

Stratygrafia sekwencji, petrogeneza i potencjał zbiornikowy piaskowców istebniańskich i ciężkowickich w zachodniej części fałdu Iwonicza Zdroju

Anna Baszkiewicz*, Piotr Dziadzio, Jaromir Probulski****

Dane geologiczne uzyskane z nowo odwierconego otworu Draganowa-1, zlokalizowanego w zachodniej części fałdu Iwonicza Zdroju, umożliwiły wykonanie kompleksowej analizy geologicznej z wykorzystaniem metod petrograficznych, sedimentologicznych i geofizycznych. Połączenie wyników tych interpretacji z analizą strukturalną i wynikami opróbowania przy zastosowaniu metody stratygrafii sekwencyjnej umożliwiło wyjaśnienie wzajemnych związków występowania nasyceń węglowodorów w obrębie warstw istebniańskich i piaskowców ciężkowickich. Zaproponowany model geologiczny wskazuje na istnienie nowych możliwości poszukiwawczych w tej części fałdu Iwonicza Zdroju, związanych z piaskowcami zdeponowanymi w ciągach systemowych niskiego stanu WPM, wyinterpretowanych na przekrojach sejsmicznych.

*PGNiG S.A. w Warszawie, O/BG Geonafta w Warszawie, ul. Jagiellońska 76, 03-301 Warszawa; ach4@pgnig.com.pl

**PGNiG S.A. w Warszawie, O/BG Geonafta w Warszawie, Ośrodek Regionalny Południe w Jaśle, 38-300 Gorlice
ul. Kościuszki 34; p.dziadzio@geonafta.jaslo.pl; j.probulski@geonafta.jaslo.pl

Słowa kluczowe: Karpaty, jednostka śląska, warstwy istebniańskie, piaskowce ciężkowickie, utwory stożków podmorskich, stratygrafia sekwencji, diagenеза, właściwości zbiornikowe

Anna Baszkiewicz, Piotr Dziadzio & Jaromir Probulski — **Sequential stratigraphy, petrogenesis and reservoir potential of the Istebna Beds and Ciężkowice Sandstones in the western part of the Iwonicz Zdrój fold (SE Poland).** *Prz. Geol.*, 49: 417–424.

Summary. The geologic data derived from new borehole Draganowa-1, located in the western part of the Iwonicz Zdrój Fold, were used for preparing integrated geological interpretation based on petrographical, sedimentological, and geophysical methods. The obtained results integrated with structural analyses, borehole tests and a sequence stratigraphy analysis enabled explanation of relationships between hydrocarbon occurrences within the Istebna Beds and the Ciężkowice Sandstones. Based on interpreted seismic sections, the proposed geological model showed the new potential for hydrocarbon accumulations in the area examined corresponding to sandstones deposited in lowstand system tracts.

Key words: Carpathians, Silesian Unit, Istebna beds, Ciężkowice sandstones, deep-water fan deposits, sequence stratigraphy, diagenesis, reservoir properties

Niniejszy artykuł jest fragmentem opracowań, które miały na celu wyjaśnienie trendów zmian własności zbiornikowych i stopnia nasycenia węglowodorami w warstwach istebniańskich i piaskowcach ciężkowickich w zachodniej części fałdu Iwonicza Zdroju. Uzyskany z otworu Draganowa-1 doskonały materiał geologiczny, w formie rdzeni i krzywych geofizyki otworowej, w połączeniu z materiałami sejsmicznymi poddano kompleksowej interpretacji. Miała ona na celu wskazanie nowych możliwości poszukiwawczych w tym rejonie, w kontekście odkrytego otworem Draganowa-1 złoża gazu w I piaskowcu ciężkowickim.

Wykonano analizę facjalną i analizę zmian diagenetycznych w utworach warstw istebniańskich i piaskowcach ciężkowickich. Wyróżniono elementy architektury depozycyjnej, którym przypisano cechy zbiornikowe oraz określono ich przynależność do ciągów depozycyjnych, wyróżnianych w stratygrafii sekwencyjnej.

Na podstawie wykonanych badań stwierdzono, że strefy występowania utworów pozakorytowych (dominacja materiału drobnziarnistego) i łobów depozycyjnych (duża lateralna rozciągłość) nie stanowią dobrych pułapek dla węglodorów, zarówno w obrębie warstw istebniańskich, jak i piaskowców ciężkowickich. Korzystne natomiast właściwości zbiornikowe towarzyszą strefom wypełnień korytowych w środowisku stożków podmorskich, gdzie dodatkowo właściwości zbiornikowe zostały zróżnicowane przez późniejsze procesy diagenetyczne.

Sytuacja geologiczna

Fałd Iwonicza Zdroju jest skrajnym południowym elementem zarówno jednostki śląskiej, jak i centralnej depresji karpackiej. Rozciąga się od miejscowości Kalnica na wschodzie i ciągnie się przez miejscowości Szczawne, Tokarnia, Wola Sękowa, Rudawka Rymanowska, Zboiska, Żmigród Stary ku zachodowi i dalej śledzony w obrębie warstw krośnieńskich, kontynuuje się aż do rejonu Dobryni (ryc. 1).

Ze względu na występowanie w tym obszarze złóż ropy naftowej był on obiektem zainteresowania geologów już od XIX w. Szczególny wkład w jego rozpoznanie wnieśli: Wyszyński (1932, 1933), Wdowiarz (1949), Jurkiewicz, (1959), Kozikowski (1964), Wdowiarz i Zubrzycki (1986).

Fałd ten zinterpretowano jako strukturę powstałą w wyniku odkłucia kompleksu osadowego od warstw istebniańskich po strop eocenu i nasunięcia na starszy kompleks osadowy jednostki śląskiej lub na zaburzone tektonicznie utwory warstw krośnieńskich jednostki śląskiej. Utwory warstw krośnieńskich dopasowują się do nasuniętych wew-

nętrznie warstw istebniańskich, utworów eocenu i warstw menilitowych tworząc dupleks tektoniczny z pasywnym stropem (ang. *passive roof duplex*) (Dziadzio i in., 1998, Probulski i in., 2001) (ryc. 2).

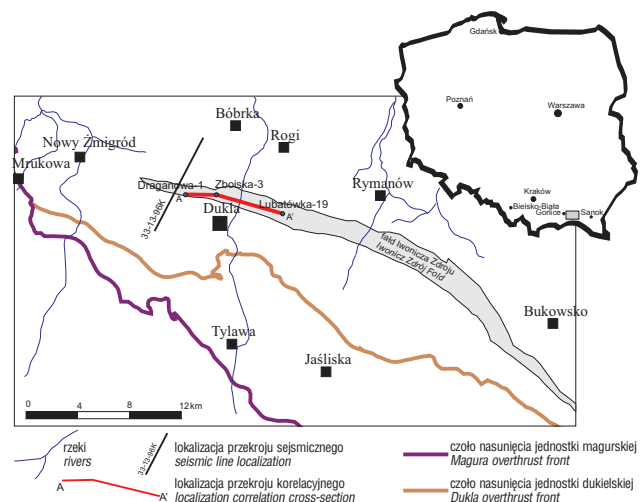
Litostratygrafia

Profil litostratygraficzny jest typowy dla jednostki śląskiej i jest reprezentowany przez warstwy istebniańskie dolne (górną kreda–kampan, mastrycht), warstwy istebniańskie górne (dolny paleocen), kompleks łupków pstrych i piaskowców ciężkowickich (górną paleocen–eocen), warstwy menilitowe (dolny oligocen) i warstwy krośnieńskie (dolny wyższy oligocen–górną oligocen).

Środowiska depozycji

W kompleksie osadowym jednostki śląskiej z punktu widzenia poszukiwań naftowych zasadniczą rolę odgrywają warstwy istebniańskie i piaskowce ciężkowickie.

Analiza sedimentologiczna przeprowadzona na materiałach rdzeniowych z otworu Draganowa-1 i uzupełniona krzywymi karotażowymi z otworów Draganowa-1, Zboiska-3, Lubatówka-19 (Dziadzio & Baszkiewicz, 2001) dała podstawę do określenia środowisk sedimentacji oraz wyróżnienia elementów architektury depozycyjnej, z którymi wiążą się nagromadzenia węglodorów.



Ryc. 1. Mapa lokalizacyjna obszaru badań
Fig. 1. Location map of study area

W obrębie warstw istebniańskich i piaskowców ciężkowickich wyróżniono 4 główne facje opisane terminami genetycznymi. Są to:

- utwory turbidytów wysokogęstościowych i spływów upłynionego materiału,
- utwory turbidytów niskogęstościowych,
- utwory spływów rumoszowych i mułowych,
- utwory spływów mułowych.

Facje te są charakterystyczne dla głębokomorskich środowisk sedymentacji. Budują one główne elementy architektury depozycyjnej środowiska stożków podmorskich do których zaliczono: wypełnione koryta, loby depozycyjne i strefy pozakorytowe (Dziadzio & Baszkiewicz, 2001).

W warstwach istebniańskich dolnych (Draganowa-1, w głęb. 2200–2090 m) dominują utwory o charakterze spływów mułowych i niskogęstościowych turbidytów, zinterpretowane jako redeponowane do środowiska głębokomorskiego prawdopodobnie utwory prodelty (ryc. 2), (Dziadzio & Baszkiewicz, 2001). Najczęściej facje o charakterze spływów mułowych występują w utworach wypełnień korytowych oraz pozakorytowych (w tych ostatnich stanowią jednak jedynie niewielki procentowy udział). Na głęb. 2020–2090 m, w otworze Draganowa-1, w oparciu o interpretację krzywych geofizyki otworowej, stwierdzono występowanie utworów piaskowcowych. Poprzez analogię do podobnych, analizowanych w rdzeniach, mogą one być piaskowcami wypełniającymi podmorskie koryta, ku stropowi przechodzącymi w drobnoziarniste facje opuszczeniowe.

W obrębie górnych warstw istebniańskich (Draganowa -1, od 2020 m do 1685 m) wyinterpretowano wypełnione koryta, loby depozycyjne i strefy zdominowane utworami drobnoziarnistymi — nazwane strefami pozakorytowymi. Zaliczono do nich utwory: wałów brzegowych, międzykorytowe oraz dystalne części lobów depozycyjnych i suspensaty pelagiczne. Koryta są wypełnione głównie utworami gruboziarnistych piaskowców, miejscami zlepieńcowatymi, a ich miąższość jest zmienna od 1 m do 30 m. Na krzywych geofizyki otworowej przyjmują charakterystyczne kształty — blokowy lub dzwonowy (ryc. 3). Utwory lobów depozycyjnych budują różnoziarniste piaskowce (głównie drobno- i średnioziarniste). Charakteryzują się one dużą lateralną kontynuacją poszczególnych pakietów warstw. Na krzywych geofi-

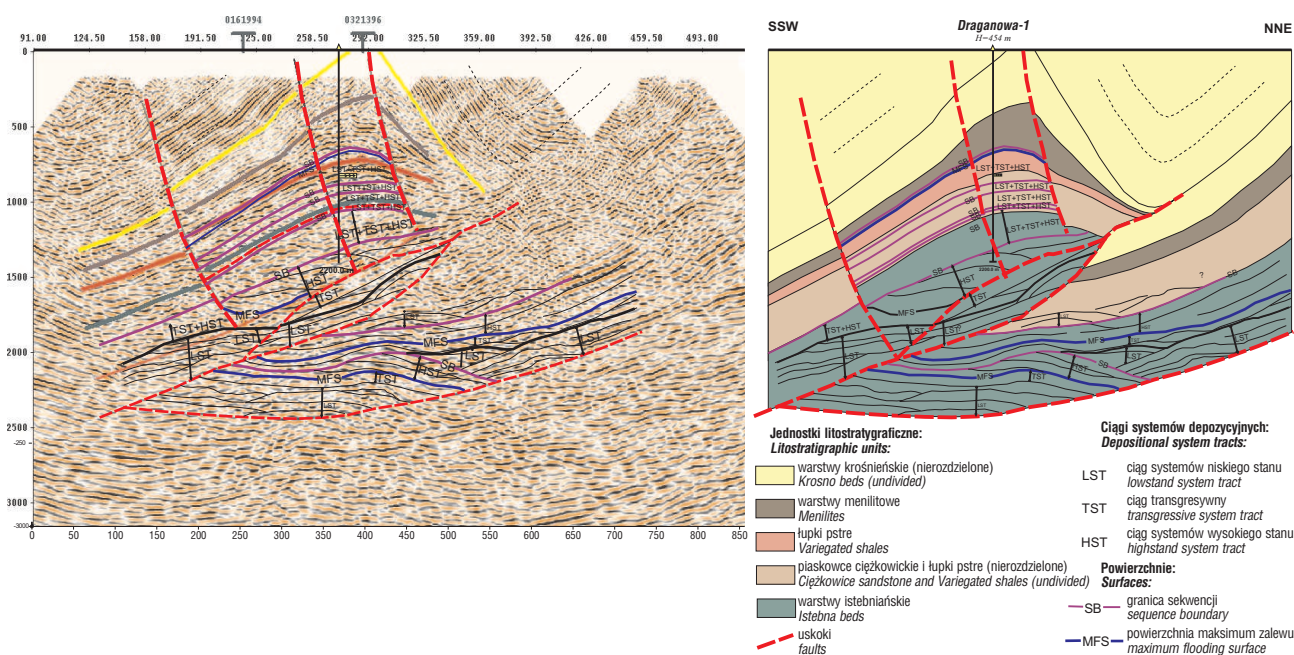
zyki otworowej mają nieregularne kształty, przy czym najczęściej przyjmują kształt lejkowaty. W profilu górnych warstw istebniańskich wspomniane elementy architektury depozycyjnej wielokrotnie się powtarzają, mają zmienną miąższość i duże zróżnicowanie lateralne (ryc. 3).

Powyżej warstw istebniańskich, występują cztery poziomy piaskowców ciężkowickich (I–IV) przedzielane łupkami pstrymi (ryc. 4). IV piaskowiec ciężkowicki budują utwory o typie spływów rumoszu. W połączeniu z profilem karotazowym piaskowiec ten tworzy sukcesję o ziarnie rosnącym ku górze, podobnie jak w utworach lobów depozycyjnych. Jednakże od tych ostatnich odróżnia go odmienny skład ziarnowy i proces depozycji. Utwory o takim charakterze najczęściej są spotykane w strefach aktywnych skłonów, budują też stożki basenowe. Podobne utwory zostały opisane z południowych Moraw przez Řehánka (1994), który zinterpretował je jako utwory korytowe górnego i wewnętrznego stożka, a więc z najbardziej aktywnej jego części.

W obrębie pozostałych trzech poziomów piaskowców ciężkowickich obserwuje się zbliżone cechy facjalne. Dominują w nich utwory facji turbidytów wysokogęstościowych i spływów upłynionego materiału. Budują one jednostki depozycyjne, które na krzywych geofizyki otworowej mają charakter dzwonowy lub blokowy o miąższości od 1,5 m do 40 m (ryc. 4). Podobne były opisywane np. przez: Walkera (1978); Muttiego & Normarka (1991); Mitchuma i in. (1993) głównie ze środowisk związanych ze stożkami podmorskimi. Niewielki procentowy udział stanowią w nich utwory turbidytów niskogęstościowych

Ponadto wyróżniono cykle o ziarnie rosnącym ku górze, które zinterpretowano jako utwory rozległych lobów depozycyjnych (ryc. 4), podobnie jak np. Mutti (1985, 1992), Mutti & Normark (1987).

W niektórych częściach prezentowanych profili z obrębu piaskowców ciężkowickich występują również interwały nie wykazujące wyraźnych charakterystycznych trendów zmian w profilach pionowych. Dominują wtedy facje drobnoziarniste, wskazujące na depozycję w obrębie szeroko rozumianych stref pozakorytowych (ryc. 4).



Ryc. 2. Zinterpretowany czasowy przekrój sejsmiczny 33-13-96K
 Fig. 2. Interpreted time section of profile 33-13-96K

grubszego materiału. Kontakty między ziarnami mają najczęściej charakter suturowy oraz podłużny.

Piaskowce ciężkowickie w części spągowej cyklu wypełnień korytowych są reprezentowane przez zlepienie drobnoziarniste, miejscami gruboziarniste, w wyższych zaś partiach przez grubo- i bardzo gruboziarniste piaskowce (rzadko średnioziarniste) o średniodobrym i dobrym (lokalnie bardzo dobrym) wysortowaniu, często z cechami bimodalności. Obtoczenie materiału detrytycznego jest zmienne od półostrokrawędzistego do obtoczonego.

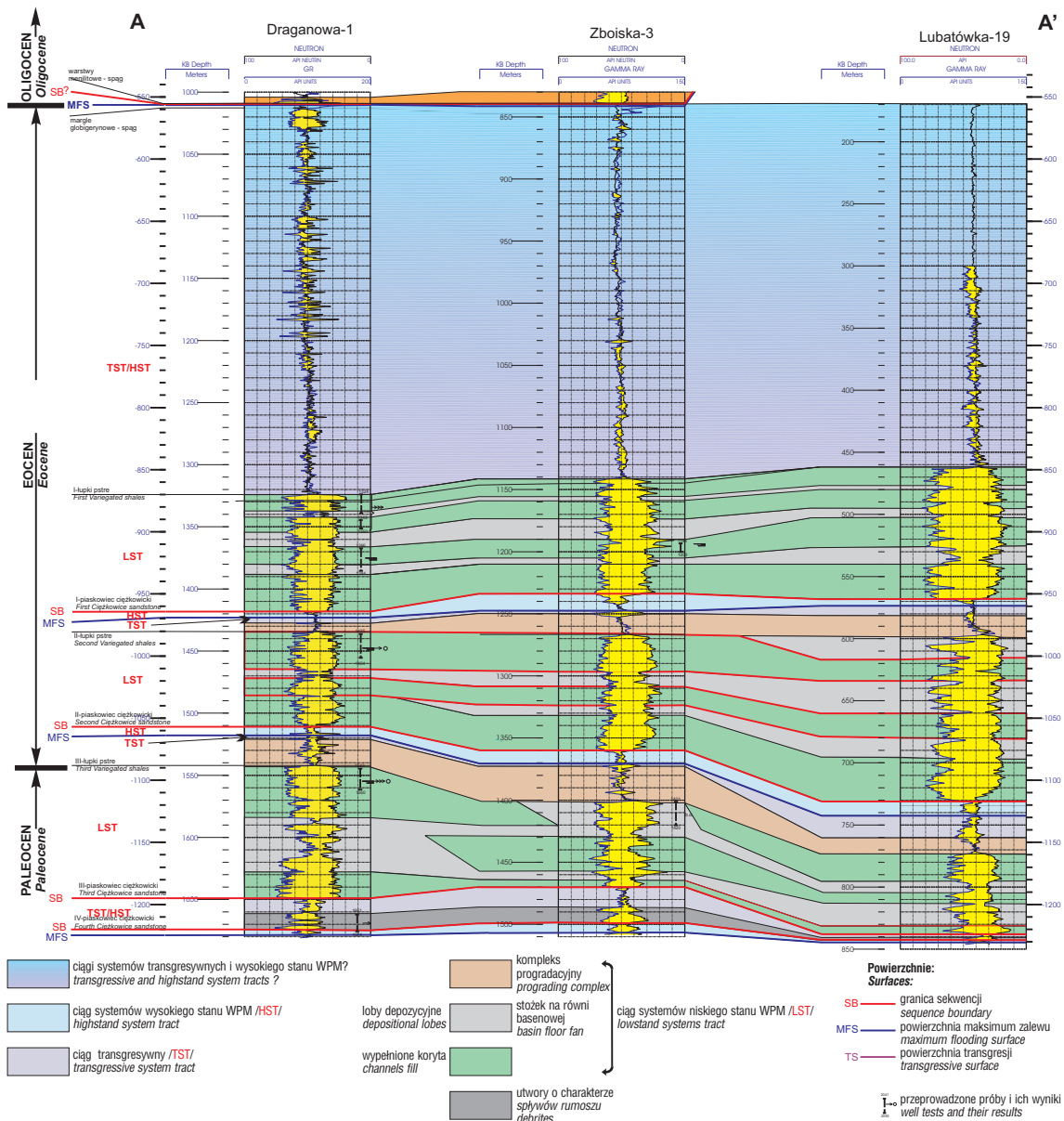
Utworki tej facji charakteryzują się bardzo małą zawartością pierwotnego spoiwa ilastego, co sprawia, iż są to piaskowce o najlepszych właściwościach zbiornikowych w badanym profilu. Stwierdzono w nich występowanie wtórnych spoiwa kwarcowego, węglanowego i ilastego.

Turbidyty niskogęstościowe — piaskowce warstw istebniańskich. Obok łupków ilastych i mułwców występują w tej facji wkładki bardzo drobnoziarnistych piaskowców (szarowaki) z pierwotnym spoiwem wapnisto-ilastym, charakteryzujących się bardzo dobrym wysortowaniem

materiału ziarnistego. Ziarna są obtoczone i półobtoczone, a kontakty między nimi mają charakter suturowy lub ich brak ze względu na wczesne spoiwo węglanowe. W odróżnieniu od turbidytów wysokogęstościowych występują tu nagromadzenia bioklastów (głównie otwornic) rzędu 1–2%. Utworki te są laminowane poziomo, ze śladami bioturbacji, lokalnie obserwuje się warstwowanie frakcyjne odwrócone.

Turbidyty niskogęstościowe — piaskowce ciężkowickie. Utworki te są reprezentowane przez bardzo dobrze wysortowane, bardzo drobnoziarniste piaskowce, typu szarowak litycznych. Materiał ziarnowy wykazuje przede wszystkim kontakty suturowe. Masę wypełniającą stanowi pierwotne spoiwo ilaste (>15%) oraz piryty (1–5%), prawdopodobnie związany z bioturbacjami. W szlifach obserwuje się warstwowanie poziome, frakcyjne oraz zaburzone wtórnie przez bioturbacje. Struktury występujące w osadzie podkreślone są przez znaczne koncentracje minerałów ilastych (łyszczaków) oraz substancji organicznej.

Utworki spływów rumoszu. Są zbudowane z bardzo źle wysortowanych od średnio- do bardzo gruboziarnistych



Ryc. 4. Sekwencje depozycyjne w obrębie łupków pstrych i piaskowców ciężkowickich
Fig. 4. Depositional sequences in the Variegated Shales and the Ciężkowice Sandstones

piaskowców zlepieńcowatych typu szarowak litycznych. Materiał ziarnisty ma zmienne obtoczenie od półostrokrawędzistego do obtoczonego. Ilość kontaktujących się ze sobą ziarn jest niewielka ze względu na wysoką zawartość pierwotnego spoiwa typu matriks (~15–20%) o składzie ilasto-pirytowym. Brak widocznych struktur wewnętrznych.

Petrografia piaskowców — skład.

Warstwy istebniańskie dolne. Badania petrograficzne wykazały, iż są reprezentowane one przez bardzo drobno- do średnioziarnistych, dobrze i bardzo dobrze wysortowane arkozy lityczne oraz litarenity arkozowe (wg klasyfikacji Folka, 1980). Obok kwarcu monokrystalicznego występują w nim kwarc polikrystaliczny, łupki łyszczykowe, muskowit, biotyt, skalenie (mikroclin, plagioklasy, zsercytyzowane skalenie potasowe). W niewielkich ilościach występuje syderyt, glaukonit i piryty (związane prawdopodobnie z działalnością organizmów żerujących w osadzie) oraz matriks ilasty. Ponadto lokalnie stwierdzono występowanie nielicznych okruchów skał węglanowych, mik chlorytowych oraz chlorytu detrytycznego. W spoiwie występują: kwarc, ankeryt, kalcyt, kaolinit, illit, chloryt.

Warstwy istebniańskie górne. Piaskowce tego kompleksu to głównie arkozy. W materiale detrytycznym dominują skalenie stanowiące 50% ziaren, z czego 2/3 to zmienione wtórnie, rozpuszczone, czyste skalenie sodowe i potasowe. Ponadto występują zmienione silnie plagioklasy (sercytyzowane, zawierają duże ilości potasu), sercytyzowane skalenie potasowe, pertyty, mikrokliny, plagioklasy oraz kwarc monokrystaliczny o wygaszeniu prostym i falistym, kwarc polikrystaliczny, łupki kwarcowo-łyszczykowe, łupki łyszczykowe, granaty, turmaliny, cyrkony. Lokalnie dodatkowo stwierdzono występowanie okruchów zmikrytyzowanych skał węglanowych i bioklastów (korale?, mszywioly, małże). W spoiwie występują: kwarc, kalcyt, kaolinit, illit, chloryt.

Piaskowce ciężkowieckie. Materiał ziarnowy składa się przede wszystkim z kwarcu monokrystalicznego i polikrystalicznego. W stosunku do wcześniej opisywanych utworów występuje w nich znacznie więcej kwarcu polikrystalicznego i jego zawartość rośnie w górę profilu. Spośród skał dominują ortoklasy, mikrokliny, pertyty i plagioklasy pasowe (w IV piaskowcu stwierdzono również plagioklasy zonalne). Ich zawartość maleje w górę profilu, obserwuje się przejście od arkoz litycznych w piaskowcu IV do subarkoz o niskiej zawartości skałeni — poniżej 15% w piaskowcu I. Zawartość łyszczyków jest stosunkowo spora i wynosi ok. 1–5% i jest najwyższa w III piaskowcu ciężkowieckim (średnio 5%). Wśród okruchów skalnych dominują skały metamorficzne — różnego typu łupki kwarcowe i kwarcowo-łyszczykowe, chlorytowe oraz podrzędnie okruchy skał osadowych — piaskowce i węglany. W składzie minerałów ciężkich przeważają składniki pochodzące z niszczenia kwaśnych skał magmowych (cyrkon, tlenki tytanu, monacyt). Nieznacznie zaznacza się obecność chromitu i ilmenitu — typowych dla skał ultramaficznych oraz wysokociśnieniowych granatów, piropu- almandynu, charakterystycznych dla skał metamorficznych. Taki skład materiału detrytycznego może świadczyć o dostarczaniu składników przede wszystkim z bloku kontynentalnego (Dickinson & Suczek, 1979).

Szczegółowo petrografia piaskowców warstw istebniańskich i ciężkowieckich z otworu Draganowa-1 została opisana w pracy Dziadzio & Baszkiewicz (2001).

Przemiany diagenetyczne.

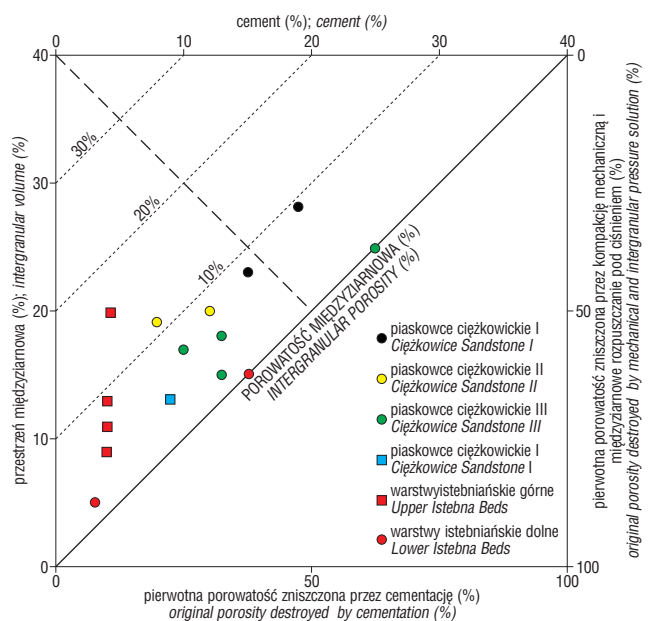
Przemiany diagenetyczne, jakie zachodziły w badanych piaskowcach różnicują się w zależności od środowiska

depozycji, przynależności do ciągów systemów depozycyjnych oraz wieku utworów.

Do procesów, zachodzących najwcześniej i praktycznie niezależnie od wymienionych czynników należy glaukonityzacja pelletów oraz karbonatyzacja łyszczyków (drobne ankeryty, syderyty), które zachodzą w redukcyjnym środowisku wód morskich, wstępnej fazy pogrzebania.

Pierwsze, najważniejsze zróżnicowanie procesów występuje w utworach turbidytów niskogęstościowych zdeponowanych w ciągach transgresywnych i wysokiego stanu WPM. Charakteryzują się one występowaniem wczesnodia-genetycznego spoiwa kalcytowego obok spoiwa ilastego typu matriks, w przeciwieństwie do utworów zdeponowanych w ciągach systemowych niskiego stanu WPM, gdzie nie stwierdzono krystalizacji tego cementu. W związku z występowaniem w turbidytach niskogęstościowych wczesnych spoiw poikilitopowych oraz ilastych spoiw allochtonicznych ograniczona była przestrzeń, w której mogły krystalizować cementy, wytrącane na późniejszym etapie przemian diagenetycznych.

W utworach tyrbidytów wysokogęstościowych przemiany diagenetyczne zachodzące w pierwszym etapie są podobne dla wszystkich poziomów i różnicują się dopiero w późniejszym etapie, pogrzebania. Procesem diagenetycznym, który najsilniej zaznaczył się w całym profilu jest kompaktacja mechaniczna. Nie występują tu wczesnodia-genetyczne cementy, które usztywniłyby szkielet ziarnowy. Kompaktacja odegrała główną rolę w niszczeniu pierwotnej porowatości. W oparciu o wykres Housecknechta (1987) stwierdzono, iż redukcja ta była największa w piaskowcach dolnych warstw istebniańskich i wynosiła ok. 75–90% (ryc. 5). Najmniejszy stopień kompaktacji mechanicznej zaznaczył się w I piaskowcu ciężkowieckim i tu redukcja pierwotnej porowatości nie przekracza 50%. Z tego wnioskuje, iż istnieje związek pomiędzy głębokością a stopniem kompaktacji, który rośnie w dół profilu.



Ryc. 5. Diagram pozwalający ocenić wpływ procesów kompaktacji i cementacji na rozwój porowatości piaskowców (Housecknecht, 1987) w otworze Draganowa-1

Fig. 5. Diagram for evaluating influence of compactional processes and cementation on porosity development of sandstones (Housecknecht, 1987) in well Draganowa-1

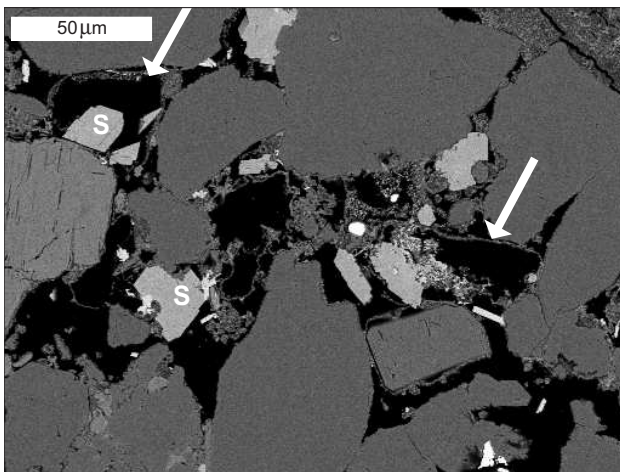
Procesy cementacji nie odegrały, aż tak dużego znaczenia w zniszczeniu porowatości pierwotnej, jak kompaktacja. Jednakże udział nie pozostaje bez znaczenia. W przestrzeni międzyziarnowej krystalizował kwarc, tworzący obwódki syntaksjalne (krystalizował prawdopodobnie z uwalnianej w czasie kompaktacji krzemionki), kalcyt (produkt reakcji przemiany substancji organicznej), kaolinit i illit (produkty reakcji rozpuszczania skałeni) oraz chloryt (prawdopodobnie związany z dopływem wód meteorycznych). Najwięcej różnego typu spoiw wtórnych obserwuje się w piaskowcach ciężkowickich.

Obok procesów prowadzących do zmniejszania wolnej przestrzeni porowej, a tym samym niszczących porowatość i przepuszczalność skały, stwierdzono występowanie procesów prowadzących do rozwoju wtórnej porowatości. Do najważniejszych należy rozpuszczanie skałeni oraz spoiwa kalcytowego. Proces ten rozwinął się szczególnie w piaskowcach górnych warstw istebniańskich oraz w piaskowcach ciężkowickich (I–III).

Występuje pewne zróżnicowanie w intensywności i kolejności poszczególnych przemian diagenetycznych i ich produktów w poszczególnych poziomach litostratygraficznych. Pełniejsze przedstawienie otrzymanych wyników badań nad przemianami diagenetycznymi piaskowców ciężkowickich i istebniańskich zostało zamieszczone w pracy Dziadzio & Baszkiewicz (2001).

Potencjał zbiornikowy

Łącząc wnioski z analizy petrograficznej i sedymentologicznej z interpretacją ciągów depozycyjnych stwierdzono, że obserwowane zróżnicowanie właściwości zbiornikowych w obrębie piaskowców jest uzależnione od pierwotnych cech teksturalnych, jak wielkość ziarna, wysortowanie (Cade i in., 1994). Cechy te są uzależnione przede wszystkim od procesów depozycyjnych, oraz nakładających się wtórnych przemian diagenetycznych.

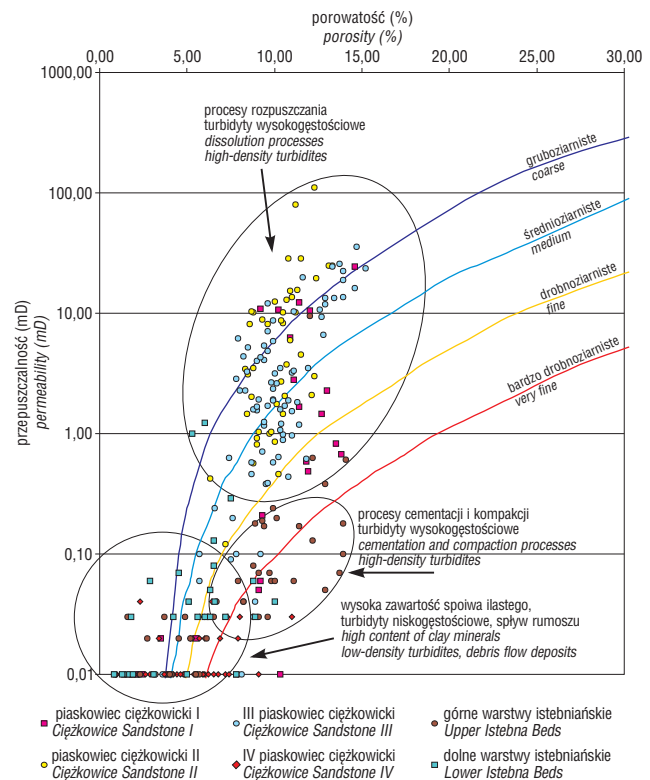


Ryc. 6. W piaskowcach ciężkowickich występuje porowatość pierwotna oraz wtórna. Druga związana jest głównie z rozpuszczaniem okruchów skalnych, skałeni oraz spoiwa kalcytowego. Na fotografii widoczne są otoczki chlorytowe (strzałki), pozostałe po całkowitym rozpuszczeniu ziarn detrytycznych, wtórnie wykryły w nich syderyty (S). Draganowa-1, 1330–1339 m. Płyka cienka, SEM, obraz elektronów wtórnie odbitych

Fig. 6. In Ciężkowice Sandstones there are the primary and secondary porosity. The second one mainly corresponds to the dissolution of feldspars, rock particles and calcite cement. On the photo are shown chlorite rims (arrows) remained after total grain dissolution, in some of them siderite (S) crystallised

Najgorsze właściwości zbiornikowe i słabe możliwości akumulacji węglowodorów występują w utworach lobów depozycyjnych i stref pozakorytowych, ze względu na to, że dominują tutaj facje utworów drobnociarnistych (turbidyty niskogęstościowe) oraz piaskowców o wysokiej zawartości matriks ilastego i ilasto-wapnisteo. Ich właściwości pozostają słabe bez względu na to, w którym ciągu depozycyjnym powstawały.

Najlepsze właściwości mają utwory wypełnień korytowych środowisk stożków podmorskich, z którymi to na fałdzie Iwonicza Zdroju są związane nasycenia węglowodorami. Obserwowane zróżnicowanie właściwości zbiornikowych w obrębie tych piaskowców jest uzależnione od tego, w jakim ciągu depozycyjnym powstawały oraz od przemian diagenetycznych. Na pierwotne cechy teksturalne nakładają się czynniki wtórne, takie jak np. diageneza, które modyfikują, najczęściej obniżają, pierwotną porowatość i przepuszczalność. Piaskowce wypełniające koryta w obrębie warstw istebniańskich w porównaniu z piaskowcami ciężkowickimi mają jednak gorsze właściwości zbiornikowe. Wynika to z tego, że większość ich powstawała w ciągach systemowych transgresywnych i wysokiego stanu WPM. Mają one również mniejszą miąższość w porównaniu z piaskowcami ciężkowickimi zdeponowanymi w ciągach systemowych niskiego stanu WPM. Ponadto w ich obrębie stwierdzono silniej zaawansowane procesy kompaktacji mechanicznej i chemicznej (ryc. 5), co ma duże znaczenie z punktu widzenia właściwości zbiornikowych, oraz występowanie wtórnego spoiwa zablizniającego pozostała, niewielką przestrzeń międzyziarnową (m. in. kalcyt, chloryt). Jak widać na ryc. 7 czynniki te objawiają się położeniem punktów, związanych z turbidytami wysokogęsto-



Ryc. 7. Wykres porowatości do przepuszczalności na tle trendów dla różnych wielkości ziarn (Cade i in., 1994) dla piaskowców w otworze Draganowa-1

Fig. 7. Porosity vs. permeability cross-plot for sandstones from well Draganowa-1 with calculated trends for different grain size (Cade et al., 1994)

ściowymi występującymi w obrębie warstw istebniańskich, poniżej krzywych teoretycznych mimo tego, że reprezentują utwory gruboziarniste. Niemniej w górnych warstwach istebniańskich występują piaskowce ze znaczną, wtórną porowatością, dochodzącą do 14%, powstałą na drodze bardzo zaawansowanego rozpuszczania skompaktowanego skaleniowego materiału ziarnowego (arkozy zawierające do 50% skałeni) oraz spoiwa kalcytowego. Niestety ma ona charakter głównie mikroporowatości (Such, 2000).

Najlepsze możliwości akumulowania węglowodorów występują w piaskowcach ciężkowickich. Osadzone w czasie niskiego stanu WPM tworzą pakiety znacznej miąższości i dużym regionalnym rozprzestrzenieniu (ryc. 3). Stopień redukcji porowatości przez kompaktację mechaniczną jest znacznie niższy niż w warstwach istebniańskich (ryc. 5). Poza tym w piaskowcach ciężkowickich obserwuje się procesy rozpuszczania spoiwa, jak i ziarn detrytycznych (skałeni i okruchów skalnych), prowadzące do rozwoju wtórnej porowatości (ryc. 6) oraz stosunkowo niską zawartością spoiwa pierwotnego.

Podsumowanie

Najniższa część profilu warstw istebniańskich dolnych została zinterpretowana jako utwory powstałe w ciągu systemów wysokiego stanu WPM, wyższa zaś część dolnych warstw istebniańskich jako pełna sekwencja depozycyjna. W warstwach istebniańskich górnych wydzielono 2 sekwencje depozycyjne. W profilu utworów piaskowców ciężkowickich i łupków pstrych wydzielono 4 sekwencje depozycyjne. Piaskowce ciężkowickie tworzą cztery pakiety piaskowcowe o znacznej miąższości i dużym regionalnym rozprzestrzenieniu każdy, które zostały zdeponowane w ciągach systemowych niskiego stanu WPM i są interpretowane jako stożki na równi basenowej.

Przeważnie, materiał detrytyczny budujący warstwy istebniańskie i piaskowce ciężkowickie pochodził z niszczenia skał plutonicznych i metamorficznych oraz podrzędnie skał osadowych i wulkanicznych. Obserwowany skład materiału może wskazywać na obszar źródłowy typu bloku kontynentalnego.

Dominującym procesem diagenetycznym obserwowanym w badanych skałach jest kompaktacja mechaniczna. Obok niej zaznaczyły się procesy cementacji węglanów (ankerytu, syderytu, kalcytu), kwarcu, minerałów ilastych w tym chlorytu, illitu, kaolinitu. Są to procesy odpowiedzialne za redukcję pierwotnej porowatości. Procesy rozpuszczania, prowadzące do rozwoju wtórnej porowatości, objęły skałenie sodowe i potasowe oraz spoiwo węglanowe. Największy udział wtórnej porowatości zaznaczał się w piaskowcach górnych warstw istebniańskich, gdzie sięga kilkunastu procent.

Łącząc wyniki próbowań złożowych i właściwości zbiornikowych kolejnych wyróżnionych elementów architektury depozycyjnej z ciągami depozycyjnymi wydzielonymi w warstwach istebniańskich i kompleksie łupków pstrych i piaskowców ciężkowickich zauważono, że najlepsze właściwości zbiornikowe wiążą się z wypełnionymi korytami, występującymi w obrębie ciągów systemowych niskiego stanu WPM. Dodatkowo w obrębie piaskowców ciężkowickich, które zinterpretowano jako znacznej miąższości utwory stożków na równi basenowej, nasycenia węglowodarami wiążą się prawdopodobnie z wewnętrzną ich amalgamacją. Na obraz facjalny nakłada się tutaj jednak wyraźnie element strukturalny. Powiązanie obu czynników tj. wewnętrznego zróżnicowania facjalne-

go ze zjawiskami tektonicznymi stwarza nowe możliwości odkrycia węglowodorów w Karpatach.

Literatura

- CADE C.A., EVANS I.J. & BRYANT S.L. 1994 — Analysis of permeability controls: a new approach. *Clay Minerals*, 29: 491–501.
- DZIADZIO P. & BASZKIEWICZ A. 2001 — Analiza sedimentologiczna i petrograficzna w rejonie otworów Draganowa-1, Zboiska-3, Lubatówka-19 (zachodnia część fałdu Iwonicza Zdroju). Arch. BG Geonafta Warszawa, Gorlice.
- DZIADZIO P., KUK S., MASŁOWSKI E. & PROBULSKI J. 1998 — Projekt badań geologicznych w rejonie Draganowej. (Analiza geologiczna zachodniej części fałdu Iwonicza Zdroju). Arch. BG Geonafta Warszawa, Gorlice.
- DICKINSON W.R. & SUCZEK C.A. 1979 — Plate tectonics and sandstone compositions. *AAPG Bull.*, 63: 2170–2188.
- FOLK R.L. 1980 — *Petrology of Sedimentary Rock*. Hemphill Publishing Company, Austin, TX.
- HOUSEKNECHT D.W. 1987 — Assessing the relative importance of compaction processes and cementation to reduction of porosity in sandstones. *AAPG Bull.*, 71: 633–642.
- JURKIEWICZ H. 1959 - Poziomy otwornicowe paleogenu wschodniej części jednostki śląskiej. *Rocz. Pol. Tow. Geol.*, 29: 235–263.
- KOZIKOWSKI H. 1964 — Geologia Rudawki Rymanowskiej w świetle nowych badań. *Pr. Inst. Naft.*, 20: 3–20.
- LESZCZYŃSKI S. 1981 — Piaskowce ciężkowickie jednostki śląskiej w polskich Karpatach: Studium sedimentacji głębokowodnej osadów gruboklastycznych. *Rocz. Pol. Tow. Geol.*, 51: 435–502
- MITCHUM R. M., SANGREE J.B., VAIL P. R. & WORNARDT W. 1993 — Recognizing sequences and systems tracts from well logs, seismic data, and biostratigraphy: Examples from the Cenozoic of the Gulf of Mexico in Siliciclastic sequence stratigraphy. Recent developments and applications. [W:] Weimer P. & Posamentier H. (eds.). *AAPG Memoir*, 58: 163–197.
- MUTTI E. 1985 — Turbidite systems and their relations to depositional sequences. [W:] Zuffa G.G. (ed.). *Provenance of Arenites*, NATO-ASI Series, Reidel Publishing Company: 65–93.
- MUTTI E. 1992 — Turbidite sandstones. *Agip S.p.A., S. Donato Milanese*.
- MUTTI E. & NORMARK W.R. 1991 — An integrated approach to the study of turbidite system [W:] *Seismic facies and sedimentary processes of submarine fans and turbidite systems*. Springer-Verlag New York: 75–106.
- MUTTI E. & NORMARK W. R. 1987 — Comparing examples of modern and ancient turbidite systems; problems and concepts. [W:] Leggett J.K. & Zuffa G.G. (eds.), *Marine clastic sedimentology: Concepts and case studies*; Graham & Trotman: 1–38.
- OLSZEWSKA B. 1984 — Otwornice bentonitowe podmenilitowych margli globigerynowych polskich Karpat Zewnętrznych. *Pr. Inst. Geol.* 110: 1–33.
- OLSZEWSKA B., 1985, Remarks concerning the Eocene-Oligocene boundary in the Polish External Carpathians: Results of foraminiferal investigations. *Proceeding Reports of the XIII-th Congress of the Carpatho-Balkan Geological Association*, Part I, Cracow, Geological Institute: 57–59.
- PROBULSKI J., KUK S., MASŁOWSKI E. & DZIADZIO P. 2001 — Analiza strukturalna w rejonie otworów Draganowa-1, Zboiska-3, Lubatówka-19 (zachodnia część fałdu Iwonicza Zdroju). Arch. BG Geonafta Warszawa, Gorlice.
- ŘEHÁNEK J. 1994 — Lithostratigraphic units, depositional pattern and facies developments of the autochthonous Paleogene fill within the Nesvaikla Trough. *Zemni plyn a nafta*, 38: 105–151.
- SUCH P. 2000 — Kompleksowe badania laboratoryjne wraz z interpretacją geochemiczną dla odwiertu Draganowa-1. *Inst. Górn. Naft. Gaz. w Krakowie*, Arch. BG Geonafta Warszawa.
- WALKER R.G. 1978 — Deep-water sandstone facies and ancient submarine fans: Model for exploration for stratigraphic traps. *AAPG Bull.*, 62: 932–966.
- WDOWIARZ J. 1950 — Zdjęcie geologiczne fałdów Iwonicza-Klimkówki-Rymanowa. *Rocz. Pol. Tow. Geol.*, 19: 435–444.
- WDOWIARZ S. & ZUBRZYCKI A. 1986 — Tektonika zachodniego odcinka fałdu Iwonicza-Zdroju w profilu Lubatówki. *Spraw. z Pos. Kom. Nauk. PAN.*, Oddz. w Krakowie, 37/1 (1983).
- WYSZYŃSKI O. 1932 — Antyklina Iwonicza. *Geol. i Stat. Naft.*, Borysław, 4: 134–144.
- WYSZYŃSKI O. 1933 — Antyklina Iwonicza. Tokarnia, Wola Jaworowa, Wola Sękowa. *Geol. i Statys. Naft.*, Borysław, 2: 47–50.