

## SZANSE PODZIEMNEGO ZGAZOWANIA WĘGLA NA PRZYKŁADZIE ZŁOŻA SAWIN (LUBELSKIE ZAGŁĘBIE WĘGLOWE)

### THE POSSIBILITY OF UNDERGROUND COAL GASIFICATION: THE SAWIN DEPOSIT CASE STUDY (LUBLIN COAL BASIN)

EDYTA SERMET<sup>1</sup>, JERZY GÓRECKI<sup>1</sup>

**Abstrakt.** W artykule omówiono stan rozpoznania Lubelskiego Zagłębia Węglowego oraz pozycję geologiczną i charakterystykę jednego z największych złóż w tym zagłębiu – złoże Sawin, pod kątem możliwości podziemnego zgazowania węgla (PZW). Wyznaczono obszary, na których zarówno pokłady złożowe, jak i właściwości węgla najlepiej spełniają warunki niezbędne do efektywnego PZW: minimalna miąższość pokładu wynosząca 1,5 m, typ węgla 31–32 (33), położenie poza filarami bezpieczeństwa wyznaczonymi z uwagi na zagrożenia wodne w obrębie skał nadkładu oraz minimalna powierzchnia parceli spełniającej powyższe warunki (1,5–2,0 km<sup>2</sup>). Podkreślono konieczność lepszego rozpoznania złożeń, w celu uszczegółowienia wykonanej oceny pod kątem projektowania przyszłej eksploatacji. Obecnie w złożu Sawin na obszarach potencjalnie atrakcyjnych do zgazowania znajduje się około 98 mln ton węgla (9% zasobów bilansowych złożeń). Wskazane parcele zasobowe są rozproszone w obrębie złożeń, w różnych pokładach.

**Słowa kluczowe:** węgiel, podziemne zgazowanie, złoże Sawin, Lubelskie Zagłębie Węglowe.

**Abstract.** The article concentrates on the characteristics of the Lublin Coal Basin, its geological setting and one of its largest black coal deposits – the Sawin deposit from the point of underground coal gasification (UCG) possibilities. The areas, which are currently considered as having the most promising bed qualities and coal properties for the primary conditional assessment of effective UCG, have been marked out. These include: minimal thickness of 1.5 m, coal types 31–32 (33), location outside the range of safety pillars positioned to counteract endangering of mines by water from the overburden, as well as the minimal surface area of the parcel conforming to the conditions listed above (1.5–2.0 km<sup>2</sup>). The article underlines the necessity to better study the deposits in order to provide a more precise assessment for the projection of possible exploitation of the deposits. Currently, 98 million tonnes of coal are found in beds suitable for gasification, some 9% of the total reserves on balance.

**Key words:** coal, underground gasification, Sawin deposit, Lublin Coal Basin.

## WSTĘP

Podziemne zgazowanie węgla (PZW) nie doczekało się w świecie zbyt wielu efektywnych realizacji. Choć idea wykorzystania w złożach węgla i próby jej zastosowania pochodzą z przełomu XIX i XX w. (Hajdo i in., 2010), nadal niewiele wiadomo na temat przebiegu w warunkach naturalnych procesu pozyskiwania gazu z węgla. Szczególnie od-

czuwalny jest niedostatek rozstrzygnięć modelowych i doświadczalnych. W ostatnich latach skuteczne zgazowanie węgla jest prowadzone praktycznie tylko w Australii, ale w pokładach o dużej miąższości (minimum 4–5 m) i w dogodnych warunkach geologiczno-górnictwowych. Podjęte ostatnio w Polsce szeroko zakrojone prace badawcze nad opraco-

<sup>1</sup> Akademia Górniczo-Hutnicza im S. Staszica w Krakowie, Wydział Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska, al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków; e-mail: sermet@agh.edu.pl, gorecki@geol.agh.edu.pl

waniem technologii zgazowania węgla do wysokoefektywnej produkcji paliw i energii elektrycznej obejmują m.in. ocenę dostępnej bazy zasobowej na potrzeby PZW w krajowych zagłębiach węglowych, spełniającej lepiej lub gorzej

zdefiniowane warunki niezbędne do efektywnego zgazowania podziemnego. Rozwój poglądów na temat kryteriów, jakie powinny spełniać złoża przeznaczone do eksploatacji tą metodą, zawiera praca Niecia (2012).

## STAN ROZPOZNANIA LUBELSKIEGO ZAGŁĘBIA WĘGLOWEGO

W Lubelskim Zagłębiu Węglowym (LZW) udokumentowano 11 złóż o powierzchni od 15 do 276 km<sup>2</sup>, w sztucznych granicach, zazwyczaj wyznaczonych wzdłuż linii łączących skrajne otwory rozpoznawcze na obszarach przewidzianych kolejno do przebadania. Wykonano ponad pięćset otworów wiertniczych z pełnym rdzeniowaniem (Zdanowski, 2010). Stosunkowo najlepiej rozpoznano złoża w tzw. Centralnym Rejonie Węglowym. Obejmuje on jedyne zagospodarowane do tej pory złożo Bogdanka oraz złoża K-3, K-4-5, K-6-7, K-8 i K-9. Złoża pozostałe – Kolechowice Nowe, Ostrów, Sawin, Orzechów i Chełm II – są położone na północ, wschód i południe od wyżej wymienionych.

Zasoby geologiczne bilansowe w całym LZW szacuje się na 9 271 597 tys. Mg (około 9,3 mld ton), w tym 78% udoku-

mentowano w kategorii C<sub>2</sub>, a resztę w kategoriach wyższych, głównie C<sub>1</sub> (Bilans zasobów..., 2011). Złoża są zatem rozpoznane słabo, nierównomiernie i niewystarczająco z punktu widzenia projektowania górniczego.

Podsumowanie historii badań geologicznych, pozycję geologiczną LZW oraz najważniejsze dane o budowie geologicznej, rodzaju i jakości kopaliny oraz geologiczno-górnicznych warunkach eksploatacji przedstawiono m.in. w obszernych monografiach i opracowaniach kartograficznych (Porzycki, 1978; Dembowski, Porzycki, red., 1988; Zdanowski, red., 1999). Szczególną uwagę poświęcono najbardziej węglozasobnej części serii produktywnej – formacji lubelskiej (warstwom lubelskim, westfal A–B) z pokładami o numeracji od 369 do 397.

## POZYCJA GEOLOGICZNA I CHARAKTERYSTYKA ZŁOŻA SAWIN

Złożo Sawin, oddalone o ok. 6 km od eksploatowanego metodą konwencjonalną złoża Bogdanka i nie objęte planami zagospodarowania górniczego w najbliższej przyszłości, mogłoby być brane pod uwagę jako miejsce podziemnego zgazowania węgla metodą otworową (otworami wierconymi z powierzchni). Jest to jedno z największych złóż LZW, położone we wschodniej części zagłębia (fig. 1). Na powierzchni 230 km<sup>2</sup> udokumentowano w 17 pokładach 1 083 658 tys. Mg (prawie 1,1 mld ton) zasobów bilansowych w kategorii C<sub>2</sub>. Występuje tam niemal w całości węgiel energetyczny: płomienny typu 31, gazowo-płomienny typu 32 i podrzędnie gazowy typu 33; węgiel gazowo-kokosowy typu 34 stanowi zaledwie 1,7% całości zasobów.

Obszar złożowy znajduje się w strefie podniesionej platformy prekambryjskiej, na tzw. podniesieniu łukowsko-hrubieszowskim. Złożo jest zlokalizowane na wschodnim skrzydle asymetrycznej synkliny karbońskiej, której oś o kierunku NW–SE przebiega poza granicami udokumentowanego obszaru. Rozciągłość warstw lubelskich ma ogólnie kierunek NW–SE, a w południowej części złoża ulega lokalnej reorientacji w kierunku NE–SW. Kąty upadu wynoszą 0–14°, najczęściej nie przekraczają 5°. Uskokki o znaczeniu regionalnym i większe lokalne mają przebieg NW–SE i NE–SW oraz zrzuty 10–70 m, tworząc bloki tektoniczne o powierzchni od kilku do kilkunastu kilometrów kwadratowych. Rozpoznanie złoża w kategorii C<sub>2</sub>, przy odległościach pomiędzy otworami rozpoznawczymi wynoszącymi

do 4000 m, nie dostarcza informacji o uskokach „pokładowych” o małych zrzutach i niewielkim zasięgu.

Miąższość warstw lubelskich zmienia się od około 35 do 375 m i wynosi najczęściej 200–250 m. Średnia miąższość pokładów bilansowych to 1,3 m, a miąższości powyżej 1,5–2,0 m (maksymalnie do 2,8 m) występują sporadycznie. W żadnym otworze wiertniczym nie stwierdzono więcej niż 8 spośród 17 udokumentowanych pokładów. Większość pokładów ma złożoną budowę wewnętrzną, charakteryzującą się dużymi zmianami miąższości, częstymi przerostami skał płonnych (od 1 do 4), rozszczepieniami i ścięciami erozyjnymi. Pokładom towarzyszą najczęściej mułowce i iłowce, a piaskowce występują podrzędnie i bez większych prawidłowości, towarzysząc lokalnie tylko pokładom 389, 391 i 397 w dolnej części profilu serii produktywnej. Węgiel energetyczny zawiera od 1,9 do 32,0 (średnio 11,7%) popiołu oraz od 0,3 do 8,0% (średnio 1,6%) siarki, a wartość opałowa wynosi od 18,9 do 31,2 MJ/kg (średnio 27,1 MJ/kg). Wilgotność węgla jest niska – do kilkunastu procent. Złożo odznacza się słabą metanonośnością lub jej brakiem.

Nadkład utworów karbońskich stanowią zawodnione osady jury środkowej i górnej, kredy dolnej (albu) i górnej i kenozoiku. Strop karbonu występuje na głębokości około 510–680 m; średnia grubość nadkładu wynosi prawie 600 m. Karboński poziom wodonośny w obrębie warstw lubelskich jest zasilany poprzez wychodnie piaskowców na strop karbonu i poprzez strefy uskokowe.

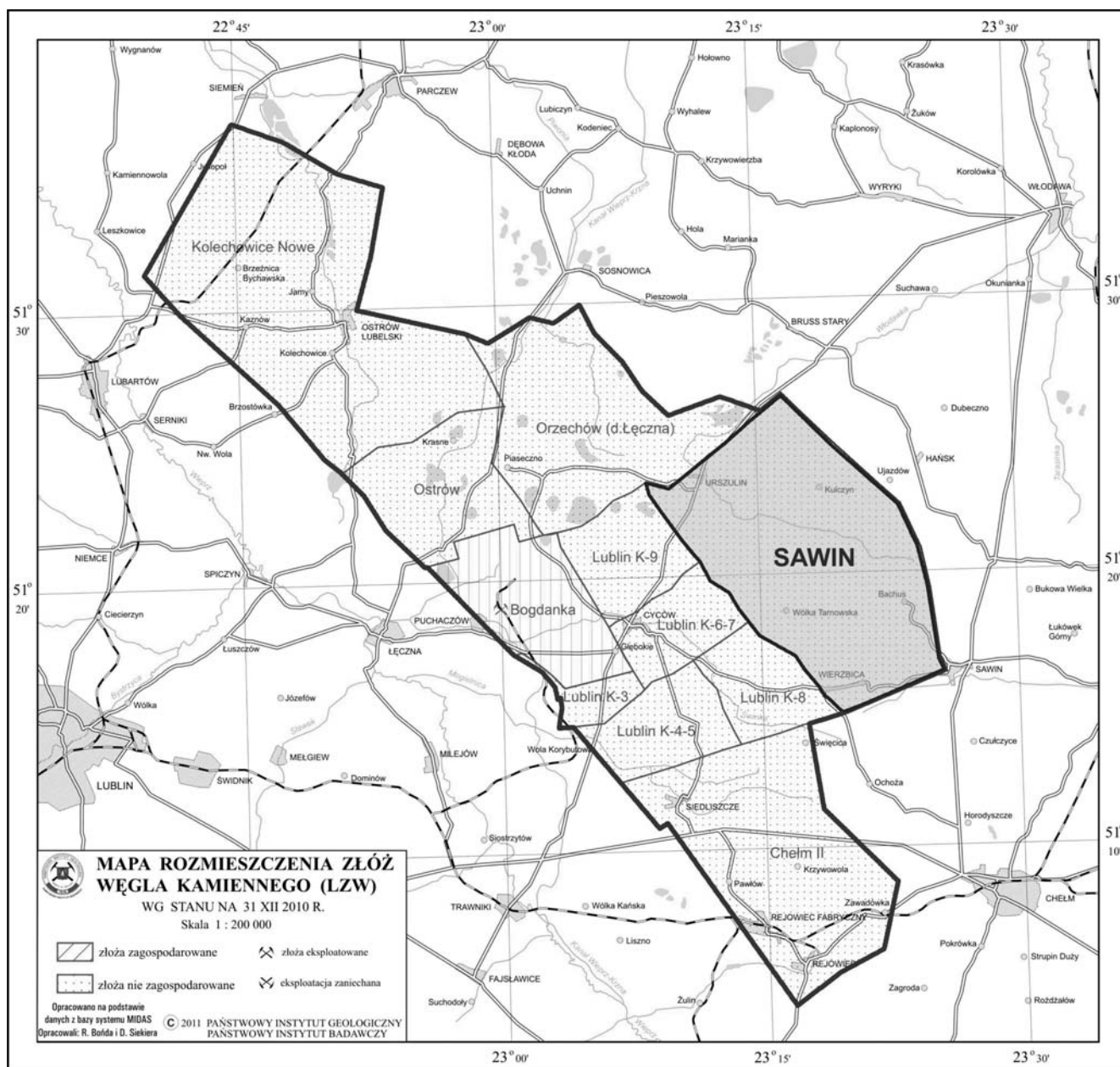


Fig. 1. Mapa rozmieszczenia złóż węgla kamiennego w Lubelskim Zagłębiu Węglowym (wg Bilansu zasobów..., 2011)

Map of hard coal deposits in the Lublin Coal Basin (after Bilans zasobów..., 2011)

## WSTĘPNA OCENA MOŻLIWOŚCI PODZIEMNEGO ZGAZOWANIA WĘGLA W ZŁOŻU SAWIN

Kierując się potrzebą wytypowania potencjalnych obszarów do PZW, w pierwszej kolejności wzięto pod uwagę najlepiej uzasadnione dotychczasowymi doświadczeniami cechy pokładów i właściwości węgla. Efektywny przebieg procesu warunkują:

- minimalna miąższość pokładu wynosząca 1,5 m (choć już z pokładów o miąższości poniżej 2 m pozyskuje się gaz wyraźnie gorszej jakości);

- typy węgla 31–33.

Założono ponadto, że podziemne zgazowanie węgla powinno być wykluczone w filarach bezpieczeństwa wyznaczonych z uwagi na zagrożenia wodne do głębokości 100 m od stropu utworów karbonu.

Kolejnym ograniczeniem bazy zasobowej jest wymóg dotyczący minimalnej powierzchni parceli pokładu o miąższości powyżej 1,5 m, położonej z dala (kilkaset metrów) od

największych uskoków o znaczeniu ponadlokalnym. Przyjęto, że powierzchnia ta powinna wynosić nie mniej niż 1,5–2,0 km<sup>2</sup>.

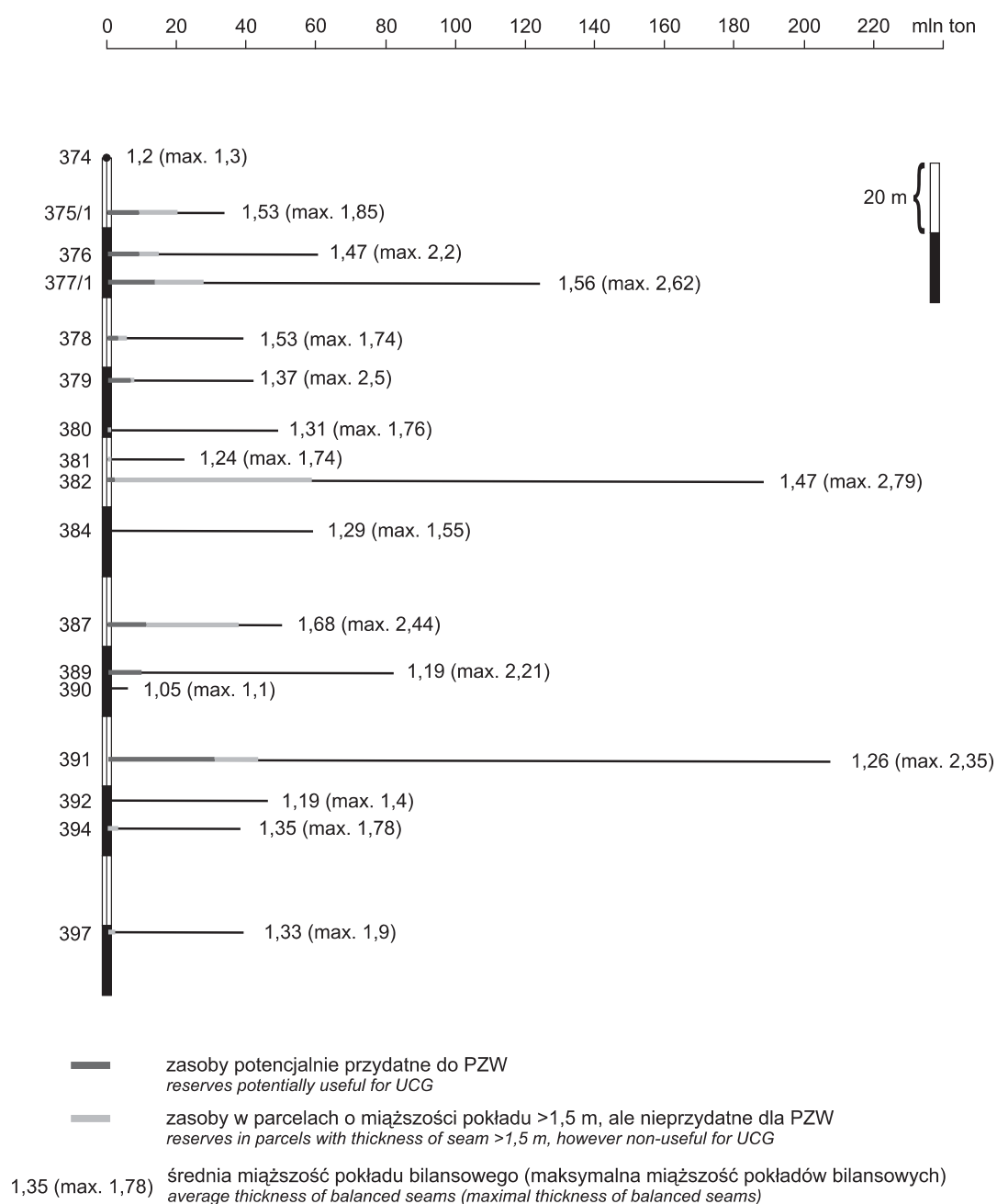
Wiele czynników (zwłaszcza właściwości węgla) nie powinno dodatkowo ograniczyć bazy zasobowej dla PZW. Węgiel energetyczny – jak już podano – jest najczęściej niskopopiołowy i rzadko zawiera powyżej 2% siarki (rola tego czynnika nie jest jeszcze wyjaśniona). Sprzyjającą okolicznością jest niska metanonośność lub jej brak.

Przy aktualnym stanie wiedzy trudno przesądzać o roli wielu innych czynników w procesie zgazowania (Nieć, 2012 –

ten tom), chociaż np. czynnikiem niesprzyjającym mogą być w przypadku omawianego złoża niewielkie odległości pomiędzy poszczególnymi pokładami węgla (rzadko przekraczające kilkanaście metrów).

Na [figurze 2](#) przedstawiono syntetyczną informację o położeniu poszczególnych pokładów w profilu warstw lubelskich (profil kompilowany, średnie odległości między pokładami) i dane o strukturze zasobów.

Szczegółową analizę pod kątem typowania obszarów potencjalnie przydatnych do PZW wykonano dla 14 pokładów, w których miąższość węgla przekracza w którymkolwiek



**Fig. 2.** Położenie pokładów węgla i struktura zasobów w złożu Sawin

Location of coal seams and structure of reserves in the Sawin deposit

miejszu 1,5 m. Największą uwagę poświęcono pokładom o znacznym rozprzestrzenieniu, o największych zasobach bilansowych. Były to pokłady 391 (206 mln ton), 382 (186 mln ton), 377/1 (124 mln ton) i 389 (80 mln ton), których zasoby stanowią ponad połowę wszystkich zasobów bilansowych w złożu. Z analizy wyłączono pokłady bilansowe 374 (pod stropem utworów karbonu, minimalne zasoby, maksymalna miąższość 1,3 m), 390 (bardzo małe zasoby, maksymalna miąższość 1,1 m) i 392 (przeciętne zasoby, ale maksymalna miąższość 1,4 m).

Na poszczególnych mapach przeanalizowano parcele zasobów bilansowych. Wyznaczono tam zasięg pokładu o miąższości powyżej 1,5 m, eliminując zarazem jako potencjalnie nieprzydatne do zgazowania partie pokładów grubych w filarach bezpieczeństwa 100 m od stropu utworów karbonu. Przykład takiej kwalifikacji przedstawiono na mapie pokładu 391 (fig. 3)

W tabeli 1 zestawiono charakterystykę części pokładów potencjalnie przydatnych do PZW. Gdyby inne cechy pokładów lub właściwości węgla nie eliminowały danego obszaru z listy obszarów potencjalnie atrakcyjnych do zgazowania, w złożu Sawin do wykorzystania w ten sposób nadawałoby się około 98 mln ton węgla, tj. zaledwie 9,0% całości zasobów bilansowych (poza-filarowych i filarowych). Zwraca przy tym uwagę znaczne rozproszenie wskazanych obszarów zarówno w planie złoża, jak i w profilu warstw lubelskich.

W parcelach o miąższości pokładów powyżej 1,5 m, ale położonych w filarze bezpieczeństwa lub w pobliżu (do 500 m) uskoków regionalnych oraz mających powierzchnię poniżej 1,5 km<sup>2</sup> znajduje się dodatkowo 137 mln ton węgla, jednak przy obecnym stanie wiedzy zasoby te nie kwalifikują się jako potencjalnie przydatne do efektywnego PZW.

Tabela 1

## Złoże Sawin – parcele pokładów najbardziej atrakcyjne do podziemnego zgazowania

The Sawin deposit – parcels of seams most attractive for underground gasification

Pokład	Powierzchnia (w przybliżeniu) [km <sup>2</sup> ]	Głębokość występowania (od rzędnych/od powierzchni terenu) [m p.p.m./m]	Maksymalna miąższość pokładu [m]	Zasoby [mln ton]	Otwory rozpoznawcze	Typ węgla	Zawartość popiołu [%]	Wartość opałowa [MJ/kg]	Zawartość siarki [%]	Przerosty (ilość/grubość) [–/cm]
375/1	4,0	530–555/705–725	1,85	9,0	Sawin 10 Sawin 14	32.1	6,08	28,6	0,85	0–1/5
376	4,0	510–530/695–705	1,82	8,5	Sawin 40 Sawin 9 M IG 5	32.1	10,77	26,8	1,00	0–1/5–8
377/1	5,0	525–565/715–740	2,14	4,0	Sawin 14 Sawin 41	31.2 32.1	8,96	27,8	1,08	1/10–16
378	2,0	490–550/665–725	1,72	3,5	Sawin 11	32.1	14,55	25,6	1,60	1/28
379	2,5	560–580/735–755	2,50	6,5	Os IG-2	32.1	21,59	22,5	0,93	–
382	1,0*	535–575/710–750	2,01	2*	L-71, L-77	32.2–33	11,04	27,4	1,90	0–1/9
387	4,0	550–595/730–775	2,44	11,0	L-87, L-89, L-92	32.2	9,63	28,1	1,41	1–2(3)/6–20
389	4,0	600–645/780–825	2,21	9,5	Sawin IG 5	32.1	7,19	28,4	0,37	2/8–11
391	14,5	445–535/625–715	2,35	35,0	Sawin 43 Sawin 44 Sawin 45	32.1–32.2	14,37	26,1	2,46	1–2/7–30
Ogółem	41,0	445–645/625–825	śr. 1,7–1,8	98,0	18 otworów	31.2–33	6,08–21,59	22,5–28,6	0,37–2,46	1–2/5–30

\* możliwa kontynuacja obszaru w złożu K-6-7 (otwory L-70, L-76, L-80)

\* possible continuation of area in the K-6-7 deposit (L-70, L-76, L-80 boreholes)



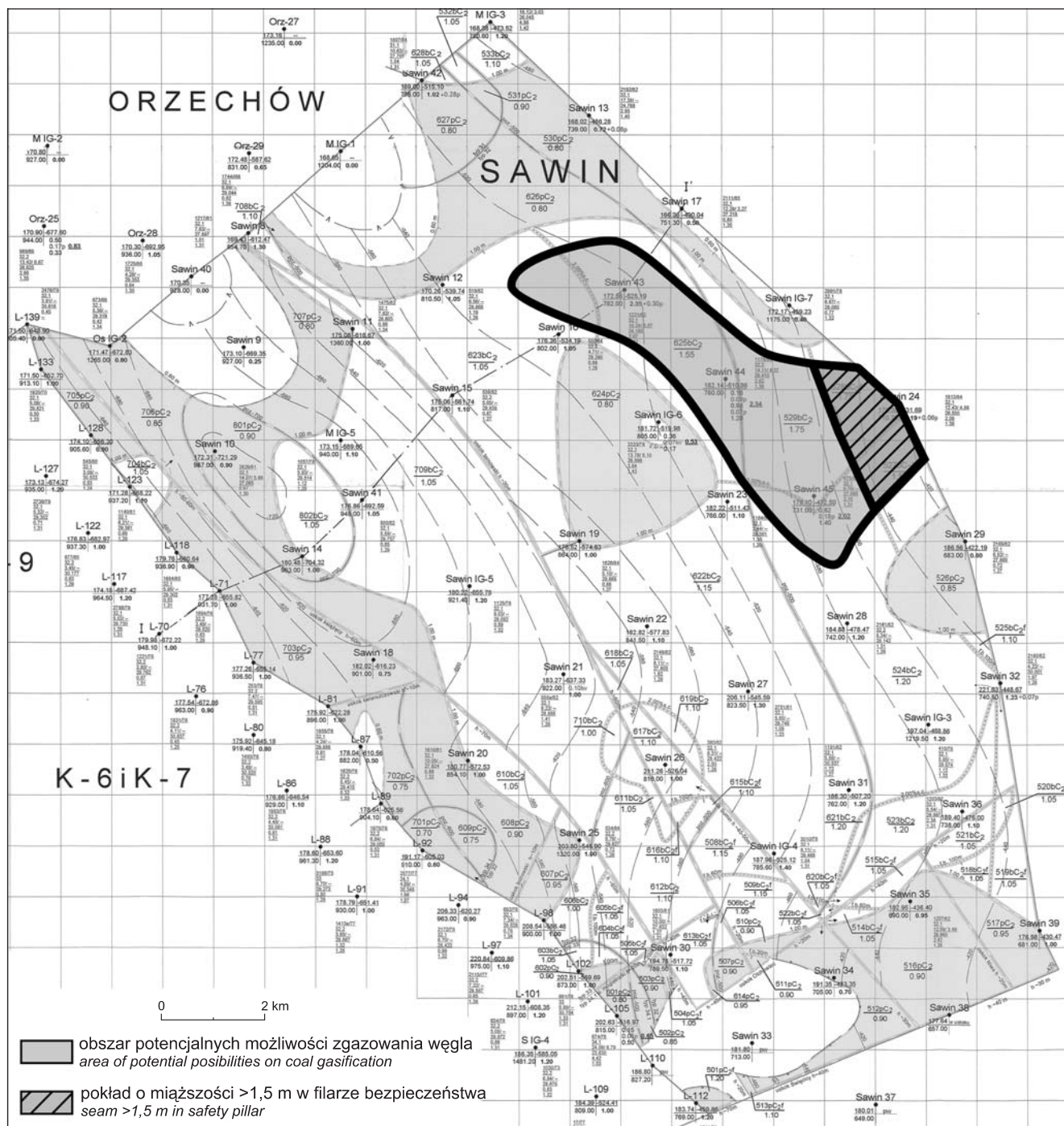


Fig. 3. Mapa pokładu 391 z obszarami potencjalnie przydatnymi do podziemnego zgazowania węgla

Map of 391 seam with areas potentially useful for underground coal gasification

## PODSUMOWANIE

Złoże Sawin może być w ograniczonym zakresie objęte zgazowaniem termicznym węgla metodą otworową, systemem otworów wierconych z powierzchni. Wstępna ocena możliwości PZW wskazuje na obecność partii złoże, w których miąższość pokładów węgla energetycznego typów

31–33 przekracza 1,5 m na powierzchniach powyżej 1,5 km<sup>2</sup>. W omawianym złoże parcele takie – położone ponadto poza filarem bezpieczeństwa wyznaczonym ze względu na zagrożenia spowodowane zawodnieniem nadkładu – występują w 9 pokładach, w różnych częściach obszaru złożowego.

Zasoby potencjalnie atrakcyjne do PZW wynoszą 98 mln ton, co stanowi 9% zasobów bilansowych złoża. Rola innych czynników mogących ograniczyć wskazaną bazę zasobową nie została dostatecznie wyjaśniona.

Do tej pory złożo Sawin jest rozpoznane tylko w kategorii C<sub>2</sub>. Niezbędne będzie zagęszczenie sieci otworów rozpoznawczych, mogących służyć później jako otwory eksploatacyjne. Odległości między otworami powinny wynosić poniżej 500 m. Otwory rozpoznawcze mają umożliwić poznanie budowy wewnętrznej i ciągłości pokładów, charakteru skał otaczających i lokalnej tektoniki. Będą to kosztowne wierceń o głębokości powyżej 800 m.

Przyszła eksploatacja złoża otworową metodą podziemnej gazyfikacji będzie musiała uwzględnić uwarunkowania środowiskowe. Rozległość instalacji powierzchniowych

(otwory eksploatacyjne, oczyszczalnia gazu, separacja CO<sub>2</sub> itp.) może kolidować z wielkoobszarowymi formami ochrony przyrody w rejonie złoża, m.in. z obszarami NATURA 2000, parkiem narodowym, parkami krajobrazowymi, obszarami chronionego krajobrazu i rezerwatami.

*Pracę wykonano w ramach zadania badawczego pt. „Opracowanie technologii zgazowania węgla dla wysokoefektywnej produkcji paliw i energii elektrycznej” finansowanego przez NCBR w ramach strategicznego programu badań naukowych i prac rozwojowych pt. „Zaawansowane technologie pozyskiwania energii” nr 23.23.660.8902/R34 oraz częściowo w ramach prac statutowych AGH nr 11.11.140.562.*

## LITERATURA

- BILANS zasobów kopalin i wód podziemnych w Polsce wg stanu na 31 XII 2010r., 2011. Państw. Inst. Geol. – PIB, Warszawa.
- DEMBOWSKI Z., PORZYCKI J. (red.), 1988 — Karbon Lubelskiego Zagłębia Węglowego. *Pr. Państw. Inst. Geol.*, **122**.
- HAJDO S., KLICH J., POLAK K., 2010 — Uwarunkowania podziemnego zgazowania węgla – 100 lat rozwoju metody. *Górn. i Geoinż.*, **34**, 4: 225–236.
- NIEĆ M., 2012 — Bariery i ograniczenia dla potrzeb podziemnego zgazowania węgla. *Biul. Państw. Inst. Geol.*, **448**: 183–194.
- PORZYCKI J., 1978 — Atlas geologiczny Lubelskiego Zagłębia Węglowego. Inst. Geol., Warszawa.
- ZDANOWSKI A., 1999 — Atlas geologiczny Lubelskiego Zagłębia Węglowego. Inst. Geol., Warszawa.
- ZDANOWSKI A., 2010 — Jakość węgla w Lubelskim Zagłębiu Węglowym. *Biul. Państw. Inst. Geol.*, **439**, 1: 189–195.

## SUMMARY

The hard coal deposits of Sawin in the Lublin Coal Basin may – with certain limitations – be used for gasification by way of bore drilling a system of wells from the ground surface. A primary assessment for UCG potential reveals a segment of the deposit which contains beds of coal types 31, 32 (33) having a thickness of more than 1.5 m in areas greater than 1.5 km<sup>2</sup>. These plots – which are additionally located outside the range of the safety pillars, positioned to counteract water dangers – are present in nine seams, located in various parts of the deposit area.

Potentially exploitable resources suitable for UCG comprise 98 million tonnes of coal, some 9% of the total reserves on balance. The role of other factors which may impede the indicated resource has not been fully satisfactorily explained.

The Sawin deposit is currently identified as category C<sub>2</sub>. It is necessary to broaden the network of test wells, which could in the future be used for exploitation purposes. Wells positioned under 500m apart can explain the internal structure and the continuity of the seams, the nature of the surrounding rock and the local tectonics. The cost of the well boring would be high, as expected bore depths reach some 800 m or more.

Any future exploitation of the deposit by surface drilling and underground gasification would have to take into account environmental conditions. The expanse of the surface machinery and installations (wells in exploitation, gas purification plants, CO<sub>2</sub> separators, etc.) may infringe on areas under conservation, such as NATURA 2000, national parks, landscape parks, protected landmarks and others nature preserves.