



Iwona JELONEK*, Marian PONIEWIERA**, Barbara GAŚSIOR***

Numeryczny model złoża oparty na parametrach jakościowych węgli kamiennych – Założenia Projektu

Streszczenie: Celem projektu jest przygotowanie konkretnych rozwiązań pozwalających wprowadzić do polskiego górnictwa węglowego innowacyjny numeryczny model złoża oparty na parametrach petrograficznych węgla i uzupełniony o ich fizykochemiczne właściwości.

Realizacja projektu obejmuje następujące etapy: 1) Stworzenie koncepcji gospodarczego wykorzystania wyników prac badawczych; 2) Opracowanie wersji startowej numerycznego modelu złoża; 3) Rozpoznanie rynku w zakresie zapotrzebowania na proponowane rozwiązanie; 4) Plan zabezpieczenia własności intelektualnej wyników badań oraz proponowanego rozwiązania.

Wdrożenie nowej technologii w przemyśle węglowym powinno zapewnić zbytni na proponowane innowacyjne rozwiązanie, które wypełni lukę w dotychczasowych opracowaniach. Ciągłe istnieje zapotrzebowanie na gotowe rozwiązanie tego typu. Można się zatem spodziewać, że numeryczny model złoża oparty na wynikach badań petrograficznych będzie budził zainteresowanie zarówno w Polsce, jak i za granicą kraju. Jest to konkretne rozwiązanie, które przy odpowiednim rozreklamowaniu powinno znaleźć odbiorców w środowisku z branży zarówno górniczej, jak i koksowniczej czy też energetycznej.

Słowa kluczowe: górnictwo, węgiel kamienny, numeryczny model złoża

Numerical model of bituminous coal deposit constructed on the base of coal quality parameters – project assumptions

Abstract: The aim of the project is to develop practical solutions to enter the innovative numerical model of deposit, based on both petrographic characteristics and physicochemical properties of coal, to the Polish coal mining. The project includes the following steps: 1) The concept of economic utilization of research results; 2) The development of prototype version of the numerical model of deposit; 3) Identifying the market demand for the proposed solution; 4) The plan of intellectual property protection of research results and the proposed solution.

* Dr, Uniwersytet Śląski, Wydział Nauk o Ziemi, Sosnowiec; e-mail: iwona.jelonek@us.edu.pl

** Dr, Politechnika Śląska, Wydział Górnictwa i Geologii, Gliwice; e-mail: Marian.Poniewiera@polsl.pl

*** Mgr, GGS-Projekt Pracownia Geologii i Ochrony Środowiska, Chorzów; e-mail: ggsprojekt@ggsprojekt.pl

Implementation of new technology into the coal industry should ensure sales and fill a gap in the existing studies. There is still a need for such ready-made solutions. Therefore, the demand for the numerical model of deposit based on the results of basic research is expected to occur both in Poland and abroad. With proper publicizing, this solution should attract customers from the coal mining, coke and energy sector.

Keywords: coal mining, hard coal, numeric model of deposit

Wprowadzenie

Oceniając aktualny stan wiedzy na temat numerycznych modeli złóż nie sposób nie zauważyć, jak wiele zostało już zrobione. Istniejące modele numeryczne dostarczają informacji o budowie geologicznej i przestrzennej złoża. Przykładem takiego modelu jest Numeryczny Model Złoża wdrożony w celach przemysłowych w latach 2008–2010 w obrębie struktur Kompanii Węglowej SA.

Jak do tej pory modele te nie były uzupełnione o informacje na temat właściwości i jakości węgla, na jakich opiera się międzynarodowa klasyfikacja Europejskiej Komisji Gospodarczej Narodów Zjednoczonych (ECE, 1995). Dlatego autorzy niniejszego artykułu w ramach rozpoczętego projektu pt. „Numeryczny model złoża oparty na parametrach jakościowych węgla kamiennych” (NJMZ) z programu „Tango” finansowanego z NCBR i NCN planują uzupełnić swój model o dane otrzymane w wyniku projektu bazowego RATIO-COAL, współfinansowanego przez Komisję Europejską oraz setki danych petrograficznych na temat jakości węgla z Górnośląskiego Zagłębia Węglowego, które posiadają w swoich archiwach.

Narzędzie, jakie powstanie w rezultacie ukończenia pracy nad projektem, o którym mowa powyżej, będzie odpowiedzią na potrzeby wciąż zmieniającego się i coraz bardziej wymagającego rynku. Zarówno branża górnicza, jak i wybitni naukowcy dostrzegają potrzebę stworzenia Numeryczno-Jakościowego Modelu Złoża, opartego na wynikach uzyskanych w projekcie bazowym, takich jak analizy fizykochemiczne, ale przede wszystkim zawierającego analizy petrograficzne węgla i koksów, uzupełnione o właściwości kokso-twórcze węgla.

1. Charakterystyka danych z projektu bazowego RATIO-COAL oraz danych archiwalnych

Projekt bazowy w swoim zakresie obejmował szerokie spektrum analiz i testów wykonanych zarówno dla węgla, jak i koksów. Analizą objęto w sumie 360 próbek pojedynczych węgla pobranych bezpośrednio ze ścian pokładów w polskich kopalniach oraz 90 próbek węgla pobranych z transportu od 28 dostawców. Wykonano kompleksowe analizy petrograficzne i fizykochemiczne węgla kamiennych, w tym: pomiar refleksyjności wityrytu, skan macerałów, pełną analizę macerałową obejmującą wszystkie macerały wchodzące w skład trzech podstawowych grup, analizę mikrolitotypów i karbominerytu. Analizy fizykochemiczne obejmowały oznaczenie zawartości wilgoci, popiołu, części lotnych, siarki, fosforu, tlenu, wodoru, azotu, a także kontrakcji, dylatacji, indeksu Rogi, wskaźników dylatome-

trycznych, plastyczności wg Gieselera. Dodatkowo w celu uzyskania pełnej informacji na temat badanych węgla wykonana została analiza elementarna, termiczna, porowatość oraz spektroskopia Ramana.

Ponadto przeprowadzono testy na instalacji Karbotest w celu zbadania parametrów jakościowych CSR/CRI dla otrzymanych kokсів (rys. 1, 2).



Rys. 1. Karbotest zainstalowany w Třinecké Železarny
(fot. S. Czudek 2011)

Fig. 1. The Karbotest installation, Třinec Ironworks (S. Czudek 2011)



Rys. 2. Próbkі koksu
(fot. I. Jelonek 2011)

Fig. 2. The coke samples
(I. Jelonek 2011)

W drugim etapie sporządzono bazę danych analizowanych węgla (rys. 3), która posłużyła do opracowania innowacyjnej metody prognozowania jakości koksu.

Na jej podstawie przygotowano 30 mieszanek węglowych z uwzględnieniem paliw alternatywnych, które w następnej kolejności zostały poddane procesowi karbonizacji. Otrzymane wyniki z karbotestu dla parametrów CSR/CRI przyniosły bardzo dobrą korelację z wynikami otrzymanymi z wyliczenia, w którym zastosowano innowacyjną metodę prognozowania jakości koksu.

Następnie wykonana została ilościowa i jakościowa petrograficzna analiza koksu, która dostarczyła informacji na temat porowatości i zawartości inertnych i semi-inertnych komponentów występujących w strukturze koksu. Do mikroskopowej analizy petrograficznej kokсів została zastosowana klasyfikacja Międzynarodowego Komitetu Petrologii Organicznej i Węgla (ICCP) z modyfikacjami, które zostały wprowadzone na potrzeby realizacji projektu RATIO-COAL.

W sumie wyróżniono osiem kategorii:

- Mozaika: drobna, średnia, gruba (rys. 4),
- Domeny: drobne, średnie, grube (rys. 5),
- Karbon pirolityczny (rys. 6),
- Izotropowe elementy z ostrym kontaktem (granicą) z otoczeniem (rys. 7),
- Anizotropowe elementy infiltrujące w teksturę mozaiki (rys. 8),

Search criteria

Institution: KK Zabrze
 Year of creation: <AB>
 Sample No:
 Derivation (mine):
 Load data

Search result

Summary reports:
[Chemical and ending properties of the analyzed coals](#)
[Vitrinite reflectance and all maceral reflectance values](#)
[Maceral group and mineral content in analyzed samples](#)
[Microtholotype group and mineral content in analyzed samples](#)
[Porosity analysis in analyzed samples](#)
[Summary report of analyzed samples](#)

Created	Sample No	Sample type	Derivation	Institution	
11/22/2010	(15) KK Zabrze	Product coal	Blue Creek 7 America N	KK Zabrze	Select

Details

Sample No: 2-3-W (17) KK Zabrze
 Date of creation: 11/22/2010
 Origin (paleogeography, stratigraphy if possible):
 Derivation (mine, country): Pniówek, Poland
 Type of sample(in situ, product coal, commercial, coal blend): Product coal
 Comment:

CHEMICAL ANALYSIS

COAL:

Proximate:

	Calorific Value [MJ/kg]	Moisture [%]	Ash [%]	Volatile Matter [%]	Fixed carbon [%]	Sulfur (total) [%]
Air Dry Basis		1.07	6.75			0.65
	Chlorine [%]	Phosphorus [%]				
	0.148	0.041				
Dry Ash Free Basis	Calorific Value [MJ/kg]			Volatile Matter [%]		
				27.64		

Rys. 3. Strona www z bazą danych

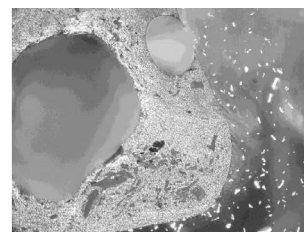
Fig. 3. The data base on the website



drobna
fine



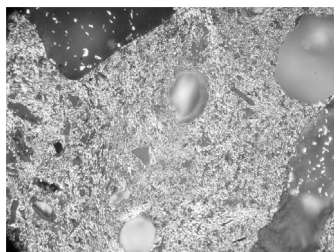
średnia
medium



gruba
coarse

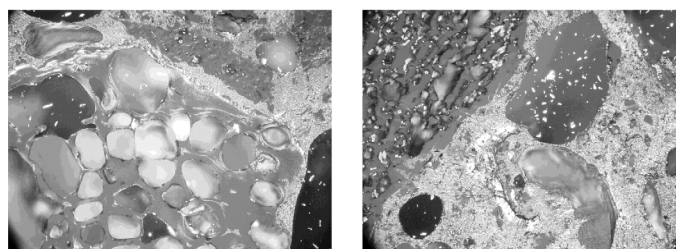
Rys. 4. Kategoria 1 – Mozaika

Fig. 4. Category 1– Mosaic



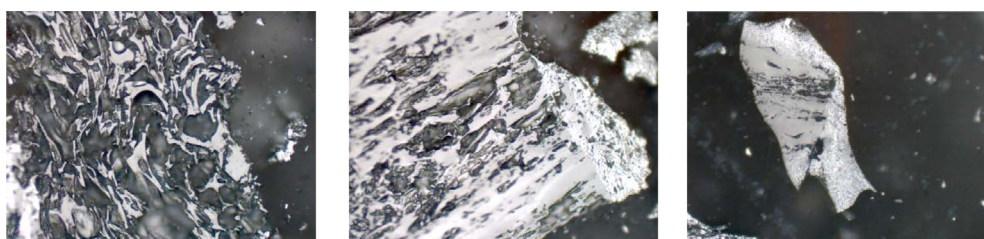
Rys. 5. Kategoria 2 – Domeny: drobne, średnie, grube

Fig. 5. Category 2 – Domains: fine, medium, coarse



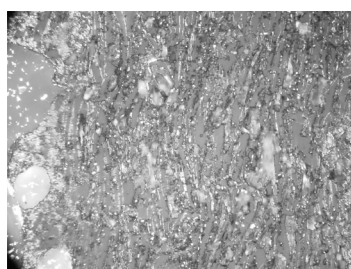
Rys. 6. Kategoria 3 – Karbon pyrolityczny

Fig. 6. Category 3 – Pyrolytic carbon



Rys. 7. Kategoria 4 – Izotropowe elementy z ostrym kontaktem (granica) z otoczeniem

Fig. 7. Category 4 – Mostly isotropic components with sharp contact to surrounded matrix



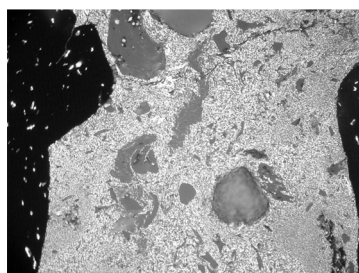
Rys. 8. Kategoria 5 – Anizotropowe elementy infiltrujące w teksturę mozaiki

Fig. 8. Category 5 – Mostly anisotropic components infiltrated by mosaic textures

- Inertodetrynit <15 um (rys. 9),
- Pozostałe izotropowe komponenty,
- Materia mineralna (rys. 10).

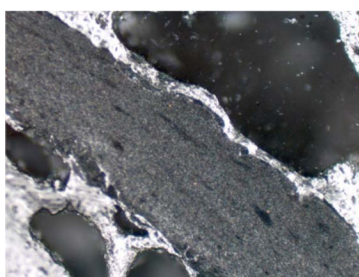
Kolejno zostały wykonane dla koksów następujące testy: CSR oznaczenie wytrzymałości koksu po reakcji i CRI oznaczenie indeksu reakcyjności koksu (Nippon Steel Corporation). Otrzymane wyniki dostarczyły informacji na temat reaktywności i wytrzymałości mechanicznej koksów.

W ostatnim etapie projektu bazowego wykonano 15 testów w skali przemysłowej (120 ton przygotowanej mieszanki węglowej na jeden test), dla których zrobiono wszystkie niezbędne analizy zarówno dla węgla, jak i koksów. Porównując wyniki prognozowania jakości koksów (CSR i CRI), otrzymane na podstawie innowacyjnej formuły opracowa-



Rys. 9. Kategoria 6 – Inertodetrynit <15 um

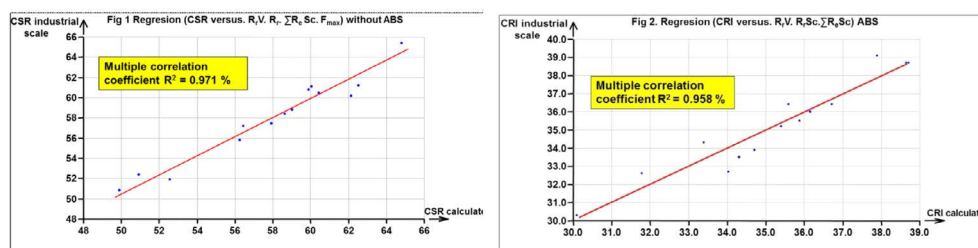
Fig. 9. Category 6 – Inertodetrinite <15 um



Rys. 10. Kategoria 8 – Materia mineralna

Fig. 10. Category 8 – Mineral matter

nej w trakcie projektu RATIO-COAL jeszcze przed skoksowaniem mieszanek węglowych, z wynikami CSR i CRI otrzymanych koksów uzyskano rewelacyjny i niepodważalny współczynnik korelacji w wysokości: dla CSR = 0,971%, dla CRI = 0,958% (rys. 11).



Rys. 11. Prognozowanie jakości koksów (CSR i CRI), otrzymane na podstawie innowacyjnej formuły opracowanej w trakcie projektu RATIO-COAL (Raport Końcowy Projektu RATIO-COAL dla RFSC 2015)

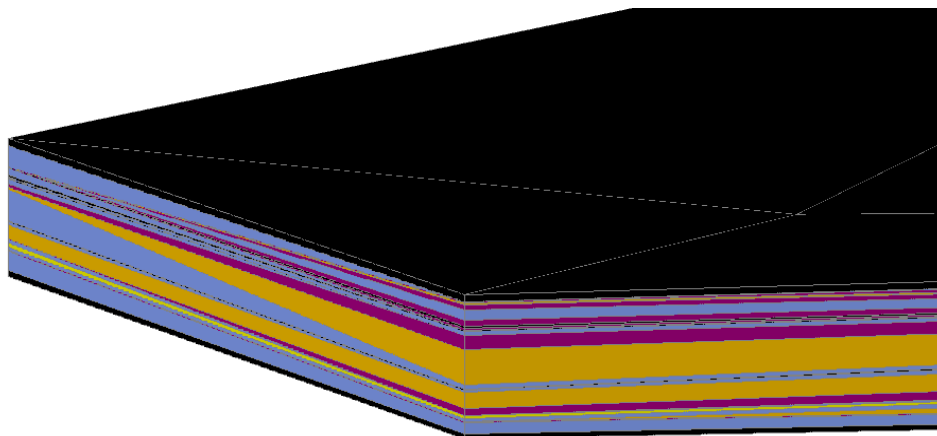
Fig. 11. Results of the correlation between CRI and CSR values and those predicted by petrographic formula (The Final Report by RATIO-COAL, 2015)

Podsumowując: na potrzeby realizacji nowego projektu finansowanego z NCRB i NCN autorzy niniejszego artykułu dysponują bazą danych na temat jakości węgla i koksów. W su-

mie zgromadzone tysiące wyników, które będą stanowić bazę wyjściową dla Numeryczno-Jakościowego Modelu Złoża.

2. Nowoczesność i innowacyjność proponowanego rozwiązania w kontekście aktualnego stanu wiedzy i techniki w obszarze dotyczącym projektu w skali kraju i w skali globalnej

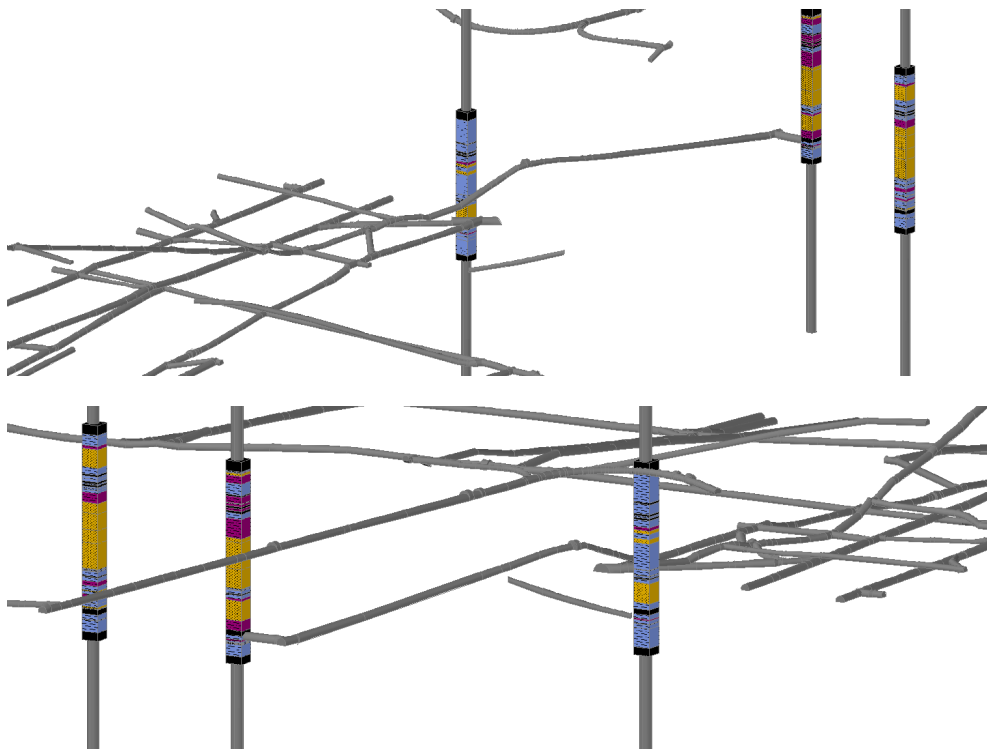
Koncepcja powstania Numeryczno-Jakościowego Modelu Złoża jest efektem stale rosnącego zapotrzebowania rynku górniczego na wprowadzanie nowych idei i możliwości praktycznych zastosowań w prowadzeniu eksploatacji, które mogą zwiększyć efektywność planowania i wydobycia dobrego jakościowo węgla. NJMZ stanowi przedsięwzięcie innowacyjne nie tylko w skali całego kraju, ale również w ujęciu globalnym. Dotychczas funkcjonujące przestrzenne numeryczne modele złóż zostały wdrożone w obrębie struktur Kompanii Węglowej SA oraz Jastrzębskiej Spółki Węglowej SA i opierają się głównie na cyfryzacji istniejących parametrów złoża: spągu, stropu, miąższości pokładów czy kategoryzacji zasobów, pomijając analizy jakościowe złoża, jakimi są np. analizy petrograficzne. W ostatnim okresie został opracowany również numeryczny model złoża dla ZG Dębieńsko. Zmiana w podejściu oceny zasobności złoża, wykorzystanie dziedziny wiedzy petrografii, połączenie sfery nauki i przedsiębiorców, ma szansę przynieść nowy innowacyjny produkt na rynku górniczym, który będzie prowadził do wzrostu poziomu nowoczesności, wzmocni pozycję i konkurencyjność przyszłego wydobycia kopaliny. Dotychczasowe górnictwo obniżało wagę i rolę analiz petrograficznych, których zasadność podkreśla m.in. projekt bazowy RATIO-COAL.



Rys. 12. Numeryczny model złoża (przykład)

Fig. 12. The numerical model of the deposit (example)

Nowy ulepszony produkt jakościowego modelu złoża zmienia schematyczne podejście do oceny zasobności złoża, określanego obecnie głównie poprzez parametry fizykochemiczne węgla, na rzecz wykorzystania petrografii węgla.



Rys. 13. Numeryczny model wyrobisk (przykład)

Fig. 13. The numerical model of the coal workings (example)

W wyniku przeprowadzonej analizy literatury a także wcześniejszych zgłoszeń patentowych można stwierdzić, że wskazane rozwiązanie charakteryzuje się dużą innowacyjnością w skali światowej. Za najbardziej zbliżone tematycznie do analizowanego rozwiązania uznano:

1. Oprogramowanie Fusion Middleware SOA Suite firmy Oracle. Jest to narzędzie wykorzystane do budowy systemu numerycznego modelu złoża. Służy ono zarówno budowie integracji wewnętrznej dostarczanych w ramach projektu aplikacji, jak i integracji systemu z aplikacjami do niego zewnętrznymi.
2. Aplikacje integrowane w architekturze SOA za pomocą pakietu Oracle SOA Suite:
 - GEOLISP – służy do przetworzenia map górniczych do formy elektronicznej, zarządzania ich treścią oraz dwukierunkowej komunikacji z programami liczącymi deformację terenu,
 - EDBJ-OPN – służy do określania wpływu eksploatacji górniczej na ukształtowanie terenu i znajdujące się na jego powierzchni obiekty,
 - GEONET – realizuje zadania z zakresu szeroko rozumianych obliczeń geodezyjnych,
 - Centralny Moduł Numerycznego Modelu Złoża (CMNMZ) – aplikacja w języku programowania Java, wykorzystywana do zarządzania zasilaniem Centralnej Składnicy Danych o Złożu (CSDoZ) i danymi z map górniczych, wyszukiwania CSDoZ według zadanych parametrów oraz wykonywania raportów analitycznych.

3. Numeryczny Model Złoża – wpływy eksploatacji górniczej. To narzędzie, za pomocą których można tworzyć prognozowanie mapy sytuacyjno-wysokościowej zawierające aktualną rzeźbę terenu, zalewiska, izolowanie obniżen i pokolorowane według kategorii odporności budynki.

4. Dynamiczny Model Terenu Górniczego. Jest to narzędzie ułatwiające sporządzenie prognozowanej mapy wysokościowej. Wykorzystanie programu AutoCAD Civil wraz z nakładką Geolisp umożliwia znaczne zautomatyzowanie prac z tym związanych. Łatwość aktualizacji i edycji danych pozwala mówić o dynamicznym modelu terenu górniczego.

Za najbardziej zbliżone publikacje uznano natomiast artykuły autorstwa M. Poniewiery i S. Tchórzewskiego z lat 2010–2013.

Badanie wcześniejszego stanu techniki w stosunku do omawianego w artykule rozwiązania w postaci Numeryczno-Jakościowego Modelu Złoża uwzględniającego analizy petrograficzne oraz jakościowe węgla przeprowadzono w literaturze fachowej oraz w bazach patentowych (bazie Urzędu Patentowego RP zawierającej polskie zgłoszenia patentowe oraz bazie Europejskiego Urzędu Patentowego Esp@cenet zawierającej zgłoszenia patentowe z większości krajów świata). Z analizy otrzymanych wyników badania (kilkaset wcześniejszych zgłoszeń patentowych) wynika, że rozwiązanie to jest nowe w skali światowej. Nie znaleziono ani publikacji literaturowych, ani wcześniejszych zgłoszeń patentowych, które by ujawniały takie rozwiązanie, z czego można wyciągnąć wniosek, iż przedmiot rozpoczętego projektu nie narusza praw własności intelektualnej stron trzecich.

Podsumowanie

Proponowany Numeryczno-Jakościowy Model Złoża swoją nowoczesność i innowacyjność zawdzięcza interdyscyplinarnemu charakterowi. NJMZ stanowi narzędzie nowej generacji, które usprawni proces zarządzania eksploatacją oraz podniesie efektywność wydobywania w branży górniczej. Projektowany wstępny przestrzenny model złoża, do budowy którego zostaną wykorzystane dane automatycznie pobierane z map podstawowych: koty wysokościowe spągu, miąższości pokładu oraz wyniki analiz fizykochemicznych, ale przede wszystkim szczegółowe analizy petrograficzne, to nowe podejście, z jakim wcześniej się nie spotkano. System ma za zadanie umożliwić: uzyskanie przekroju przez górotwór, obliczyć zasoby węgla kamiennego według zadanych kryteriów, wyszukać parcelę o określonych parametrach na tle wprowadzonych danych fizykochemicznych i petrograficznych węgla wg międzynarodowej kodyfikacji (ECE, 1998, 2001) z uwzględnieniem polskiej normy PN-82/G-97002. Takie podejście czyni projekt NJMZ nowoczesnym, innowacyjnym nie tylko w skali kraju, ale również na skalę światową. Jak dotąd autorzy wniosku w odniesieniu do dostępnych publikacji oraz prowadzonych przedsięwzięć związanych z branżą górniczą i geologiczną, nie napotkali na wykonany numeryczno-jakościowy model złoża, który obejmowałby informacje na temat kompleksowych analiz petrograficznych i fizykochemicznych węgla kamiennych wraz z informacją o budowie złoża w ujęciu modelu przestrzennego wyrobisk górniczych. Ponadto dane będące w bazie NJMZ mogą być uaktualniane w czasie rzeczywistym o dowolne informacje, które jeszcze bardziej podnoszą rangę w zakresie nowoczesności i funkcjonalności. Ma to przełożenie na prowadzenie przez zakłady górnicze gospodarki racjonalnej i szybko reagującej na zmiany koniunktury i zapotrzebowanie na dany typ węgla.

Podziękowania

Projekt realizowany w ramach wspólnego przedsięwzięcia Narodowego Centrum Badań i Rozwoju oraz Narodowego Centrum Nauki z programu „TANGO”.

Wyniki z projektu bazowego uzyskały finansowanie ze środków programu badawczego Funduszu Badawczego Węgla i Stali (Grant Agreement number RFCR-CT-2010-00008).

Literatura

- ECE 1995 – International Classification of Seam Coals, Final Version. Economic Commission For Europe, Committee On Energy, Working Party On Coal, Fifth session, 1995.
- ECE 1998, 2001 – International Codification System For Medium and High Rank Coals. Economic Commission For Europe, Committee On Energy, 1998, 2001.
- PN-82/G-97002: 1982. Węgiel kamienny – Typy.
- Poniewiera, M. 2010. Model numeryczny złoża węgla kamiennego i jego praktyczne zastosowania. *Wiadomości górnicze* R.LXI Lipiec-sierpień 2010 r., Wydawnictwo Górnicze, ISSN 0043-5120, s. 458–465.
- Poniewiera, M. 2011. Rozwój Numerycznego Modelu Złoża w zakresie wprowadzania danych geologicznych. *Prace naukowe GIG XI Dni miernictwa górnictwa i ochrony terenów górniczych*. Hucisko koło Włodowic, 18–20 maja 2011 r. Kwartalnik nr 2/1, ISSN 1643-7608, s. 422–429.
- Poniewiera, M. i Tchórzewski, S. 2012. Wykorzystanie Numerycznego Modelu Złoża do zarządzania wielkością i jakością produkcji węgla. *Przegląd Górniczy* 8, ISSN 0033-216X, s. 218–224.
- Poniewiera, M. 2011. Standaryzacja map wyrobisk górniczych w warunkach Kompanii Węglowej S.A. Monografia; „*Geomatyka górnictwa praktyczne zastosowania*” praca zbiorowa pod redakcją naukową Artura Dyczko i Artura Krawczyka. Wydawnictwo fundacji dla AGH, Kraków, ISBN 978-83-62079-09-4, s. 53–64.
- Poniewiera, M. i Tchórzewski, S. 2013. Wykorzystanie serwera map w planowaniu produkcji węgla kamiennego; Monografia pod redakcją Artura Dyczko i Artura Krawczyka, *Geomatyka Górnictwa praktyczne rozwiązania*. Wydawnictwo Fundacji dla AGH, Kraków, ISBN 978-83-62079-98-8, s. 157–165.
- Poniewiera, M. 2013. Wdrożenie aplikacji przeznaczonych do obsługi danych geologicznych w Kompanii Węglowej S.A.; Monografia pod redakcją Artura Dyczko i Artura Krawczyka. *Geomatyka Górnictwa praktyczne rozwiązania*. Wydawnictwo Fundacji dla AGH, Kraków, ISBN 978-83-62079-98-8, s. 127–139.