zależną od intensywności zarejestrowanego sygnału powracającego po odbiciu się od mierzonego obiektu. Dokładność jest funkcją tak zwanej wartości „signal to noise ratio” oznaczanej skrótowo SNR, będącej stosunkiem intensywności sygnału nadawanego do intensywności sygnału odbitego od danego, rozpatrywanego punktu (rys. 5).



Rys. 5. Dokładność pomiaru jako funkcja SNR wyrażonego w dB [3]

Figure 5. Measurement accuracy as a function of the signal to noise ratio (SNR) expressed in dB [3]

Teoretycznie dokładność wyznaczania przemieszczeń przez instrument może być oceniana na tysięczne części milimetra ale ze względu na praktyczne ograniczenia precyzja ta może sięgać 0,1 mm dla systemu IBIS L oraz 0,01 mm dla systemu IBIS S.

Podobnie również w teorii nie ma ograniczeń w odległości stanowiska pomiarowego od obiektu, jednakże ograniczeniem jest sposób propagacji fal elektromagnetycznych, których gęstość mocy maleje proporcjonalnie z kwadratem odległości. Oznacza

to, że oddalanie się od sensora powoduje obniżenie mocy (wartości SNR) powracającego sygnału. W konsekwencji tego dokładność pomiaru może być obniżona nawet do kilku milimetrów.

Z praktycznego punktu widzenia oznacza to, że maksymalna odległość do obserwowanego obiektu zależy od zdolności odbijania fal przez obiekt podlegający pomiarom i od oczekiwanej precyzji wyznaczenia przemieszczeń. W rzeczywistości dla zwiększenia jakości sygnału odbitego od obiektu możliwe jest zastosowanie sztucznych reflektorów w specyficznych miejscach obiektu. Reflektory takie, w związku ze zwiększoną efektywnością odbijania sygnału podnoszą wartość SNR.

Pomiary z wykorzystaniem interferometrii bazującej na propagacji fal elektromagnetycznych obciążone są wpływem warunków środowiskowych, którymi są głównie temperatura oraz wilgotność. Podczas wykonywania pomiarów statycznych (z wykorzystaniem IBIS L) przez długi okres czasu i na dalekich odległościach wpływ czynników środowiskowych nie może być zignorowany. Dotyczy to w głównej mierze monitoringu osuwisk lub dużych obiektów takich jak zapory. Wspomniane warunki atmosferyczne powodują powstawanie wirtualnych przemieszczeń wywołanych otaczającymi zmiennymi warunkami atmosferycznymi między jednym pomiarem a drugim. Z tego względu istnieje potrzeba wprowadzania korekty tych wpływów poprzez porównanie przemieszczeń całego terenu w odniesieniu do przemieszczeń kilku tak zwanych fixed points, uznanych za stałe. Poprawnie wprowadzone korekty wynikające ze zmiennych warunków atmosferycznych mogą zapewnić precyzję na poziomie kilku dziesiątych części milimetra.

Do zaleceń praktycznych. Przy pomiarach statycznych obszar objęty monitoringiem musi zawierać tereny stabilne geologicznie (nieruchome), co pozwoli potraktować je jako tak zwane punkty dostosowania „fixed points” bezpośrednio lub poprzez zamontowanie na nich reflektorów odbijających [2], [3].

3. Możliwości wykorzystania naziemnej interferometrii radarowej

IBIS S może być wykorzystywany do wykonywania pomiarów dynamicznych polegających na pomiarze częstotliwości drgań własnych budowli, jak również drgań budowli poddawanych wibracjom, a także do określania wpływu wstrząsów sejsmicznych na

obiekty budowlane. Monitoring statyczny polega z kolei na wyznaczaniu deformacji i przemieszczeń w funkcji czasu, oraz w czasie prowadzenia sztucznych obciążeń. Radar IBIS S jest szczególnie wykorzystywany do badania drgań obiektów wysokich lub wydłużonych takich jak mosty, wieże czy kominy przemysłowe. Rezultatem wykonanego pomiaru jest uzyskanie częstotliwości drgań wybranych punktów monitorowanego obiektu. Dzięki zastosowaniu mikrofal radar może wykryć przemieszczenie punktów obserwowanego obiektu z częstotliwością drgań do 100 Hz i z dokładnością od 0,01 do 0,1 milimetra.

IBIS L zaprojektowany został z myślą o zdalnym pomiarze powolnych przemieszczeń terenu z dokładnością rzędu dziesiątych części milimetra. Może być zastosowany w monitoringu terenu i środowiska do oceny stabilności zboczy, badania kinematyki czynnych osuwisk, lokalizowania terenów zapadających się, monitoringu lodowców i lawinisk, jak również terenów wulkanicznych. Drugim obszarem zastosowań tego przyrządu jest monitoring budowli takich jak tamy, zapory, lub budynki o szczególnym znaczeniu np. obiekty zabytkowe poprzez wyznaczanie submilimetrowych zmian ich położenia w funkcji czasu [2], [3].

4. Przykłady zastosowań naziemnej interferometrii radarowej

4.1. Pomiary drgań komina przemysłowego znajdującego się na terenie górniczym

Jako przykład testów dynamicznych może służyć pomiar drgań własnych betonowego komina przemysłowego zlokalizowanego na terenie górniczym I kategorii [4]. Komin jest obiektem o drugiej kategorii odporności na wpływy górnicze. Wymiary komina zmieniają się wraz z wysokością od 13,7 m w dolnej części do 5,8 metra u zwieńczenia komina. Trzon komina stanowi monolityczna, betonowa konstrukcja o grubości od 0,5 m do 0,15 m na szczycie. Część wewnętrzna wykonana jest z cegieł oraz wełny mineralnej stanowiącej izolację.

Obliczenia statyczno-wytrzymałościowe i dynamiczne wykonane przez specjalistów w dziedzinie budownictwa, stosownie do obowiązujących norm [7], przedstawione w tabeli 2, stanowiły materiał porównawczy dla testów wykonanych z wykorzysta-

Numer	Częstotliwość wyznaczona przyrządem IBIS (Hz)	Częstotliwość teoretyczna (Hz) [6]	Okres (sek.)
1	0.21	0.2341	4.2721
2	0.72	0.7753	1.2898
3		1.8737	0.5337
4		3.5491	0.2818

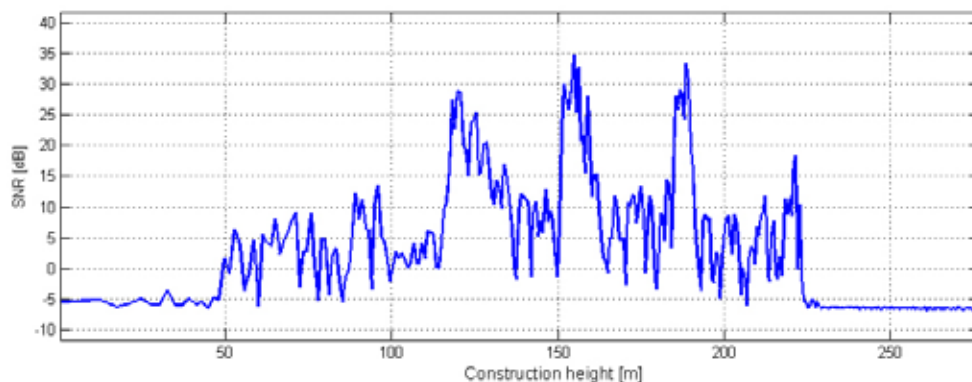
Tabela 2. Rezultaty obliczeń dynamicznych i ich wartości wzorcowe
Table 2. Dynamic calculation results and real values

niem radaru IBIS.

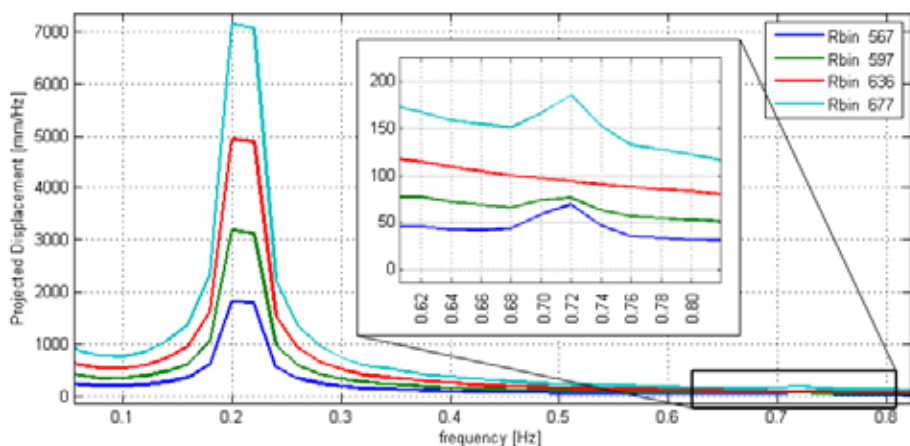
Obserwacje wykonywane były z dwóch stanowisk usytuowanych na dwóch wzajemnie prostopadłych kierunkach względem komina. Odległości stanowisk od komina wynosiły 160 i 260 metrów. Prędkość wiatru wynosiła 30 km/h. Kierunek łączący komin z pierwszym stanowiskiem był w przybliżeniu równoległy do kierunku wiatru. Analizą objęto cztery punkty reprezentujące komin usytuowane na czterech najwyższych poziomach galerii. Ich dobór wynikał z łatwości ich identyfikacji na profilu radarowym (rys. 6), a w konsekwencji ich analizy.

Przeprowadzono 4 sesje pomiarowe, po dwie z każdego stanowiska. Na podstawie zanotowanych wartości drgań przeprowadzono analizę, w wyniku której wyznaczono dwie częstotliwości drgań własnych komina (rys. 7).

Wyznaczone częstotliwości zestawiono dla porównania z wartościami teoretycznymi w tabeli 2.



Rys. 6. Profil radarowy uzyskany z pomiaru komina [4]
Figure 6. Radar profile reached during chimney measurement [4]



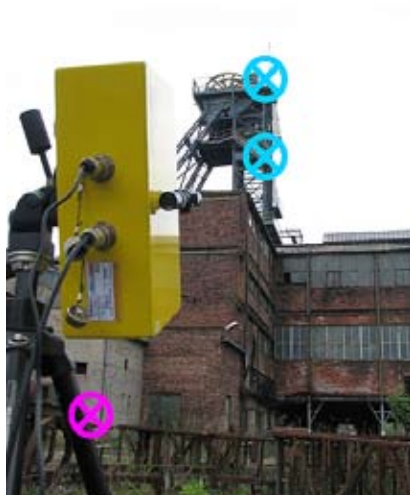
Rys. 7. Przeszacowania czterech punktów charakterystycznych komina uzyskane w interwale 2 minut [4]
Figure 7. Displacements of four points of the chimney in 2 minutes interval [4]

4.2. Pomiar wychylenia wieży szybowej

Wyniki klasycznych pomiarów mających na celu określenie wartości i kierunku wychylenia wieży mają charakter dyskretny, a wyznaczona wartość wychylenia jest wartością chwilową, na którą składają się zarówno wpływy środowiskowe, jak i stałe wychylenie, wynikające z deformacji górotworu, wywołanej prowadzoną podziemną eksploatacją górnictw.

Zastosowanie technologii naziemnej interferometrii radarowej do badania wychylenia wieży szybowej pozwoliło na wyznaczenie składowej tego wychylenia w sposób ciągły, pozwalający na wyznaczenie wartości wpływu czynników środowiskowych, takich jak wiatr czy nasłonecznienie, w dowolnie zadanym przez pomiarowego okresie czasu [1]. W takim przypadku wspomniane pomiary nie służą jednokrotnemu wyznaczeniu wartości wychylenia obiektu lecz mają charakter monitoringu.

W omawianym pomiarze zastosowano dwa reflektory, których położenie oznaczono w górnej części rysunku 8. Podczas pomiaru przemieszczeń punktów znajdujących się na wieży, prowadzono także obserwację punktu stałego znajdującego się w pobliżu instrumentu w celu sprawdzenia stałości stanowiska i sprawdzenia wpływu czynników zewnętrznych. Punkt ten oznaczono w dolnej części rysunku 8. Wzajemne położenie punktu stałego oraz jednego z punktów badanego obiektu w obserwowanym kierunku (W-E) przedstawia wykres na rysunku 9. Pomiar wykonano w cyklu 12 godzinny od godziny 5:00 do 16:00. Pomiar rozpoczynał się przed wschodem słońca. W momencie



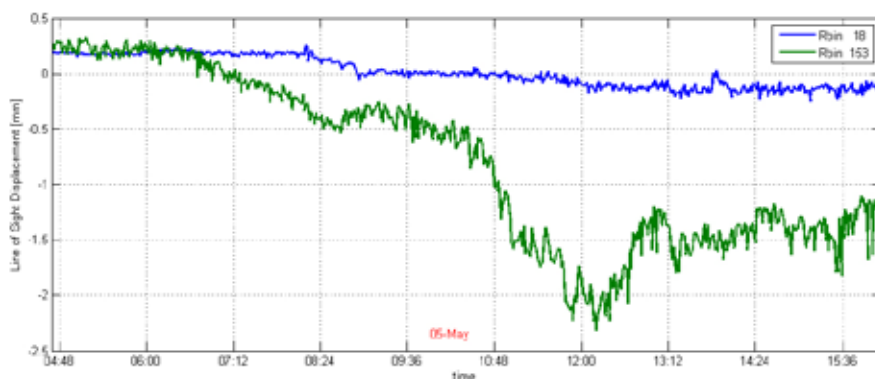
Rys. 8. Lokalizacja reflektorów mikrofalowych oraz punktu stałego [1]

Figure 8. Microwave reflectors and fixed point localization [1]

rozpoczęcia pomiaru wpływ na konstrukcję mógł mieć jedynie wiatr. Wychylenie wieży na poziomie pomostu kół linowych wyznaczano niezależnie przy wykorzystaniu systemu detekcji wiązki laserowej. Wyniki pomiarów porównano ze sobą.

Maksymalna średnia różnica wartości wychylenia pomiędzy sygnałem i systemem laserowym nie przekroczyła wartości $\pm 0,2$ mm, co świadczy o spójności wyników.

Na podstawie przeprowadzonych testów stwierdzono, iż ciągły monitoring tego typu obiektów, realizowany z wykorzystaniem radaru IBIS, pozwala na określenie wartości nagłych wychyleń będących efektem nie tylko obciążeń długotrwałych, ale także obciążeń krótkotrwałych i wyjątkowych, często spotykanych w terenach podlegających wpływom eksploatacji górniczej.



Rys. 9. Przemieszczenia punktu stałego oraz punktu obserwowanego [1]

Figure 9. Displacements of fixed point and observed point [1]

5. Podsumowanie

Nowoczesny system IBIS, opierający się na technologii interferometrii może być wykorzystywany do precyzyjnych pomiarów przemieszczeń długotrwałych oraz szybkich (drgań). Niemożliwa dotąd do osiągnięcia tak wysoka dokładność i częstotliwość zapisu danych, możliwość wykonywania pomiarów bez konieczności dostępu do obiektu oraz łatwość wykonania pomiaru czynią ten instrument bardzo przydatnym dla celów pomiaru przemieszczeń. Uzyskiwanie wyników dających możliwość o wnioskowaniu na temat stanu monitorowanego obiektu w czasie rzeczywistym pozwala stwierdzić, że może być on nawet wykorzystywany w badaniach deformacji obiektów i terenów szczególnie niebezpiecznych, stwarzających zagrożenie dla zdrowia i życia, a także takich do których dostęp jest niemożliwy.

Praca naukowa finansowana za środków budżetowych na naukę w latach 2010–2013 jako projekt badawczy NN 524465839.

LITERATURA

- [1] Ćwiąkała P., Kuras P., Szafarczyk A. 2010: *Porównanie systemów do monitorowania wychyleń obiektów wysokich na przykładzie wieży szybowej w ZG „Piekary”*. Interdyscyplinarne zagadnienia w górnictwie i geologii, Wrocław, str. 7–17.
- [2] IDS Ingegneria dei Sistemi S.p.A. 2007: *IBIS–S system. User Manual*, Pisa, str. 1–41.
- [3] IDS Ingegneria dei Sistemi S.p.A. 2008: *IBIS–L Controller Software. User Manual*, Pisa, str. 1–54
- [4] Kuras P., Owerko T., Szafarczyk A. 2010: *Applicability of Ground–Based Microwave Interferometer on the example of a industrial chimney located on the mining area*. Geokinematischer Tag, Freiberg, str. 249–258.
- [5] Lazzarini T. i in. 1977: *Geodezyjne pomiary przemieszczeń. Państwowe Przedsiębiorstwo Wydawnictw kartograficznych*. Warszawa, str. 17.
- [6] Opracowanie niepublikowane 2003: *Ocena stanu technicznego oraz odporności na wpływy górnicze komina przemysłowego $H = 220$ m*.
- [7] PN–88/B–03004: *Kominy murowane i żelbetowe. Obliczenia statyczne i projektowanie*.



Monitoring przemieszczeń szczytów wież szybowych kopalni LW „Bogdanka”, w technologii GNSS

Zbigniew Stopa, Jarosław Barchan, Tadeusz Dudek

LW „Bogdanka”

Edward Stewarski

AGH, Kraków

1. Wprowadzenie

Środowiska naturalne, z wyjątkiem parków narodowych, są wypełnione techniką przemysłową. Dbałość o racjonalne gospodarowanie techniką przemysłową, sprzyja idei zachowania rozsądnej równowagi w środowisku naturalnym, tzn. sprzyja zminimalizowaniu niekorzystnych oddziaływań na środowisko naturalne. Nieuniknionym, niekorzystnym wpływem działania górniczego są odkształcenia powierzchni terenu i przemieszczenia obiektów górniczych na tej powierzchni. Konieczna jest zatem potrzeba precyzyjnej oceny tego wpływu i następnie opracowanie właściwego sposobu jego minimalizacji [7].

Temu zagadnieniu służy system monitoringu przemieszczeń. Do realizacji tego celu trzeba sięgnąć po rozwiązania najbardziej nowoczesne. Prekursorem takiego podejścia do problemu jest kopalnia „Bogdanka”. Od 4 lat, kopalnia „Bogdanka” wspólnie z Akademią Górniczo-Hutniczą, prowadzi zaawansowane prace badawcze dla wykorzystania systemu GPS do monitorowania odkształceń powierzchni terenu i przemieszczeń obiektów przemysłowych.

Efektem ww. prac badawczych, jest opracowanie działającego od 2 lat w kopalni „Bogdanka”, systemu monitoringu przy użyciu technologii GPS [6].

Wysokie, wielkogabarytowe obiekty kopalniane, takie jak wieże szybowe, wysokie budynki, kominy, magazyny węgla surowego, charakteryzują się specjalnymi wymogami odnośnie ich geometrii, stabilizacji i pozycjonowania w układzie ziemskiego pola grawitacyjnego. Prawidłowe ustawienie i użytkowanie eksploatacyjne napędów wyciągowych i ich kinematycznego przeniesienia na urządzenia wyciągowe wewnątrz wież szybowych, wymaga systematycznej, częstej obserwacji geodezyjnej. Zaniedbania w tej dziedzinie skutkują w postaci zagrożenia bezpieczeństwa oraz strat ekonomicznych, polegających na nadmiernej awaryjności oraz nierównomiernym, przedwczesnym, mechanicznym zużyciu części kinematycznych, urządzeń lub ich wirujących części, pracujących w położeniach odchylonych od właściwych kierunków w ziemskim polu grawitacyjnym.

Zagrożenia wyżej wyeksponowane, należy zaprognozować na podstawie odpowiedniego, obiektywnego monitoringu przemieszczeń. Najlepszym sposobem prognozowania takich zagrożeń i uzyskania podstaw decyzji podjęcia na czas akcji interwencyjnej, jest monitoring przemieszczeń punktów na wieżach szybów głównych. Monitoring

przemieszczeń musi być oparty o technologię całkowicie automatyczną i odizolowaną od wpływów deformujących pole grawitacyjne w obszarze pomiaru.

Technologią zapewniającą powyżej sformułowane uwarunkowania, jest monitoring metodą pomiarów GPS. Monitoring w technologii GPS jest najbardziej zobiektywizowaną formą, pozwalającą wyznaczyć wartości bezwzględne zmian przemieszczeń punktów zamocowania anten GPS na szczytach wież szybowych. Pozwala także na wyznaczenie gradientu czasowego zmian przemieszczeń, ułatwiającego ocenę jak szybko może nastąpić degradacyjny wpływ deformacji powierzchni terenu górniczego na obiekt wieży szybowej. Określić także można istotność wpływu w związku z zakładanym czasem trwania użytkowania określonego obiektu szybowego.

2. Ogólny opis głównych układów systemu GPS



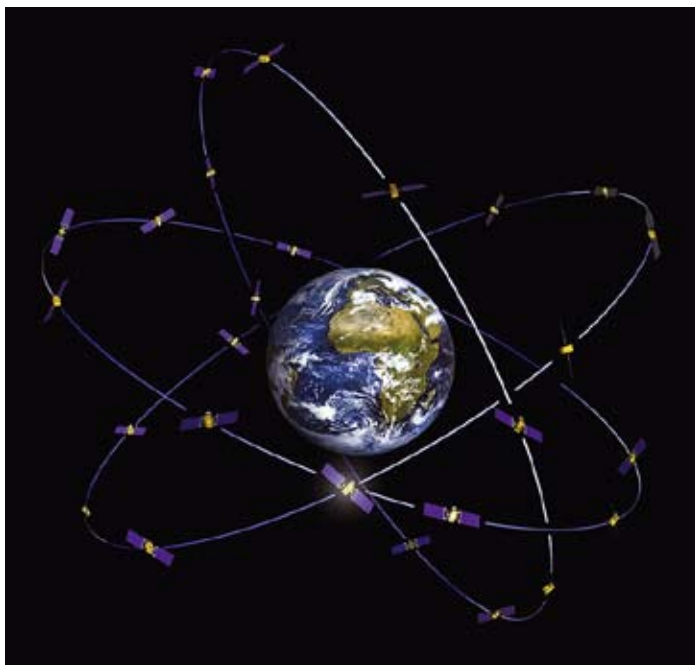
Rys. 1. Układ satelitów GPS (syst. amerykański, 6 orbit co 600 dł. geograficznej po 4 satelity na każdej orbicie). Śr. odl. satelitów od pow. Ziemi 20 200 km. Nachylenie orbit do płaszczyzny równika: 55°. Czas obiegu: 11h 57min 27s. Syst. amerykański GPS, w pełnej konfiguracji działa nieprzerwanie i bezawaryjnie od 17 lat

Figure 1. GPS satellite system (american system, 6 orbits at 60° longitude length of 4 satellites in each orbit).

Diam. distance of satellites from the area Earth 20 200 km.

The inclination orbits to the plane of the equator: 55°. Cycle time: 11h 57min 27s.

American syst. GPS, the full configuration operates continuously and flawlessly for 17 years



Rys. 2. Układ sat. GALILEO (system europejski, 3 orbity po 9 satelitów). Śr. odl. satelitów od pow. Ziemi 23 616 km. Nachylenie orbit do płaszczyzny równika: 53°. Czas obiegu: ok. 13h 45min. Przewidywany termin uruchomienia: 2016 r. (W budżecie Unii E. są zarezerwowane środki 3.4 mld. Euro na 2 najbliższe lata)

Figure 2. Satellite system Galileo (the european system, 3 satellites orbit at 9). Diam. distance of satellites from the area. 23 616 km of the Earth. The inclination orbits to the plane of the equator: 53° Cycle time: about 13h 45 min. Expected start date: 2016. (In E. Union budget funds are reserved 3.4 billion. Euro for 2 years to come)

3. Informacja o innych układach systemu GPS/GNSS

Układ satelitów GLONASS (system rosyjski, 3 orbity po 8 satelitów).

Średnia odległość satelitów od pow. Ziemi 19 100km.

Nachylenie orbit do płaszczyzny równika: 64,80. Czas obiegu: 11h 15min.

Pełna konfiguracja układu satelitów GLONASS działa incydentalnie.

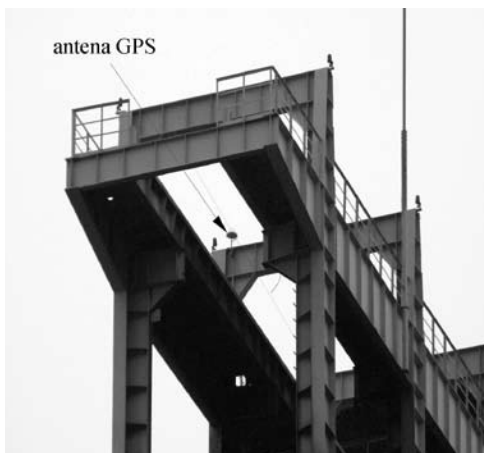
Aktualnie (10 czerwca 2010r.) funkcjonuje 87% systemu GLONASS.

Układ satelitów BEIDOU – COMPASS (system chiński).

System dwunastu satelitów, który ma pokryć obszar Chin oraz terytoria przyległe. Są znane tylko ogólne informacje. System będzie obejmować 5 satelitów na orbicie geostacjonarnej, 3 satelity na orbicie geosynchronicznej oraz 4 satelity na orbicie średniej wysokości (brak ścisłych danych). Natomiast w przyszłości liczba aparatów ma się zwiększyć do około trzydziestu i obejmować cały świat (2016r.).

Indian Regional Navigational Satellite System (IRNSS) Projekt Indyjski, ma obejmować Indie i obszar 1000–2000 km wokół. Finansowanie projektu zostało zatwierdzone w 2006 roku, zakładany czas ukończenia projektu to 6–7 lat.

4. Ilustracje fotograficzne układu monitoringowego GPS na kopalni LW „Bogdanka”



Rys. 3. Antena GPS na szczycie wieży szybu S 1.3
Figure 3 The GPS antenna on top of the tower shaft S 1.3



Rys. 4. Antena stacji referencyjnej GPS, na dachu budynku cechowni
Figure 4. Reference station GPS antenna on the roof of the cechownia building



Rys. 5. Sposób zamocowania anteny GPS na szczycie wieży szybu S1.3
Figure 5. The mounting of the GPS antenna on top of the tower shaft S1.3

5. Założenia techniczne systemu monitoringu przemieszczeń, wybranych wież szybowych kopalni LW „Bogdanka”

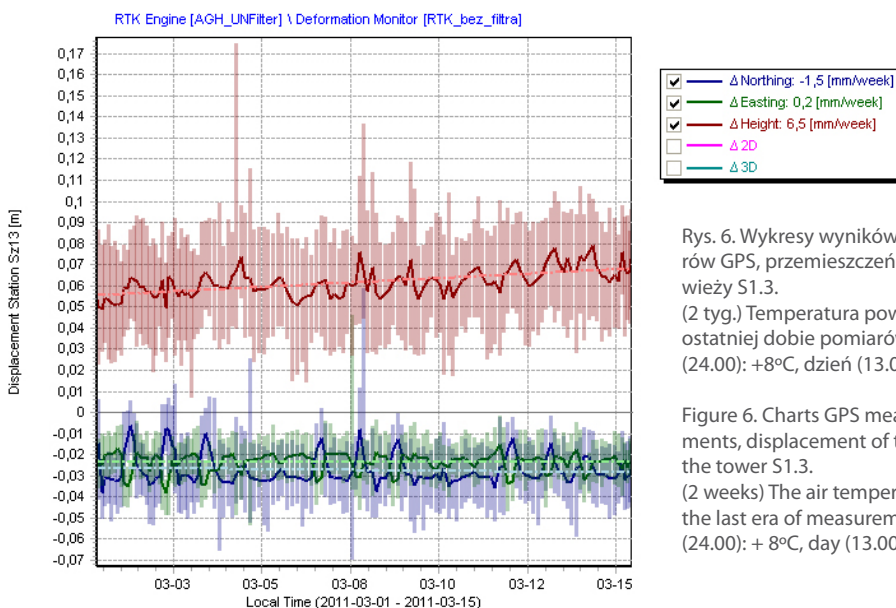
Najważniejszymi elementami zbudowanego, układu pomiarowego, monitoringu stanów przemieszczeniowych i deformacyjnych wież szybowych są:

- Odbiornik GPS „Trimble NetR9 – szt 3,
- Antena GPS „Zephyr GeodeticTM” – szt 3.

Anteny GPS umieszczone na dachu budynku cechowni (siedziba Działu Mierniczo-Geologicznego, D M-G) i na wieżach szybowych S1.2 i S1.3, są połączone kablami z odbiornikami, w których następuje odbiór i rejestracja sygnałów z satelitów.

Zapisane w pamięci odbiorników sygnały pomiarowe przekazywane są do lokalnej – kopalnianej sieci internetowej, a następnie drogą internetową do wskazanego komputera w biurze Działu mierniczo – Geologicznego i do wskazanego komputera, koordynatora w AGH.

6. Wyniki pomiarów monitoringowych, przemieszczeń szczytu wieży szybu s 1.3 w kopalni LW „Bogdanka”

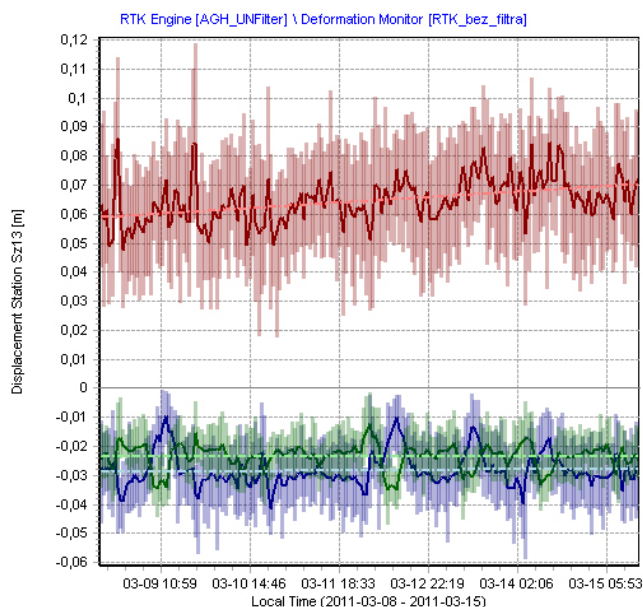


Rys. 6. Wykresy wyników pomiarów GPS, przemieszczeń szczytu wieży S1.3.

(2 tyg.) Temperatura powietrza w ostatniej dobie pomiarów: noc (24.00): +8°C, dzień (13.00): +16°C

Figure 6. Charts GPS measurements, displacement of the top of the tower S1.3.

(2 weeks) The air temperature in the last era of measurement: night (24.00): + 8°C, day (13.00): 16°C

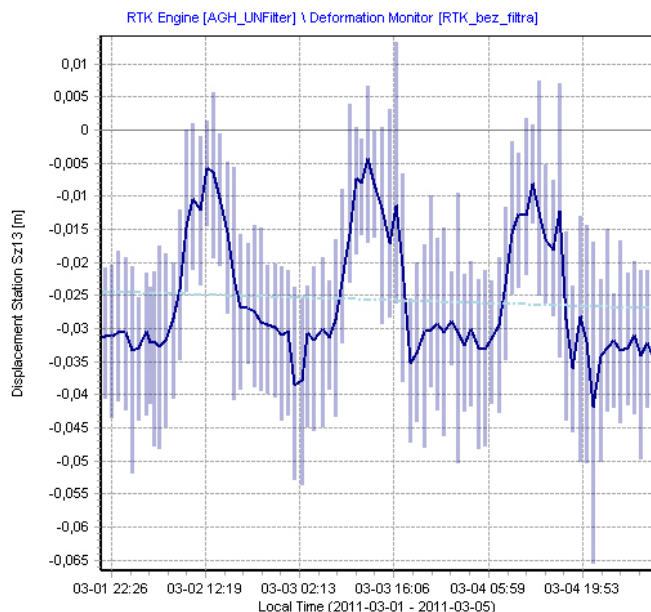


Rys. 7. Wykresy wyników pomiarów GPS, przemieszczeń szczytu wieży S1.3.

(1 tydzień) Temperatura powietrza w ostatniej dobie pomiarów: noc (24.00): 8°C, dzień (13.00): 16°C

Figure 7. Charts GPS measurements, displacement of the top of the tower S1.3.

(1 week) The air temperature in the last era of measurement: night (24.00): 8°C, day (13.00): 16°C

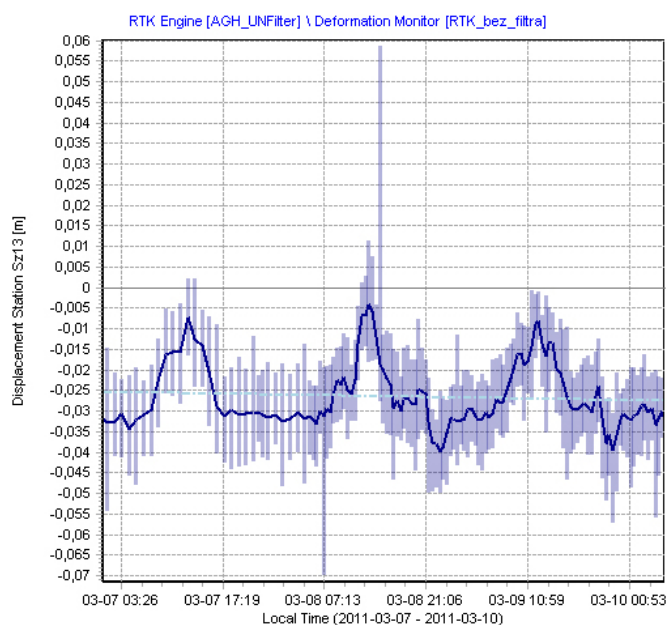


Rys. 8. Wykresy wyników pomiarów GPS, przemieszczeń szczytu wieży S1.3.

(3 dni) Temperatura powietrza w ostatniej dobie pomiarów: noc (24.00): 0°C, dzień (13.00): 14°C

Figure 8. Charts GPS measurements, displacement of the top of the tower S1.3.

(3 days) The air temperature in the last era of measurement: night (24.00): 0°C, day (13.00): 14°C

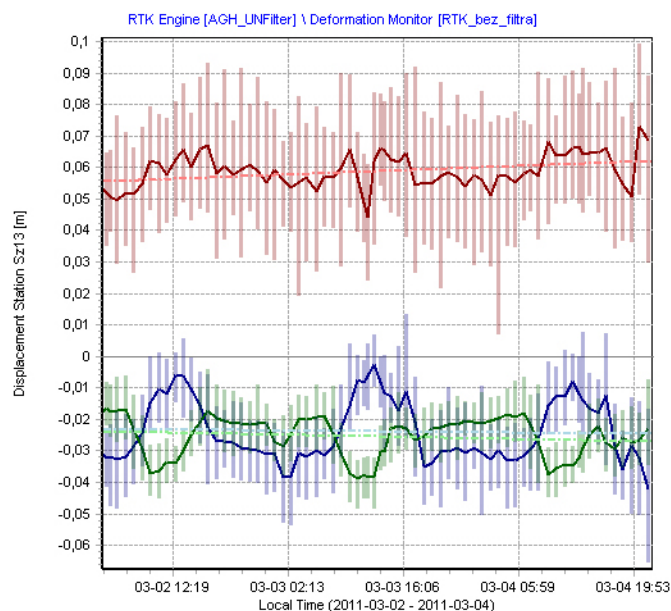


Rys. 9. Wykresy wyników pomiarów GPS, przemieszczeń szczytu wieży S1.3.

(3 dni) Temperatura powietrza w ostatniej dobie pomiarów: noc (24.00): 1°C, dzień (13.00): 12°C

Figure 9. Charts GPS measurements, displacement of the top of the tower S1.3.

(3 days) The air temperature in the last era of measurement: night (24.00): 1°C, day (13.00): 12°C

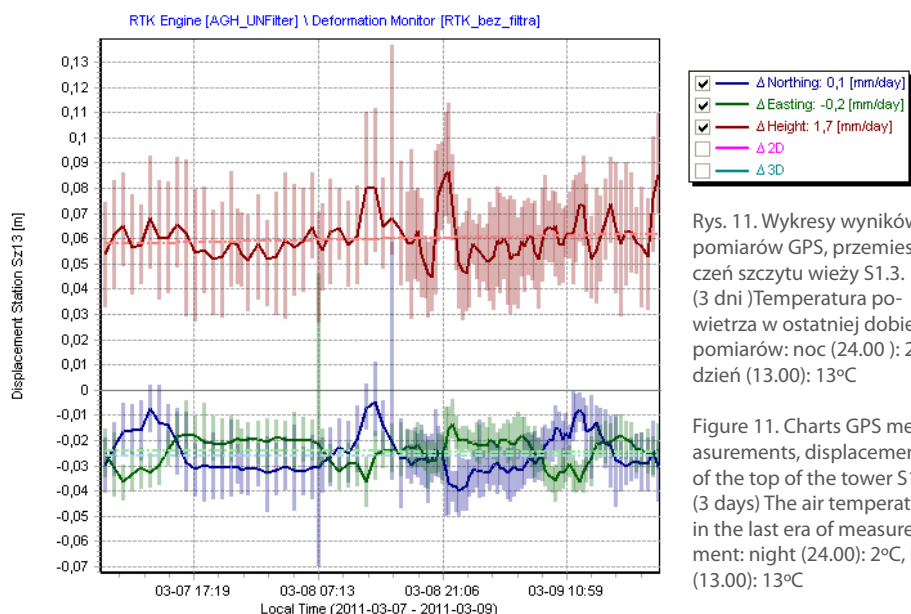


Rys. 10. Wykresy wyników pomiarów GPS, przemieszczeń szczytu wieży S1.3.

(3 dni) Temperatura powietrza w ostatniej dobie pomiarów: noc (24.00): 2°C, dzień (13.00): 12°C

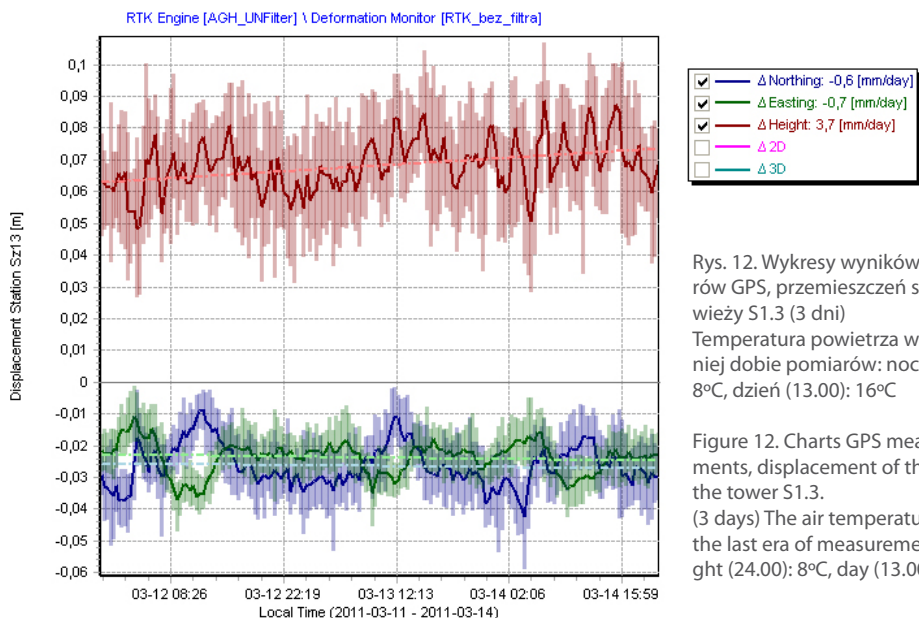
Figure 10. Charts GPS measurements, displacement of the top of the tower S1.3.

(3 days) The air temperature in the last era of measurement: night (24.00): 2°C, day (13.00): 12°C



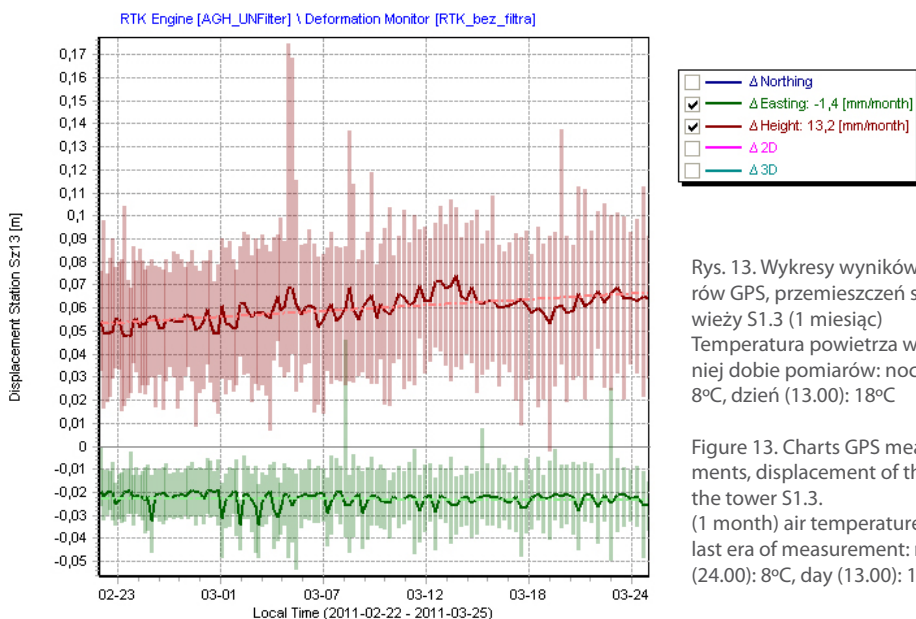
Rys. 11. Wykresy wyników pomiarów GPS, przemieszczeń szczytu wieży S1.3. (3 dni) Temperatura powietrza w ostatniej dobie pomiarów: noc (24.00): 2°C, dzień (13.00): 13°C

Figure 11. Charts GPS measurements, displacement of the top of the tower S1.3. (3 days) The air temperature in the last era of measurement: night (24.00): 2°C, Day (13.00): 13°C



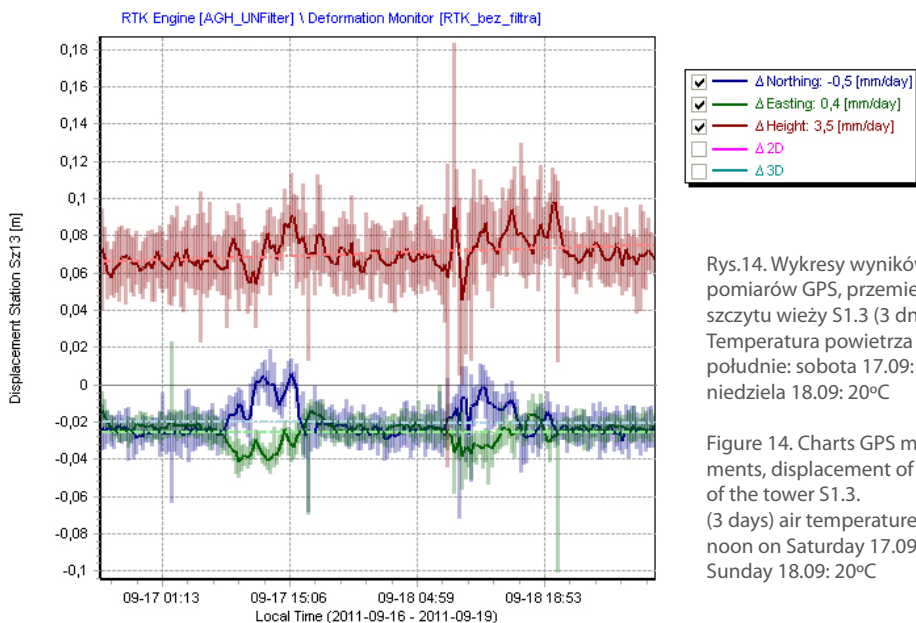
Rys. 12. Wykresy wyników pomiarów GPS, przemieszczeń szczytu wieży S1.3 (3 dni) Temperatura powietrza w ostatniej dobie pomiarów: noc (24.00): 8°C, dzień (13.00): 16°C

Figure 12. Charts GPS measurements, displacement of the top of the tower S1.3. (3 days) The air temperature in the last era of measurement: night (24.00): 8°C, day (13.00): 16°C



Rys. 13. Wykresy wyników pomiarów GPS, przemieszczeń szczytu wieży S1.3 (1 miesiąc)
Temperatura powietrza w ostatniej dobie pomiarów: noc (24.00): 8°C, dzień (13.00): 18°C

Figure 13. Charts GPS measurements, displacement of the top of the tower S1.3.
(1 month) air temperature in the last era of measurement: night (24.00): 8°C, day (13.00): 18°C



Rys.14. Wykresy wyników pomiarów GPS, przemieszczeń szczytu wieży S1.3 (3 dni)
Temperatura powietrza w południe: sobota 17.09: 27°C, niedziela 18.09: 20°C

Figure 14. Charts GPS measurements, displacement of the top of the tower S1.3.
(3 days) air temperature at noon on Saturday 17.09: 27°C, Sunday 18.09: 20°C

7. Synteza treści referatu

Wyniki pomiarów przemieszczeń szczytów wież szybowych, stanowią odwzorowanie wpływów quasi ruchów punktów powierzchni terenu i pozwalają oszacować zagrożenia obiektów zlokalizowanych na przedmiotowym terenie. Naturalną implikacją jest opracowanie metodyki analizy charakteru trendów (Rys 6 ÷ 14) zmian przemieszczeń w różnych okresach.

Wyznaczone interwały czasowe próbkowania charakterystycznych wskaźników procesu przemieszczeń, oraz postulat analizy nie filtrowanych wyników pomiarów GPS, pozwalają uprościć interpretację i zminimalizować stratę informacji.

Efektem technicznym referatu, jest szkic ogólny projektu układu obserwacyjnego szczytów wytypowanych wież szybowych LW „Bogdanka”, dla monitoringu przemieszczeń w technologii GPS i analiza metodyki pomiarów w celu określenia użyteczności metody, dla oceny zagrożenia obiektów będących w obszarze oddziaływania eksploatacji podziemnej.

Celem naukowym pracy jest analiza wpływu czynników klimatyczno przyrodniczych w różnych odcinkach czasu, na wyniki obserwacji monitoringowych, oraz analiza czynników górniczych, uzasadniających potrzebę monitoringu przemieszczeń, wyróżnionych obiektów zlokalizowanych na obszarze górniczym kopalni LW „Bogdanka”.

Analiza wyników monitoringu pozwala sformułować następujące spostrzeżenia:

- Metodyka pomiarów została przystosowana do prowadzenia pomiaru ciągłego w technologii GPS – przemieszczeń szczytowych punktów wież szybowych. Jest to nowa technologia monitorowania wież szybowych.
- Oszacowana niska wartość błędów pomiarów, pozwala na bazie odpowiedniego modelu matematycznego, ocenić zmiany współrzędnych charakterystycznych punktów wyróżnionych obiektów. Otrzymane w wyniku pomiarów zbiory przemieszczeń punktów szczytowych wież, pozwolą wyznaczać ilościowe wskaźniki charakteryzujące jakościowo przewidywany stan zagrożeń danych obiektów.
- Na podstawie prowadzonego monitoringu GPS na kopalni LW „Bogdanka”, stwierdzono brak wpływów eksploatacji górniczej na przemieszczenia wież szybowych w polu Bogdanka, co pokrywa się z wynikami obliczeń numerycznych.

- Obserwowane cykliczne, niewielkie, kilkunastomilimetrowe przemieszczenia szczytów wież szybowych są wynikiem cyklicznych, dobowych i sezonowych zmian temperaturowych..
- W przypadku większości istniejących linii pomiarowych oraz w terenach słabo zurbanizowanych, preferowany sposób wykonywania pomiarów (GPS RTK) jest wystarczający dla określenia stopnia deformacji powierzchni terenu i ekonomicznie zasad-niony.
- Istotnym stwierdzeniem, jest postulat weryfikacji obserwacji geodezyjnych pomiarami GPS RTK, które bezpośrednio w obszarze przylegającym do miejsc usytuowania monitorowanych wież szybowych, pozwolą na szybkie i gęste wyznaczenie zmian współrzędnych punktów powierzchni terenu w R3 z dokładnością subcentymetrową z prawdopodobieństwem 0.95.

LITERATURA

- [1] Góral W. i in. 2005: *Badawcza sieć geodynamiczna na obszarze wschodniej części Górnośląskiego Zagłębia Węglowego*, Kraków.
- [2] Knothe S. 1984: *Prognozowanie wpływów eksploatacji górniczej*, Katowice.
- [3] Kicki J., Kozek B. i inni. 2005: *XXX lat górnictwa węglowego na Lubelszczyźnie 1975–2005*. Wyd. TEBERIA – Jubileusze, Kraków.
- [4] Kwiatek J. (red.). 1998: *Ochrona obiektów budowlanych na terenach górniczych*. Katowice.
- [5] Narkiewicz J. 2003: *GPS globalny system pozycyjny, budowa, działanie, zastosowanie*. Warszawa.
- [6] Piwowski W., Stewarski E. 2010: *Wpływ procesów przemieszczeń pogórnich na obiekty kopalniane, rejestrowany pomiarami GPS*. *Górnictwo i Geologia*. Tom 5, str. 169–179. Wyd. Pol. Śl. Gliwice.
- [7] Stewarski E. i inni. 2004: *Badania zmian deformacyjnych w górotworze w celu od-twarzania wartości budowlanej terenów pogórnich*. Monografia, Kraków.
- [8] Stewarski E., i inni. 2010: *Kompleksowy model wykorzystania satelitarnych pomia-rów geodezyjnych GNSS powierzchni terenu górniczego i obiektów przemysłowych LW „Bogdanka” S.A. do monitoringu stanów deformacyjnych obiektów kopalnia-nych*. Arch Działu Mierniczo–Geologicznego LW „Bogdanka”.

Mobilna Informacja dla Inteligentnej Kopalni



Brockman Syncline No.4 Project. dzięki uprzejmości PDC Consultants

Rozwiązanie Bentley do zarządzania informacją o cyklu życia zasobów umożliwia mobilność informacji w inteligentnej kopalni. W sposób unikalny integruje informację inżynierską z zarządzaniem wydajnością zasobów infrastruktury, począwszy od etapu modelowania do symulacji użycia. Pozwala skutecznie zaprojektować i zbudować, a następnie konsolidować i analizować dane operacyjne aby dostrzec trendy i zapewnić wydajność zasobów.



www.Bentley.com/pl-PL/Solutions/Mining+and+Metals

Skontaktuj się z nami: Polska - Tel: +48 22 50 40 670 lub +48 22 50 40 750

