

Edyta Silarska, Ryszard Frankowski*, Jacek Kapusta**

GOSPODARKA ZŁOŻEM BEŁCHATÓW Z WYKORZYSTANIEM GEOLOGICZNYCH MODELI KOMPUTEROWYCH

1. Wstęp

PGE KWB „Bełchatów” SA od 2005 roku posiada oprogramowanie geologiczno-górnictwe MineScape firmy Mincom, które umożliwiło utworzenie cyfrowego modelu złoża „Bełchatów” zarówno dla pola Bełchatów jak i dla pola Szczerców.

W latach 2008–2009 w ramach współpracy Działu Geologicznego PGE GIEK SA — Oddział KWB „Bełchatów” oraz katowickiego oddziału australijskiej firmy Mincom International, dokonano aktualizacji modelu geologicznego pola Bełchatów. Zmieniono wówczas definicję „Schemy”, tj. zestawu reguł służących do konstrukcji modelu, co pozwoliło na jeszcze dokładniejsze generowanie linii zasięgu poszczególnych warstw głównych oraz dokładniejsze modelowanie rozkładu parametrów jakościowych.

Od 2009 roku, w oparciu o materiały pochodzące zarówno z nowo wykonanych otworów wiertniczych jak i z materiałów kartograficznych skarp i poziomów eksploatacyjnych, Dział Geologiczny w cyklach kwartalnych, aktualizuje cyfrowy model złoża.

W grudniu 2010 roku Dział Geologiczny PGE GIEK SA Oddział KWB „Bełchatów” wspólnie z firmą PROGIG Sp. z o.o. zakończył opracowanie modelu cyfrowego dla pola Szczerców. Podobieństwo budowy geologicznej obu pól pozwoliło na przeniesienie doświadczeń w zakresie metodyki dokumentowania oraz procedur postępowania w trakcie tworzenia cyfrowego modelu stratygraficznego i jakościowego złoża węgla brunatnego z pola Bełchatów na pole Szczerców.

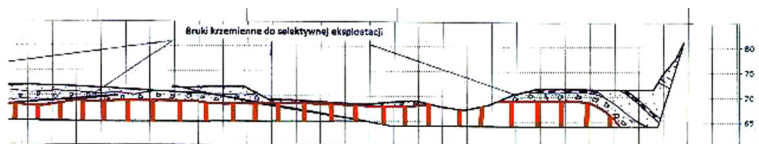
Prace te doprowadziły do utworzenia jednolitego i spójnego modelu geologicznego dla złoża węgla brunatnego „Bełchatów”.

* Oddział KWB Bełchatów, PGE GIEK SA, Rogowiec

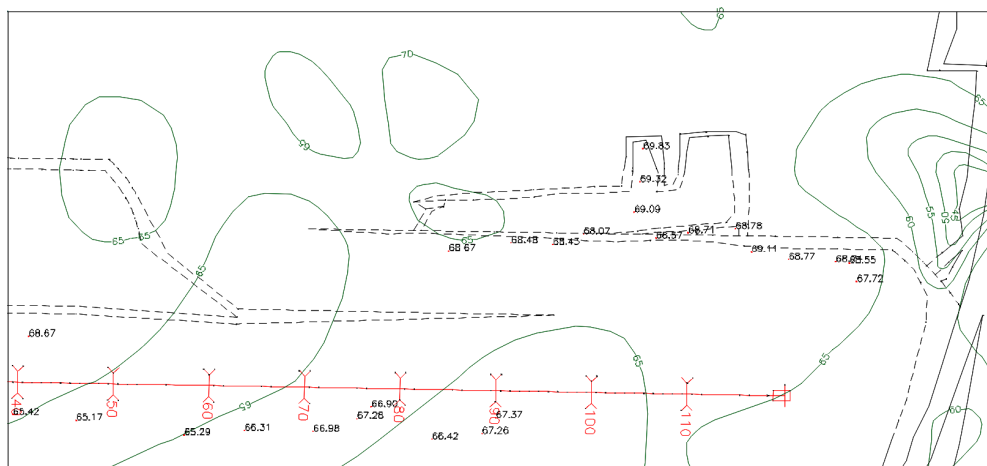
2. Dokładność rozpoznania złoża — aktualizacja modelu

Na obszarze złoża „Bełchatów” i wokół niego prowadzi się na bieżąco wiercenia i w związku z tym zasób danych gromadzonych w Jednolitej Bazie Danych Geologicznych, prowadzonej przez Dział Geologiczny PGE KWB „Bełchatów” SA i Poltegor-Instytut Wrocław, ciągle się powiększa. Kwartalnie przybywa około 80–100 otworów, dla których wprowadzane są m.in. informacje o przewiercanych warstwach (ich litologii i stratygrafii).

Ponadto służba geologiczna, w ramach swoich obowiązków, prowadzi bieżące kartowanie skarp wyrobisk, zamierza wychodnie głównych powierzchni litostratygraficznych oraz dokumentuje zmienność zalegania i jakość kopaliny głównej. Wielkość wydobycia kopalni (ok. 35 mln ton węgla na rok) powoduje szybki postęp frontów eksploatacyjnych, co przynosi dużą ilość nowych danych, które niejednokrotnie powodują zmiany w interpretacji litostratygrafii w otworach JBDG.

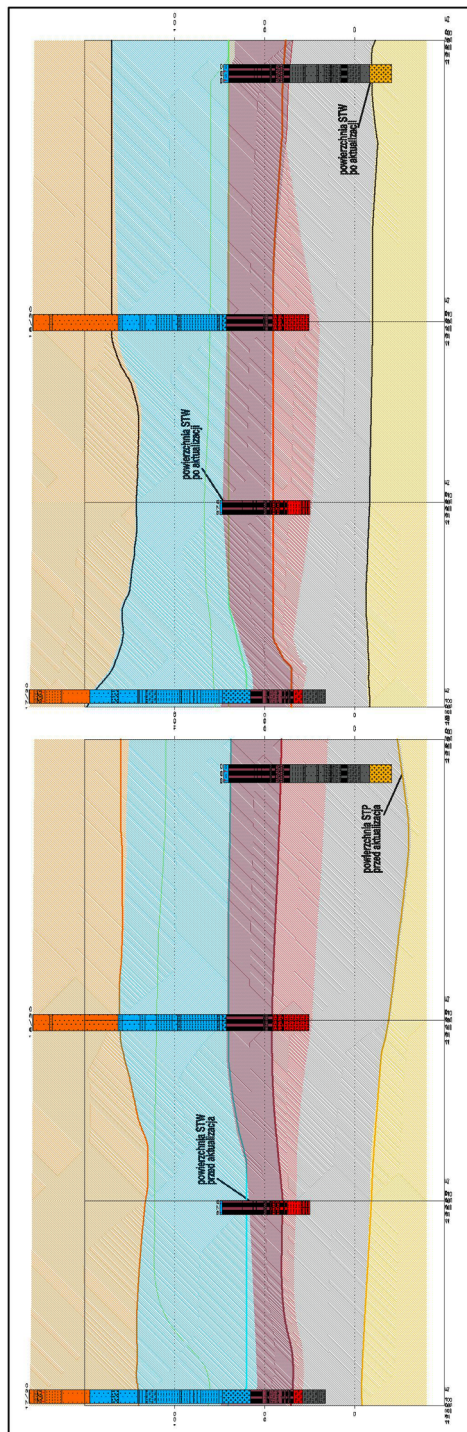


Rys. 1. Fragment kartowania geologicznego skarpy V poziomu P/Szczerców



Rys. 2. Fragment mapy stropu węgla z naniesionymi zamierzeniami GPS stropu węgla; w tle referencja mapy sztygarskiej

Poniżej przedstawiono przekrój przez model stratygraficzny warstw głównych wraz z zaznaczeniem powierzchni nadających trendy dla modelu sprzed aktualizacji oraz powierzchni uwzględniających nowo odwiercone otwory.



Rys. 3. Porównanie głównych powierzchni stratygraficznych przed aktualizacją modelu i po jego aktualizacji

Dane ze zbioru skróconych analiz węgla bazy Belchatów																
Nazwa obiektu	Miaższość [m]	Rzędne [m nrm]		Wilgotność str.rob. Wtr [%]	Popiół [%]			Wartościowa str.rob. [kcal/kg]			Naturalne		Siarka [%] str.rob. całkowita Str	Interp.		
					st.rob.	st.such.		Ar	A50	Ad	Qir	Qir50				Wlign [%]
		Strop	Spąg													
B99	3.0	84.2	81.2	51.10	12.60	12.90	25.80	1879	1934	52.40	1813	1.28	Węgiel bilansowy (przemysłowy)			
B99	3.0	81.2	78.2	50.50	10.30	10.40	20.80	2049	2075	53.48	1890	0.90	Węgiel bilansowy (przemysłowy)			
B99	3.0	78.2	75.2	54.70	11.00	12.10	24.20	1752	1994	52.75	1852	1.13	Węgiel bilansowy (przemysłowy)			
B99	2.6	75.2	72.6	53.10	13.20	14.10	28.20	1674	1823	51.88	1733	1.36	Węgiel bilansowy (przemysłowy)			
B99	1.4	72.6	71.2	52.30	25.10	26.30	52.60	840	908	46.58	1010	0.46	Węgiel bilansowy (przemysłowy)			
B99	2.0	71.2	69.2	52.60	15.50	16.30	32.60	1601	1721	50.92	1679	0.89	Węgiel bilansowy (przemysłowy)			
B99	3.0	69.2	66.2	55.90	10.60	12.00	24.00	1723	2031	52.79	1885	1.07	Węgiel bilansowy (przemysłowy)			
B99	3.0	66.2	63.2	57.60	8.00	9.50	19.00	1802	2230	53.87	2012	0.96	Węgiel bilansowy (przemysłowy)			
B99	3.0	63.2	60.2	55.30	9.10	10.20	20.40	1871	2162	53.57	1966	1.15	Węgiel bilansowy (przemysłowy)			
B99	1.8	60.2	58.4	56.20	9.60	11.00	22.00	1761	2093	53.22	1920	1.39	Węgiel bilansowy (przemysłowy)			
B99	0.1	58.4	58.3										Węgiel bilansowy (przemysłowy)			
B99	2.1	58.3	56.2	56.20	11.10	12.70	25.40	1625	1938	52.48	1813	1.55	Węgiel bilansowy (przemysłowy)			
B99	3.0	56.2	53.2	59.10	7.90	9.60	19.20	1672	2174	53.83	1963	1.89	Węgiel bilansowy (przemysłowy)			
B99	1.0	53.2	52.2	52.50	17.10	18.00	36.00	1449	1556	50.18	1548	1.59	Węgiel bilansowy (przemysłowy)			
B99	0.1	52.2	52.1										Skala płona			
B99	2.9	52.1	49.2	55.00	13.50	15.00	30.00	1521	1755	51.49	1685	2.27	Węgiel bilansowy (przemysłowy)			
B99	3.0	49.2	46.2	54.20	14.90	16.30	32.60	1526	1719	50.92	1677	1.60	Węgiel bilansowy (przemysłowy)			
B99	1.7	46.2	44.5	52.60	14.70	15.50	31.00	1566	1684	51.27	1626	1.72	Węgiel bilansowy (przemysłowy)			
B99	0.6	44.5	43.9										Inne			
B99	1.1	43.9	42.8	59.20	7.40	9.10	18.20	1781	2314	54.05	2079	1.38	Utwory zawęglone (węgiel pozabilansowy - nieprzemysłowy)			
B99	1.0	42.8	41.8										Inne			
B99	2.2	41.8	39.6	50.30	17.70	17.80	35.60	1650	1663	50.27	1651	2.23	Węgiel bilansowy (przemysłowy)			
B99	1.0	39.6	38.6	49.90	18.10	18.10	36.20	1600	1596	50.14	1590	3.07	Węgiel bilansowy (przemysłowy)			
B99	16.4	38.6	22.2										Skala płona			
Liczba obiektów: 1																
Liczba linii: 24																

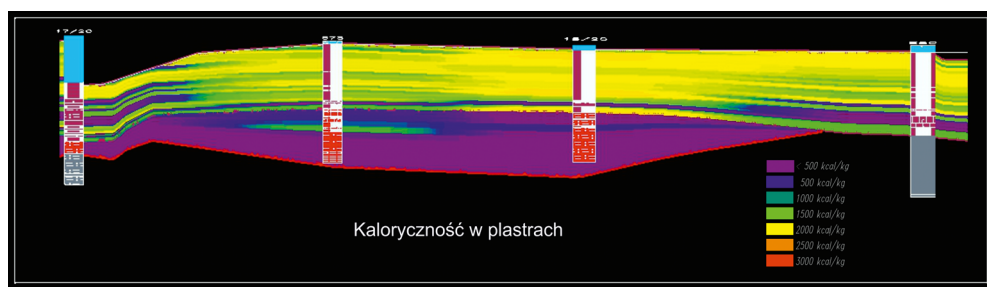
Rys. 4. Skrócone analizy chemiczne węgla dla wybranego otworu według bazy JBDG

Rzędne (wysokości n.p.m.) modelowanych powierzchni obliczane są na podstawie stwierdzeń otworowych oraz tych właśnie powierzchni trendów. Wynikowe powierzchnie zamodelowane przez komputer są zgodne z otworami, a ich przebieg pomiędzy otworami, jest współkształtny z powierzchniami trendów [1].

Znaczna część otworów zawiera dane dotyczące badań jakościowych węgla m.in. takich jak:

- wilgotność w stanie roboczym — Wtr , %,
- popiół w stanie roboczym — Ar , %,
- popiół przy wilgotności 50% — $Ar50$, %,
- popiół w stanie suchym — Ad , %,
- wartość opałowa w stanie rob. — Qir , MJ/kg,
- wartość opałowa przy wilg. 50% — $Qir50$, MJ/kg,
- wilgotność naturalna — $WilgN$, %,
- wartość opałowa naturalna — $KalN$, MJ/kg,
- siarka całkowita w stanie rob. — Str , %.

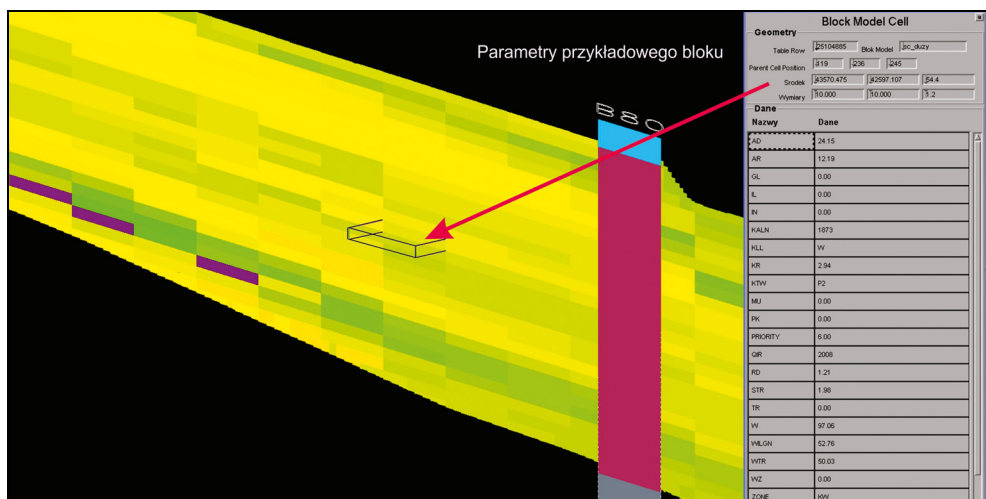
W modelu plastrowym węgla kompleks węglowy (pokład główny) oraz inne pokłady węgla (pokład A, kompleks węglowy nieproduktywny KWN) są dzielone na leżące bezpośrednio na sobie plastry. Generowane są one automatycznie tak, aby ich sumaryczna miąższość zawsze odpowiadała miąższości pokładu. Próby jakościowe uśredniane są dla każdego plastra. W ten sposób otrzymane średnie próby służą jako podstawa do interpolacji parametrów jakościowych w każdym plastrze osobno [3]. Poniżej na przekroju, za pomocą barw, oznaczone są różne przedziały kaloryczności.



Rys. 5. Przekrój przez model plastrowy

Model jakości węgla, obok modelu plastrowego, to również model blokowy ujmujący złożę w regularną strukturę wyrażoną przez dużą liczbę bloków o wymiarach zdefiniowanych przez użytkownika systemu.

W procesie interpolacji danych z prób jakościowych, każdemu blokowi przypisano określone wartości poszczególnych parametrów jakościowych. Trójwymiarowa natura modelu blokowego umożliwia otrzymywanie różnorodnych przekrojów geologicznych [3]. Pozwala też uzyskać możliwie dokładny obraz przebiegu wychodni i rozkładu jakości węgla na czole skarpy.



Rys. 6. Przekrój przez model blokowy

3. Wykorzystanie modeli geologicznych w celu prowadzenia racjonalnej gospodarki zasobami złoża

Przez wiele lat racjonalna gospodarka złożem rozumiana była przede wszystkim jako wydobywanie minimalizujące straty eksploatacyjne, powiązane z zagospodarowaniem kopalin towarzyszących. Warto podkreślić, że aktualne przepisy prawa w Polsce nakazują takie eksploataowanie złoża, które jest gospodarczo uzasadnione, ogranicza szkody w środowisku naturalnym oraz związane jest z racjonalnym wydobywaniem i zagospodarowaniem kopalin. Gospodarka złożem weryfikowana jest współcześnie przez rzeczywiście realizowaną gospodarkę kopalinami, która jest silniej powiązana z bodźcami i zjawiskami ekonomicznymi, przede wszystkim rynkowymi [4]. Racjonalna gospodarka złożem to również taki sposób projektowania eksploatacji a następnie jej prowadzenia, który nie przyczynia się do niepotrzebnych i nieuzasadnionych strat w zasobach.

Dzięki posiadaniu przez Kopalnię modelu geologicznego istnieje możliwość realizacji wielu zadań związanych z planowaniem krótko- i długookresowym, jak również z ustalaniem zmian powstałych w zasobach oraz ich ewidencji.

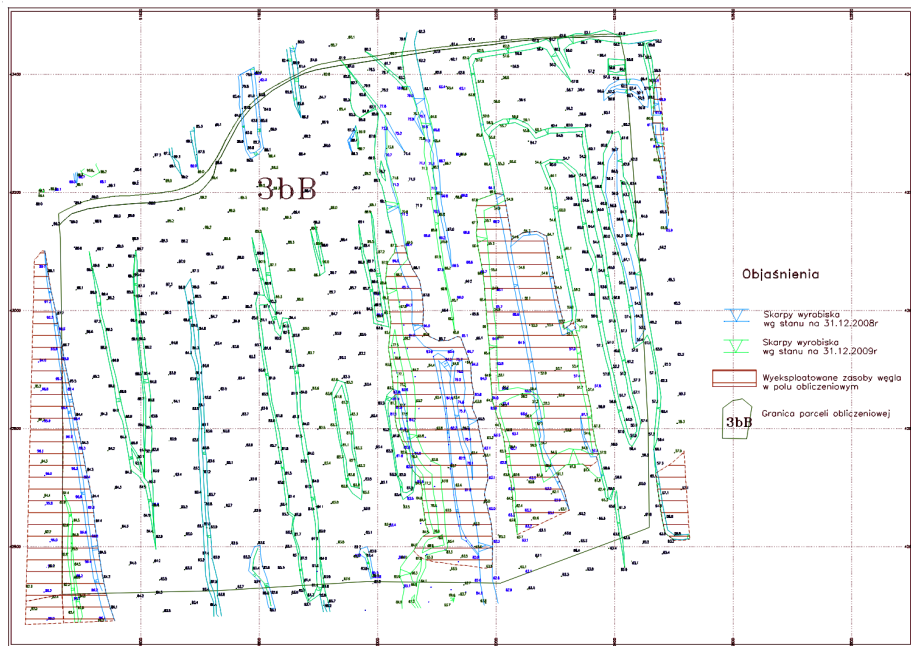
Operat ewidencyjny

Zgodnie z ustawą z dnia 4 lutego 1994 r. Prawo Geologiczne i Górnicze przedsiębiorca zobowiązany jest do prowadzenia ewidencji zasobów złoża. Polega ona na ustalaniu zmian w zasobach, których przyczyną może być m.in. dokładniejsze rozpoznanie złoża, eksploatacja złoża i straty spowodowane eksploatacją, zmiana granic lub podział złoża. Operaty ewidencyjne sporządzane są w ramach prowadzonej ewidencji zasobów złóż za okres sprawozdawczy od 1 stycznia do 31 grudnia roku poprzedniego.

Obliczeń dokonuje się w poszczególnych parcelach ustalonych w dokumentacji geologicznej, w rejonach prowadzonej eksploatacji, wykorzystując mapy sztygarskie w wersji elektronicznej sporządzone według stanu wyrobiska na dzień 1 stycznia (powierzchnia góry) oraz na dzień 31 grudnia (powierzchnia dołu).

Powierzchniami dołu i góry oraz obwiednią parceli „wycinamy” z modelu bryłę, wewnątrz której dokonuje się obliczeń ilości oraz jakości węgla. W tej samej przestrzeni analizuje się rzeczywiste wydobycie węgla według danych z raportów Centrum Operatywnego Kierowania Ruchem. Różnicę pomiędzy tymi obliczeniami stanowią straty eksploatacyjne w zasobach, które wynikają głównie z przyjętej technologii prowadzenia robót górniczych, ukształtowania stropu i spagu pokładu oraz obecności przerostów w pokładzie.

Na rysunku 7 przedstawiono fragment mapy obliczenia zasobów złoża z dokumentacji geologicznej z naniesionymi zmianami w blokach obliczeniowych.



Rys. 7. Fragment mapy sporządzonej w celu wykonania operatu ewidencyjnego zasobów

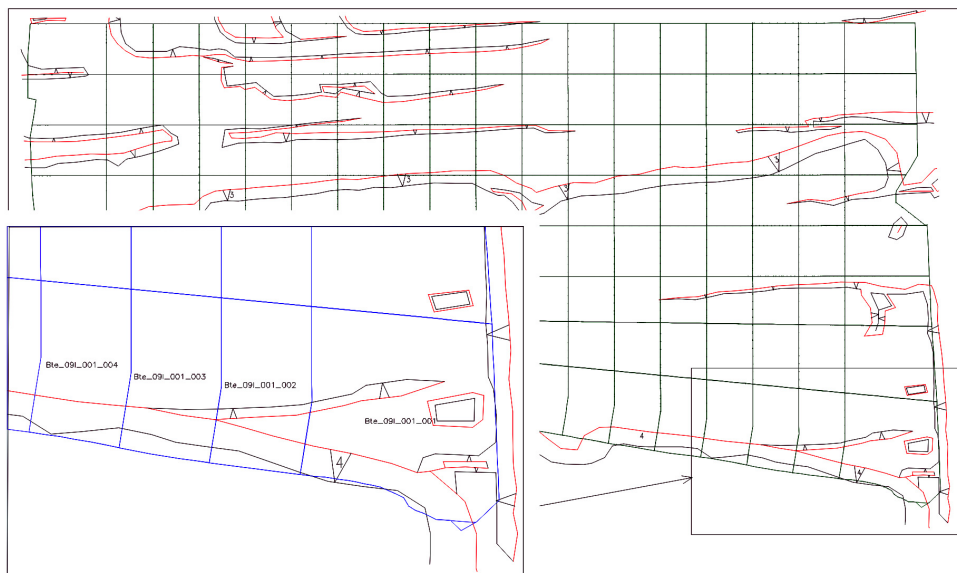
TABELA 1

Rozliczenia zasobów geologicznych

Numer bloku obliczeniowego według numeracji i oznaczeń użytych w PZZ	Stan zasobów na: 31.12.2008 r. w odniesieniu do obliczeń w PZZ			Ubytek zasobów w 2009 r.				Stan zasobów na 31.12.2009 r.			
	bilansowe			łącznie	w tym: w wyniku			bilansowe			
	łącznie	w tym:		z bloków obliczeniowych pozabilansowych	8	przeklasyfikowania zasobów	eksploatacji i strat z nią związanych	z bloków obliczeniowych	z bloków obliczeniowych pozabilansowych	łącznie	
		z bloków obliczeniowych	z bloków obliczeniowych								
1	2	2a	2b	7	9	10	11a	11b	11		
1 bB	27 157	27 022	135	1 032	0	1 032	25 990	135	26 125		
2 bB	20 064	19 947	117	3 452	0	3 452	16 612	0	16 612		
3 bB	50 055	50 055	0	931	0	931	49 124	0	49 124		
4 bB	57 311	57 164	147	234	0	234	56 930	147	57 077		
5 bB	20 608	20 608	0	6 022	0	6 022	14 586	0	14 586		
6 bB	47 763	47 605	158	4 762	0	4 762	42 867	134	43 001		
7 bB	18 553	18 553	0	4 001	0	4 001	14 552	0	14 552		
8 bB	24 175	24 001	174	3 075	0	3 075	21 030	70	21 100		
9 bB	20 984	20 984	0	5 060	0	5 060	15 924	0	15 924		
10 bB	40 544	40 544	0	4 620	0	4 620	35 924	0	35 924		
11 bB	4 396	4 396	0	0	0	0	4 396	0	4 396		
12 bB	176	176	0	0	0	0	176	0	176		
13 bB	7 474	7 474	0	847	0	847	6 627	0	6 627		
14 bB	709	709	0	0	0	0	709	0	709		
15 bB	487	487	0	487	0	0	0	0	0		
Razem	340 456	339 725	731	34 523	487	34 036	305 447	486	305 933		

Planowanie długoterminowe

Posiadanie modelu geologicznego, w tym zwłaszcza plastrowego i blokowego, daje możliwość projektowania długoterminowego w części dotyczącej obliczenia ilości zasobów i ich parametrów jakościowych z dużą dokładnością i precyzją. Prognoza ta obejmuje realizację robót górniczych planowanych na okres zimy (w terminie październik–marzec). Dział Technologii Górniczej sporządza graficzną wizualizację postępów urabianych zabiegów dla danego poziomu eksploatacyjnego z podziałem na sektory.



Rys. 8. Zakres projektowanych robót dla poziomu IX z podziałem na sektory

Każdy projektowany poziom eksploatacyjny składa się z obwiedni poziomu, krawędzi i warstw dna poziomu, stanu „po przejściu” projektowanego poziomu. Stan ten powstaje poprzez zastąpienie w granicy obwiedni stanu geodezyjnego stanem projektowym [2].

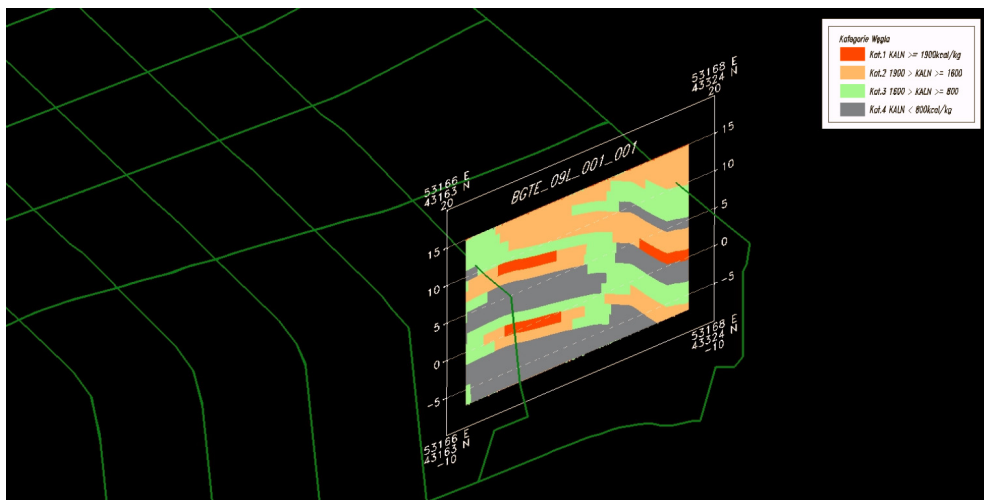
Dział Geologiczny dokonuje obliczeń, w podanym zakresie, dotyczących zarówno parametrów węgla jak i objętości nadkładu z podziałem na klasy litologiczne oraz skał trudno-urabialnych. Wyniki zestawiane są w formie tabelarycznej zawierającej dużą ilość szczegółowych danych, ponieważ uzyskuje się je osobno dla poszczególnych kategorii węgla (P1–P5) dla danej zabierki.

Kategoryzacja następuje ze względu na przedziały kaloryczności (dokładniejszy opis w dalszej części).

Na rysunku 9 przedstawiono przekrój przez stratmodel z uwidocznionymi kategoriami węgla, poprowadzony przez sektor pokazany w tabeli 2.

TABELA 2
Kategorie P1-P5 dla wybranego sektora poziomu IX P/Belchatów

sektor BTE_09L_001_001						
kategorie węgla P1-P5	P1_VOLUME	P1_MASS	P1_KALN	P1_AR	P1_STR	P1_WILGN
	66	83	1971	22.46	0.37	54.58
	P2_VOLUME	P2_MASS	P2_KALN	P2_AR	P2_STR	P2_WILGN
	78	97	1776	20.69	0.5	52.53
	P3_VOLUME	P3_MASS	P3_KALN	P3_AR	P3_STR	P3_WILGN
	24	30	1546	27.98	0.39	50.69
	P4_VOLUME	P4_MASS	P4_KALN	P4_AR	P4_STR	P4_WILGN
10	12	730	26.31	0.42	52.48	
P5_VOLUME	P5_MASS	P5_KALN	P5_AR	P5_STR	P5_WILGN	
-	-	-	-	-	-	-
klasy litologii	WZ	PK	IL	MU	GL	KR
	0	3	10	36	0	0
sumy	TOTAL	COAL	COAL	COAL	COAL	COAL
	VOLUME	VOLUME	MASS	STR	KALNC	KALNJ
226	178	213	0.43	1819	7618	53.07



Rys. 9. Przekrój przez stratamodel

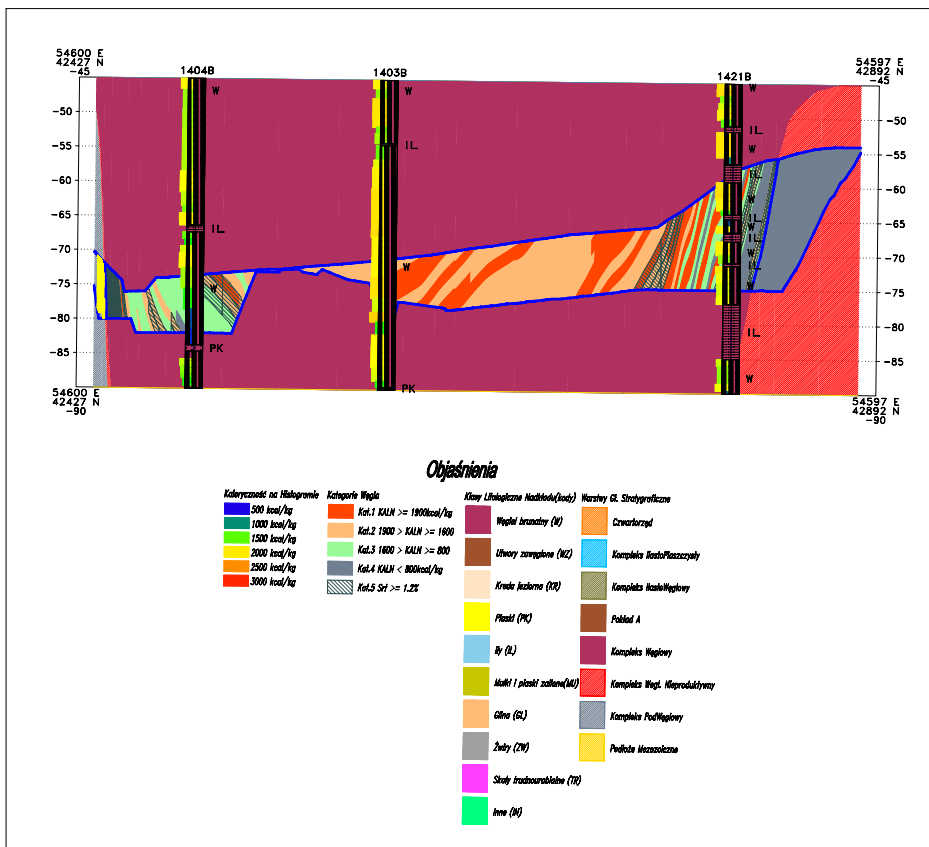
Następnie dokonuje się selekcji oraz podsumowań otrzymanych wyników zestawiając średnie ważone parametrów jakościowych węgla. Obliczone zasoby dla danego zakresu służą do harmonogramowania robót z wyszczególnieniem zasobów dla danych bloków (sektorów).

Planowanie krótkoterminowe (plany pracy koparek)

Projektowanie długoterminowe, opisane powyżej, jak i projektowanie krótkoterminowe (operatywne) są nierozdzielnie ze sobą związane. Plany krótkookresowe — plany pracy maszyn podstawowych — są wykonywane dla wszystkich poziomów odkrywki i zwałowiska. Ilość wykonywanych planów pracy (ok. 60 rocznie), a także duża pracochłonność ich sporządzania wymusiła, aby do ich szybszego wykonywania używać technik komputerowych [2]. Plan pracy zawiera między innymi informacje dotyczące aktualnej geometrii odkrywki, lokalizacji otworów wiertniczych, sprzętu pozostawionego w otworach a stanowiącego zagrożenie dla prowadzenia ruchu, wyznaczenia sektorów obliczeniowych wraz z parametrami węgla oraz stratygrafii, litologii i jakości węgla przedstawione na przekroju geologicznym prowadzonym wzdłuż dolnej krawędzi skarpy projektowanej. Do sporządzenia takiego projektu, ponownie niezbędnym okazuje się dysponowanie aktualnym i dokładnym modelem złoża.

Przekrój geologiczny zamieszczany na planach pracy, to efekt nałożenia na siebie kilku warstw zawierających informacje o:

- klasach litologii — pochodzące z modelu blokowego;
- stratygrafii — pochodzące z modelu stratygraficznego;
- jakości węgla z podziałem na kategorie kaloryczności i zasiarczenia — z modelu plastrowego;



Rys. 10. Przekrój do planu pracy koparki — poziom B.121

Na podstawie modelu złoża dokonuje się obliczenia ilości węgla z podziałem na plastry zgrupowane w zależności od kaloryczności i zawartości siarki i zaliczane do umownie zdefiniowanych kategorii produktów (węgla):

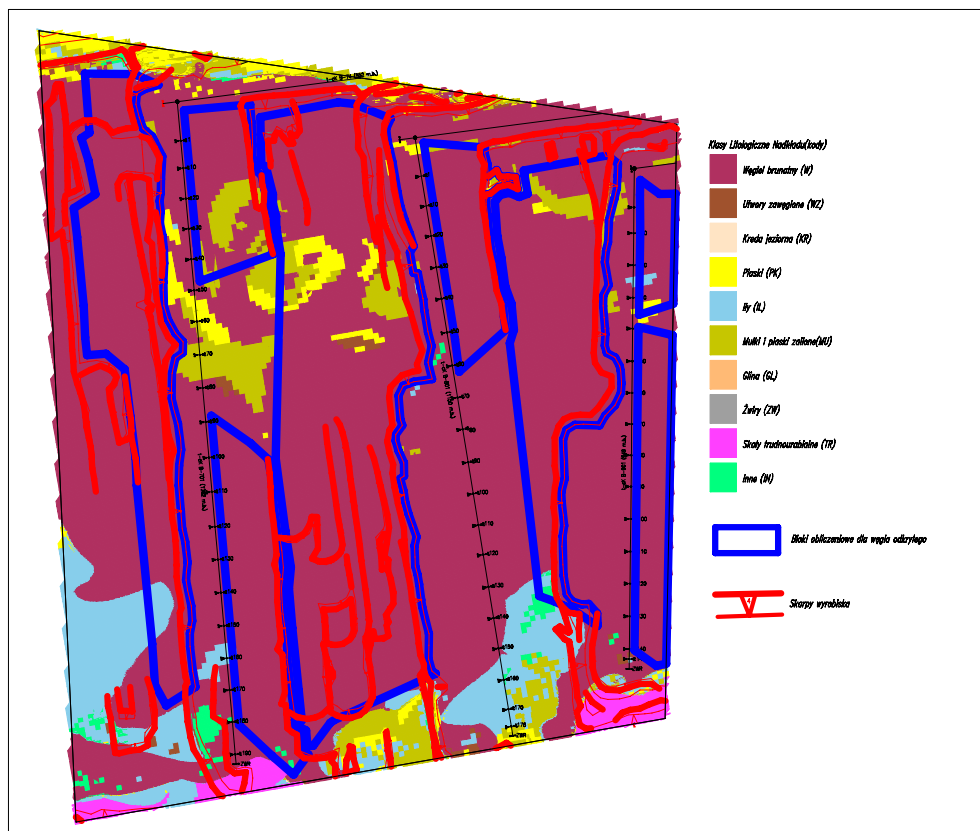
- Kategoria 1 (P1) — $KALN \geq 1900$ kcal/kg;
- Kategoria 2 (P2) — $1900 > KALN \geq 1600$;
- Kategoria 3 (P3) — $1600 > KALN \geq 800$;
- Kategoria 4 (P4) — $KALN < 800$ kcal/kg;
- Kategoria 5 (P5) — $Str \geq 1,2\%$.

oraz objętości nadkładu z podziałem na klasy litologiczne, które zamieszcza się na planach pracy koparek.

Zapasy węgla odkrytego i gotowego

Zgodnie z instrukcją obliczania zapasów węgla w KWB „Bełchatów” z 1982 roku, w cyklach miesięcznych, dokonuje się obliczeń zapasów węgla odkrytego i zapasów węgla gotowego.

Przez zasoby węgla odkrytego należy rozumieć ilość węgla, z którego całkowicie zdjęto nadkład, przy uwzględnieniu możliwości wystąpienia w tym węglu przerostów nadkładu o miąższości do 1,5 m.



Rys. 11. Fragment mapy sporządzonej w celu obliczenia zapasów węgla

Węgiel gotowy jest to część zapasów węgla odkrytego, która może być wydobyta z danego piętra przy zachowaniu stateczności skarp i zboczy wyrobiska odkrywkowego, prawi-

dłowych warunków organizacyjnych oraz bezpieczeństwa pracy maszyn i urządzeń eksploatacyjnych.

Obliczenia zapasów węgla, w ubiegłych latach, przed pojawieniem się modelu, wymagały dużego nakładu pracy. Wykonywano je ręcznie, na papierowych mapach sztygarskich, często przy użyciu planimetru obliczając pole powierzchni pomiędzy aktualnym położeniem skarpy danego piętra eksploatacyjnego a jej położeniem wykreślonym od dolnej krawędzi skarpy piętra wyżej leżącego. Węgiel odkryty oblicza się dla całej wysokości danego piętra jeżeli występuje w nim wyłącznie węgiel lub warstwy węgla spełniające kryteria bilansowości, poprzedzielane przerostami nadkładu o miąższości do 1,5 m.

Obecnie zapasy węgla odkrytego i gotowego obliczane są metodami cyfrowymi na podstawie zaktualizowanych modeli złoża, aktualnych map wyrobiska i mapy stanu robót górniczych na koniec eksploatacji.

Bloki obliczeniowe dla węgla odkrytego tworzymy poprzez wygenerowanie śladów spągu i stropu pokładu węgla na powierzchni wyrobiska poprzez przecięcie aktualnych powierzchni wyrobiska z powierzchnią spągu pokładu oraz aktualnych powierzchni wyrobiska z powierzchnią stropu pokładu.

Na podstawie bloków obliczeniowych wyznaczonych dla węgla odkrytego i ustalonych pasów bezpieczeństwa wyznacza się parcele dla węgla gotowego.

LITERATURA

- [1] *Frankowski R., Gądek A.*: Cyfrowy model stratygraficzny złoża węgla brunatnego stworzony przy użyciu oprogramowania górniczego „Minescape” firmy Mincom. Materiały konferencyjne: IV Międzynarodowy Kongres Górnictwa Węgla Brunatnego — Bełchatów 6–8.06.2005
- [2] *Frankowski R., Gądek A., Sośniak E.*: Krótkookresowe planowanie robót górniczych z wykorzystaniem oprogramowania Minescape w BOT KWB „Bełchatów” SA – Materiały konferencyjne: V Międzynarodowy Kongres Górnictwa Węgla Brunatnego — Bełchatów 11–13.06.2007
- [3] *Frankowski R., Gądek A.*: Aktualizacja modelu stratygraficznego złoża węgla brunatnego Bełchatów — pole Bełchatów przy użyciu oprogramowania Mincom - Materiały konferencyjne: VI Międzynarodowy Kongres Górnictwa Węgla Brunatnego — Bełchatów 18–20.05.2009
- [4] *Szamalek K.*: Cykle koniunkturalne a strategię działania w sektorze mineralnym — *Gospodarka Surowcami Mineralnymi*, Tom 24, Zeszyt 2/4, 2008