

**ANALIZA WARIANTÓW MODELI OBUDOWY
PODATNEJ-ŁUKOWEJ WYROBISKA GÓRNICZEGO
W ASPEKCIE PRZETWARZANIA KOMPUTEROWEGO**

**ANALYSIS OF VARIANTS OF ARC-SUSCESIBLE
CASE MODELS OF MINING EXCAVATIONS IN VIEW
OF COMPUTER PROCESSING**

Artur Krawczyk, Rafał Kula

AGH Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie
Wydział Geodezji Górniczej i Inżynierii Środowiska
Katedra Ochrony Terenów Górniczych, Geoinformatyki i Geodezji Górniczej

Słowa kluczowe: trójwymiarowy model wyrobiska górniczego, wydajność komputera, grafika komputerowa

Keywords: 3D model of mining excavations, computer performance, computer graphics

Wstęp

Od kilku lat prowadzone są badania mające na celu trójwymiarowe odwzorowanie sytuacji górniczo-geologicznej w kopalniach eksploatujących złoża metodą podziemną. W wyniku tych badań, publikowane są artykuły oraz realizowane są prace magisterskie na specjalności Geoinformacja i Geodezja Górnicza Wydziału Geodezji Górniczej i Inżynierii Środowiska AGH. Niniejszy artykuł jest publikacją fragmentu badań przeprowadzonych podczas realizacji pracy magisterskiej (Kula, 2013), jednej z wielu, która dotyczyła modelowania geometrii wyrobisk, ale pierwszej, w której podjęto się określenia zależności pomiędzy skomplikowaniem modelu geometrycznego a możliwościami przetwarzania danych geometrycznych przez system komputerowy.

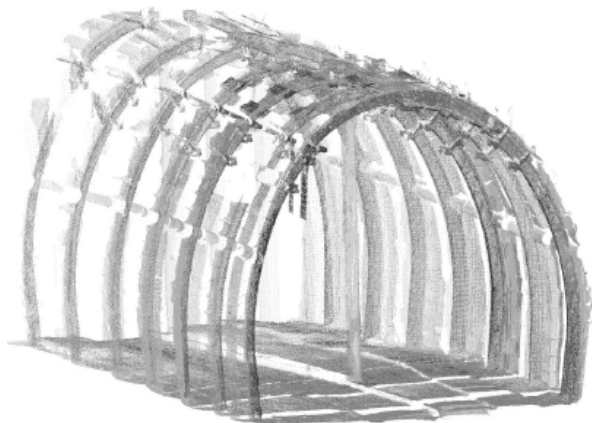
Obecnie naziemny skanowanie laserowe dostarcza olbrzymie ilości danych. Pozwala on na dokładny pomiar geometrii całego obiektu i jego trójwymiarową wizualizację. Chmury punktów, będące produktem skanowania laserowego, po odpowiednim przetworzeniu, stanowią dobry podkład do tworzenia trójwymiarowych modeli wyrobisk oraz numerycznych map przestrzennych kopalni.

Przedmiotem badań były fragmenty wyrobisk górniczych kopalni ćwiczebnej „Szttygar-ka” w Dąbrowie Górniczej. Na podstawie danych z pomiarów skaningu utworzono trójwymiarowe modele kilku obudów, występujących w kopalni. Wszystkie prace kameralne wykonano w programie Microstation V8 XM.

Charakterystyka obiektu i zrealizowanych pomiarów

Obiektem, w którym przeprowadzono badania, jest zabytkowa kopalnia ćwiczebna, wchodząca w skład Muzeum Miejskiego „SztYGarka” w Dąbrowie Górniczej. Jest to sztolnia zlokalizowana w południowo-wschodniej części obszaru górniczego dawnej kopalni węgla „Paryż”, w sąsiedztwie ulic Górniczej i Legionów Polskich. Wybudowana została w 1929 roku w pobliżu kościoła pod wezwaniem św. Barbary i Zespołu Szkół Zawodowych im. Stanisława Staszica. W sąsiedztwie znajduje się też Muzeum Miejskie „SztYGarka”. Kopalnia ćwiczebna udostępnia dwa pokłady węgla kamiennego (wychodnie) oraz prezentuje liczne maszyny i urządzenia służące do urabiania lub transportu węgla. W 2010 roku odrestaurowano wyrobiska oraz urządzenia i udostępniono je turystom. Obecnie obiekt muzealny liczy około 650 metrów długości na trzech poziomach. Trasa dla zwiedzających przebiega około 30 metrów pod ziemią.

Pomiar kopalni ćwiczebnej „SztYGarka” wykonany został 1 czerwca 2012 roku przez członków Koła Naukowego Grafiki Komputerowej i Geomatyki (obecnie koło nosi nazwę „KNGK Geoinformatyka”), z inicjatywy jego opiekuna dr inż. Artur Krawczyka. Prace, podzielono na 2 dni robocze i trwały w sumie około 8 godzin. W przypadku wąskich i wydłużonych obiektów, szybko zmienia się odległość skanera od ściany wyrobiska, co powodowało szybki spadek rozdzielczości skanowania. Z tego powodu stanowiska skanera dobrano w taki sposób, aby ich liczba była możliwie jak najmniejsza, jednocześnie ograniczając występowanie „martwych pól” oraz zachowując wzajemne pokrycie sąsiednich skanów. Ostatecznie całą kopalnię pomierzono z 46 stanowisk. W pomiarze wykorzystano nowoczesny skaner laserowy, typu fazowego, FARO 3D. Dane zostały skalibrowane i częściowo zwektoryzowane przez studentów koła naukowego (Lewińska, 2013).



Rys. 1. Fragment chmury punktów obudowy podatnej-lukowej (źródło: Kula, 2013)

wiele różnych typów obudów górniczych. Obudowę górniczą stosuje się w celu zapewnienia stabilności wyrobisk górniczych. Innymi słowy, obudowa górnicza to ogół środków technicznych, zapewniających stabilność i trwałość wyrobiska. W polskim górnictwie najpowszechniej wykorzystywaną obudową wyrobisk jest obudowa podatna-lukowa. Z tego powodu została ona wybrana do realizacji naszego eksperymentu badawczego. Na rysunku 1 przedstawiono chmurę punktów reprezentującą fragment wyrobiska zabudowanego obudową podatną-lukową.

Modelowanie trójwymiarowe wyrobisk górniczych

W literaturze fachowej istnieje wiele publikacji na temat zastosowań grafiki trójwymiarowej w górnictwie podziemnym. Pierwsze prace w tej materii dotyczyły głównie geologii (Poniewiera, 2007), jednak pierwsza systematyka reprezentacji wyrobisk górniczych poda-

rozdzielczości skanowania. Z tego powodu stanowiska skanera dobrano w taki sposób, aby ich liczba była możliwie jak najmniejsza, jednocześnie ograniczając występowanie „martwych pól” oraz zachowując wzajemne pokrycie sąsiednich skanów. Ostatecznie całą kopalnię pomierzono z 46 stanowisk. W pomiarze wykorzystano nowoczesny skaner laserowy, typu fazowego, FARO 3D. Dane zostały skalibrowane i częściowo zwektoryzowane przez studentów koła naukowego (Lewińska, 2013).

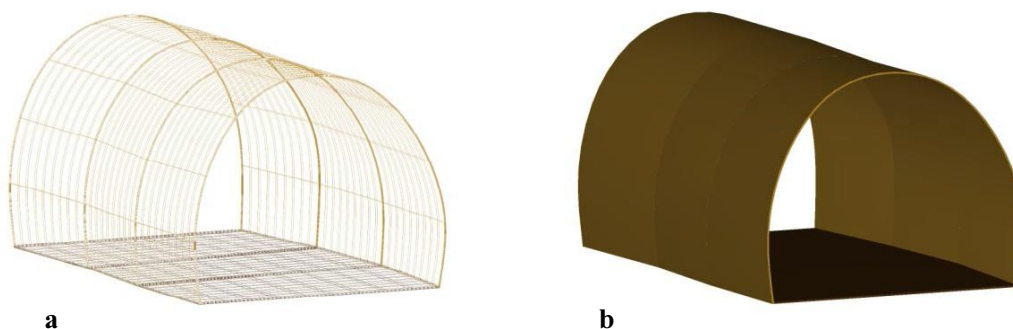
Na potrzeby dydaktyki, w wyrobiskach komunikacyjnych i eksploatacyjnych kopalni „SztYGarka” zabudowano

na została w 2008 roku (Krawczyk, 2008). Modele 3D wyrobisk górniczych podzielono na 4 główne typy – począwszy od najbardziej podstawowego modelu osiowego, poprzez bardziej złożone modele rurowe i profilów, kończąc na najbardziej zaawansowanym modelu realistycznym. W ramach prezentowanej pracy podjęto badania nad optymalizacją wyglądu modelu profilów i modelu realistycznego, jako tych modeli, które najmocniej obciążają systemy komputerowe w trakcie przetwarzania danych graficznych (tab. 1).

Tabela 1. Przyjęte założenia generalizacji wyrobiska w obudowie podatnej-lukowej

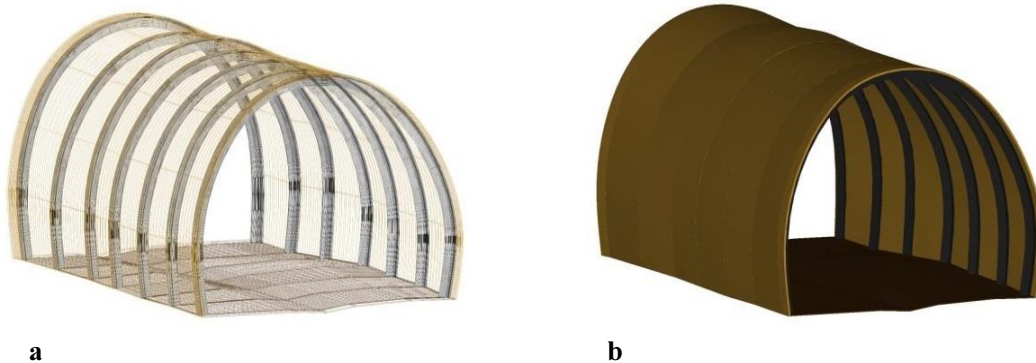
Stopień generalizacji	Model 1 (profilowy)	Model 2 (profilowy)	Model 3 (rzeczywisty)
Szczegóły podlegające modelowaniu	ściany wyrobiska	ściany wyrobiska, odrzwi obudowy zgeneralizowane	odrzwi obudowy, szyny, chodnik, deski podtrzymujące strop i ocios
Prostoliniowa odległość między profilami poprzecznymi ścian wyrobiska	2 m	1 m	0,5 m
Dokładność wrysowania wektorowych profili w chmurę punktów	do 10 cm	do 5 cm	do 1 cm
Błąd wpasowania modelu w chmurę punktów	do 20 cm	do 10 cm	do 5 cm

Model I wykonano na podstawie profili wyrobiska oddalonych od siebie o 2 metry. Profil łukowego stropu wyrobiska powstał z krzywej B-sklejanej, utworzonej na podstawie linii łamanej. Wykorzystując opcję tworzenia powierzchni z przekrojów zbudowano ściany wyrobiska (rys. 2a). Dla lepszego efektu wizualnego powierzchnie pogrubiono do bryły 3D (rys. 2b).



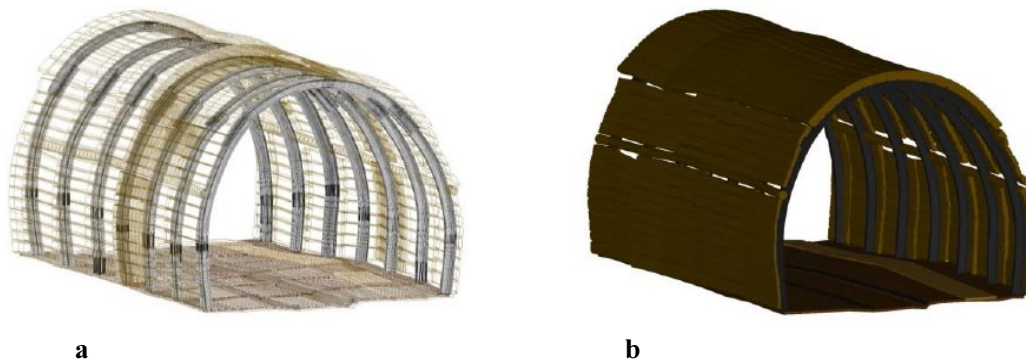
Rys. 2. Model I, wysoki stopień uproszczenia obudowy podatnej-lukowej w trybie wyświetlania: a – szkieletowego, b – wygładzonego (źródło: Kula, 2013)

Technicznie, model II wykonano w ten sam sposób co model I, tyle że przekroje wrysowano z większą dokładnością – co 1 metr. Dodatkowo pojawia się uproszczony model odrzwi obudowy. Zbudowano go poprzez wyciągnięcie profilu w kształcie kątownika, po ścieżce będącej łukiem pokrywającym się z osią odrzwi obudowy. Na rysunku 3 przedstawiono ten model zarówno w trybie wyświetlania szkieletowego, jak i wygładzonego.



Rys. 3. Model II, średni stopień generalizacji obudowy podatnej-lukowej w trybie wyświetlania: a – szkieletowego, b – wygładzonego (źródło: Kula, 2013)

Model III został wykonany w znacznie bardziej skomplikowany sposób od poprzednich. Odzworowane zostały deski podtrzymujące strop i ocios, zbudowane na podstawie przekroji, z prostych elementów geometrycznych. Profile zastosowano tylko w przypadku spągu, co 0,5 metra. W spągu wymodelowano szyny oraz chodnik. Odrzwi obudowy w kształcie łuku odzworowano bardzo dokładnie. Zasada modelowania była identyczna jak w II modelu. Profil odrzwi został wysowny zgodnie z jego rzeczywistym kształtem. Zwrócono uwagę także na modelowanie połączenia poszczególnych elementów (rys. 4).



Rys. 4. Model III obudowy podatnej-lukowej w trybie wyświetlania: a – szkieletowego, b – wygładzonego (źródło: Kula, 2013)

Przygotowane w ten sposób 3 modele tego samego wyrobiska zostały poddane testom możliwości ich wykorzystania w praktyce. Kopalnie węgla podziemnego posiadają bowiem wiele kilometrów różnego typu wyrobisk. Stąd też, kluczowe zagadnienie dotyczy możliwości zastosowania modeli do reprezentacji wyrobisk górniczych rzeczywistej kopalni lub jej fragmentu. Kopalnia KWK „Piast” ma aż 260 km czynnych wyrobisk górniczych, natomiast najmniejsze kopalnie posiadają ok. 50 km wyrobisk. Można przypuszczać, że możliwość przetwarzania plików graficznych zawierających tak dużą liczbę wyrobisk, będzie nie do zaakceptowania w warunkach przemysłowych, ponieważ już sam proces odczytu danych z

dysku (załadowania pamięci operacyjnej i wyświetlenia treści dla użytkownika) będzie zajmował zbyt dużo czasu. Dlatego też zostały przeprowadzone testy czasu otwarcia pliku. Dotyczyły one testowania 3 modeli na 1 komputerze oraz testu 3 modeli na 3 komputerach, różniących się wydajnością procesorów.

Testy pomiaru czasów otwarcia poszczególnych plików modeli danych

Pierwsza seria testów polegała na pomiarze czasu ładowania pliku wektorowego przez program MicroStation XM, w celu udostępnienia go dla użytkownika komputera. Długość każdego z 3 modeli wyrobisk wyniosła ok. 6 metrów. W celu przeprowadzenia eksperymentu długość każdego modelu wyrobiska została zwielokrotniona (modele zostały powielone). Krotność powielenia wyjściowego elementu została dobrana do wcześniej przetestowanych objętości plików otwieranych na danym komputerze. Każdy sześciometrowy model powielono 100, następnie 200 i 300 razy, co odpowiadało 600, 1200 i 1800 metrom długości wyrobiska. Dla każdego modelu przygotowano trzy pliki graficzne, nazwane numerem modelu i kolejnymi literami alfabetu (a, b, c) oznaczającymi jego długość. W rezultacie dało to dla całości badań 9 plików. Do przeprowadzenia badań wykorzystano oprogramowanie firmy Bentley Systems Microstation V8 XM.

Sprzęt, na którym wykonano badania, to średniej klasy komputer użytku domowego, typu laptop, firmy Lenovo. Parametry komputera przedstawiają się następująco: Procesor: Intel(R) Core(TM) i7-3632QM CPU 2,20 GHz, Pamięć RAM: 6,00 GB, Karta graficzna: Intel® HD Graphics 4000, System operacyjny: Windows 8, 64-bit.

Badania polegały na pomiarze czasu w jakim plik został wczytany do programu oraz obserwacji jak duże utrudnienia wystąpiły w poruszaniu się po nim, zarówno w trybie wyświetlania szkieletowego, jak i wygładzonego. Czas wczytywania każdego pliku mierzono pięciokrotnie za pomocą stopera. Możliwość poruszania się po pliku przedstawiono w trzech subiektywnych stopniach, które opisowo można przedstawić w następujący sposób:

- 1) płynne działanie, podczas operacji powiększania, pomniejszania, czy odświeżania widoku,
- 2) drobne utrudnienia w poruszaniu się w widoku pliku,
- 3) znaczne utrudnienia w poruszaniu się w widoku pliku.

Zanotowano też takie informacje jak rozmiar w bajtach każdego pliku graficznego, rozmiar pustego pliku *.dgn (34 304 bajtów) oraz rodzaj elementu z jakiego został zbudowany model. Wyniki eksperymentu przedstawiono w tabeli 2.

Rezultaty obliczeń przedstawiono w formie wykresu (rys. 5). Na wykresie wartości czasu zostały uśrednione na podstawie 3 pomiarów z 5, bowiem dwa skrajne pomiary zostały odrzucone. Każda krzywa powstała w oparciu o 3 punkty.

Czas wczytywania dla plików I stopnia generalizacji nie przekroczył jednej sekundy. Dla II stopnia wyniósł kilka sekund. Tutaj też zaczęły pojawiać się pierwsze, drobne problemy z przeglądaniem treści pliku. Większe utrudnienia w płynnej pracy pojawiły się dopiero w III stopniu generalizacji. Czas wczytywania pliku IIIc wyniósł prawie 23 sekundy.

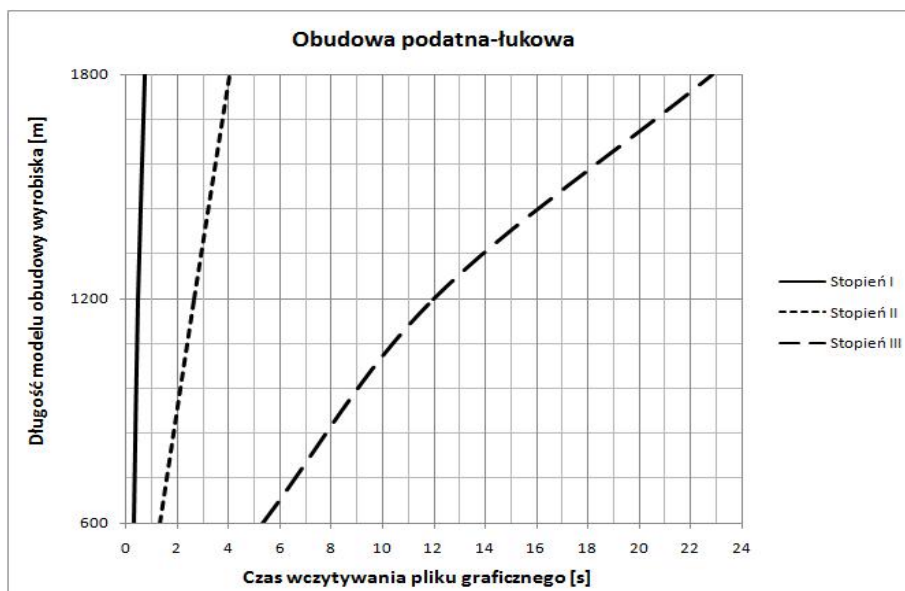
Wyniki eksperymentu potwierdzają oczywistą zależność czasu otwarcia pliku od wielkości pliku. Jednak porównanie pliku IIc z plikiem IIIa dowodzi, że zawartość pliku ma znaczenie. Pomimo tego, że plik IIIa jest nieznacznie mniejszy od pliku IIc to otwiera się około

Tabela 2. Czas odczytu 9 plików testowych dla 3 modeli wyrobisk w obudowie podatnej-lukowej o trzech różnych długościach

Plik graficzny	Liczba powieżeń	Całkowita długość [m]	Rozmiar pliku [bajt]	Czasy kolejnych prób wczytywania pliku[s]					Prze-glądanie treści pliku
				1	2	3	4	5	
Ia	100	600	26 782 720	0,31	0,36	0,38	0,37	0,33	1
Ib	200	1200	53 209 088	0,52	0,47	0,52	0,52	0,46	1
Ic	300	1800	79 652 064	0,74	0,74	0,68	0,79	0,78	1
IIa	100	600	112 059 392	1,42	1,38	1,32	1,31	1,38	1
IIb	200	1200	222 822 687	2,67	2,72	2,61	2,66	2,65	2
IIc	300	1800	333 181 440	4,15	4,04	4,04	4,08	4,00	2
IIIa	100	600	328 127 488	5,37	5,37	5,29	5,30	5,38	2
IIIb	200	1200	653 992 960	12,08	11,91	11,95	12,05	12,04	2
IIIc	300	1800	979 450 368	22,90	22,81	22,82	22,87	22,64	2

1 sekundę dłużej. Oznacza to, że na czas otwarcia pliku zawierającego grafikę wektorową ma wpływ również stopień skomplikowania geometrii.

Zgodnie z przypuszczeniami najbardziej skomplikowany model III zbliżony do rzeczywistego odwzorowania trójwymiarowej przestrzeni 3D okazał się modelem, dla którego aplikacja graficzna potrzebowała najwięcej czasu do otwarcia. W miarę wzrostu długości wyrobiska widać szybki przyrost czasu otwarcia pliku. Zakładając 30 sekund jako maksymalny czas otwarcia pliku, nie ma sensu prezentowanie za pomocą tego modelu wyrobisk dłuż-



Rys. 5. Wykres przedstawiający zmianę czasu wczytywania pliku graficznego dla poszczególnych długości modelu obudowy podatnej-lukowej

szych niż 2000. Krzywa czasu otwarcia modelu III ma nieliniowy przebieg, co oznacza osiągnięcie wysokiego obciążenia badanego systemu komputerowego. Pozostałe dwie krzywe można aproksymować liniowo co oznacza, że długość możliwych do odwzorowania wyrobisk może być znacznie większa niż 2000 m.

Zależność wydajności systemu komputerowego od czasu otwarcia pliku modelu wyrobiska

W kolejnym etapie pracy przeprowadzono eksperyment, którego celem było określenie zależności czasu otwarcia modelu wyrobisk górniczych od wydajności systemu komputerowego. Badania wykonano na trzech komputerach różniących się wydajnością procesorów. Do rozważań przyjęto analizowanie możliwości przetwarzania systemu komputerowego poprzez jego moc obliczeniową procesora. Opisuje ona liczbę operacji zmiennoprzecinkowych na sekundę, a jej jednostką jest FLOPS (ang. *Floating Point Operations Per Second*). Wartość ta wyznaczana jest za pomocą testów wzorcowych o różnej dokładności. W tym przypadku do wyznaczenia liczby FLOPS posłużono się programem CPUBENCH (Wandelen, 2013). Wyniki pomiarów zamieszczono w tabeli 3. Pozwoliły one usystematyzować procesory komputerów pod względem możliwości przetwarzania danych. Jednostka FLOPS to wartość bardzo mała, dlatego współczesne procesory liczą sobie ich miliony (M – mega), a nawet miliardy (G – giga). Zaproponowana metodyka oceny wydajności komputerów jest oczywiście kontrowersyjna i na pewno nie w pełni oddaje różnice w przetwarzaniu danych geometrycznych. Jednak można przyjąć założenie, że w zależności od rozwoju mocy obliczeniowej do niej dostosowywane są pozostałe elementy systemu komputerowego. Oczywiście jest również fakt, że jest to pierwsze przybliżenie pewnego problemu.

Tabela 3. Moc obliczeniowa procesorów wykorzystanych w badaniach

Komputer	Typ procesora	MFLOPS
I	Intel(R) Pentium(R) Dual CPU T2370 @1,73 GHz 1,73 GHz	340
II	Intel(R) Core(TM) i73632QM CPU @ 2,20 GHz 2,20 GHZ	615
III	Intel(R) Core(TM) i72600K CPU @3.40 GHz 3.40 GHz	785

Następnie wygenerowano dodatkowe pliki graficzne, zawierające większą liczbę wyrobisk obudowy podatnej-lukowej. Kopiowano model podstawowy, aż do uzyskania odpowiednich długości wyrobisk. W badaniach zastosowano ten sam zestaw plików o różnym rozmiarze (o różnej długości wyrobisk) dla poszczególnych komputerów. Miało to na celu zoptymalizować dokładność pomiaru czasu otwarcia. Zbyt małe różnice pomiędzy odczytami uniemożliwiają wiarygodne oszacowanie przebiegu krzywej obciążenia systemu komputerowego. Ponadto, zbyt wysoki lub zbyt niski czas wczytania pliku powodowałby trudności w estymacji przebiegu obciążenia systemu komputerowego. Podobnie jak w poprzednich badaniach, na każdym komputerze wykonano pięciokrotny pomiar czasu wczytania pliku do programu Microstation V8 XM. W tabelach 4, 5 i 6 zaprezentowano wyniki pomiarów.

Wyniki pomiarów posłużyły do obliczenia przybliżonego wzoru funkcji, opisującej zależność między długością wyrobisk a czasem wczytywania pliku. W tym celu wykorzystano

Tabela 4. Czasy otwarcia modelu I na różnych komputerach

Komputer (MFLOPS)	Całkowita długość wyrobisk [m]	Rozmiar zawartości pliku [bajt]	Czasy kolejnych prób wczytywania pliku [s]					Średni czas wczytywania pliku [s]
			1	2	3	4	5	
I (340)	2400	106 412 544	2,85	2,74	2,78	2,77	2,85	2,80
	4800	212 865 024	5,73	5,80	5,90	5,83	5,86	5,83
	7200	318 425 600	9,01	8,96	8,92	8,78	8,85	8,91
II (615)	7200	318 425 600	3,38	3,46	3,48	3,41	3,50	3,45
	9600	425 187 840	4,73	4,75	4,60	4,65	4,69	4,69
	12000	530 807 296	6,03	6,05	5,85	5,82	6,00	5,96
III (785)	9600	425 187 840	4,05	4,02	3,97	4,08	4,11	4,05
	12000	530 807 296	5,16	4,99	5,02	5,12	5,07	5,07
	14400	632 740 352	6,04	6,25	6,20	6,01	6,09	6,11

Tabela 5. Czasy otwarcia modelu II na różnych komputerach

Komputer (MFLOPS)	Całkowita długość wyrobisk [m]	Rozmiar zawartości pliku [bajt]	Czasy kolejnych prób wczytywania pliku [s]					Średni czas wczytywania pliku [s]
			1	2	3	4	5	
I (340)	600	112 060 928	3,40	3,47	3,48	3,37	3,50	3,45
	1200	222 824 960	7,10	7,25	7,15	6,99	7,08	7,11
	1800	333 183 488	10,96	11,02	11,18	10,98	11,00	11,00
II (615)	1800	333 183 488	3,97	4,00	4,07	4,11	4,08	4,05
	2400	445 610 496	5,53	5,52	5,59	5,48	5,43	5,51
	3000	560 413 184	7,15	7,23	7,11	6,99	7,04	7,10
III (785)	2400	445 610 496	4,88	4,83	4,73	4,82	4,75	4,80
	3000	560 413 184	5,86	6,10	6,05	5,93	5,99	5,99
	3600	666 356 224	7,26	7,22	7,11	7,30	7,37	7,26

Tabela 6. Czasy otwarcia modelu III na różnych komputerach

Komputer (MFLOPS)	Całkowita długość wyrobisk [m]	Rozmiar zawartości pliku [bajt]	Czasy kolejnych prób wczytywania pliku [s]					Średni czas wczytywania pliku [s]
			1	2	3	4	5	
I (340)	200	109 480 448	8,16	8,30	8,20	8,18	8,10	8,18
	400	218 413 568	10,70	10,90	10,77	10,95	10,76	10,81
	600	328 129 024	14,57	14,76	14,68	14,52	14,58	14,61
II (615)	600	328 129 024	5,39	5,30	5,41	5,33	5,33	5,35
	800	439 400 960	7,07	7,00	6,96	6,92	7,01	6,99
	1000	548 186 624	9,41	9,35	9,25	9,30	9,34	9,33
III (785)	800	439 400 960	6,46	6,44	6,60	6,47	6,67	6,51
	1000	548 186 624	7,98	7,98	7,95	7,88	8,07	7,97
	1200	653 994 496	9,85	9,93	9,75	9,92	10,02	9,90

program „Aproksymacja” (Bąbik, 2013), który wygenerował wzory funkcji dla każdego stopnia generalizacji modelu, testowanego na wszystkich trzech komputerach. Program do obliczeń wykorzystuje metodę najmniejszych kwadratów. Trzy pary spostrzeżeń umożliwiły aproksymację funkcji drugiego stopnia wielomianu. W sumie aproksymację wykonano dziewięć razy. Ogólna postać funkcji drugiego stopnia wielomianu ma postać:

$$F(x) = ax^2 + bx + c$$

Wynikowe wzory funkcji umożliwiły oszacowanie przybliżonych wartości czasów wczytywania znacznych długości wyrobisk. Współczynniki a, b, c dla każdej z dziewięciu funkcji zawiera tabela 7.

W celu sprawdzenia możliwości przetwarzania trójwymiarowej mapy górniczej zawierającej znaczną liczbę wyrobisk, wykonano estymację czasu otwarcia pliku, korzystając z wygenerowanych wzorów funkcji. Obliczono wartość czasu, jaki jest potrzebny na wczytanie pliku zawierającego 50 000 metrów wyrobisk, dla każdego stopnia generalizacji modelu, na wszystkich trzech komputerach (tab. 8).

Czas wczytywania plików graficznych dla poszczególnych stopni uproszczenia różni się diametralnie. W przypadku 50 000 metrów łącznej długości wyrobisk tylko mapa stworzona

Tabela 7. Oszacowane współczynniki a, b, c dla wynikowych wzorów funkcji

Komputer (MFLOPS)	Model	Współczynniki funkcji		
		a	b	c
I (340)	I	0,000000004340278	0,001231250000000	-0,180000000000021
	II	0,000000319444444	0,005524999999999	0,020000000000043
	III	0,000014625000000	0,004374999999999	6,720000000000002
II (615)	I	0,000000002604167	0,000472916666667	-0,089999999999496
	II	0,000000180555556	0,001675000000001	0,449999999998768
	III	0,000008750000000	-0,004050000000002	4,630000000000064
III (785)	I	0,000000000868056	0,000408333333333	0,049999999999455
	II	0,000000111111111	0,001383333333335	0,839999999997458
	III	0,000005875000000	-0,003275000000005	5,370000000000245

Tabela 8. Oszacowany czas wczytywania pliku zawierającego 50 000 metrów wyrobisk

Komputer (MFLOPS)	Model	Oszacowany rozmiar pliku [bajt]	Oszacowany czas wczytywania pliku		
			[s]	[min]	[h]
I (340)	I	2 216 928 000	72,23	1,20	0,02
	II	9 338 410 667	1 074,88	17,91	0,30
	III	27 370 112 000	36 569,22	609,49	10,16
II (615)	I	2 216 928 000	30,07	0,50	0,01
	II	9 338 410 667	535,59	8,93	0,15
	III	27 370 112 000	21 677,13	361,29	6,02
III (785)	I	2 216 928 000	22,64	0,38	0,01
	II	9 338 410 667	347,78	5,80	0,10
	III	27 370 112 000	14 529,12	242,15	4,04

na podstawie modelu I może być przetwarzana w miarę sprawnie. Czas jej wczytania do aplikacji wyniósłby kilkadziesiąt sekund. Należy natomiast wykluczyć modele pozostałych stopni, ponieważ czas wczytywania jest zbyt długi i przetwarzanie takiej mapy w praktyce byłoby nierealne. Dla modelu II wyniósł kilkadziesiąt sekund (kilka minut), natomiast dla modelu III aż kilkadziesiąt tysięcy sekund (kilka godzin). Bardziej zaawansowane modele można zastosować tylko jako prezentację wybranych fragmentów mapy. Dla modelu III określono na przykład, że znaczne utrudnienia w płynnej pracy pojawiły się dopiero przy łącznej długości wyrobisk, wynoszącej 1800 metrów. Wtedy czas wczytywania danych z pliku wynosi prawie 23 sekundy, a płynna praca z tego typu modelem jest możliwa w najprostszym trybie renderingu. W celu radykalnego podniesienia wydajności przetwarzania danych konieczne jest pozyskanie komputerów o mocy obliczeniowej powyżej 1000 MFLOPS.

Podsumowanie

W prezentowanej pracy wskazano na bardzo ważny aspekt modelowania przestrzennych map komputerowych, jakim jest wydajność systemów komputerowych przeznaczonych do ich przetwarzania. Przed wykonaniem jakiegokolwiek trójwymiarowego modelu należy sprawdzić i ocenić możliwości jego utworzenia i późniejszej wygody jego użytkowania.

W ramach niniejszych badań określono i opisano 3 modele wyrobisk górniczych, dla których następnie określono czasy przetwarzania danych na komputerach o różnych mocach obliczeniowych. Na bazie tych wyników określono w jakim zakresie mogą być wykorzystywane poszczególne modele w budowie mapy wyrobisk górniczych.

Autorzy artykułu również polemizują z nieugruntowaną, ale dość powszechnie występującą opinią o nadmiernej objętości plików graficznych, trójwymiarowego modelu wyrobisk górniczych. Z tego powodu nie podejmuje się prób budowy i wykorzystania tego typu modeli przestrzennych w zakładach górniczych. Jednak na podstawie przedstawionych badań można potwierdzić, że odpowiednio uproszczony model wyrobiska górniczego w obudowie podatnej-lukowej może stanowić podstawę do budowy trójwymiarowej mapy wyrobisk górniczych, która będzie mogła być stosowana w zakładach górniczych na średniej klasy sprzęcie komputerowym.

Literatura

- Bąbik M., 2013: Oprogramowanie „Aproksymacja”. www.eureka_pile.republika.pl
- Krawczyk A., 2008: Zastosowanie MicroStation do wizualizacji i animacji 3D w górnictwie. VII Konferencja naukowo-techniczna Ochrona środowiska na terenach górniczych, Szczyrk.
- Kula R., 2013: Analiza wydajności systemu komputerowego w zakresie prezentacji zgeneralizowanych wyrobisk przestrzennej mapy górniczej wykonanej na bazie skaningu laserowego. Praca magisterska 2013, AGH Wydział Geodezji Górniczej i Inżynierii Środowiska, promotor dr inż. A. Krawczyk.
- Lewińska P., Matwij W., Ciępka G., 2013: Skaniny, modelowanie i animacja 3D wyrobisk zabytkowej kopalni ćwiczebnej „Sztęgarka”. [W:] Dyczko A., Krawczyk A. (red.) Geomatyka górnicza – praktyczne zastosowania. Monografia, IGSMiE PAN, Kraków.
- Poniewiera M., 2007: Generowanie numerycznego modelu złoża w programie Autodesk Civil 3D. Zeszyty naukowe Politechniki Śląskiej, Seria: Górnictwo, Gliwice.
- Wandelen C.J., 2013: Oprogramowanie CPUBENCH. www.haagsite.nl

Abstract

This paper shows 3D mining excavations models of the same arc-susceptible case with different stage of complexity in vector graphics. For creating 3D drawings the data from stationary laser scanning of mining excavation cases in test mine „SztYGarka” in Dąbrowa Górnicza was used. The procedure of creating models was described in detail. Later on, a series of experiments were conducted in order to determine usability of different data models. The experiments consisted in measurement of time to open given vector file by a given application (i.e. loaded from disc and released for edition). The analysis allowed to determine the relation between complexity of the model and the ability to use it to represent many kilometers of a real mine. All of those works were done with Bentley Systems-MicroStation V8 XM software.

dr inż. Artur Krawczyk
artkraw@agh.edu.pl
home.agh.edu.pl/artkraw

mgr inż. Rafał Kula
rafal.kula.agh@gmail.com