

## ROZPOZNANIE WARUNKÓW GEOLOGICZNYCH WYSTĘPOWANIA WĘGLA KOKSOWEGO W REJONIE JASTRZĘBIA DLA POTRZEB PROJEKTU „INTELIĞENTNA KOKSOWNIA”

### THE RECOGNITION OF GEOLOGICAL CONDITIONS OF COKING COAL OCCURRENCE IN THE JASTRZĘBIE AREA FOR THE PROJECT: SMART COKE PLANT FULFILLING REQUIREMENTS OF BEST AVAILABLE TECHNIQUES

KRYSTIAN PROBIERZ<sup>1</sup>, MAREK MARCISZ<sup>1</sup>, ALEKSANDER SOBOLEWSKI<sup>2</sup>

**Abstrakt.** Zaprezentowano wyniki badań obejmujących wertykalne i lateralne zmiany parametrów jakości węgla na monoklinie Zofiówka, zlokalizowanej w SW części GZW, ze złożami kopalń Zofiówka i Pniówek o podstawowym znaczeniu dla bazy zasobowej polskich węgla koksowych. Rezultaty uzyskano w ramach, realizowanego od 2008 r., projektu badawczego „Inteligentna koksownia spełniająca wymagania najlepszej dostępnej techniki”, finansowanego ze środków POIG. W początkowym etapie projektu pt. „Zintegrowany system rozpoznania i oceny przydatności technologicznej węgla oparty na prognostycznym modelowaniu jakości otrzymywanego koksu” przyjęto założenie, że „prawidłowe zarządzanie złożem węgla” wymaga połączenia procedury rozpoznawania warunków geologiczno-górnictwowych występowania węgla koksowych z rozpoznaniem możliwości technicznych kopalń i logistyką wydobycia węgla o pożądanej przydatności technologicznej. Wykonanie tego zadania wymaga dobrej znajomości wielkości i jakości bazy zasobowej węgla koksowych GZW. Wobec przewidywanego kilkudziesięcioletniego okresu produkcji koksu, koniecznością stało się sporządzanie wiarygodnych i weryfikowalnych prognoz zmian jakości węgla w złożu (wertykalnych i lateralnych) oraz węgla koksowego dostarczanego odbiorcom. Spełnienie wymagań stawianych wobec geologii górnictwowej i złożowej umożliwiło skonstruowanie cyfrowej bazy danych o jakości węgla koksowego. Baza ta bieżąco aktualizowana, umożliwia m.in. konstrukcję cyfrowych map parametrów jakości. Realizacja projektu wpływa na efektywniejsze gospodarowanie zasobami węgla zaś producentom koksu przybliża możliwości kopalń w zakresie dostarczania węgla o pożądanej przez nich jakości. Producenci węgla uzyskują natomiast lepszą orientację, co do wymagań jakościowych stawianych przez producentów koksu. Złoża monokliny Zofiówki charakteryzują się bowiem znaczną zmiennością jakości i stopnia uwęglenia, a także specyficzną budową petrograficzną, m.in. podwyższonym udziałem macerałów grupy inertynitów. W pracy przedstawiono zakresy i kierunki zmienności parametrów jakości węgla w złożu.

**Słowa kluczowe:** węgiel koksowy, rozpoznanie parametrów jakości węgla, monoklina Zofiówki, Górnośląskie Zagłębie Węglowe.

**Abstract.** The paper presents the results concerning vertical and lateral variability of coking coal quality in the Zofiówka Monocline (SW part of USCB). In this area, the Zofiówka and Pniówek coal mines are located. They are of primary importance for the resources of coking coals in Poland. The results were obtained within a framework of the project entitled “Smart coke plant fulfilling requirements of best available techniques”, financed by EU means. The procedure for the recognition of geological-mining conditions of coking coals occurrence, technical possibilities of coal mines and logistics of coal extraction were combined. Fulfillment of requirements for mining and ore geology makes possible to do a digital database on coking coal quality. Implementation of the project allows for a more efficient management of resources, and coke producers have possibilities of coal mines to deliver coal of desirable quality. The deposit of the Zofiówka Monocline is characterized by a wide variability of coal quality and rank and specific petrographic composition (increase of inertinite macerals content and presence of fluorescence bituminous substance). The paper shows the range and directions of changes of coal quality parameters in the deposit.

**Key words:** coking coal, coal quality parameters, Zofiówka Monocline, Upper Silesian Coal Basin.

<sup>1</sup> Politechnika Śląska, Wydział Górnictwa i Geologii, Instytut Geologii Stosowanej, ul. Akademicka 2, 44-100 Gliwice; e-mail: krystian.probierz@polsl.pl; marek.marcisz@polsl.pl

<sup>2</sup> Instytut Chemicznej Przeróbki Węgla, ul. Zamkowa 1, 41-803 Zabrze; e-mail: asob@ichpw.zabrze.pl

## WSTĘP

Wielkość krajowej bazy zasobowej węgla koksowych jest ograniczona, co dotyczy szczególnie węgla ortokoksowych typu 35 według Polskiej Normy. Występowanie tych węgla, po likwidacji kopalni Gliwice, w której występują węgle koksowe o najlepszych w Europie parametrach jakościowych, sprowadza się głównie do obszaru Jastrzębia, w którym funkcjonują kopalnie należące do Jastrzębskiej Spółki Węglowej S.A. (JSW S.A.). Węgla o parametrach zbliżonych do typu 35 zaczynają się pojawiać także w kopalniach Kompanii Węglowej, m.in. KWK Szczygłowice.

Polska ma dobrze rozwinięty i o dużych możliwościach rozwoju przemysł koksowniczy. Jest też największym na świecie eksporterem koksu, w 2010 r. eksport wynosił 6,6 mln Mg (przy produkcji około 9,8 mln Mg i możliwościach produkcyjnych dochodzących do 11 mln Mg rocznie). Niewątpliwym wpływem na te rezultaty miała niezwykle korzystna światowa koniunktura na wyroby stalowe i związane z nią wysokie ceny koksu.

Aktualnie znana wielkość bazy zasobowej węgla koksowych, w kraju, nie pozwala na zaspokojenie w pełni potrzeb przemysłu, zwłaszcza przy rosnących wymaganiach jakościowych w stosunku do koksu kierowanego na eksport, zaś dotychczasowa znajomość budowy geologicznej złóż węgla nie daje pomyślnych perspektyw dla istotnego powiększenia zasobów złóż. Zmusza to producentów do wytwarzania koksu z odpowiednio sporządzanych, i o określonych właściwościach, mieszanek węgla różnych typów technologicznych. Przy doborze komponentów koksowniczych mieszanek wsadowych oraz ustalaniu ich wzajemnych proporcji decydującymi czynnikami są aktualna cena, podaż i jakość węgla koksujących, warunkujące produkowanie koksu o pożądanym parametrach.

Podjęcie w ostatnich latach szerokich programów inwestycyjnych w produkcji koksu, m.in. nowe baterie koksownicze o okresie eksploatacji powyżej 35 lat, stawia przed krajowym górnictwem wymóg niezawodnego zapewnienia dostaw węgla koksowych w perspektywie co najmniej do roku 2040–2050. I to węgla o pożądanym, a co najmniej znanej z góry jakością. Niespełnienie tych wymagań przez producentów węgla może spowodować, jako alternatywę, znaczne zwiększenie importu węgla.

Dla celów rozwojowych przemysłu koksowniczego, i nie tylko, realizowany jest w Polsce od 2008 r. projekt badawczy, którego celem jest opracowanie efektywnych i ekologicznych rozwiązań służących rozwojowi polskiego koksownictwa w oparciu o najnowocześniejsze technologie, także te przyszłościowe. Projekt „Inteligentna koksownia spełniająca wymagania najlepszej dostępnej techniki” (IK) oparty na współpracy nauki z przemysłem i finansowany w większości ze środków Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego, realizowany jest w ramach Programu Operacyjnego „Innowacyjna Gospodarka”.

Ważne dla projektu zadania, często nowe, które wymagały rozwiązania jako pierwsze, postawiono przed geologią stosowaną, szczególnie z zakresu geologii górniczej i złóż węgla Górnośląskiego Zagłębia Węglowego (GZW). W założeniach projektu przyjęto, że „prawidłowe zarządzanie złożem węgla”, poza rozpoznaniem powszechnie uwzględnianych w praktyce kopalń GZW czynników geologiczno-górniczych, możliwości technicznych i logistyką wydobycia oraz kosztami produkcji, musi także w szczególny sposób uwzględniać możliwie jak najlepszą znajomość przydatności technologicznej węgla dla produkcji koksu. W ramach projektu IK realizowana jest koncepcja zintegrowanego systemu rozpoznania i oceny przydatności technologicznej węgla, łącząca w sposób kompleksowy geologiczne rozpoznanie złoża węgla koksowego z możliwościami wydobywczymi kopalń w zakresie dostarczania węgla o określonej przydatności technologicznej do produkcji koksu.

Lepsza znajomość jakości węgla w złożu, jeden z rezultatów projektu, umożliwi bardziej efektywne gospodarowanie jego zasobami. Dotyczy to zarówno aktualnie eksploatowanych pokładów, jak i uruchomienia produkcji z nowych partii złoża. Wobec przewidywanego kilkudziesięcioletniego okresu produkcji koksu koniecznością stało się zatem sporządzanie, m.in. wiarygodnych i weryfikowalnych prognoz zmian jakości węgla w złożu zarówno lateralnych, jak i wertykalnych, a także względem węgla koksowego dostarczanego odbiorcom. Spełnienie wymagań stawianych wobec geologii górniczej i złożowej wymagało utworzenia cyfrowej bazy danych o jakości węgla koksowego w złożu. Baza ta bieżąco aktualizowana, umożliwi m.in. konstrukcję cyfrowych map parametrów jakości.

Jednym z ważniejszych wyników projektu jest także lepsze wzajemne poznanie uwarunkowań procesu produkcyjnego partnerów, tj. zakładów wydobywczych i producentów koksu. Z jednej strony producentom koksu przedstawiono możliwości dostarczania przez kopalnie produktu o określonej jakości, co wynika zarówno z oddziaływania procesów geologicznych kształtujących jakość węgla w złożu, jak i z przyjętych przez przemysł wydobywczy i możliwych do stosowania w warunkach GZW systemów eksploatacji węgla. Z drugiej strony kopalnie zostały lepiej poinformowane o wymaganiach producentów koksu odnośnie jakości węgla. Dotychczas oczekiwania producentów koksu, jak i możliwości wydobywania węgla o pożądanym jakości, są określane i realizowane poprzez stosowanie PN-82/G-97002. Producenci dostarczali produkt, który zasadniczo spełniał kryteria stosowane w tej normie, jednakże wielokrotnie wskazywana niejednoznaczność oznaczeń węgla według tej PN, a także brak oznaczeń niektórych ważnych dla koksownictwa parametrów, znacznie ograniczają jej przydatność i wymuszają wręcz jej rewizję lub modyfikację, albo skorzystanie z innych kodyfikacji (Probierz i in., 2006; Probierz, Marcisz, 2010b).

## CHARAKTERYSTYKA GEOLOGICZNA OBSZARU BADAŃ

Rozpoznanie warunków geologicznych występowania węgla koksowego w rejonie Jastrzębia dla potrzeb projektu IK obejmowało tzw. monoklinę Zofiówki, która jest zlokalizowana w południowo-zachodniej części GZW (fig. 1). Występujące w tej strukturze złoża kopalń KWK Zofiówka i KWK Pniówek mają podstawowe znaczenie dla bazy zasobowej polskich węgla koksowych. Charakteryzują się jednakże znaczną zmiennością jakości i stopnia uwęglenia, a także specyficzną budową petrograficzną, m.in. podwyższonym udziałem macerałów grupy inertynitu i obecnością fluoryzującej substancji bitumicznej (Gabzdyl, Probierz, 1987, 1990; Probierz, 1989; Probierz i in., 2006; Komorek i in., 2010). W bezpośrednim sąsiedztwie obszaru badań w złożu zlikwidowanej kopalni Moszczenica stwierdzono także występowanie złoża antracytów, współwystępujących pośród węgla koksowych (Gabzdyl, Probierz, 1987; Probierz, 1989).

Do rozpoznania zmienności jakości węgla występujących w tych złożach wykorzystano dotychczasowe prace związane z tematyką i obszarem złożowym. Przeanalizowano bogate materiały archiwalne KWK Zofiówka i Pniówek oraz innych zakładów górniczych rejonu Jastrzębia, obejmujące m.in.: dokumentację geologiczną (DG) wraz z załącznikami, projekty zagospodarowania złóż (PZZ) wraz z załącznikami, operaty ewidencyjne zasobów, mapy pokładowe i poziome, karty i profile otworów wiertniczych wraz z ich dokumentacją, karty analiz próbek węgla. Uwzględniono także osiągnięcia geologii złóż węgla dotyczące możliwości wyznaczania trendów zmian (wertykalnych i lateralnych) poszczególnych parametrów jakości, związanych zarówno ze stopniem uwęglenia (metamorfizm i pole uwęglenia), jak i składem petrograficznym węgla (m.in. Stach i in., 1982; Gabzdyl, Probierz, 1987, 1990; Gabzdyl, 1989; Probierz, 1989; Taylor i in., 1998; Probierz, Zając, 2002; Gabzdyl

i in., 2003; Probierz, Marcisz, 2004a, 2010a, c; Probierz i in., 2006; Komorek i in., 2010; Marcisz, 2010a, b).

W profilu litostratygraficznym obszaru badań występują utwory produktywne karbonu oraz utwory nadkładu, głównie trzeciorzędu i podrzędnie czwartorzędu, o zmiennej grubości dochodzącej do ponad 850 m. Produktywne utwory karbonu wykazują, podobnie jak w innych częściach GZW, charakterystyczną dwudzielność, dolna część tych utworów (namur A, serpuchow) wykazuje cechy serii paralicznej, zaś górna część (namur B, C i westfal A, baszkir) to kontynentalne osady limniczne. W profilu utworów karbońskich rejonu badań część paraliczną reprezentuje grupa warstw brzeżnych (seria paraliczna), tj. pietrzkowickie, gruszowskie, janklowieckie oraz porębskie, zaś utwory limniczne to warstwy zabrskie siodłowe (namur B) i warstwy rudzkie *s. stricte* (namur C), tworzące górnośląską serię piaskowcową oraz warstwy załęskie (westfal A), stanowiące dolną część serii mułowcowej. Grupa warstw brzeżnych, zbudowana głównie z iłowców i mułowców, występuje na całym obszarze badań, lecz najpełniejszy jej rozwój stwierdzono w obrębie niecki chwałowickiej i jejkowickiej. W obszarze badań warstwy porębskie zostały stwierdzone jedynie na podstawie danych z otworów wiertniczych. Wybitnie piaskowcowe ogniwo z nielicznymi, lecz grubymi pokładami węgla – warstwy zabrskie (pokłady 501–510) występuje głównie w obszarze niecki głównej, a także w niecce chwałowickiej i jejkowickiej. Warstwy te cienieją wyraźnie w kierunku wschodnim GZW, zaś w obszarze badań ich grubość wynosi 130–220 m. Przewagę piaskowców nad mułowcami i iłowcami wykazują także warstwy rudzkie (pokłady 420–407), osiągające miąższość do 600 m. W warstwach załęskich o grubości w obszarze badań ponad 400 m (co dotyczy serii z pokładami 407–401 oraz pokładów 401–350) przeważają utwory iłowcowo-mułowcowe, występujące pośród licznych i głównie cienkich pokładów węgla (Gabzdyl, 1989; Probierz, 1989). Granice zasięgu poszczególnych warstw w obszarze badań przedstawia figura 2.

Analiza budowy geologicznej złoża wykazuje, że warstwy monokliny Zofiówki o ogólnej rozciągłości zbliżonej do NNE–SSW i zapadające na ESE pod kątem 5–20°, stanowią wschodnią kontynuację fałdu Jastrzębia. Ważnym elementem tektoniki obszaru badań, położonego na granicy strefy tektoniki fałdowej i niecki głównej, jest obecność deformacji ciągłych – antykliny i synkliny Jastrzębia (fig. 2). Wykazują one podobny przebieg do występującego na zachodzie nasunięcia (zaburzenia) orłowsko-boguszowickiego, stanowiącego zarazem zachodnią granicę obszaru badań. Antyklina Jastrzębia, której zachodnie skrzydło jest bardziej strome, przechodzi w kierunku wschodnim w monoklinę Zofiówki. Monoklina ograniczona jest od zachodu, przy granicy z kopalnią Jas–Mos, wychodniami pokładów węgla, związanymi z erozyjną (?) rynną Zofiówki o przebiegu południkowym i deniwelacjach dochodzących do >500 m. Duże zróżnicowanie powierzchni morfologicznej utworów karbonu i występowanie licznych rynien erozyjnych wydaje się

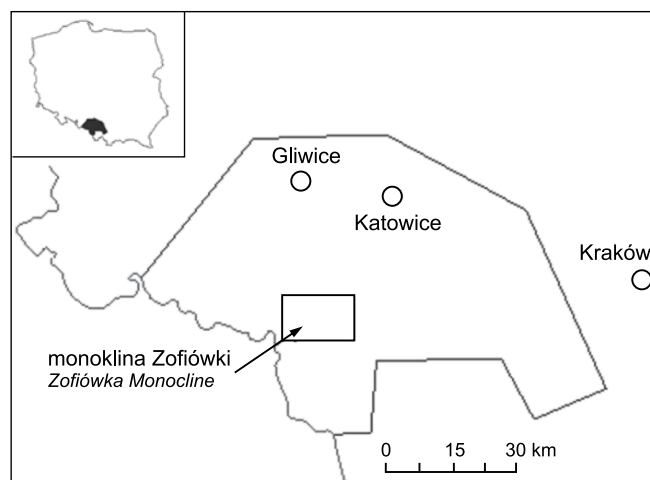
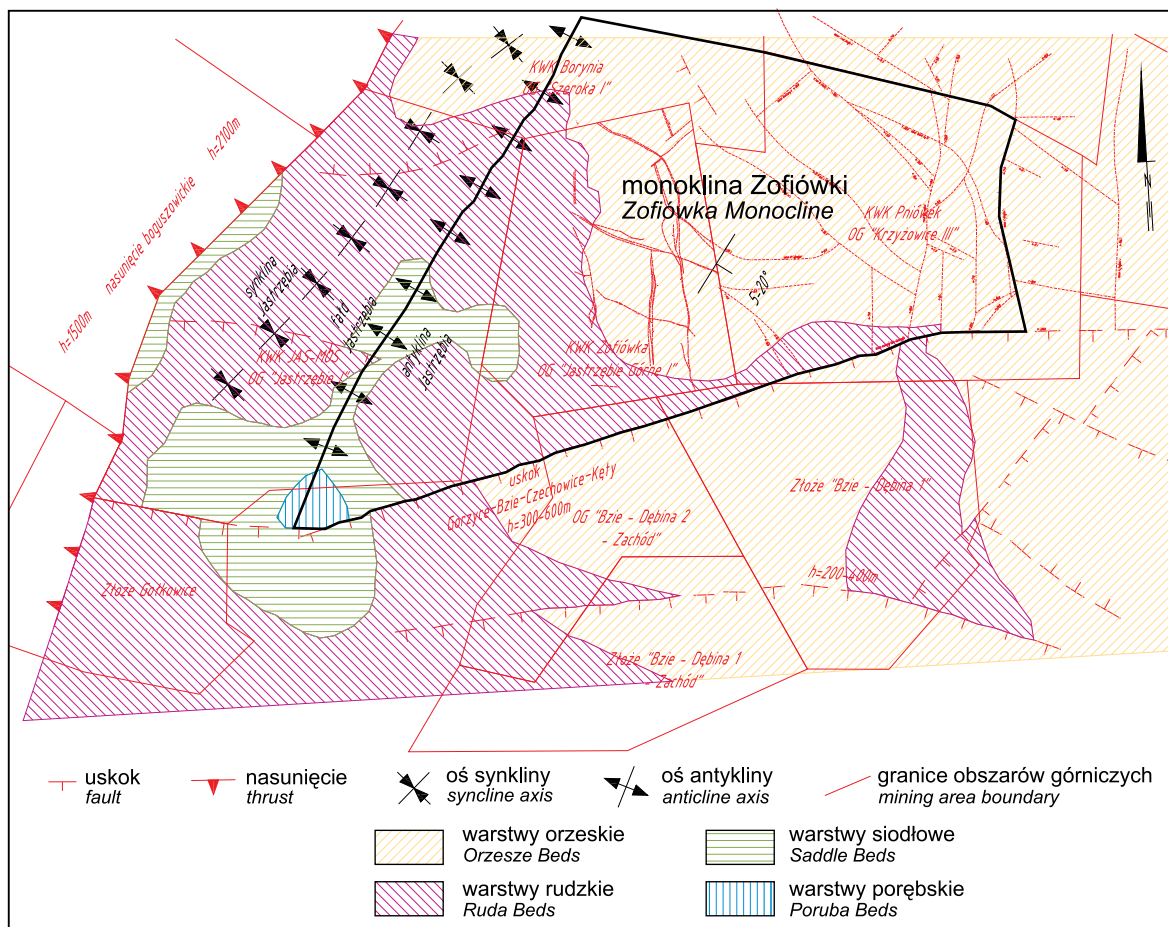


Fig. 1. Lokalizacja monokliny Zofiówki w obrębie Górnośląskiego Zagłębia Węglowego

Location of Zofiówka Monocline in the Upper Silesian Coal Basin



**Fig. 2. Lokalizacja KWK Zofiówka i Pniówek na tle szkicu geologiczno-strukturalnego południowo-zachodniej części GZW (według Probierza i Marcisza, 2011)**

Location of the Zofiówka and Pniówek coal mines on the background of geological-structural sketch of the SW part of USC B (after Probierz and Marcisz, 2011)

być charakterystyczną cechą budowy geologicznej obszaru badań.

W stopie karbonu badanego obszaru stwierdzono występowanie tzw. utworów pstrych, których geneza łączona jest z oddziaływaniem procesów metamorfizmu termalnego, jak i wietrzenia. Utwory te, nie wiążące się z żadnym konkretnym ogniwem stratygraficznym są skałami silnie zmienionymi, w których obserwuje się gwałtowne zaniki pokładów oraz zmiany jakości węgla w ich pobliżu.

Od wschodu i północy granice złoża są tożsame z granicami obszarów górniczych kopalń prowadzących eksploatację w obszarze badań, zaś od południa granicę stanowi regionalny system uskoku Gorzyce-Bzie-Czechowice-Kęty o zrzucie 150–600 m na S. Bliskość tej dyslokacji o znaczeniu regionalnym, wywarła prawdopodobnie znaczny wpływ na obraz i styl tektoniczny złoża, charakteryzujący się obecnością gęstej, lokalnej sieci uskoku o wielkości zrzutów dochodzących nawet do 150 m. Głównym kierunkiem orientacji uskoku jest kierunek równoleżnikowy (Probierz, Marcisz, 2011).

W obszarze badań do eksploatacji przewidzianych jest 30 pokładów węgla, od pokładu 360/1 (westfal A) do 510 (namur B) o sumarycznych zasobach >240 mln Mg węgla.

Kopalnie monokliny Zofiówki są zaliczane do najbardziej perspektywicznych w Jastrzębskiej Spółce Węglowej S.A. i są w nich prowadzone intensywne inwestycje, mające na celu znaczące przedłużenie okresu wydobywania węgla. Szacowany okres eksploatacji pokładów węgla kamiennego monokliny Zofiówki bez uwzględnienia nowych obszarów złożowych Bzie-Dębina i Pawłowice (na E od obszaru badań) to rok 2042/43, zaś z uwzględnieniem nowych obszarów złożowych: Bzie-Dębina i Pawłowice, okres ten wydłuży się o kolejne 65–80 lat (<http://www.jsw.pl>).

Analiza wielkości zasobów w złożu monokliny Zofiówki opierała się na danych, jakimi dysponują działy mierniczo-geologiczne kopalń w odniesieniu do partii złóż będących przedmiotem przewidywanej eksploatacji, zgodnie z założeniami Planu Ruchu Zakładu Górniczego (PRZG) oraz materiałów archiwalnych kopalń Zofiówka i Pniówek (Materiały archiwalne...; Marcisz, 2010a). Wyniki analiz ekstrapolo-

**Tabela 1**  
**Wielkość zasobów węgla w pokładach węgla kamiennego monokliny Zofiówka, w mln Mg (stan na maj 2009)**

Hard coal resources in the seams of the Zofiówka Monocline, in million Mg (as of May 2009)

Zasoby [tys. Mg]	Do końca okresu ważności koncesji		Do końca przewidywanego okresu eksploatacji złoża	
Geologiczne	Zofiówka	439 966	Zofiówka	439 966
	Pniówek	754 460	Pniówek	754 460
	razem	1 194 426	razem	1 194 426
Bilansowe	Zofiówka	397 093	Zofiówka	399 682
	Pniówek	80 218	Pniówek	280 815
	razem	477 311	razem	680 497
Przemysłowe	Zofiówka	28583	Zofiówka	105 947
	Pniówek	67 817	Pniówek	135 779
	razem	96 400	razem	241 726
Operatywne	Zofiówka	19 806	Zofiówka	69 387
	Pniówek	45 586	Pniówek	87 786
	razem	65 392	razem	157 173

wano dla szacowanego całkowitego okresu eksploatacji poszczególnych złóż, tj. poza okres ważności koncesji i PRZG, bez uwzględniania nowych obszarów złożowych. Zasoby obu złóż do końca okresu ważności koncesji na ich eksploatację oraz szacowane do prognozowanego, całkowitego okresu ich eksploatacji przedstawia tabela 1.

Dla potrzeb projektu zaprojektowano systematycznie aktualizowaną bazę danych o złożu, zawierającą informacje z zakresu budowy geologicznej wraz z charakterystyką warunków geologiczno-górnicznych eksploatacji (w tym zakresie baza ma charakter analogowo-cyfrowy), stanu zasobów złoża, jakości kopaliny (karty analiz prób bruzdowych pokładów węgla wraz ze współrzędnymi X, Y, Z) oraz prognozy wydobycia, sporządzane na podstawie danych z PRZG. Schemat blokowy bazy danych o złożu przedstawiono na figurze 3.

Utworzona od podstaw cyfrowa baza danych o opróbowaniu złoża zawierała na wstępie 2730 próbek węgla (bruzdowych i z otworów wiertniczych) ze złoża monokliny Zofiówki. Obejmuje ona dane analizy technicznej (zawartość wilgoci, popiołu, części lotnych oraz wartość opałową i ciepła spala-

**Tabela 2**

**Charakterystyka jakości węgla w złożu monokliny Zofiówki**  
Characteristics of coal quality in the deposit of the Zofiówka Monocline

Wielkość	Wskaźniki analizy technicznej					Wskaźniki analizy elementarnej		
	$W^a$	$A^d$	$V^{daf}$	$Q_s^{daf}$	$Q_i^{daf}$	$S_t^d$	Cl <sup>a</sup>	P <sup>a</sup>
	%	%	%	MJ/kg	MJ/kg	%	%	%
n	2687	2698	2683	2661	2661	2666	472	1674
min	0,02	1,0	3,2	22,4	21,2	0,2	0,025	0,001
max	18,8	58,8	45,5	56,7	55,5	2,3	0,584	0,550
średnia	0,9	11,7	25,7	36,5	35,3	0,6	0,129	0,064
Wielkość	Wskaźniki koksownicze				Refleksyjność wityrnytu	Skład petrograficzny		
	RI	SI	a	b	R	$V_t^{mmf}$	$L^{mmf}$	$I^{mmf}$
	–	–	%	%	%	% obj.	% obj.	% obj.
n	2667	2628	2671	2663	36	36	36	36
min	0	0	0	-27	0,98	49	4	12
max	92	9	47	298	1,33	88	15	43
średnia	72	7½	29	90	1,10	72	6	25

$a$  – stan analityczny,  $d$  – stan suchy,  $daf$  – stan suchy i bezpopiołowy,  $mmf$  – stan bez substancji mineralnej,  $W$  – zawartość wilgoci,  $A$  – zawartość popiołu,  $V$  – zawartość części lotnych,  $Q_s$  – ciepło spalania,  $Q_i$  – wartość opałowa,  $S_t$  – zawartość siarki całkowitej, Cl – zawartość chloru, P – zawartość fosforu, RI – zdolność spiekania według Rogi, SI – wskaźnik wolnego wydymania,  $a$  – kontrakcja,  $b$  – dylatacja,  $R$  – refleksyjność wityrnytu,  $V_t$  – udział macerałów grupy wityrnytu,  $L$  – udział macerałów grupy liptyrnytu,  $I$  – udział macerałów grupy inertyrnytu

$a$  – analytic,  $d$  – dry,  $daf$  – dry ash free,  $mmf$  – mineral matter free,  $W$  – water content,  $A$  – ash content,  $V$  – volatile matter content,  $Q_s$  – gross calorific value,  $Q_i$  – calorific value,  $S_t$  – total sulphur content, Cl – chlorine content, P – phosphorus content, RI – Roga Index, SI – swelling index,  $a$  – contraction,  $b$  – dilatation,  $R$  – vitrinite reflectance,  $V_t$  – vitrinite content,  $L$  – liptinite content,  $I$  – inertinite content

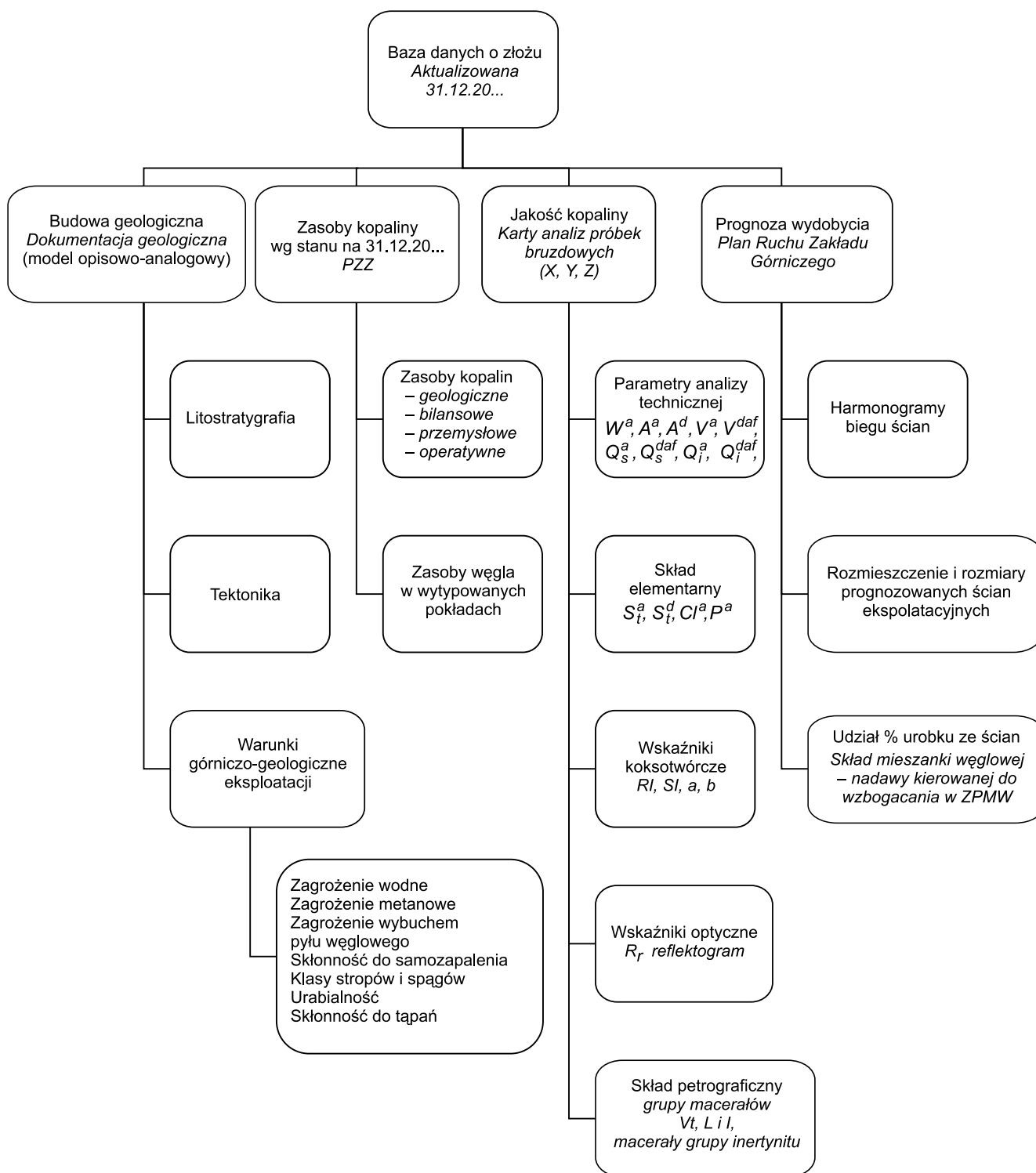


Fig. 3. Struktura cyfrowej bazy danych o złożu – schemat blokowy (według Probiez i in., 2011)

Structure of digital database of the deposit – a block diagram (after Probiez *et al.*, 2011)

nia), analizy elementarnej (zawartość siarki, chloru i fosforu), parametrów koksotwórczych (zdolność spiekania, wskaźnik wolnego wydymania, dylatacja, kontrakcja) oraz wskaźniki optyczno-petrograficzne, łącznie około 41 tys. oznaczeń. Liczba oznaczeń oraz wartość minimalna, maksymalna i średnia każdego z parametrów zostały zestawione w tabeli 2.

Utworzona baza danych umożliwiła konstrukcję cyfrowych map zmian wartości poszczególnych parametrów jakościowych węgla. Dla każdego z pokładów (łącznie 26: od 360/1 do 505/1) wykonano zestaw map zmian wartości parametrów jakościowych węgla. Konstrukcja map zmienności parametrów jakościowych opierała się na metodzie kreślenia



map cyfrowych, polegającej na połączeniu ze sobą dwóch programów komputerowych: programu Surfer firmy Golden Software i programu AutoCAD firmy Autodesk (Proberz, Marcisz, 2004b; Marcisz, 2010b). Wszystkie mapy izolinii wykonano przy zdeklarowaniu metody konturowania RBF

(*radial basis function* – metoda radialnych funkcji bazowych), która została już wielokrotnie sprawdzona w praktyce. Pomiędzy węzłami siatki griddingu przyjęto stałą odległość równą 50 m (zgodnie z zaleceniami dla warunków wielopokładowych złóż węgla kamiennego GZW).

## WERTYKALNE I LATERALNE ZMIANY JAKOŚCI WĘGLA W OBSZARZE BADAŃ

Zgromadzone w bazie danych o złożu informacje o jakości węgla obszaru badań pozwoliły na wszechstronne analizy jej zmienności lateralnej i wertykalnej, i to zarówno dla całości obszaru, jak i poszczególnych jego części, dla poszczególnych pokładów, dla danych parametrów jakości, a także dla określonych przedziałów głębokościowych. Umożliwiło to zatem ekstrapolację i predykcję jakości węgla w złożu, bowiem każdej próbce i wartościom oznaczonych w niej parametrów przyporządkowano współrzędne przestrzenne (X, Y, Z). Skonstruowano zarówno mapy parametrów jakości dla poszczególnych pokładów, jak i dokonano analizy poszczególnych parametrów w przestrzeni złożowej, zaś „narzędzia statystyczne” pozwoliły szczegółowo badać i wyznaczać kierunki zmienności parametrów jakości zarówno w poszczególnych pokładach, jak i w całym złożu lub jego partiach.

Złoże monokliny Zofiówki opróbowano w przedziale głębokościowym 0–1200 m p.p.t., jednakże najlepiej opróbowano przedziały 400–500 m p.p.t. (817 próbek) i 500–600 m p.p.t. (745 próbek). W przedziałach 0–200 m p.p.t. oraz 800–1200 m p.p.t. liczba próbek wynosi <10. Dane o opróbowaniu oraz oznaczeniach zawartości części lotnych, a także wartości gradientów uwęglenia w poszczególnych przedziałach głębokościowych zestawiono w tabeli 3 i na figurze 4.

Doświadczenia geologii złożowej, jak i petrologii węgla, wskazują na bardzo zróżnicowaną możliwość prognozowania poszczególnych parametrów jakości w złożu (Stach i in., 1982; Gabzdyl, 1989; Taylor i in., 1998). Zawartość części lotnych wykazuje, np. wyraźny spadek wartości wraz z głę-

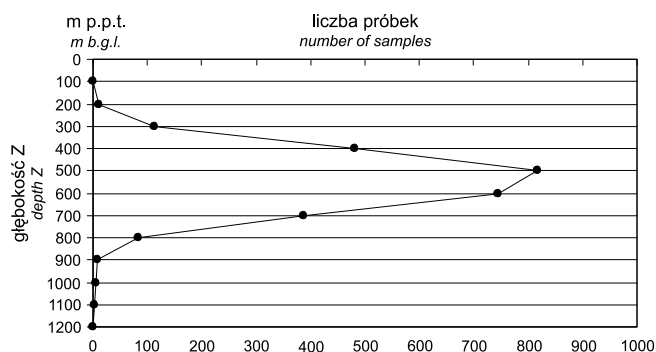


Fig. 4. Liczba opróbowań w analizowanych przedziałach głębokościowych w złożu monokliny Zofiówki

Number of samples in analyzed depth intervals in the deposit of the Zofiówka Monocline

bokością występowania pokładu (tzw. reguła Hilta), refleksyjność wityrytu przeciwnie, wzrasta z głębokością. Właściwości koksotwórcze, szczególnie spiekalność, wykazuje w szeregu uwęglenia (począwszy od torfów po antracyty) swoje maksimum w obrębie węgla średniouwęglonych – koksowych (fig. 5). Odnośnie do zawartości siarki i popiołu brakuje danych w literaturze o możliwości skutecznego prognozowania tych parametrów.

Zawartość części lotnych  $V^{daf}$  jest jednym z ważniejszych parametrów charakteryzujących węgle koksowe. Pomimo, że parametr ten jest uzależniony od składu petrograficznego można go także używać do szacowania zmian stopnia metamorfizmu węgla, szczególnie w przypadku niedoboru oznaczeń refleksyjności wityrytu  $R$ . W polskich zakładach górniczych wydobywających węgiel kamienny nadal częściej oznacza się parametr  $V^{daf}$  niż  $R$ , co wynika także z Polskiej Normy, w której  $V^{daf}$  figuruje jako kluczowy parametr określający możliwości utylizacji i zastosowań węgla koksowego.

Na monoklinie Zofiówki występują węgle o zawartości części lotnych z przedziału  $V^{daf} = 3,2\text{--}45,5\%$  (tab. 3, fig. 6), co oznacza, że w złożu oprócz węgla koksowych występują także sporadycznie węgle termicznie zmienione (o niższych wartościach  $V^{daf}$  aniżeli w typowych węglach koksowych) oraz węgle prawdopodobnie zwietrzałe, gdzie  $V^{daf} > 36\%$

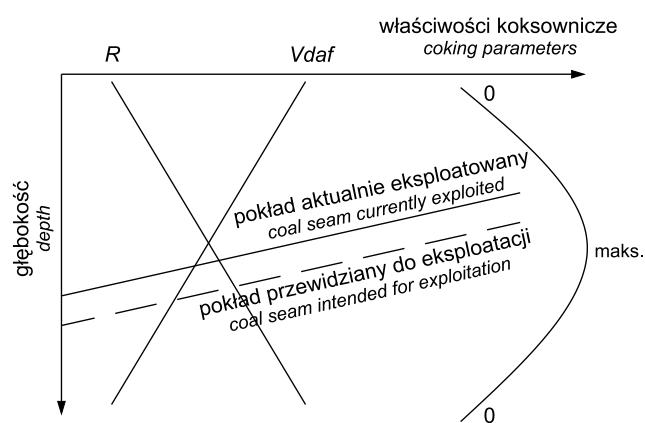


Fig. 5. Teoretyczne zmiany zawartości części lotnych (reguła Hilta), zdolności odbicia światła wityrytu oraz właściwości koksotwórczych wraz z głębokością w złożu, umożliwiające sporządzanie prognoz jakości węgla

Theoretical changes of volatile matter content (Hilt's rule), vitrinite reflectance and coking properties depending on depth in the deposit, which enable predicting coal quality

Tabela 3

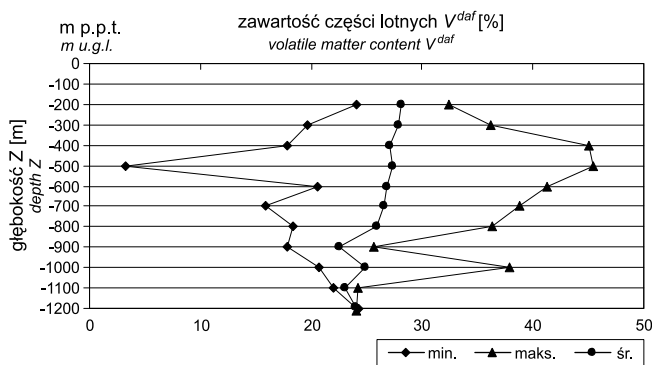
**Liczba próbek, oznaczeń zawartości części lotnych  $V^{daf}$  oraz gradientu uwęglania w przedziałach głębokościowych w złożu monokliny Zofiówki**

Number of samples,  $V^{daf}$  determinations and coal rank in depth intervals in the deposit of the Zofiówka Monocline

Głębokość m p.p.t.	Liczba obserwacji	Wartość $V^{daf}$ [%]			Gradient uwęglania % $V^{daf}$ /100 m
		min	max	średnia	
200–300	114	19,6	36,2	27,8	0,2
300–400	482	17,8	45,1	27,1	0,9
400–500	817	3,2	45,5	27,3	-0,6
500–600	745	20,6	41,3	26,8	0,7
600–700	386	15,9	38,8	26,6	0,0
700–800	83	18,4	36,3	25,9	4,1

(Proberz, 1989). Zmiany zawartości części lotnych z głębokością na monoklinie Zofiówki przebiegają na ogół podobnie jak w tzw. regule Hilta, jednakże wykazać to można jedynie na podstawie wartości średnich w poszczególnych przedziałach głębokościowych (fig. 6). Stwierdzona zmienność zawartości części lotnych z głębokością w złożu monokliny Zofiówki, nie ułatwia sporządzania prognoz tego parametru. Podobnie jest z prognozowaniem innych parametrów charakteryzujących węgle koksowe.

Właściwości koksotwórcze określają przede wszystkim przydatność węgla do wytwarzania koksu, a także stopień jego metamorfizmu. Właściwości te pojawiają się bowiem w ściśle określonym przedziale szeregu uwęglania odpowiadającemu węglom średnio uwęglonym (Stach i in., 1982; Gabzdyl, 1989; Taylor i in., 1998). W warunkach GZW, w zależności od rejonu, pojawiają się one już przy zawartości części lotnych  $V^{daf}$  ~31% oraz przy refleksyjności wityrynit



**Fig. 6. Zmiany zawartości części lotnych  $V^{daf}$  w przedziałach głębokościowych monokliny Zofiówki**

Changes of  $V^{daf}$  in analyzed depth intervals of the Zofiówka Monocline

$R = 1,0-1,1\%$ . Zarówno węgle niżej uwęglone energetyczne (charakteryzujące się wyższymi niż podane zawartościami części lotnych oraz równocześnie niższą zdolnością odbicia światła), jak i wyżej uwęglone czyli chude, antracytowe i antracyty (o niższej  $V^{daf}$  oraz wyższych wartościach  $R$ ) nie wykazują właściwości koksotwórczych.

Zdolność spiekania według  $RI$  (Roga index) to jedna z właściwości węgla sprzyjająca tworzeniu się koksu podczas jego odgazowania. Spiekalność  $RI$  wykorzystywana jest jako parametr w klasyfikacjach technologicznych, określających przydatność węgla do koksowania. Wartość  $RI$  zależna jest od stopnia uwęglania i osiąga swoje maksimum w obrębie węgla gazowo-koksowego i ortokoksowego (typ węgla według PN 34 i 35) przy zawartości pierwiastka węgla około 86%  $C_o^{daf}$ . Na spiekalność, oprócz stopnia uwęglania, wpływa także skład petrograficzny węgla, dodatnio udział składników reaktywnych, przede wszystkim macerałów grupy wityrynit, zaś obniżeniu spiekalności sprzyja podwyższony udział macerałów niereaktywnych spośród grupy inertynitu. Wskaźnik wolnego wydymania  $SI$  (swelling index) wykorzystywany jest najczęściej w klasyfikacjach technologicznych, jako parametr alternatywny dla zdolności spiekania  $RI$  bowiem określa on podobną do  $RI$  cechę węgla, lecz innym sposobem. Parametry dylatometryczne  $a$  oraz  $b$  określają natomiast zachowanie się węgla podczas ogrzewania. Zmiany właściwości koksotwórczych z głębokością przedstawia figura 7.

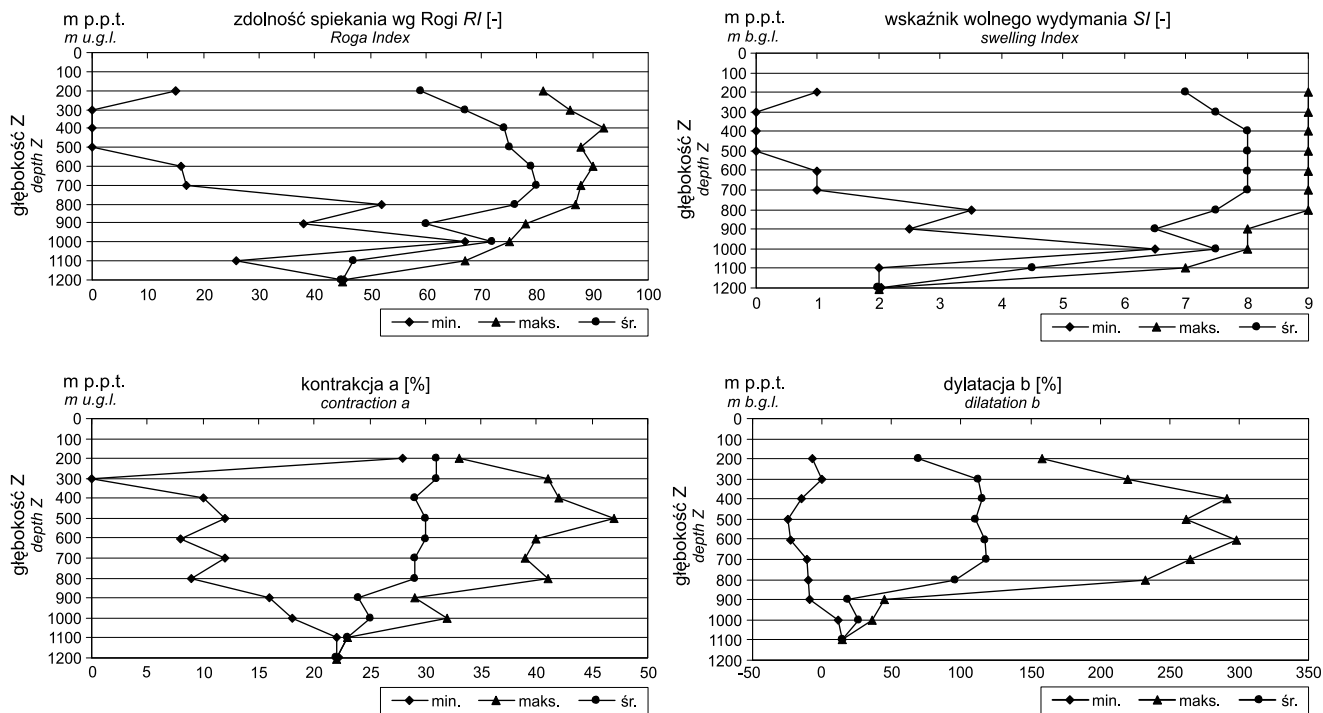
Opisywane na figurze 7 trendy zmian  $RI$ ,  $SI$ ,  $a$  i  $b$  widoczne są szczególnie dla wartości średnich i maksymalnych, i zarazem zbliżonych do teoretycznego przebiegu zmian parametrów koksotwórczych z głębokością (fig. 5). Brak tych trendów dla wartości minimalnych można łatwo wytłumaczyć, podobnie jak uprzednio w przypadku  $V^{daf}$ , zarówno procesami wietrzenia, jak i oddziaływania metamorfizmu termalnego. W jednym, jak i drugim przypadku węgle poddane oddziaływaniu tych procesów tracą swoje właściwości koksotwórcze. W niektórych przypadkach słabsze właściwości koksotwórcze mogą być wynikiem składu petrograficznego węgla, np. większego udziału składników niereaktywnych (np. niektórych macerałów grupy inertynitu).

Przykładem zmienności lateralnej parametrów jakości węgla jest mapa zawartości części lotnych obszaru badań wraz z bezpośrednim sąsiedztwem, a więc sąsiadującym od południa obszarem górniczym nowo budowanej kopalni Bzie-Dębina (fig. 8).

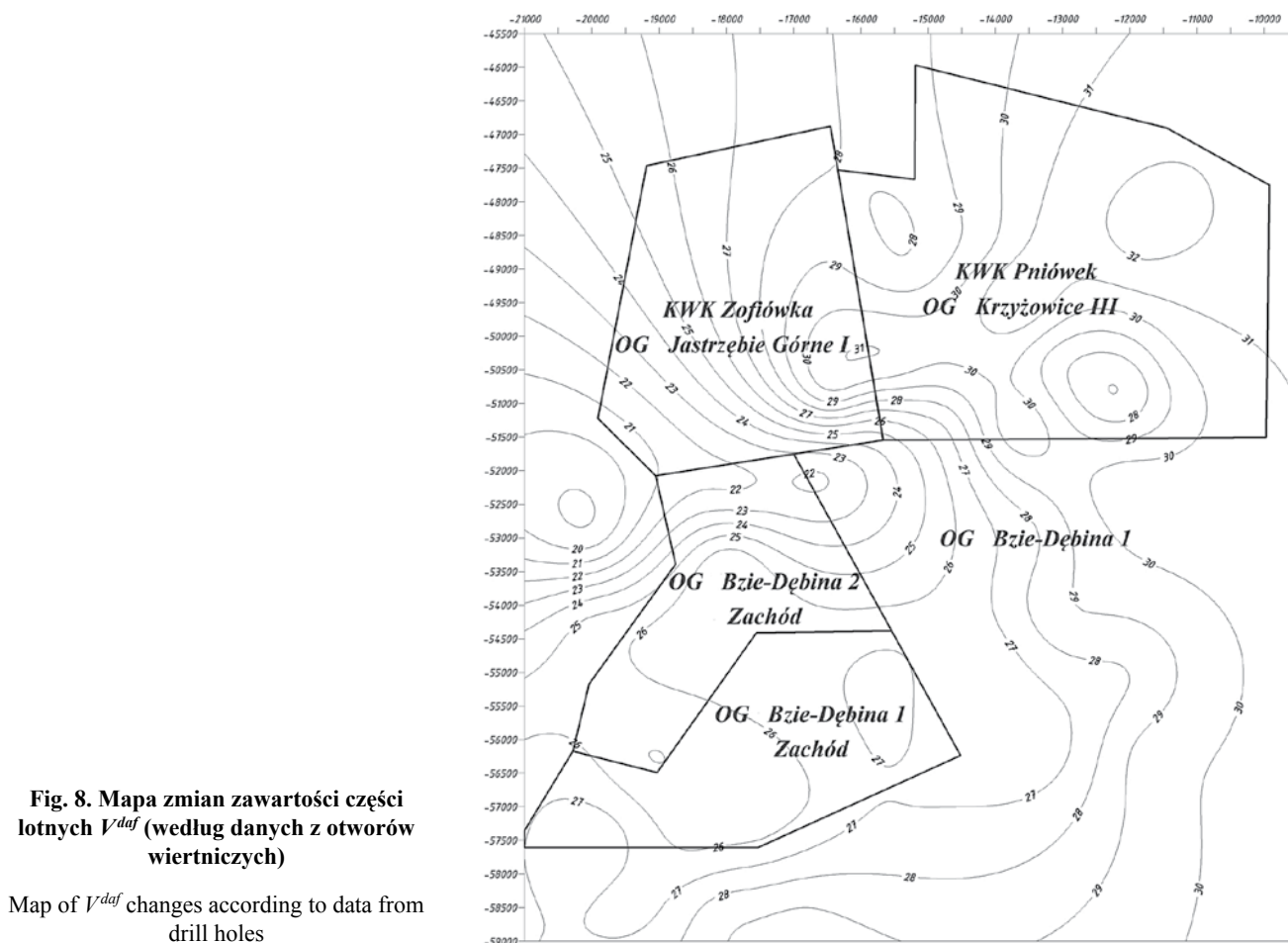
Zmiany zawartości  $V^{daf}$  w monoklinie Zofiówki powinny przebiegać zgodnie z regułą Hilt'a, co oznacza, że wraz z upadem warstw w kierunku na SEE (od KWK Zofiówka do KWK Pniówek) powinny pojawiać się coraz mniejsze zawartości części lotnych. Obraz izolinii na figurze 8 nie przedstawia tego w sposób jednoznaczny, co może świadczyć o obecności czynników zaburzających, np. zróżnicowania składu petrograficznego, względnie oddziaływania czynników metamorfizmu termalnego (Proberz, 1989; Proberz, Zajac, 2001, 2002; Komorek i in., 2010).

Zdolność odbicia światła wityrynit  $R$  oraz skład petrograficzny (udział grup macerałów) stanowią grupę para-

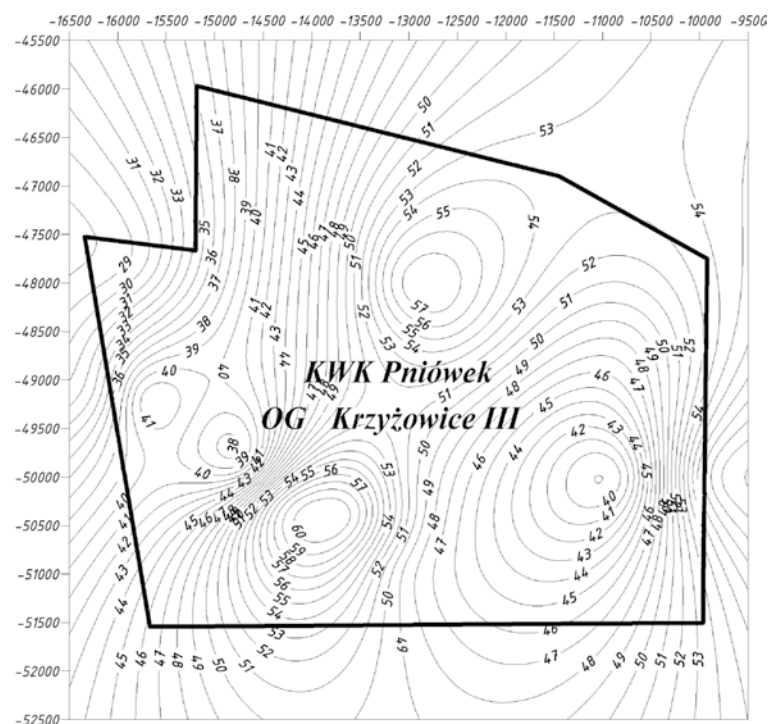




**Fig. 7. Charakterystyka zmian wartości parametrów koksotwórczych z głębokością Z w złożu monokliny Zofiówki**  
 Characteristics of changes in coking parameters with depth Z in the deposit of the Zofiówka Monocline



**Fig. 8. Mapa zmian zawartości części lotnych  $V^{daf}$  (według danych z otworów wiertniczych)**  
 Map of  $V^{daf}$  changes according to data from drill holes



**Fig. 9. Mapy zmian wartości wskaźnika CSR w złożu Pniówek (wschodnia część monokliny Zofiówki)**

Map of CSR index in the Pniówek deposit (eastern part of the Zofiówka Monocline)

metrów, które stosunkowo rzadko oznaczano w węglach z GZW. Przyczyną tego stanu był początkowo brak wyspecjalizowanych laboratoriów wyposażonych w precyzyjną aparaturę (m.in. mikroskopy optyczne do światła odbitego z fotometrem), a także brak obligatoryjnego wymogu stosowania tych parametrów przez PN. Zdolność odbicia światła wityritu wykazuje w monoklinie Zofiówki zmiany w przedziale  $R = 0,98\text{--}1,14\%$ , zaś zawartość macerałów grupy wityritu zmienia się w zakresie  $Vt = 49\text{--}88\%$ , grupy egzynitu  $L = 4\text{--}15\%$ , natomiast grupy inertynitu  $I = 12\text{--}43\%$  (tab. 2). Należy przypomnieć, że w strefie osiowej fałdu Jastrzębia stwierdzono najwyższe dla rejonu Jastrzębia wartości reflek-

syjności ( $R = 4,89\%$ ) oraz w dawnej KWK Moszczenica wykazano obecność złoża antracytów, znajdującego się pośród węgla koksowych o podwyższonej zawartości macerałów grupy inertynitu.

Na podstawie zgromadzonych danych wykreślono także mapy zmian wartości wskaźnika CSR (*coke strength after reaction*) w przestrzeni złożowej wschodniej części monokliny Zofiówki (fig. 9). Zmiany wartości tego wskaźnika, wyznaczone na podstawie próbek bruzdowych pozwalają na ogólną orientację co do kierunków jego zmienności w złożu. Ze wskaźnikiem CSR dobrze koreluje wskaźnik CRI (*coke reactivity index*).

## PODSUMOWANIE

Realizacja projektu „Inteligentna Koksownia” umożliwiła skuteczne zastosowanie doświadczeń geologii górniczej i złożowej Górnośląskiego Zagłębia Węglowego polegające na połączeniu procedur rozpoznawania warunków geologiczno-górnich występowania węgla koksowych z rozpoznaniem możliwości technicznych kopalń i logistyką wydobycia węgla o pożądanej przydatności technologicznej. Wpłynęła także na efektywniejsze zarządzanie zasobami węgla w zakładach wydobywczych, zaś producentom koksu ukazała techniczne możliwości dostarczania węgla koksowego o wymaganych parametrach jakości.

Jednym z głównych efektów realizacji projektu jest stworzenie cyfrowej bazy danych o złożu, zaprojektowanej dla potrzeb zintegrowanego systemu rozpoznawania i oceny przydatności technologicznej węgla, która zawiera m.in. informacje o warunkach geologiczno-górnich,

stanie zasobów złoża, jakości kopaliny oraz prognozy wydobycia. Umożliwia ona także konstrukcję cyfrowych map parametrów jakości w poszczególnych pokładach, jak i analizę poszczególnych parametrów w przestrzeni złożowej 3D.

Przedstawione w pracy wyniki badań dotyczące wyznaczania wertykalnych i lateralnych kierunków i zakresu zmienności parametrów jakości w złożu potwierdzają wcześniejsze ustalenia (m.in. Probierz, 1989; Probierz, Zajac, 2001; Komorek i in., 2010). Dotyczy to szczególnie tendencji zmian zawartości części lotnych  $V^{daf}$  (spadek z głębokością), refleksyjności wityritu  $R$  (nieregularny wzrost z głębokością), parametrów koksotwórczych (po początkowym wzroście wartości parametrów z głębokością następuje ich spadek) oraz składu petrograficznego. Stwierdzone nieregularności w zmianach parametrów uwęglania ( $V^{daf}$  i  $R$ )

z głębokością, łącznie z występującymi inwersjami, mogą być spowodowane zarówno zróżnicowanym udziałem macerałów grupy inertynitu, jak i oddziaływaniem czynników metamorfizmu termalnego.

*Praca wykonana w ramach projektu kluczowego nr POIG.01.01.02-24-017/08 „Inteligentna koksownia spełniająca wymagania najlepszej dostępnej techniki” dofinansowanego z Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego.*

## LITERATURA

- GABZDYŁ W., 1989 — Geologia węgla. Skrypt centralny, **1427/2**, Wyd. P. Śl., Gliwice.
- GABZDYŁ W., PROBIERZ K., 1987 — The occurrence of anthracites in an area characterized by lower rank coals in the Upper Silesian Coal Basin of Poland. *Int. J. Coal Geol.*, **7**: 209–225.
- GABZDYŁ W., PROBIERZ K., 1990 — Practical aspect of rank studies in Jastrzębie fold area. Sb. X-Uhelne-petrologické konference CS petrografu uhlí: 17–29, Ostrava.
- GABZDYŁ W., PROBIERZ K., WASILCZYK A., 2003 — Zmiany wartości parametrów jakościowych węgla w procesie produkcyjnym KWK Pniówek (SW część GZW). *Z. Nauk. P. Śl. s. Górnictwo*, **257**: 51–64.
- <http://www.jsw.pl>
- KOMOREK J., LEWANDOWSKA M., PROBIERZ K., 2010 — Peculiarities of petrographic composition of coking coals in southwest part of Upper Silesian Coal Basin (Poland) as a results of thermal metamorphism influence. *Arch. Min. Sci., Pol. Acad. Sci., Quarterly*, **55**, 4: 783–798.
- MARCISZ M., 2010a — Ocena bazy zasobowej węgla koksowego w KWK Zofiówka i KWK Pniówek JSW SA. *Gosp. Sur. Mineral.*, **26**, 2: 5–23.
- MARCISZ M., 2010b — Szacowanie gęstości opróbowania pokładów węgla kamiennego w Górnośląskim Zagłębiu Węglowym. Monografia, Wyd. P. Śl., Gliwice.
- MATERIAŁY ARCHIWALNE Działu Mierniczo-Geologicznego KWK Pniówek JSW SA.
- MATERIAŁY ARCHIWALNE Działu Mierniczo-Geologicznego KWK Zofiówka JSW SA.
- PROBIERZ K., 1989 — Wpływ metamorfizmu termalnego na stopień uwęglenia i skład petrograficzny pokładów węgla w obszarze Jastrzębia (GZW). *Z. Nauk. P. Śl. s. Górnictwo*, **176**: 1–125.
- PROBIERZ K., MARCISZ M., 2004a — The changes of the petrographic composition during the coal processing. *Geol. Belg.*, **7**, 3–4: 351–356.
- PROBIERZ K., MARCISZ M., 2004b — Zastosowanie kombinacji programów AutoCAD i Surfer do konstrukcji map górniczo-geologicznych. *Bibl. Szkoły Eksploatacji Podziemnej, s. Wykłady*, **27**: 149–159, Kraków.
- PROBIERZ K., MARCISZ M., 2010a — Changes of coking properties with depth of deposition in coal seams of Zofiówka monocline (SW part of Upper Silesian Coal Basin, Poland). *Gosp. Sur. Min.*, **26**, 4: 71–87.
- PROBIERZ K., MARCISZ M., 2010b — Estimation of the hard coal quality in a deposit in view of national and international standards. *Arch. Górn.*, **55**, 4: 847–863.
- PROBIERZ K., MARCISZ M., 2010c — Ewolucja szacowania zmian refleksyjności i składu petrograficznego węgla w złożu Pniówek w latach 1980–2010. *Prz. Górn.*, **12**: 107–112.
- PROBIERZ K., MARCISZ M., 2011 — Trafność szacowania jakości węgla kamiennego na przykładzie wybranych pokładów złoża „Pniówek”. *Prz. Górn.*, **7–8**: 166–170.
- PROBIERZ K., ZAJĄC A., 2001 — Jakość węgla koksowego w pokładzie 360/1 KWK Pniówek (SW część GZW). *Z. Nauk. P. Śl. s. Górnictwo*, **249**: 147–155.
- PROBIERZ K., ZAJĄC A., 2002 — Zawartość alkaliów w węglu koksowym pokładu 361KWK Pniówek (SW część GZW). *Z. Nauk. P. Śl. s. Górnictwo*, **254**: 157–167.
- PROBIERZ K. (red.), BŁASZCZYŃSKI S., GABZDYŁ W., KOMOREK J., LEWANDOWSKA M., MARCISZ M., SZPYRKA J., WASILCZYK A., 2006 — Monitoring petrologiczny jakości węgla kamiennego (pokłady węgla – procesy przerobcze – produkt handlowy). Monografia, Wyd. P. Śl., Gliwice.
- PROBIERZ K., KOMOREK J., LEWANDOWSKA M., 2006 — Charakterystyka zmian składu petrograficznego węgla z KWK Zofiówka. *Górnictwo i Geologia*, **1**, 3: 67–79.
- PROBIERZ K., MARCISZ M., SOBOLEWSKI A., 2011 — Znaczenie badań geologicznych w rozpoznaniu bazy zasobowej węgla koksowych Górnośląskiego Zagłębia Węglowego dla potrzeb projektu „Inteligentna koksownia spełniająca wymagania najlepszej dostępnej techniki”. *Karbo*, **3**: 123–135.
- STACH E., MAKOWSKY M.-TH., TEICHMÜLLER M., TAYLOR G. H., CHANDRA D., TEICHMÜLLER R., 1982 — Stach's Textbook of Coal Petrology, Gebrüder Borntraeger, Berlin–Stuttgart.
- TAYLOR G. H., TEICHMÜLLER M., DAVIS A., DIESSEL C. F. K., LITTKER R., ROBERT P., 1998 — Organic Petrology. Gebrüder Borntraeger, Berlin–Stuttgart.

## SUMMARY

The paper presents the results of research involving vertical and lateral changes of parameters of coal quality in the Zofiówka Monocline, situated in the SW part of USCB. The deposits of the Zofiówka and Pniówek coal mines have a fundamental significance for the resource base of coking coal in Poland. The results were obtained within the framework of research project implemented since 2008 “Smart coke plant

fulfilling requirements of best available techniques”, financed by the funds of POIG (Innovative Economy Operational Program), where important tasks for mining geology were defined. In the early stage of the project entitled “Integrated system for coal beds assessment for coking” there was the assumption that: “correct management of coal deposit” requires connection of the procedure of recognizing geologi-

cal-mining conditions of the occurrence of coking coal with the recognition of technical possibilities of the mines and logistics of excavation of coal with required technological utility. Completing this task requires good knowledge of quantity and quality of the coking coal resource base in USCB. Given that there is a period of several tens of years of coke production ahead, there is a necessity of preparing reliable and verifiable prognosis of changes of the coal quality in the deposit (vertical and lateral) and coking coal that is delivered to the customers. A digital database of coking coal quality was constructed. This database enables e.g. construction of digital maps of quality parameters. Implementation of the

project allows a more efficient management of coal resources. Also, coke producers have possibilities of coal mines to deliver coal of desirable quality. Coal producers receive better orientation according to the quality requirements from coke producers. The deposits of the Zofiówka Monocline are characterized by a significant variability of quality and coalification degree as well as specific petrographic features e.g. higher share of the inertinite maceral group. The paper presents the ranges and directions of variability of parameters of coal quality in the deposit.