

PODSUMOWANIE

Otwór wiertniczy Chelmek IG 1 został odwiercony we wschodniej części GZW, które stanowi waryscyjską jednostkę geologiczno-złożową, zbudowaną z karbońskich, molasowych utworów węglonośnych basenu morawsko-śląskiego. Podłoże karbonu GZW budują utwory prekambriu, kambriu i dewonu. Utwory karbonu rozpoczynają się od prefiszowej asocjacji węglanowej, przechodzącej w morskie osady klastyczne asocjacji fliszowej, a następnie w molasowe osady węglonośne. Charakterystyczną cechą osadów węglonośnych karbonu jest ich wyraźna dwudzielność. Starszą część profilu tworzą utwory wykształcone w warunkach sedymentacji paralicznej, z okresowymi zalewami morskimi, litostratygraficznie wydzielane jako seria paraliczna. Pozostałą, młodszą część, budują utwory wykształcone w warunkach lądowych, które stanowią dominujący element budowy geologicznej karbonu wschodniej części zagłębia i w rejonie otworu Chelmek IG 1 są zbudowane z trzech serii litostratygraficznych: górnośląskiej serii piaskowcowej, serii mułowcowej i krakowskiej serii piaskowcowej. Nadkład karbonu w rejonie otworu ma niewielką miąższość i jest zbudowany głównie z molasowych morskich utworów miocenu zapadliśka przedkarpackiego oraz utworów triasowych.

Zadaniem geologicznym wiercenia otworu było zbadanie profilu karbonu węglonośnego, w szczególności: stratygrafii, wykształcenia litologiczno-facjalnego, charakteru petrograficznego i sedymentacyjnego, węglasobności, węglonośności, jakości węgla i metamorfizmu substancji organicznej oraz warunków hydrogeologicznych i gazowych, w tym – przeprowadzenie polowych badań hydrogeologicznych. Otwór po osiągnięciu założonego celu geologicznego (przewiercenie spągu utworów węglonośnych) został zakończony na głęb. 2254,30 m. Profil otworu (od głęb. 8,30 m) objęto ciągłym rdzeniowaniem. Rdzeń z otworu został wszechstronnie zbadany, m.in. pod względem: litologiczno-facjalnym, tektonicznym, petrograficznym, mineralogicznym i geochemicznym. Wykonano również szczegółowe badania biostratygraficzne (fauny, flory oraz spor), chemiczno-technologiczne i gazowe węgla, petrofizyczne, geotechniczne oraz geofizyczne.

Profil stratygraficzny otworu jest następujący: 0,00–11,60 m czwartorzęd, 11,60–42,50 m neogen (miocen – baden), 43,50–50,00 m trias, 50,00–2254,30 m karbon, w tym moskow (westfal B–D) do 21229,70 m, baszkir do 1455,30 m (namur C + westfal A) i serpuhow (namur A) do 2254,30 m.

Litostratygraficznie część utworów miocenu została zaliczona do formacji skawińskiej, natomiast w utworach karbonu wydzielono: krakowską serię piaskowcową (50,00–1143,25 m, warstwy libiąskie i łaziskie), serię mułowcową (1143,25–1431,25 m, warstwy orzeskie s.s. + warstwy załęskie), górnośląską serię piaskowcową (1431,25–1455,30 m, warstwy rudzkie s.s.), serię paraliczną (1455,30–2145,80 m, warstwy grodzieckie, florowskie i sarnowskie) oraz warstwy malinowickie (2145,80–2254,30 m).

Osady miocenu w profilu otworu występują pomiędzy pokrywą czwartorzędową a utworami triasu. Ich górną część tworzą iłowce margliste, litostratygraficznie odpowiadające formacji skawińskiej. Poniżej, do stropu triasu, występuje gładzowisko skał triasowych spojonych marglistą brekcją, o niepewnej pozycji stratygraficznej.

Utwory triasu o kilkumetrowej miąższości zalegają bezpośrednio na utworach karbońskich i są zbudowane z wapieni oraz piaskowców różnoziarnistych. Wiekowo są to utwory triasu dolnego, retu (odcinek węglanowy) oraz środkowego pstręgo piaskowca.

Poniżej triasu występują utwory karbonu reprezentowane przez wszystkie formacje węglonośne: krakowską serię piaskowcową, serię mułowcową, górnośląską serię piaskowcową i serię paraliczną oraz przez morskie utwory terygeniczne warstw malinowickich (tzw. kulmu). Litologicznie profil karbonu budują skały osadowe i są to niemal wyłącznie skały klastyczne, a w seriach węglonośnych także fitogeniczne. Pod względem występowania poszczególnych typów litologicznych, utwory karbonu są mało zróżnicowane. Wyjątkiem są zlepieńce, występujące tylko w obrębie krakowskiej serii piaskowcowej. Zróżnicowanie litologiczne odzwierciedla się głównie w udziale poszczególnych typów litologicznych i ich rodzajów, szczególnie w przypadku osadów piaszczystych. Piaskowce o grubszym uziarnieniu występują głównie w obrębie krakowskiej serii piaskowcowej oraz górnośląskiej serii piaskowcowej. W serii mułowcowej są podrzędne, a w serii paralicznej i morskich utworach warstw malinowickich – nieobecne. Powodem tych różnic są zmiany facjalne i paleogeograficzne, jakie zachodziły w środowiskach sedymentacji w czasie deponowania osadów karbońskich: od zanikania sedymentacji osadów morskich w środowiskach przybrzeżnych równin i delt, przez okres depozycji osadów paralicznych z wielokrotnymi ingresjami morza na obszary lądowe, na których następowała właściwa

sedymentacja węglonośna, aż do całkowitego odcięcia wpływów morza i depozycji osadów lądowych w warunkach rozległych równi aluwialnych rzek roztokowych i meandrujących, z licznymi torfowiskami.

Zasadniczą część karbonu produktywnego w otworze Chelmek IG 1 stanowią utwory krakowskiej serii piaskowcowej i serii mułowcowej. Ich charakterystyczną cechą jest cykliczna budowa profilu składającego się ze skał klastycznych i fitogenicznych, przy czym w utworach krakowskiej serii piaskowcowej dominują osady deponowane w warunkach rzek roztokowych, ze stosunkowo nielicznymi torfowiskami, natomiast w serii mułowcowej są to głównie osady rzek meandrujących z licznymi torfowiskami i częstymi zmianami warunków sedymentacji. Analogiczną cykliczną budową profilu, zbliżoną do serii mułowcowej, cechują się również osady serii paralicznej, przy czym w tej części profilu charakterystyczne jest występowanie osadów deponowanych w środowisku przybrzeżnych równin deltowych (brakicznym), rzadziej w środowisku morskim, często z licznymi szczątkami fauny, tworzących tzw. poziomy lub horyzonty faunistyczne. W stosunku do profilu serii paralicznej zachodniej części GZW, w otworze Chelmek IG 1 występuje znacznie mniej poziomów morskich, a z poziomów charakteryzujących się dużym zasięgiem lateralnym, znaczną miąższością i bogatym zespołem faunistycznym obecny jest tylko jeden dużej miąższości cykl osadów morskich, odpowiadający najprawdopodobniej poziomowi Barbara (V) połączonemu z poziomem morskim Enna (VII). Brak innych przewodnich poziomów morskich oraz poziomu łupku szlifierskiego uniemożliwił zastosowanie tzw. zachodniego podziału serii na mniejsze jednostki litostratygraficzne, wyznaczone zostały natomiast jednostki tzw. podziału wschodniego. Litologia poszczególnych jednostek litostratygraficznych serii paralicznej nie jest zbyt zróżnicowana. W całym profilu zdecydowaną przewagę mają skały piaszczysto-mułowcowe. Większy udział piaskowców notowany jest tylko w warstwach grodzieckich, zwraca również uwagę wyraźnie większa piaszczystość spągowej części serii – warstw sarnowskich, rozpoczynających sedymentację węglonośną.

Węglonośność karbonu produktywnego wynosi 4,04%. Stwierdzono 142 warstwy węgla o miąższościach 0,05–5,80 m i sumarycznej miąższości (bez przerostów) 84,68 m. Najwyższą węglonośnością cechuje się niewielkiej miąższości górnośląska seria piaskowcowa (23,24%), z jednym grubym pokładem węgla (5,80 m). Pomijając ten szczególny przypadek, za najbardziej węglonośną serię należy uznać serię mułowcową (8,15%), w której występuje 9 pokładów bilansowych o miąższościach 1,00–3,00 m. Niższa jest węglonośność krakowskiej serii piaskowcowej (warstwy libiąskie – 3,45% i warstwy łaziskie – 3,99%), przy czym seria ta może być perspektywiczna dla potencjalnej eksploatacji (stwierdzono 18 pokładów węgla o grubości od 1,00 m do 5,00 m), a stosunkowo niska węglonośność wynika z dużej miąższości serii. Najniższy udział skał fitogenicznych cechuje serię paraliczną, (warstwy grodzieckie – 0,83%, florowskie – 2,55%, sarnowskie – 0,13%); w całej serii stwierdzono tylko 1 bilansowy pokład węgla o miąższości 1,10 m.

Morskie utwory terygeniczne – litostratygraficznie określane jako warstwy malinowickie – występują poniżej węglonośnych osadów serii paralicznej do końcowej głębokości otworu. Przewiercony został tylko stropowy odcinek górnej części warstw malinowickich, które w tej części zagłębia są bardzo słabo rozpoznane. Litologicznie przewiercony odcinek tworzą osady piaszczysto-mułowcowe i iłowce pylaste.

Rdzeń z otworu zbadano pod kątem występowania skamieniałości oraz opróbowany do szeroko zakrojonych badań biostratygraficznych karbonu: florystycznych, palinologicznych i makrofaunistycznych. Na podstawie badań florystycznych opracowano charakterystykę paleobotaniczną i fitostratygrafię utworów karbonu, wiekowo należących do wczesnego serpuchowu–późnego moskoku (namur A–westfal D). Analizie poddano 4420 próbek z 372 interwałów opróbowania, w których stwierdzono bardzo dobrze zachowaną florę oznaczalną taksonomicznie oraz różnorodne szczątki roślin spowinowacone z florą węglotwórczą. Łącznie z całego profilu karbonu oznaczono 5740 szczątków roślinnych, reprezentujących taksony o znaczeniu stratygraficznym.

Badaniom miosporowym poddano 86 próbek z węgla, łupków węglowych oraz iłowców węglistych z głęb. 109,40–2048,00 m. Zidentyfikowano zespoły mikrospor reprezentatywne dla standardowych biozon zachodnioeuropejskiego podziału palinostratygraficznego karbonu: górnej części dolnego namuru A (serpuchowu), westfalu A (baszki), części westfalu B (moskoku), westfalu C (moskoku), górnej części westfalu D (moskoku) oraz ich lokalnych odpowiedników w GZW. Na podstawie znanych zasięgów stratygraficznych taksonów megaspor wydzielono także sześć zespołów megasporowych charakterystycznych dla: górnego wizenu, serpuchowu, baszki i moskoku.

Skamieniałości zwierzęce (fauny słodkowodnej, brackiej i morskiej) w profilu karbonu występują od głęb. 952,00 do 2241,45 m, przy czym w utworach lądowych wystąpienia fauny (wyłącznie słodkowodnej) są nieliczne. W tej części profilu znaczenie stratygraficzne mają dwa poziomy fauny słodkowodnej – w spągu krakowskiej serii piaskowcowej i serii mułowcowej (moskoku). Pozostałe skamieniałości zwierzęce stwierdzono w obrębi serii paralicznej i warstw malinowickich. Skamieniałości te dokumentują serpuchowu (namur A). Na podstawie analizy zespołów fauny określono szereg poziomów faunistycznych o znaczeniu stratygraficznym i korelacyjnym. W warstwach malinowickich wyznaczono morski poziom faunistyczny Štur (XVI), natomiast w obrębi serii paralicznej stwierdzono (od dołu) poziomy: Bruno (XII), Franciszka (X), Roland (IX), Barbara (V) i Koks (IVa).

Dla całego profilu karbonu wykonano szczegółowe badania petrograficzno-mineralogiczne skał płonnych, w tym analiz mikroskopowych – 207, planimetrycznych – 136, rentgenowskich – 209 i termicznych – 53. Wykorzystano również oznaczenia porowatości efektywnej i przepuszczalności 80 próbek piaskowców. Na podstawie wykonanych badań wyróżniono następujące typy skał klastycznych: piaskowce, mułowce, iłowce i skały tufogeniczne (tufy).

W zmienności petrograficznej profilu otworu podstawowe znaczenie mają piaskowce. Są to głównie arenity i waki arkozowe i lityczne o strukturze od bardzo droбноziarnistej do gruboziarnistej. Szkielet ziarnowy jest złożony z kwarcu, skałeni potasowych i plagioklazów, litoklastów (głównie kwarcytów, łupków kwarcowo-łyszczykowych oraz kwaśnych skał magmowych) oraz łyszczyków. Spojony jest matriksem i/lub cementem węglanowym oraz kwarcowym. Porowatość efektywna piaskowców waha się w granicach 1,3–22,1%, a przepuszczalność wynosi od poniżej 0,1 do 600 mD. Porowatość i przepuszczalność piaskowców maleje wraz z głębokością jej zalegania i jest najwyższa w stropowej części krakowskiej serii piaskowcowej. Na diagenezę skał karbońskich najsilniejszy wpływ miały: kompaktacja mechaniczna, cementacja węglanami i kwarcem, kaolinizacja i serycytyzacja skałeni oraz karbonatyzacja skałeni i litoklastów.

Badaniami petrograficznymi objęto również 70 pokładów i wkładek węgla z głęb. 226,55–2095,20 m. Zakres badań obejmował analizę macerałów i mikrolitotypów oraz określenie współczynnika zdolności odbicia światła R_o (refleksyjności wityritu). Przeprowadzone badania wykazały, że głównym składnikiem węgla są macerały z grupy wityritu, a w grupie tej kolinit zdecydowanie przeważa nad telinitem. Pośród mikrolitotypów najwyższe procentowe zawartości zajmuje wityrit, a następnie duroklaryt. Przeważającym typem mikrofacjalnym jest typ trimacerytowo-wityritowy. Współczynnik refleksyjności wityritu wzrasta z głębokością, od 0,53% (226,55 m) do 0,87% (2048,00 m), a jego wartości wskazują na niski stopień metamorfizmu węgla.

Dla 70 pokładów i warstw węgla o miąższości od 0,10 do 5,80 m wykonano badania technologiczno-chemiczne. Zakres tych badań obejmował: analizę technologiczną (wilgoć, popiół, części lotne, ciepło spalania i wartość opałową), własności koksoownicze i wytlewne (spiekalność metodą Rogi, kontrakcję i dylatację, wydajność półkoks i prasmały, wody rozkładowej i gazu), oznaczenie typu węgla, podatność przemiałową, gęstość pozorną, zawartość siarki (całkowitej, popiołowej, palnej i pirykowej) oraz analizę elementarną (węgiel, wodór, tlen i azot). Określono następujące typy węgla: 31,1 i 31,2 (węgiel płomienny), 32,1 (gazowo płomienny), 33 (gazowy), 34 i 34,2 (węgiel gazowo-koksowy).

Dla 68 pokładów i warstw węgla wykonano badania geochemiczne popiołów na zawartość pierwiastków głównych, podrzędnych i śladowych oraz bezpośrednio w węglu – na zawartość siarki, fosforu, chloru i fluoru. Pierwiastki główne (Si, Al, Fe, Ca, Mg, Na, K, S) oznaczono z popiołów uzyskanych w temperaturze 815°C. Z kolei w popiołach niskotemperaturowych (525°C) oznaczono pierwiastki podrzędne i śladowe: As, Ba, Br, Co, Cr, Ga, Ge, Mn, Mo, Nb, Ni, Pb, Rb, Sr, Th, Ti, U, V, Y, Zn, Zr. Średnie zapopielenie badanych węgli wynosi 12,1%. Podstawowy skład chemiczny popiołów jest głównie glinowo-krzemianowy, średnia zawartość piryty wynosi 6,7%, a siarki całkowitej – 1,32%. Zawartość pierwiastków podrzędnych i śladowych jest zbliżona do zawartości przeciętnych dla węgla ze środkowej części zagłębia.

Badania mineralizacji w skałach karbonu przeprowadzono na 106 próbkach z interwału 48,6–2253,4 m. Najpowszełszą formą występowania mineralizacji są wypełnienia spękań tektonicznych oraz konkrecje syderytowe i pirytowe. Spękania najczęściej występują w piaskowcach i są wypełnione: pirytem, anhydrytem i kalcytem, rzadziej gipsem, galeną i magnezytem. Septarie w konkrecjach syderytowych są wypełnione kalcytem i pirytem, rzadziej magnezytem i dolomitem.

Dla profilu otworu przeprowadzono analizę tempa depozycji materiału osadowego oraz modelowanie historii termicznej i warunków pogrzebienia programem PetroMod 1-D firmy Schlumberger. Profil ten charakteryzuje obecność dwóch faz pogrzebienia osadów – w karbonie oraz w mioценie. Pograżanie w karbonie było związane z powstawaniem pokrywy osadowej na skutek fleksuralnego uginania płyty przedpola orogenu waryscyjskiego. Stworzyło to przestrzeń akomodacyjną w basenie, który miał charakter przedgórski i umożliwiło jego wysoki stopień wypełnienia materiałem detrytycznym. Na podstawie wyników modelowań określono strefy faz generacyjnych węglowodorów w profilu otworu. W fazie generacyjnej gazu ziemnego mogą znajdować się osady górnośląskiej serii piaskowcowej, serii paralicznej i warstw malinowickich.

Na próbkach ze skał karbonu wykonano również badania geochemiczne materii organicznej metodą Rock-Eval. Metoda ta dostarcza parametry i wskaźniki pozwalające na określenie typu kerogenu zawartego w skałach, stopnia dojrzałości termicznej materii organicznej oraz potencjału węglowodorowego. Do badań pobrano 44 próbki (mułowce, ilowce i łupki węglowe) z głęb. 227,0–2250,6 m. Wyniki badań wskazują na generalnie niski stopień przeobrażenia termicznego materii organicznej. Materia organiczna w ładowej części profilu karbonu wydaje się być niedojrzała do generowania węglowodorów, w przeciwieństwie do materii organicznej serii paralicznej, która znajduje się w początkowej fazie generowania węglowodorów.

Warunki hydrogeologiczne zostały określone na podstawie badań laboratoryjnych rdzenia oraz bezpośrednich pomiarów w trakcie wiercenia oraz po jego zakończeniu. Badania laboratoryjne własności fizycznych i hydrogeologicznych skał karbońskich wykonane na 107 próbkach wskazują na skały o szerokim zakresie przepuszczalności, od skał nieprzepuszczalnych do skał o słabym charakterze przepuszczalności (<0,1–1000 mD) oraz małej i średniej porowatości efektywnej. Bezpośrednie badania hydrogeologiczne w otworze przeprowadzono próbnikiem złoża (głęb.: 1506,0–1658,8; 1799,5–1863,0 i 2071,0–2116,9 m) oraz przy użyciu kompresora i łyżki wiertniczej (głęb.: 550,0–600,0; 700,0–750,0; 920,0–980,0 i 1192,0–1418,0 m). Zbadane karbońskie poziomy wodonośne mają charakter subartezyjski. Stwierdzona w nich woda to 4,03–23,38% solanki reprezentujące typ chemiczny Cl–Na. Wysoki stopień zmetamorfizowania solanek ($r_{Na/rCl} = 0,764–0,878$) wskazuje na wody relikto-owe, silnie przeobrażone podczas długotrwałych procesów geologicznych, w warunkach długotrwałej izolacji od powierzchni ziemi.

Warunki gazowe określono na podstawie badań zawartości metanu i jakości gazu w pokładach węgla metodą degazacji próżniowej (45 oznaczeń) oraz badań desorbometrycznych (42 oznaczenia). Badano również zawartość metanu w płucce wiertniczej (4 oznaczenia). Do głęb. ok. 1100 m stwierdzono występowanie pokładów niemetanowych, w interwale 1100–1650 m – pokładów nisko- i średniometanowych (maksymalnie $4,41 \text{ m}^3 \text{ CH}_4/\text{t csw}$, a poniżej – pokładów wysokometanowych (maksymalnie $9,42 \text{ m}^3 \text{ CH}_4/\text{t csw}$).

W otworze wykonano szereg badań geofizycznych, w tym standardowe profilowania stosowane w utworach węglonośnych, a także profilowanie oporności płuczki, pomiar temperatury, profilowanie potencjałów samoistnych oraz zdjęcia fali akustycznej. Dla piaskowców karbońskich wykonano interpretację profilowań geofizycznych do określenia własności hydrogeologicznych: mineralizacji wód, porowatości piaskowców oraz nasycenia skał wodą złożową. Profilowanie temperatury wykonano w warunkach zbliżonych do ustalonych. Stopień geotermiczny określony dla karbonu wynosi 47,4 m. Temperatura w spągu odwiertu na głęb. 2250 m wynosiła 62°C .

Pomiary sejsmometryczne obejmują profilowanie prędkości średnich oraz pionowe profilowanie sejsmiczne. Wyniki wskazują na zależność między wzrostem głębokości a czasem rejestracji i prędkością średnią. Obserwowany jest stały systematyczny wzrost prędkości wraz z głębokością. Na podstawie wyników pomiarów prędkości sejsmicznych

w profilu otworu wydzielono cztery kompleksy prędkościowe: nadkład i warstwy libiąskie do głęb. ok. 400 m o średniej prędkości 2300 m/s; górne warstwy łaziskie do głęb. ok. 830 m o średniej prędkości 3200 m/s; dolne warstwy łaziskie, seria mułowcowa oraz górnośląska seria piaskowcowa do głęb. ok. 1520 m o średniej prędkości 3400 m/s oraz seria paraliczna o średniej prędkości 4000 m.

Na próbkach z utworów karbonu wykonano badania własności fizycznych skał. Zakres badań obejmował następujące pomiary: gęstości objętościowej, prędkości fali akustycznej, własności cieplnych oraz parametrów geotechnicznych. Pomiary gęstości objętościowej wykonano na 7125 próbkach pobranych co 25 cm. W poszczególnych rodzajach typów litologicznych skał średnia gęstość objętościowa zwiększa się wraz z głębokością. Pomiary prędkości fali akustycznej (podłużnej i poprzecznej) wykonano na 96 próbkach z piaskowców i mułowców. Dla analizowanych typów litologicznych skał prędkości fali akustycznej wzrastają z głębokością. Pomiary własności cieplnych (przewodności i pojemności) wykonano dla 198 próbek, nie zaobserwowano związków korelacyjnych z głębokością. Badania parametrów geotechnicznych przeprowadzono na próbkach rdzenia wiertniczego z górnej części utworów karbonu, do głęb. 1000 m. Zakres badań obejmował: własności fizyczne skał, wytrzymałość jednoosiową i trójosiową, własności sprężyste, parametry reologiczne. Ogółem zbadano 73 próbki z krakowskiej serii piaskowcowej.