

Ireneusz GRZYBEK, Andrzej RESPONDEK

Wyższy Urząd Górniczy, Katowice

Polskie doświadczenia w zakresie odgazowania złóż węgla

Słowa kluczowe

Metan kopalniany, metan pokładów węgla, odmetanowanie kopalń, pozyskanie metanu, GZW

Streszczenie

Polityka energetyczna Polski do 2030 r. zakłada, że do wzrostu bezpieczeństwa dostaw paliw i energii może przyczynić się m.in. metan z pokładów węgla (MPW). Przegląd dotychczasowych doświadczeń z GZW, w zakresie odmetanowania kopalń oraz pozyskania metanu otworami z powierzchni, potwierdza to założenie. Dowodzi jednak, że używanie aktualnie stosowanych technologii, z uwagi na niekorzystne warunki geologiczno-gazowe, umożliwia jedynie niewielką produkcję gazu – głównie odmetanowaniem eksploatacyjnym oraz pozyskaniem MPW ze zrobów czynnych i zlikwidowanych kopalń węgla. Szanse wzrostu produkcji MPW oraz związanej z tym poprawy bezpieczeństwa planowanej, przyszłej eksploatacji węgla wiążą się z nowymi technologiami. Najbardziej obiecującymi spośród nich wydają się technologie zapewniające stymulację przepuszczalności pokładów węgla oraz szersze ich otwarcie otworami wiertniczymi (otwory horyzontalne, szczelinowanie hydrauliczne). Dla poprawy wykorzystania MPW celem jest też rozwój technologii wykorzystania metanu emitowanego wraz z powietrzem wentylacyjnym kopalń.

1. Wprowadzenie

Jednym z priorytetów Polityki energetycznej Polski do 2030 roku (M.P. z 2010 r. Nr 2 poz. 11) jest wzrost bezpieczeństwa dostaw paliw i energii (priorytet II). Dla jego realizacji, w Programie działań wykonawczych na lata 2009–2012 (zał. 3, (M.P. z 2010 r. Nr 2 poz. 11) przewidziano szereg działań, mających na celu zwiększenie gospodarczego wykorzystania krajowych źródeł paliw i energii. Wśród nich, trzy dotyczą metanu z pokładów węgla (MPW). Obejmują one wykorzystanie metanu uwalnianego przy eksploatacji węgla w kopalniach węgla kamiennego (ang. coal mine methane – CMM, działanie 2.6), w tym z powietrza wentylacyjnego kopalń (ang. ventilation air methane – VAM, dz. 2.7), oraz metanu z tzw. „dziewiczych”, tzn. nienaruszonych eksploatacją złóż węgla kamiennego (ang. coal bed methane – CBM, dz. 2.23). Z działaniami tymi korespondują też niektóre ze strategicznych

projektów badawczych Narodowego Centrum Badań i Rozwoju, jak na przykład zadanie „Poprawa efektywności odmetanowania górotworu w warunkach dużej koncentracji wydobywania w podziemnych zakładach górniczych wydobywających węgiel kamienny”, realizowane w ramach projektu „Poprawa bezpieczeństwa pracy w kopalniach”, ogłoszonego przez NCBiR w 2010 r., na wniosek Prezesa Wyższego Urzędu Górniczego.

W powyższym kontekście, przed sfinalizowaniem podejmowanych projektów badawczych oraz prac pilotowych i wdrożeniowych, celowym wydaje się uświadomienie sobie, jakimi doświadczeniami w tym zakresie już dysponujemy w Polsce. Konstatacja takiej potrzeby stała się inspiracją do podjęcia próby podsumowania tych doświadczeń, jaką podjęto w prezentowanym artykule. Przedstawiono ją w oparciu o: wyniki wcześniejszych, własnych badań, dostępną literaturę przedmiotu oraz dane przemysłowe, zebrane i zweryfikowane przez autorów w trakcie wieloletniego nadzoru nad zakładami górniczymi i zakładami prowadzącymi roboty geologiczne. Krótką, ograniczoną ramami artykułu, prezentację przedmiotowych zagadnień poprzedzono charakterystyką warunków geologiczno-gazowych najważniejszego z polskich basenów węglowych, w zakresie niezbędnym do lepszego zrozumienia rezultatów dotychczasowych robót górniczych i geologicznych, zmierzających do – odpowiednio: odmetanowania górotworu i pozyskania MPW.

2. Warunki geologiczno-gazowe Górnośląskiego Zagłębia Węglowego

Z punktu widzenia obecności metanu, wśród polskich basenów węglowych, najważniejszym jest Górnośląskie Zagłębie Węglowe (GZW). Metanonośność węgla osiąga tu wartości do ponad $25 \text{ m}^3/\text{Mg c}^{\text{daf}}$ (c^{daf} oznacza czystą substancję węglową), a całkowite zasoby geologiczne metanu do głębokości 1000 m szacowane są na 350–707 mld m^3 (Pilcher i in. 1991; Kotas 1994). Analiza metodyki ich oszacowania wskazuje, że niższą z tych wartości można, w przybliżeniu, odnieść do metanu sorbowanego w pokładach węgla, natomiast wyższą do całkowitych zasobów metanu wolnego i sorbowanego, nagromadzonego we wszystkich typach litologicznych skał karbońskich.

Cechy budowy geologicznej GZW, w powiązaniu z jego historią geologiczną, wywierają znaczny wpływ na aktualny rozkład przestrzenny metanonośności (Grzybek 2012). W ich konsekwencji obserwowany obecnie wertykalny trend zmian tego parametru polega, w pewnym uproszczeniu, na występowaniu, wraz z rosnącą głębokością, kolejno następujących stref gazowych (Grzybek 2012):

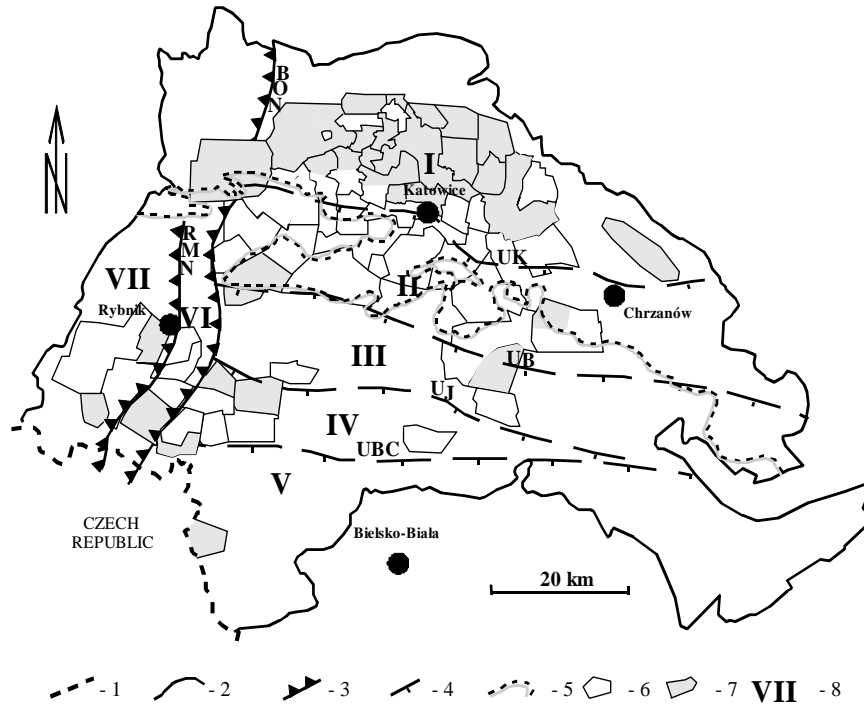
- allochtonicznej strefy wysokometanowej, o metanonośnościach do ok. $18 \text{ m}^3/\text{Mg c}^{\text{daf}}$,
- autochtoniczno-allochtonicznej strefy odgazowanej, o metanonośnościach nie przekraczających $4,5 \text{ m}^3/\text{Mg c}^{\text{daf}}$,
- autochtonicznej strefy wysokometanowej, o najwyższych metanonośnościach obserwowanych w GZW (do ok. $25 \text{ m}^3/\text{Mg c}^{\text{daf}}$).

W obrębie strefy allochtonicznej, w obszarach wyniesień stropu karbonu metanowi sorbowanemu w węglu często towarzyszy także metan wolny, nagromadzony w porach skał płonnych karbonu i przykrywających karbon zwietrzelin.

Analiza warunków geologiczno-górnich, przeprowadzona przez M. Kotarbę i innych (Kotarba i in. 1995) pozwoliła podzielić GZW na kilka rejonów, przedstawionych na rysunku 2.1. Rozkłady głębokościowe metanonośności w poszczególnych rejonach wykazują, że:

- dla położonych na południu zagłębia rejonów IV i V, a lokalnie także III i VI, charakterystyczne jest występowanie obu ww. stref wysokometanowych: allochtonicznej –

- bezpośrednio poniżej stropu utworów karbonu, i autochtonicznej, znacznie wyraźniejszej, obserwowanej począwszy od głębokości 400–1500 m,
- dla rejonów I, II i VII, położonych w centralnej, północnej i zachodniej części GZW, typowym jest występowanie tylko strefy autochtonicznej, położonej na głębokości poniżej 500–1550 m.



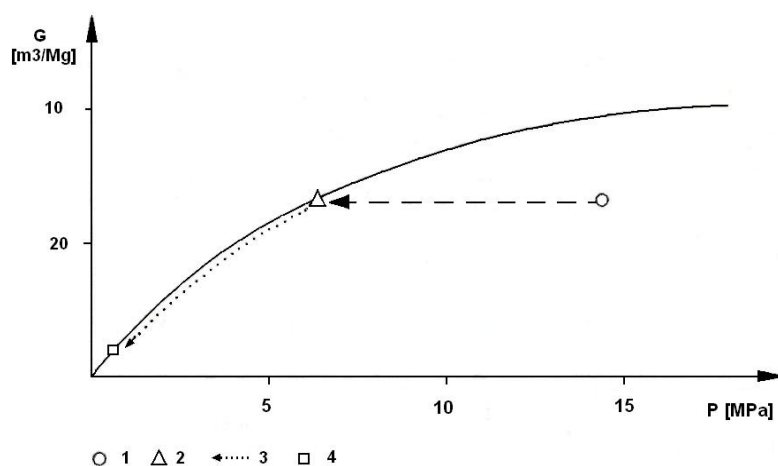
Rys. 2.1. Lokalizacja czynnych (6) i zlikwidowanych (7) kopalń węgla kamiennego na tle podziału Górnośląskiego Zagłębia Węglowego na rejonów gazowych (wg: Grzybek, Kędzior, 2005, poprawione); 1 - granica państwa, 2 - granice GZW, 3 - ważniejsze nasunięcia (NMR - michałkowicko-rybnickie, NOB - orłowsko-boguszowickie), 4 - główne uskoki (UK - kłodnicki, UB - bełcki, UJ - jawiszowicki, UBC - Bzie-Czechowice), 5 - zasięg nadkładu miocenijskiego, 8 - oznaczenie rejonu gazowego.

Fig. 2.1. Localization of operating (6) and abandoned (7) coal mines on the background of USCIB division into gassy regions (acc. to Grzybek, Kędzior., 2005; corrected); 1 – state boundary, 2 – boundaries of USCIB, 3 – important overthrusts (NMR – Michałkowice-Rybnik overthrust, NOB – Orłowa-Boguszowice overthrust), 4 – important faults (UK – Kłodnica fault, UB – Bełk fault, UJ – Jawiszowice fault, UBC – Bzie-Czechowice fault), 5 – extent of Miocene overburden, 8 – description of gassy region.

Z opisanymi powyżej strefami gazowymi GZW wiążą się zmiany składu cząsteczkowego gazów sorbowanych w węglu. I tak, według I. Grzybka (Grzybek 2012), w strefach wysokometanowych w składzie gazów dominuje metan (75–86%), przy niewielkiej obecności azotu (5–24%). W strefie odgazowanej azot (44–88%) uzyskuje natomiast przewagę nad metanem (9–53%), a jedynie lokalnie udział tych gazów jest wzajemnie zbliżony. W obrębie wspomnianych powyżej nagromadzeń metanu wolnego w skałach płonnych, w składzie gazów

zdecydowanie przeważa natomiast metan, stanowiący zazwyczaj około 96–99% nagromadzonych gazów.

Zmienność składu cząsteczkowego gazów powoduje, że w trakcie eksploatacji metanu lub węgla do odwiertów eksploatacyjnych oraz wyrobisk lub instalacji odmetanowania kopalń wydziela się gaz o składzie zbliżonym do składu gazów w udostępnionej części złoża (Grzybek 2011). W przypadku gazu wolnego (w tym w zrobach po eksploatacji węgla) wydzielanie to jest wprost proporcjonalne do wielkości wywołanego spadku ciśnienia złożowego, a w przypadku gazu sorbowanego przebiega zależnie od kształtu izotermy sorpcji. Porównanie wyników pomiarów metanonośności z izotermą sorpcji pozwala ocenić nasycenie węgla metanem i wartość ciśnienia złożowego, do jakiej należy je obniżyć, by rozpocząć produkcję (desorpcję) sorbowanego gazu (rys. 2.2) – z zastrzeżeniem, że izotermy sorpcji i desorpcji zazwyczaj charakteryzuje nieco inny kształt (Ceglarska-Stefańska, Czaplinski 1991). Wyniki badań, przeprowadzonych w trakcie robót scharakteryzowanych poniżej w rozdziale 3.2, wskazują, że w GZW występują zarówno węgle nasycone, jak i niedosycone metanem. W efekcie, wydobywanie gazu sorbowanego często wymaga znacznie większego obniżenia ciśnienia złożowego niż pozyskanie porównywalnej ilości gazu wolnego.

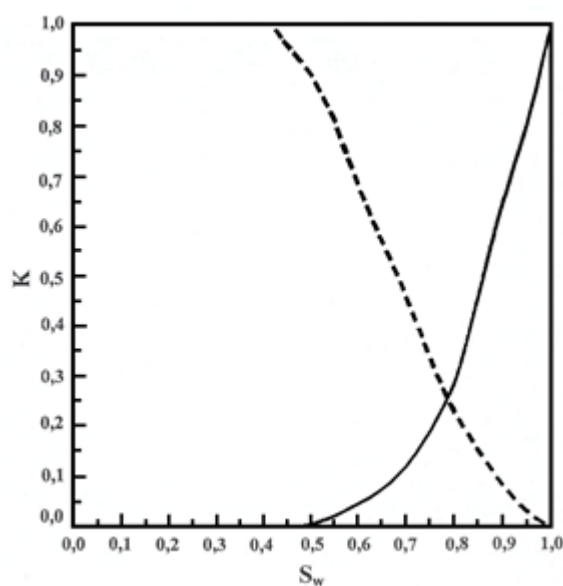


Rys. 2.2. Przebieg wydzielania metanu sorbowanego w węglu – ocena na podst. izotermy sorpcji (wg Nieć 1993, zmodyfikowane); 1 – metanonośność węgla (G), 2 – początek desorpcji przy stwierdzonej metanonośności, 3 – wymagane zmniejszenie ciśnienia (P) dla rozpoczęcia produkcji, 4 – metanonośność resztkowa.

Fig. 2.2. The course of methane desorption from coal – the assessment on the basis of sorption isotherm (acc. to Nieć 1993, modified); 1 –methane content (G)of coal, 2 – the starting point of desorption for given value of methane content, 3 – depletion of reservoir pressure (P) needed to start of desorption, 4 – residual methane content.

W przypadku węgla niedosyconych metanem, znaczną część spękań i makroporów węgla zajmuje woda, redukując jego przepuszczalność fazową dla gazu (rys. 2.3). Jej odpompowanie pozwala więc nie tylko obniżyć ciśnienie złożowe do wymaganego poziomu, lecz także poprawić charakterystyki przepuszczalności węgla dla gazu. Jego przepuszczalność jest

natomiast, oprócz wymienionych, jednym z czynników geologicznych o kluczowym znaczeniu dla odgazowania złóż węgla. W obrębie autochtonicznej strefy wysokometanowej kształtuje się ona w granicach od $1,0 \cdot 10^{-16}$ do $4,9 \cdot 10^{-14} \text{ m}^2$ (Knox 1997).



Rys. 2.3. Przykładowa zależność przepuszczalności fazowej (K, frakcja) względem gazu (linia przerywana) i wody (linia ciągła) w zależności od nasycenia skały wodą (S_w, frakcja), (wg Zuber, Olszewski 1993)

Fig. 2.3. Exemplary dependence of relative permeability (K, fraction) to gas (broken line) and water (continuous line) on water saturation (S_w, fraction) of coal, acc. to Zuber, Olszewski 1993

3. Doświadczenia w zakresie odgazowania węgla w GZW

Metan towarzyszy górnictwu węgla kamiennego niemal od zawsze. W GZW pierwsze jego objawy stwierdzono nie później niż w 1900 r., kiedy to miał miejsce wybuch metanu w otworze Richards-Glück, w rejonie dzisiejszej kopalni Silesia (rejon IV). Początkowo z kopalń usuwano go poprzez wentylację wyrobisk. Jednak już w roku 1929, w którym nastąpił wybuch gazu w drążonym szybie Marklowice I (Kozłowski, Grębski 1982), okazało się, że bezpieczna eksploatacja niektórych złóż jest niemożliwa bez ich odgazowania. Pierwszą samodzielną instalacją dla odmetanowania czynnej kopalni węgla wykonano jednak dopiero w roku 1950. Był nią otwór Jankowice 12, odwiercony z powierzchni do otamowanych wyrobisk kopalni Jankowice (rejon VI). Otwór ten w latach 1952–1954 funkcjonował w reżimie samoczynnego wypływu metanu do atmosfery, a w 1954 r. został oddany kopalni

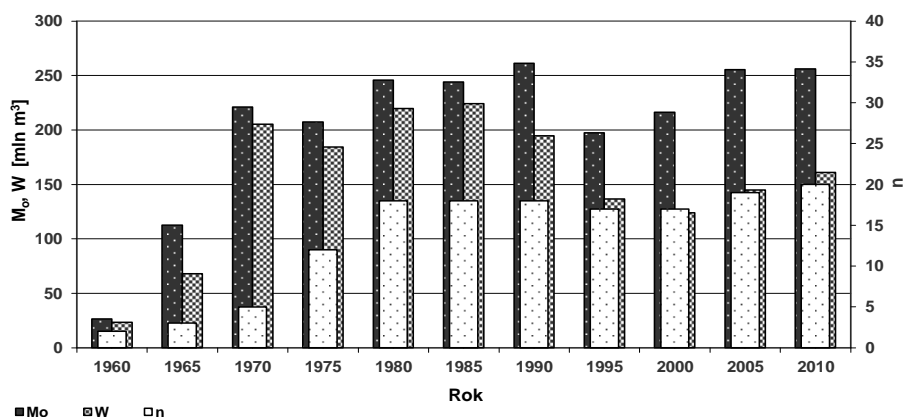
gazu Marklowice (por. niżej). Datę uruchomienia tego otworu (1952 r.) uznaje się powszechnie za początek odmetanowania kopalń węgla w Polsce. Dalszy rozwój odmetanowania i pozyskania MPW rozwój przedstawiono w kolejnych podrozdziałach.

3.1. Odmetanowanie kopalń węgla

Przez odmetanowanie rozumie się ujęcie i odprowadzenie metanu z węgla i skał w celu ograniczenia jego dopływu do przestrzeni roboczych, względnie przesunięcia dopływu w przestrzeni lub w czasie, a także zapobiegania występowaniu zjawisk gazogeodynamicznych (wydmuchy, wyrzuty itp.). Stosuje się je przed rozpoczęciem, w trakcie, a często także po zakończeniu eksploatacji danej partii złoża. Stosownie do tego można więc mówić o odmetanowaniu – odpowiednio: wyprzedzającym, eksploatacyjnym i zrobów. Spośród wielu metod odmetanowania, najskuteczniejszymi okazały się te z nich, które drenaż metanu z górotworu łączą z jego odprowadzeniem na powierzchnię, umożliwiając nie tylko poprawę bezpieczeństwa pracy, lecz także wykorzystanie ujętego gazu.

Pierwsze instalacje podziemnego odmetanowania kopalń oddano do użytku w latach 1958 i 1960, kolejno w kopalniach Silesia i 1-Maja (Kozłowski, Grębski 1982). Następne z nich uruchamiano sukcesywnie: w południowej części GZW wraz z budową nowych kopalń, a w części centralnej i północnej zagłębia wraz z podejmowaniem eksploatacji węgla na głębszych poziomach, w obrębie autochtonicznej strefy wysokometanowej. Rozwój ilościowy uruchamianych systemów odmetanowania kopalń oraz wielkości ujęcia i wykorzystania metanu w następnych latach przedstawia rysunek 3.1. W latach 1952–2010 systemami tymi ujęto ogółem 10893,5 mln m³ metanu, z czego wykorzystano 8151,6 mln m³, tj. prawie 75%.

Analiza wielkości ujęcia i wykorzystania metanu systemami odmetanowania pokazuje na ich drastyczny spadek na początku ostatniej dekady ubiegłego wieku, a następnie stopniowy wzrost – zdecydowanie wyraźniejszy dla ujęcia niż wykorzystania (rys. 3.1). Pierwsze z tych zjawisk należy wiązać z prowadzoną w tym okresie restrukturyzacją sektora węgla kamiennego, a w tym przede wszystkim z ograniczaniem wydobycia węgla i likwidacją znacznej części kopalń (Pytel 2004). Na przyczyny drugiego z nich pewne światło rzuca natomiast analiza danych z ostatnich 10 lat, dotyczących wydzielania metanu do wyrobisk czynnych kopalń, wyrażonego w wartościach bezwzględnych (metanowość bezwzględna), jak i w przeliczeniu na jednostkowe wydobycie węgla (metanowość względna). Dane te przedstawiono łącznie dla wszystkich kopalń węgla kamiennego w tabeli 3.1 i na rysunku 3.2. Nawet w takim ogólnym ujęciu, wskazują one wyraźnie na coraz trudniejsze warunki gazowe produkcji węgla. Pomimo stałego spadku jego wydobycia, do 2008 r. metanowość bezwzględna rosła bowiem w miarę szybko, a późniejszy jej spadek okazał się jedynie nieznaczny. Metanowość względna natomiast, po szybkim wzroście, ustabilizowała się na wyrównanym i stosunkowo wysokim poziomie. W 2011 r. aż 54,9 mln t węgla, tj. 72,7% całkowitego wydobycia pochodziło z pokładów metanowych.



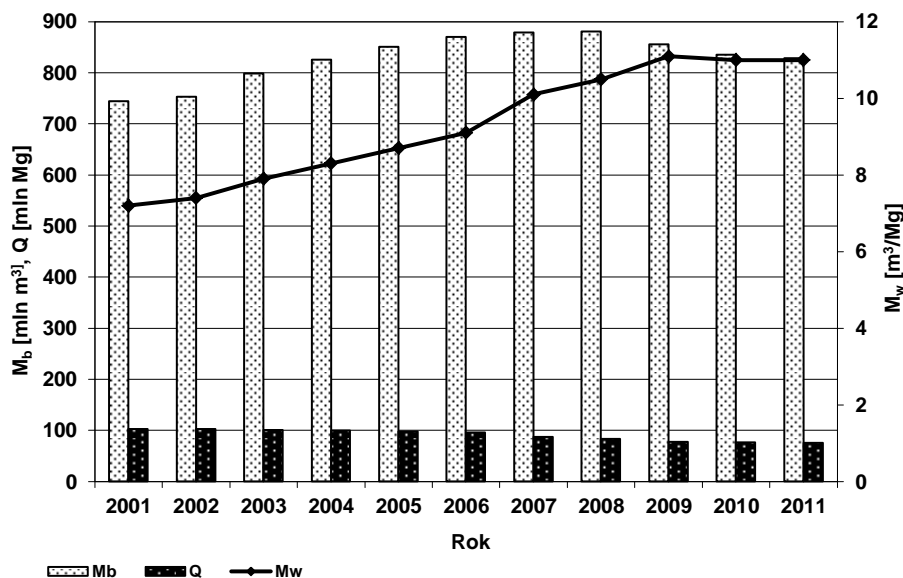
Rys. 3.1. Rozwój odmetanowania kopalń w Polsce w latach 1960–2010; M₀ – ujęcie metanu, W – wykorzystanie metanu, n – liczba systemów odmetanowania
Fig. 3.1. Development of coal mines degasation in Poland during 1960–2010; M₀ – CMM capturing, W – CMM utilization, n – number of degasation systems

Tabela 3.1. Wydobywanie węgla oraz metanowość czynnych kopalń, wraz z wielkością ujęcia i wykorzystania metanu w latach 2001–2011
Table 3.1. Coal output and CMM methane emission from coal mines as well as methane capturing and utilization during 2001–2011

Wyszczególnienie	Rok										
	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
Metanowość bezwzględna [mln m ³ /rok]	743,7	752,6	798,1	825,9	851,1	870,3	878,9	880,9	855,7	834,9	828,8
Wydobycie węgla kamiennego [mln t]	102,6	102,1	100,4	99,5	98,1	95,4	87,4	83,6	77,4	76,1	75,5
Metanowość względna [m ³ /t]	7,2	7,4	7,9	8,3	8,7	9,1	10,1	10,5	11,1	11,0	11,0
Ujęcie metanu [mln m ³ /rok]	214,3	207,3	227,1	250,9	255,3	289,5	268,8	274,2	259,8	255,9	250,2
Wykorzystanie metanu [mln m ³ /rok]	131,5	122,4	127,8	144,2	144,8	158,3	165,7	156,5	159,5	161,1	166,5

Z drugiej strony, dane nt. ujęcia i wykorzystania ujętego metanu (tab. 3.1, rys. 3.3) wskazują na dynamiczny rozwój odmetanowania kopalń do 2006 r., a następnie – po nieznacznym spadku ujęcia – na pewną jego stabilizację. Daje się to zaobserwować również, jeśli wyrazić ujęcie odmetanowaniem w procentach metanowości bezwzględnej. Tak zdefiniowana efektywność odmetanowania swe maksimum, w wysokości 33,3%, osiągnęła w 2006 r., by później ustabilizować się na poziomie 30–31%. Podobnie, choć z dużo mniejszą dynamiką, przebiegały zmiany zagospodarowania ujmowanego gazu. Odzwierciedla to zawsze

obserwowane w górnictwie dążenie do poprawy przede wszystkim bezpieczeństwa pracy (rozwój odmetanowania), a dopiero w dalszej kolejności wykorzystania wydobytego przy okazji surowca.

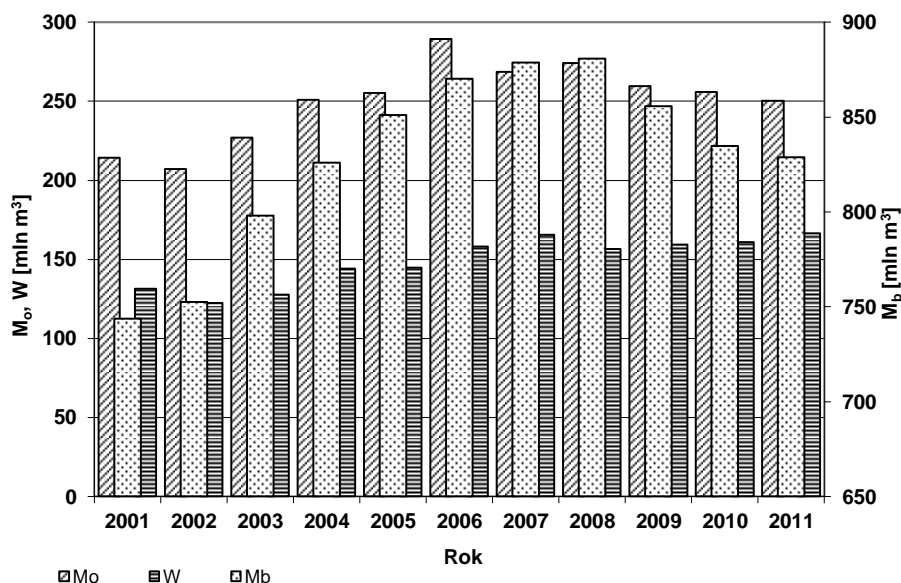


Rys. 3.2. Metanowość bezwzględna (M_b) i względna (M_w) czynnych kopalń, na tle wydobycia węgla (Q) w latach 2001–2011

Fig. 3.2. Total (M_b) and specific (M_w) emissions of coal mines on the background of coal output (Q) during 2001–2011

Tendencja taka, w powiązaniu z opisanymi zmianami metanowości względnej, sugeruje ponadto, że wzrost metanowości górnictwa węgla kamiennego wynika przede wszystkim z przesuwania frontu eksploatacji do najgłębszej ze stref gazowych, tj. autochtonicznej strefy wysokometanowej (por. dane nt. głębokości eksploatacji w Grzybek 2012). Ze wzrostem głębokości wydobycia węgla wiąże się niewątpliwie pogorszenie własności filtracyjnych coraz głębiej położonych pokładów węgla, co niesie niekorzystne skutki dla stosowania odmetanowania wyprzedzającego. Zjawisko to zauważono już w okresie lat 1996–2000, w którym stwierdzono jego malejący udział w ogólnym ujęciu odmetanowaniem, z 19,9% w pierwszym do 9,1% w ostatnim roku tego okresu (Grzybek 2001). W tym samym czasie udział odmetanowania zrobów zmalał z 42,9 do 33,6%, a odmetanowania eksploatacyjnego wzrósł z 37,2 do 57,3% (Grzybek 2001). Tendencja taka utrzymuje się aż do chwili obecnej. W latach 2004–2011 udział odmetanowania wyprzedzającego wynosił bowiem średnio zaledwie 3,4% (z minimum 2,4% w 2011 r.), podczas gdy odmetanowania zrobów 40,4%, a eksploatacyjnego 56,2%.

Przedstawione powyżej dane nt. metanowości bezwzględnej, ujęcia metanu i efektywności odmetanowania w czynnych kopalniach węgla kamiennego pokazują ponadto, że dołowe systemy odmetanowania pozwalają na ujęcie, średnio, zaledwie około 30% metanu uwalniającego się z węgla podczas jego eksploatacji. Pozostałe 70%, tj. średnio 582 mln m³, corocznie odprowadzane jest do atmosfery wraz z powietrzem wentylacyjnym kopalń.



Rys. 3.3. Ujęcie odmetanowaniem (M_o) i wykorzystanie (W) ujętego metanu w latach 2001–2011 na tle metanowości bezwzględnej (M_b)

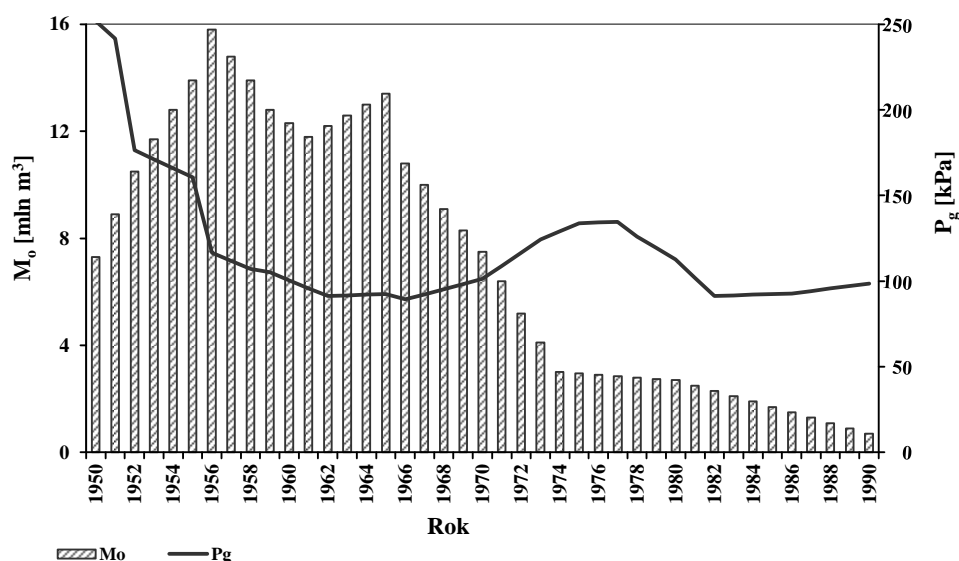
Fig. 3.3. Capturing (M_o) and utilization (W) of CMM during 2001–2011 on the background of the total (M_b) emission of coal mines

3.2. Pozyskanie metanu wolnego z wyniesień stropu karbonu

Początek wydobywania metanu wolnego, nagromadzonego w stropie karbonu, wiąże się ze wspomnianym wybuchem metanu w szybie Marklowice I. Po wybuchu szyb ten zamurowano, pozostawiając jednak otwór dla swobodnego wypływu metanu do atmosfery. Według B. Kozłowskiego i Z. Grębskiego (1982), do roku 1950 włącznie uwolniło się z niego około 350 mln m³ CH₄. Wysoka wydajność wypływającego z niego gazu (40 m³/min w 1929 r. i 20 m³/min w 1945 r.) legła u podstaw inwestycji, po raz pierwszy wykonanej celowo dla ujęcia i wykorzystania CBM. W sąsiedztwie szybu, na obszarze około 16 km², w latach 1948–1958 odwiercono 44 otwory, z których 30, o głębokości 107–300 m, włączono do eksploatacji w utworzonej Kopalni Gazu „Marklowice” (rejon VI). Udostępniały one wolny metan nagromadzony w pułapce, utworzonej pod nieprzepuszczalnym nadkładem w piaskowcach warstw rudzkich i zabrskich. Eksploatację gazu rozpoczęto w 1951 r. Według A. Wiśniowskiego i Z. Mendrygała (1991) przez pierwsze dwa lata prowadzono ją systemem samoczynnym, a począwszy od 1953 r. systemem wymuszonym, z zastosowaniem podciśnienia w granicach od 5,6 do 20,2 kPa. Kolejnymi cezurami, istotnymi dla przebiegu eksploatacji były:

- rok 1970, kiedy to rozpoczęto drążenie wyrobisk górniczych w złożu węgla zalegającym poniżej otworów kopalni Marklowice oraz
- rok 1974, w którym w wyrobiskach górniczych zaczęto stosować niezależne odmetanowanie.

Rozpoczęcie robót górniczych spowodowało stopniowe wyłączanie poszczególnych odwiertów z eksploatacji i zamknięcie kopalni gazu w 1988 r. Skutkiem rozpoczęcia tych robót był także spadek jakości ujmowanego gazu, w którym koncentracja CH₄ obniżyła się z początkowych 94–96% do 55–68%. Po 1988 r. trzy zachowane odwierty gazowe z Markłowic podłączono do systemu odmetanowania kopalni węgla Marcel, gdzie funkcjonowały do roku 2000. W okresie swego istnienia kopalnia Markłowice wydobyła sumarycznie 301,4 mln m³ metanu (rys. 3.4), z czego wykorzystano około 50%. Później, do roku 2000 włącznie, z otworów przekazanych kopalni Marcel wydobyto jeszcze 20,1 mln m³ metanu.



Rys. 3.4. Przebieg wydobycia (M_o) metanu w Kopalni Gazu „Markłowice” (wg Pytel 2004);
P_g – ciśnienie głowicowe
Fig. 3.4. Summary of CBM capturing (M_o) at Markłowice Gas Mine, (acc. to Pytel 2004);
P_g – wellhead pressure

Kolejna inwestycja, której efektem było przemysłowe pozyskanie wolnego metanu dotyczyła jego nagromadzeń w obrębie paleomorfologicznego wyniesienia stropu karbonu, zwanego wyniesieniem Goczalkowic-Dębiny, położonego na obszarze kopalni Silesia (rejon IV), w części początkowo nieobjętej eksploatacją węgla. Wykonane tu w latach 1957–1963 otwory poszukiwawcze udokumentowały na głębokości 107–160 m obecność wolnego metanu w piaskowcach warstw łaziskich, tuż pod nieprzepuszczalnym nadkładem przykrywającym wyniesienie. Trwający 9 miesięcy test produkcyjny czterech z dwunastu odwierconych tu otworów pozwolił ująć 1,2 mln m³ metanu i dał podstawy do uruchomienia stałej jego eksploatacji. Prowadzoną ją w latach 1965–1971, początkowo samoczynnie, a od listopada 1969 r. systemem wymuszonym podciśnieniem, wytwarzanym przez sprężarki kopalnianego systemu odmetanowania. W toku eksploatacji ujęto ogółem 10,75 mln m³ metanu. Wydobycie metanu przerwano w związku z rozbudową kopalni Silesia w obszarze wyniesienia

Goczałkowic–Dębiny. Otwory eksploatacyjne nie zostały jednak zlikwidowane, co w 1997 r. pozwoliło na ponowne uruchomienie okresowej produkcji gazu. W jej trakcie, z 3 starych i 5 nowo odwierconych otworów wydobyto 4,3 mln m³ czystego metanu, przy jego koncentracji w ujmowanym gazie w granicach 80–95%. Wydobyty metan przynajmniej w części uwalniał się z pokładów w zasięgu eksploatacji węgla przez KWK Silesia. Wskazują na to nieznaczne spadki metanowości tej kopalni w okresach funkcjonowania wydobycia metanu omawianymi otworami.

Szczególny przypadek ujęcia metanu ze zwietrzelin przykrywających strop karbonu miał miejsce w kopalni Morcinek (rejon V). Budowa szybów, a także innych wyrobisk udostępniających złoża węgla tej kopalni, wymagała odwodnienia warstw zalegających bezpośrednio w stropie formacji węglonośnej. Warstwy te, zwane warstwami dębowieckimi, zbudowane są z silnie porowatych osadów gruboklastycznych, zazwyczaj nasyconych wodą. Już w trakcie ich odwodnienia otworami powierzchniowymi, wykonanymi dla wytworzenia leja depresji wokół głębinnych szybów, okazało się, że pompowane wody są zgazowane. Wydobyty wraz z wodą gaz (92% CH₄), po jego separacji odprowadzono początkowo do atmosfery. W okresie budowy kopalni, w latach 1980–1986, odprowadzono w ten sposób 3,3 mln m³ gazu. W kolejnych latach, po otwarciu kopalni w 1987 r., odwodnienie warstw dębowieckich przejęły głównie otwory dołowe, odwiercone z wyrobisk kopalni na poziomach 800 i 950 m. Łącznie, do likwidacji kopalni na przełomie lat 1998–99 z warstw dębowieckich ujęto 17,4 mln m³ CH₄.

3.3. Próby ujęcia metanu sorbowanego z dziewiczych złóż węgla

Próby ujęcia metanu sorbowanego w węglu, z obszarów poza zasięgiem eksploatacji węgla, zapoczątkowało wydanie w dniu 28.03.1990 r. koncesji dla kopalni Jastrzębie. Dynamiczny rozwój prac poszukiwawczych miał jednak miejsce dopiero od roku 1994, kiedy to rozpoczęto wydawanie koncesji innym inwestorom. Po zakończeniu przewidzianych do końca 1999 r. prac geologicznych, wszyscy z nich wycofali się jednak z robót w głębokich otworach. Prace te wykazały bowiem, że zastosowanie ówczesnych technologii, pomimo że umożliwiło produkcję metanu, to jednak – w warunkach GZW – było nieopłacalne. Technologie te opierały się na wierceniu pionowych otworów z powierzchni i stymulacji udostępnionych pokładów węgla, poprzez szczelinowanie hydrauliczne lub kawernowanie, a następnie obniżanie ciśnienia złożowego (pompowanie wody) do ciśnienia rozpoczęcia desorpcji metanu z węgla (rys. 2.2). W ramach tych prac, obszary koncesyjne pokryto w miarę równomiernie rozmieszczonymi, lecz nielicznymi otworami, które leżą we wzajemnie dużych odległościach, tworząc siatkę o charakterze rozpoznawczym (Grzybek 1993). Zakres przeprowadzonych w tym okresie robót i wkład poszczególnych przedsiębiorców ilustruje tabela 3.2.

Tabela 3.2. Porównanie stanu prac w zakresie poszukiwania i rozpoznawania metanu pokładów węgla w dziewiczych złożach węgla wykonanych przez poszczególnych przedsiębiorców w GZW w latach 1990–1999

Table 3.2. Comparison of CBM exploration works done by particular companies in the virgin fields of the Upper Silesian Coal Basin during 1990–1999

Nazwa przedsiębiorstwa	Amoco Poland Ltd.	McCor-mick Poland	Metanel S.A.	Pol-Tex Methane ²	Texaco Śląsk	Razem
Liczba udzielonych koncesji	1	1	3	2	1	8
Liczba wykonanych otworów	15	0	3	14	8	40
Metraż wierceń [km]	25,5	0	3,9	16,4	11,1	56,9
Liczba interwałów sperforygowanych (otwartych)	113	0	15	5	19	152
Liczba interwałów szczelinowanych hydraulicznie	109	0	11	2	18	140
Liczba interwałów kawernowanych	4	0	0	0	0	4
Liczba interwałów zbadanych metodami polowymi	58	0	1	3	8	70
Liczba interwałów testowanych długotrwałe ¹	110	0	30	4	18	162

¹ łącznie z długotrwałym tłokowaniem i pompowaniem, uwzględniono wielokrotne testowanie tych samych interwałów,

² łącznie z przejętymi pracami kopalni Jastrzębie.

Próbie zastosowania jednej z eksperymentalnych technologii eksploatacji metanu z dziewiczych złóż węgla, tzw. wzmożonego pozyskania (ang. *enhanced coalbed methane* – ECBM), podjęto w ramach sponsorowanego przez UE projektu badawczego RECOPOL, prowadzonego w okresie 6.08.2004–28.06.2005 r. w obszarze koncesji spółki Metanel S.A. Technologia ECBM polega najogólniej na wtłaczaniu w węgiel azotu bądź dwutlenku węgla, z równoczesnym odbiorem „wypieranego” metanu pionowymi, szczelinowanymi odwiertami, otaczającymi otwór zatłaczający. W trakcie testu zatłaczania CO₂ w trzy pokłady węgla, połączonego z odbieraniem metanu odwiertem produkcyjnym, odległym od iniekcyjnego o 150 m, zatłoczono 760 t ciekłego CO₂, początkowo z wydajnością 1–2 t/d i ciśnieniem głowicowym ok. 4–9 MPa, a następnie – odpowiednio: do max. 15 t/d i około 15 MPa (m.in.: Pagnier, Van Bergen 2002; Reduction of CO₂ emission by means of CO₂ storage in coal seams in the Silesian Coal Basin of Poland. Abstract book of workshop 2005). Wyniki testu wykazały, że technologia ECBM przyczynia się do zwiększenia produkcji metanu. W zastanych warunkach geologicznych problematyczną pozostaje jednak opłacalności takiego procesu, wobec niewielkiego wzrostu produkcji metanu i małej wydajności zatłaczania CO₂.

3.4. Pozyskanie metanu ze zrobów zlikwidowanych kopalń

Pozyskanie metanu ze zrobów zlikwidowanych kopalń – jeśli nie liczyć dołowych ujęć z za tam odcinających stare zroby – w GZW podjęto pojedynczymi otworami w dwóch miejscach,

na obszarach zlikwidowanych kopalń Morcinek (rejon V) i Żory (rejon IV). Pozyskanie, prowadzone począwszy od – odpowiednio: 2004 i 2009 r., do końca 2011 r. pozwoliło na wydobycie łącznie 17,1 mln m³ metanu, przy jego koncentracji w ujmowanym gazie w granicach 84–99%.

4. Dyskusja wyników

Przegląd dotychczasowych doświadczeń z odmetanowania kopalń oraz pozyskania, względnie prób pozyskania MPW z powierzchni pokazuje, że w GZW znalazły zastosowanie praktycznie wszystkie z dzisiaj już klasycznych technologii takiej działalności. Ich wdrożenie, począwszy od 1929 r. aż do chwili obecnej, pozwoliło ująć 11864,7 mln m³ metanu. Z tego 93,9% pozyskano z czynnych kopalń węgla, 5,9% z płytko położonych nagromadzeń metanu wolnego, a 0,1% z odgazowania kopalń zlikwidowanych. Jeśli nie liczyć eksploatacji metanu wolnego, w praktyce bardziej zbliżonej do górnictwa gazu ziemnego, to statystyka ta jednoznacznie wskazuje, że – według przedstawionej we wprowadzeniu terminologii angielskiej – jedynym źródłem pozyskanego metanu był CMM. Jak dotąd nie powiodły się próby wydobycia CBM, a w odniesieniu do VAM, dotychczas nawet ich nie podjęto (poza pracami studialnymi).

Zważywszy, że znaczna część ujęcia CMM pochodziła z odmetanowania zrobów, powyższa statystyka może być nieco myląca. Jakkolwiek brak jednoznacznych danych na ten temat dla całego okresu stosowania odmetanowania w GZW (1952–2011), to na podstawie danych z lat 1996–2000 i 2004–2011 można jednak szacować, że ze zrobów wydobyto około 38% ogólnej ilości CMM ujętego odmetanowaniem. Tym samym, uwzględniając ewidentne podobieństwa, można stwierdzić, że odgazowanie zlikwidowanych kopalń lub ich części odpowiada za około 35,8%, a nie 0,1% dotychczasowego pozyskania metanu. Zlikwidowane kopalnie lub ich części są więc i nadal mogą być ważnym źródłem pozyskania metanu.

Analizując technologie odmetanowania czynnych kopalń węgla kamiennego w oparciu o ww. dane z lat 1996–2000 i 2004–2011, należy też zwrócić uwagę na zdecydowany spadek znaczenia odmetanowania wyprzedzającego, rosnące eksploatacyjne i wahające się, lecz mniej więcej stałe znaczenie odmetanowania zrobów. Jest to niewątpliwie wynikiem stale rosnącej głębokości eksploatacji węgla i związanego z tym pogarszania jego przepuszczalności. Sprawia to, że poza rejonami częściowo odprężonymi przez wybieranie pokładów nadległych, a szczególnie w węglach niedosyconych metanem, zastosowanie odmetanowania wyprzedzającego złoża, bez szczelinowania pokładów węgla jest praktycznie niemożliwe. Z drugiej strony, eksploatacyjne odprężenie węgla, bez względu na głębokość jego zalegania, powoduje nawet stukrotny wzrost jego przepuszczalność (Krause 2001), tłumacząc rosnące ujęcie odmetanowaniem eksploatacyjnym i zrobów.

Warunki geologiczno-gazowe GZW, opisane w rozdziale 2, mają istotny wpływ na niepowodzenie dotychczasowych prób pozyskania CBM. Jeśli pominąć, same w sobie istotne: niedosyconie metanem znacznej części węgla i ich niską przepuszczalność, to decydującym czynnikiem okazała się tu przede wszystkim stosunkowo duża głębokość występowania najbardziej zasobnej, autochtonicznej strefy wysokometanowej. Jeśli uwzględnić gęstości objętościowe skał karbońskich GZW i głębokość wykonanych tu otworów (średnio 1422,5 m – tab. 3.2), to staje się oczywistym, że gradienty szczelinowania, niezbędne do skutecznego szczelinowania tak głęboko położonych pokładów węgla, musiały przekroczyć graniczną

wartość 22,5 kPa/m, liczoną względem głębokości otworu. Jak wykazały liczne badania w USA, omówione szerzej w pracy (Grzybek 1993), przy stosowaniu ciśnienia szczelinowania powodującego przekroczenie tej wartości gradientu, zamiast szczelin pionowych, typowych dla odwiertów produkujących CBM na skalę przemysłową, w górotworze powstają tzw. szczeliny T-kształtne, charakterystyczne dla otworów nieprzemysłowych. Nie ma więc podstaw do oczekiwania, że w otworach wykonanych w GZW, w pokładach węgla wytworzyły się szczeliny inne niż T-kształtne. Na podstawie amerykańskich danych, dotyczących geometrii wytworzonych szczelin (Grzybek 1993) można więc szacować, że objętość górotworu drenowanego pionowymi otworami wykonanymi w GZW była około 100 razy mniejsza, niż typowych otworów produkcyjnych w USA. W połączeniu ze wspomnianym, częstym brakiem nasycenia węgla metanem i niską przepuszczalnością musiało to skutkować niską, nieekonomiczną wydajnością wydobycia CBM z poszczególnych otworów.

Dla odmetanowania eksploatacyjnego i zrobów, prowadzonego w zasięgu eksploatacyjnego odprężenia węgla, a także pozyskania metanu wolnego z nagromadzeń pod stropem karbonu, opisane powyżej uwarunkowania geologiczne nie mają większego znaczenia – podobnie jak dla ujmowania metanu ze zlikwidowanych kopalń węgla. Takie kierunki prac projektowych i wdrożeniowych wydają się więc pozbawione większego ryzyka, z zastrzeżeniem, że główne nagromadzenia gazu wolnego prawdopodobnie zostały już odkryte i szcerpane. Odprowadzanie do atmosfery aż 70% metanu uwalniającego się z węgla pokazuje, że duży potencjał tkwi też w ewentualnym wykorzystaniu VAM. Jakkolwiek nie limitowane warunkami geologicznymi, wykorzystanie takie stwarza jednak inne problemy, wynikające ze znacznego rozrzedzenia metanu w powietrzu wentylacyjnym. Z kolei, warunkiem koniecznym, pozwalającym na uwolnienie metanu z dziewiczych złóż węgla wydaje się ich szersze otwarcie, możliwe z zastosowaniem otworów horyzontalnych, i – ewentualnie – wielokrotnych szczelinowań, takich jak przy udostępnieniu gazu z łupków. Dla pozyskania metanu otworami horyzontalnymi pewną barierę geologiczną może stanowić skomplikowana tektonika GZW, w tym przede wszystkim znaczne zuskokowanie pokładów węgla. Przerwy w ciągłości pokładów ograniczają bowiem długość wiercenia odcinków horyzontalnych. Technologia taka nie została jednak dotychczas sprawdzona w warunkach GZW i może być obciążona znacznym ryzykiem.

5. Wnioski

Przeгляд dotychczasowych doświadczeń w zakresie odmetanowania kopalń i pozyskania metanu w GZW pozwala wyciągnąć następujące wnioski:

1. Metan pokładów węgla jest możliwym do wykorzystania źródłem gazu ziemnego. Mimo znacznych zasobów geologicznych, aktualnie stosowane metody jego pozyskania umożliwiają jednak tylko niewielkie jego wydobycie.
2. Trudności w zwiększeniu wydobycia wynikają z warunków geologiczno-gazowych GZW, w tym głębokiego położenia najbardziej zasobnych w metan pokładów węgla, ich niskiej przepuszczalności oraz – często – niedosyceniu metanem.
3. Warunki te powodują, że ujęcie metanu z użyciem klasycznych technologii jest zasadniczo możliwe tylko z płytko położonych wyniesień karbonu (metan wolny) oraz – w przypadku głębszych pokładów węgla – ze stref górotworu objętych odprężającymi wpływami eksploatacji węgla (metan sorbowany).

4. Wśród technologii pozyskania metanu sorbowanego podstawowe znaczenie ma odmetanowanie eksploatacyjne oraz ujmowanie metanu ze zrobów, zarówno odmetanowaniem zza tam, odcinających je od czynnych części kopalń, jak i – szczególnie w przypadku kopalń zlikwidowanych – otworami z powierzchni.

5. Ze względu na uwarunkowania geologiczne, wyprzedzające odmetanowanie kopalń oraz pozyskanie metanu z dziewiczych złóż węgla, z zastosowaniem dotychczasowych technologii jest nieopłacalne. Z drugiej strony, tylko jego pozyskanie przed planowaną eksploatacją węgla może znacząco przyczynić się do poprawy bezpieczeństwa pracy w kopalniach oraz wzrostu znaczenia metanu jako źródła energii.

6. Rozwój takiego, wyprzedzającego pozyskania wymaga jednak opracowania i wdrożenia nowych technologii, które – zdaniem autorów – powinny skupiać się na szerszym otwarciu pokładów węgla w otworach i poprawie (stymulacji) ich przepuszczalności.

7. Ze względu na znaczną ilość metanu emitowanego do atmosfery wraz z powietrzem wentylacyjnym kopalń, pożądanym wydaje się także kontynuowanie prac w zakresie rozwoju opłacalnych technologii jego wykorzystania.

Literatura:

- [1] Ceglarska-Stefańska G., Czaplinski A., 1991: Współzależność zjawisk sorpcyjnych i dylatometrycznych węgli kamiennych. Litwiniszyn J. (red.): Górotwór jako ośrodek wielofazowy. Wyrzuty skalno-gazowe, t. II. Wyd. AGH, Kraków, s. 411–441.
- [2] Grzybek I., 1993: Wprowadzenie w zagadnienia stymulacji pokładów węgla. Metan Pokładów Węgla. Biuletyn Centrum Informacji 4; s. 9–12.
- [3] Grzybek I., 1997: Perspektywy rozwoju górnictwa metanu pokładów węgla. Bezpieczeństwo Pracy i Ochrona Środowiska w Górnictwie 7; s. 26–28.
- [4] Grzybek I., 2001: Utilization of coalbed methane in Poland. Abstracts of 4th Intern. Symp. on Eastern Mediterranean Geology. 21–25 May 2001, Isparta, Turkey. Wyd. Suleyman Demirel University; s. 107.
- [5] Grzybek I., 2011: The study of conditions of gases emission from abandoned mines of the south-west part of Upper Silesian Coal Basin (Poland). Bezpieczeństwo Pracy i Ochrona Środowiska w Górnictwie 9; s. 39–53.
- [6] Grzybek I., 2012: Studium uwarunkowań emisji gazów ze zlikwidowanych kopalń SW części GZW (część III). Bezpieczeństwo Pracy i Ochrona Środowiska w Górnictwie 3; s. 21 – 35.
- [7] Grzybek I., Kędzior S., 2005: Zróżnicowanie warunków gazowych Górnośląskiego Zagłębia Węglowego, a możliwość migracji metanu ze zlikwidowanych kopalń węgla kamiennego. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, Górnictwo, z. 268, s. 55–66.
- [8] Knox L.M., 1997: Coalbed methane in Upper Silesia. A comprehensive, integrated study. Procs. of the 1997 Coalbed Methane Symposium, Tuscaloosa 12–16 May; s. 127–135.
- [9] Kotarba M., Pękała Z., Daniel J., Więclaw D., Smolarski L., 1995: Rozkład głębokościowy zawartości metanu i węglowodorów wyższych w utworach węglonośnych górnego karbonu Górnośląskiego Zagłębia Węglowego. Ney R., Kotarba M. (red.): Opracowanie modeli oraz bilansu generowania i akumulacji gazów w serii węglonośnej Górnośląskiego Zagłębia Węglowego. Wyd. CPPGSMiE PAN, Kraków, s. 61–74.
- [10] Kotas A. (red.), 1994: Coal-Bed Methane Potential of The Upper Silesian Coal Basin, Poland. Prace FIG, CXLII, Warszawa.

- [11] Kozłowski B., Grębski Z., 1982: Odmetanowanie górotworu w kopalniach. Wyd. „Śląsk”, Katowice.
- [12] Krause E.: Aspekty bezpieczeństwa i ochrony środowiska na terenach pogórnich związanych z zagrożeniem gazowym. Człowiek i środowisko wobec procesu restrukturyzacji górnictwa węgla kamiennego. Wyd. CPPGSMiE PAN, Kraków 2001, s. 417–430.
- [13] Nieć M., 1993: Złóża metanu w formacjach węglonośnych. Mat. Szkoły Eksploatacji Podziemnej’93, Ustroń 1–5 marca, vol. 2; s. 281–301.
- [14] Obwieszczenie Ministra Gospodarki z dnia 21 grudnia 2009 r. w sprawie polityki energetycznej państwa do 2030 r. (M.P. z 2010 r. Nr 2 poz. 11).
- [15] Pagnier H.J.M., Van Bergen F., 2002: Demonstrating CO₂-ECBM: The RECOPOL project. Greenhouse Issues, No 58.
- [16] Pilcher R.C., Bibler C.J., Glickert R., Machesky L. & Williams J.M., 1991: Assessment of the Potential for Economic Development and Utilization of Coalbed Methane in Poland. U.S. EPA Report No EPA/400/1-91/032.
- [17] Pytel J., 2004: Wykorzystanie i wystarczalność zasobów węgla kamiennego w Polsce. Mat. konf. Doświadczenia z likwidacji zakładów górniczych. Mysłowice, październik 2004. Wyd. SITG; s. 10–31.
- [18] Reduction of CO₂ emission by means of CO₂ storage in coal seams in the Silesian Coal Basin of Poland. Abstract book of workshop, Szczyrk 10–11 March 2005 (niepublikowany).
- [19] Wiśniowski A., Mędrygał Z., 1991: Doświadczenia w zakresie ujęcia metanu z górotworu otworami powierzchniowymi w polu Marklowice-Świerklany. Mat. seminarium nt. Zwalczanie zagrożenia metanowego w kopalniach. Teoria i praktyka. 24.10.1991 r.
- [20] Zuber M.D., Olszewski A.J., 1993: Coalbed Methane Production Forecasting: Measurement accuracy required for key reservoir properties. Proc. of the 1993 International Coalbed Methane

Polish experience in the area of coal deposits degasation

Key words

Coal mine methane, coalbed methane, coal mines degasification, CBM capturing, Upper Silesian Coal Basin

Summary

Polish Energy Policy up to 2030 assumes that coalbed methane can contribute to the improvement of safety of fuels and energy supply. The review of up to date experience gathered from the Upper Silesian Coal Basin in the area of coal mines degasation and CBM production by surface boreholes confirms the assumption. At the same time, however it evidences that, because of difficult geological-gassy conditions, the use of current technologies makes only possible small gas production, mainly by longwall panels degasation and gas collecting from the gobbs of operating and abandoned coal mines. A chance for increase of CBM production as well as improvement of the safety of mining operations planned in the future is set on new technologies. Among them, technologies assuring stimulation of coal seams permeability and wider opening of them by boreholes (horizontal wells, hydrofracturing) seem the most promising. At the other side, for the increase of CMM utilization there is useful to develop technology for VAM use.

Przekazano: 27 marca 2012 r.