

Zasoby ropy naftowej w III piaskowcu ciężkowickim w złożu Osobnica (jednostka śląska, polskie Karpaty zewnętrzne) — uwarunkowania sedimentologiczne

Paweł Lis*



Oil resources of the third Ciężkowice sandstone in the Osobnica oilfield (Silesian Unit, Polish Outer Carpathians) — sedimentological characteristic. *Prz. Geol.*, 54: 597–604.

Summary. The study area is located in the central part of the Polish Outer Carpathians in the vicinity of Jasło. Petroleum reservoir described here is the third Ciężkowice sandstone (Upper Paleocene), composed of channel fill and depositional lobe succession. The Osobnica field is a part of an ancient deepwater fan system, referred to as the Eastern Fan. Within this system, seven sandstone packages interbedded with mudstone/fine sandstone deposits were recognized. The first, second and the third package are characterized by coarsening- and thickening-upward trends, and are interpreted as depositional lobes. The overlying four packages, each roughly 40 m thick, show upward fining and thinning and are interpreted as channel fill deposits. In the Osobnica field, the total resources are calculated at about 491 500 tons, of which some 352 600 tons of oil were exploited until 2002. Map of resource arrangement and structural modelling have indicated that the main factor controlling the distribution of hydrocarbons in the Osobnica field is the shape of the structure, whereas facies development played a subordinate role. The main part of oilfields is in the SE elevated part of the Osobnica anticline. Oil accumulated in both channel and lobe deposits, although channel fills appear to be slightly more oil prone.

Key words. *Outer Carpathians, Ciężkowice sandstone, channel fill, depositional lobes, hydrocarbon resources*

Złoże Osobnica odkryte w 1953 r., jest zlokalizowane we wschodniej części polskich Karpat, w jednostce śląskiej (ryc. 1) w obrębie tzw. fałdu Osobnicy, należącego do dużego elementu tektonicznego, który kontynuuje się ku wschodowi jako fałd Bóbrki–Rogów, a ku zachodowi jako fałd Biecza–Ciężkowic. Ogólna długość tej struktury jest rzędu kilkudziesięciu kilometrów.

Akumulacja ropy naftowej w złożu Osobnica występuje w kilku horyzontach piaskowcowych w obrębie warstw istebniańskich i trzech poziomach piaskowców ciężkowickich, które tworzą dla węglowodorów pułapki antyklinalne.

Analizę sedimentologiczną wykonano na podstawie danych karotażowych, oraz opisów rdzeni zawartych w sprawozdaniach otworowych z lat 1953–2000. Do konstruowania mapy zasobów wykorzystano mapy strukturalne oraz punktowe dane petrofizyczne, pochodzące z otworów wiertniczych (Masłowski i in., 1997). W oparciu o dane dotyczące parametrów zbiornikowych (przepuszczalność, porowatość efektywna, miąższość efektywna, współczynnik nasycenia wodą, współczynnik zmiany objętości ropy w warunkach złożowych do warunków normalnych) obliczono zasoby ropy naftowej zakumulowane w III poziomie piaskowców ciężkowickich, wizualizując wyniki w postaci mapy. Posłużyło to do wyznaczenia najbardziej zasobnych obszarów złoża.

Przeprowadzona analiza architektury, oparta na badaniach rozkładu wyróżnionych facji osadowych w III poziomie piaskowców ciężkowickich, pozwoliła na wyznaczenie indywidualnych stref w obrębie tego piaskowca, definiując je w kategorii utworów powstałych w różnych strefach facjalnych w systemie stożka podmorskiego. Przy interpretacji facji posłużono się również danymi dotyczącymi mechanizmów depozycji tych utworów.

Zestawienie analiz z mapami parametrów petrofizycznych oraz mapą wielkości wydobycia, pozwala na określenie związku między wielkością akumulacji ropy naftowej, a facjami/strukturą złoża.

Metodyka badań

Do analizy facjalnej, przedstawionej w niniejszej pracy, posłużyły dwie zasadnicze grupy danych. Pierwszą z nich były opisy rdzeni (rdzenie z III poziomu piaskowców ciężkowickich zostały zlikwidowane) zamieszczone w sprawozdaniach otworowych, dokumentacjach geologicznych oraz w dodatkach do dokumentacji. Na podstawie tych danych dla 24 otworów wiertniczych zostały sporządzone prawie pełne profile litologiczne z trzeciego poziomu piaskowców ciężkowickich. Przy konstrukcji profili uwzględniono wielkość frakcji materiału budującego skałę, zawartość materii organicznej, struktury sedimentacyjne i tektoniczne, występowanie mineralizacji kwarcowej i kalcytowej, ślady węglowodorów, zawodnienie oraz inne zauważone cechy. Uzysk rdzeni w obrębie analizowanych utworów mieścił się w zakresie od 9% do 100%.

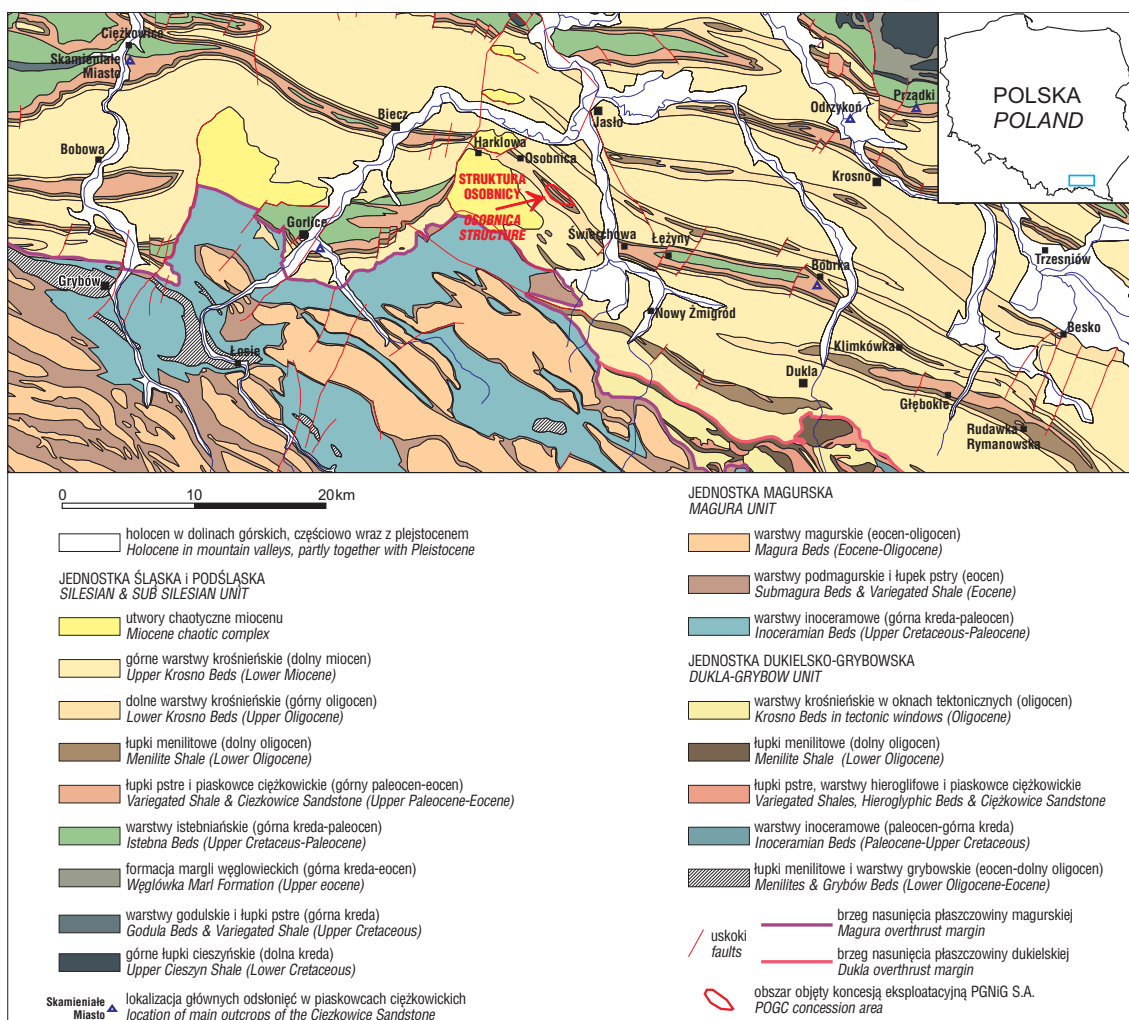
Drugą grupą informacji uzupełniających opisy były profilowania geofizyki otworowej. Wykorzystano: profilowanie neutron-gamma (PNG), profilowanie gamma (PG), profilowania oporności (PO), oraz profilowanie potencjałów samoistnych (PS). Integracja krzywych geofizyki otworowej z opisami rdzeni umożliwiła przesłanie i korelację litologii w całym profilu, a następnie przeniesienie tych informacji tam, gdzie brak było materiału rdzeniowego.

Zamierzeniem niniejszej pracy było również wskazanie najistotniejszych cech decydujących o rozkładzie wielkości zasobów ropy naftowej. W tym celu obliczono wielkości zasobów, przedstawiając je w postaci mapy.

Podstawową metodą obliczania zasobów węglowodorów jest metoda objętościowa, polegająca na wyliczeniu ilości ropy naftowej zawartej w porach skały. Aby wyniki przyniosły zadowalającą jakość, potrzebna jest duża ilość danych, takich jak: porowatość efektywna, przepuszczalność efektywna, miąższość efektywna, nasycenie wodą, współczynnik zmiany objętości ropy w warunkach złożowych do warunków normalnych. Wynika z tego, iż metodę tą można stosować w przypadku dobrze poznanych złóż, na których jest dokładnie rozpoznana zmienność parametrów petrofizycznych.

Metodami alternatywnymi są tzw. metody testów hydrodynamicznych (*Well Test*), polegające na stworzeniu

*Państwowy Instytut Geologiczny, ul. Rakowiecka 4, 00-975 Warszawa; pawel.lis@pgi.gov.pl



Ryc. 1. Fragment mapy geologicznej E części Karpat Fliszowych (za Świdzińskim, 1954; częściowo reinterpretowana przez Jankowskiego, 2003) — niepublikowane

Fig. 1. Part of geological map of the Central Polish Carpathian (after Świdziński 1954, partly reinterpreted by Jankowski, 2003) — unpublished

stanu nierównowagi w odwiercie z jednoczesnym pomiarem reakcji złoża na stworzone w nim zaburzenia. Reakcję złoża rejestruje się poprzez pomiar zmiany ciśnienia w czasie. Dzięki dokładnej analizie pochodnych krzywych ciśnienia, oraz podstawowych danych geologicznym, można z jednego otworu, poprzez stworzenie modelu geometrycznego kolektora, wyliczyć wielkość zasobów złoża.

Eksploatowane od lat 50. złożo Osobnica jest dobrze rozpoznane. Na obszarze ok. 1,6 km² znajduje się ponad 150 otworów wiertniczych (ryc. 2). Tym samym istnieje dużo danych petrofizycznych, które można wykorzystać przy analizie złożowej. Te fakty skłoniły do obliczenia zasobów ropy naftowej metodą objętościową. Przy konstruowaniu modelu złoża dokonano uproszczenia polegającego na tym, że nie uwzględniono uskoku dzielących złożo na mniejsze fragmenty. Dla całego złoża wykorzystano ten sam parametr nasycenia wodą. Takie uproszczenie, przy tej ilości danych nie jest znaczące dla obliczeń wielkości zasobów. Pominięte uskoki mogą stanowić jedynie elementy dzielące złożo na bloki o ograniczonej, między sobą, przepuszczalności.

Do modelowania parametrów złożowych posłużył program ZMAPPlus firmy Landmark. Analogowe mapy porównawcze efektywnej i miąższości efektywnej zostały zwektoryzowane i zaimportowane do programu, który stworzył mapy izolacji powyższych parametrów. Obliczenie zasobów nastąpiło według wzoru [1] w programie ArcView.

Rys geologiczny

Złożo Osobnica znajduje się we wschodniej części płaszczowiny śląskiej. W tym rejonie, wyróżniają się dwie strefy utworzone głównie ze skał górnokredowych, i paleogeneńskich (Książkiewicz, 1972). Są to antyklinorium południowe i odpowiadające mu synklinorium jasielskie. Synklinorium jasielskie, ku południowemu wschodowi przekształca się w centralną depresję karpacką.

Leżący na obszarze centralnej depresji karpackiej fałd Osobnicy należy do dużego elementu tektonicznego, który wywnurza się na południowym wschodzie w okolicy Rudawki Rymanowskiej i ciągnie się przez Głęboke, Klimkówkę, Bóbrkę, Łężyny, Świerchową do Osobnicy.

W obrębie struktury Osobnica profil litologiczny jest typowym profilem dla jednostki śląskiej (np. Ślącza & Kamiński, 1998). W przedziale górna kreda–dolny neogen, składa się on z: warstw istebniańskich dolnych (kampan, mastrycht), warstw istebniańskich górnych (paleocen), piaskowców ciężkowickich z przeławiczeniami łupków pstrych (górny paleocen–środkowy eocen), warstw hieroglifowych (górny eocen), margli globigerynowych (eocen–oligocen), warstw menilitowych (dolny oligocen) i warstw krośnieńskich (dolny oligocen–najniższy miocen).

Fałd Osobnicy stanowi antyklinę nadnasuwczą (Masłowski i in., 1997), podzieloną tektonicznie, wzdłuż

rozciągłości, na dwa elementy niższego rzędu. W strukturze złożowej zaznacza się kilka bloków, oddzielonych od siebie dyslokacjami poprzecznymi. W kolejności są to bloki: wschodni — Iglera, Osobnicy-Centrum i Osobnicy-Zachód. Horyzonty roponośne występujące tak w dolnych i górnych warstwach istebniańskich jak i w trzech poziomach piaskowców ciężkowickich, ekranowane są litologicznie przez łupki eoceńskie i łupki istebniańskie. Również strefy dyslokacji podłużnych i poprzecznych, a także związane z nimi utwory, mogą stanowić nieprzepuszczalne skały uszczelniające (Masłowski i in., 1997).

Piaskowce ciężkowickie jako skała zbiornikowa. Przeprowadzone badania petrograficzne wykazały związek własności zbiornikowych z uziarnieniem i składem mineralnym. Stosunkowo wysoki współczynnik korelacji porowatości efektywnej i przepuszczalności ze sumą zawartości odpornych mechanicznie składników okruchowych, wskazuje na ich rolę w zachowaniu porowatości międzyziarnowej w procesie kompaktacji mechanicznej (Bromowicz i in., 2001). Porowatość efektywna na złożu Osobnica wynosi 13% (Masłowski i in., 1997). Wielkość przepuszczalności piaskowca ciężkowickiego wynosi średnio w całym Karpatach 1,46 mD (Bromowicz i in., 2001), natomiast Karnkowski (1993) podaje iż wielkość przepuszczalności na złożu Osobnica dla III poziomu piaskowców ciężkowickich wynosi średnio 500 mD. W obrębie złoża nie były przeprowadzane dokładne analizy właściwości zbiornikowych w aspekcie facjalnym.

W literaturze miąższy kompleks piaskowców ciężkowickich opisywany jest jako złożony z zespołu facji gruboziarnistych/zlepieńcowatych, gruboławicowych piaskowców, określanych często terminem fluksoturbidyty (*sensu* Dżułyński; Dżułyński i in., 1959), w rzeczywistości odpowiadających całemu szeregowi utworów powstających z wysokoskoncentrowanych spływów grawitacyjnych (por. Lowe, 1982). Termin ten podkreśla ich specyficzny mechanizm transportu i depozycji (Dżułyński, 1959; Koszarski, 1963). Takie osady mają również cechy spływów kohezyjnych, kolizyjnych, upłynionego materiału oraz prądów zawieszinowych (Leszczyński, 1981).

Fluksoturbidyty mogą występować jako duże soczewkowate ciała w obrębie utworów klastycznych. Ich ułwienienie jest mniej regularne niż osadów klasycznych prądów zawieszinowych. Ławice mają zmienną miąższość, często wyklinowują się i często wykazują amalgamację (Gradziński, 1986). Osady wysokogęstościowe są najczęściej pozbawione warstwowania; główną ich masę stanowią piaskowce, mniejszy udział mają zlepieńce. Uziarnienie w obrębie ławic, zarówno w pionie, jak i w poziomie, jest bardzo zmienne. Przeważa uziarnienie nieuporządkowane i normalne uziarnienie frakcjonalne, widoczne tylko we frakcji najgrubszej. Spotyka się także uziarnienia frakcjonalne wielokrotne i odwrócone (Lowe, 1981).

Z punktu widzenia kryteriów genetycznych piaskowce ciężkowickie można zaklasyfikować jako głębokowodne piaskowce masywne, według terminologii wprowadzonej przez Stowa i Johanssona (2000). Terminem tym wspomniani autorzy definiują gruboławicowe (>1 m), głębokowodne piaskowce, tworzące soczewkowate ciała. Geneza, zróżnicowanie i geometria osadów tego typu jest dość słabo poznana; tym samym przysparza wielu problemów podczas studiów sedymentologicznych, szczególnie w obszarach słabo odsłoniętych lub analizowanych na podstawie danych otworowych. Zagadnienie to jest bardzo istotne, gdyż w wielu przypadkach głębokowodne piaskowce masywne, tworzą doskonałe skały zbiornikowe

dla węglowodorów, czego przykładem są niedawne odkrycia ropy naftowej i gazu ziemnego w osadach paleogeńskich (złoża Alba, Gryphon, Balder) i mezozoicznych (złoża Agat, Galley, Kopervik) na Morzu Północnym (Stow & Johansson, 2000).

W stosunku do piaskowców ciężkowickich, w praktyce poszukiwawczej i literaturze stosuje się następujący podział, licząc od spągu warstw menilitowych ku dołowi: I pstre łupki, I piaskowiec ciężkowicki, II pstre łupki, II piaskowiec ciężkowicki, III pstre łupki, III piaskowiec ciężkowicki. Na wschodzie jednostki śląskiej wyróżniono sześć pakietów piaskowcowo-łupkowych (Leszczyński, 1981).

Reprezentują one głębokomorskie osady zdeponowane w systemie stożków podmorskich (Leszczyński 1981). Poziomy piaskowców ciężkowickich w Karpatach są osadem kilku cykli sedymentacyjnych, które zaznaczyły się intensywną dostawą osadów gruboklastycznych, przedzielanych okresami spokoju zdominowanymi sedymentacją pelagiczną tzw. łupków pstrych. Cykle te trwały od późnego paleocenu po środkowy eocen (Leszczyński, 1981). Interpretowane są również jako utwory stożka basenowego zdeponowane w wielozestawie sekwencji niskiego stanu względnego poziomu morza (Dziadzio i in., 2005). Osady łupków pstrych (I, II, III) interpretowane są jako osady deponowane podczas ciągów transgresywnych i wysokiego stanu względnego poziomu morza (Baszkievicz i in., 2001; Dziadzio i in., 2006). Środowiska sedymentacji stożków podmorskich skupiają uwagę zwłaszcza geologów naftowych, gdyż piaskowce i zlepieńce budujące stożek podmorski są potencjalnymi kolektorami dla węglowodorów (Walker, 1978). Dotyczy to również piaskowców ciężkowickich, które są jednymi z najlepszych skał zbiornikowych Karpat. Początkiem rozpoznania stożków podmorskich była analiza ich kształtów i rozkładu paleoprądów, a w późniejszym czasie rozpoznawano je także na podstawie pionowego następstwa facji (np. Mutti, 1974).

W klasycznym, pionowym, progradacyjnym następstwie facjalnym, występującym w rozwijającym się stożku podmorskim (Walker, 1978), profil rozpoczyna się od drobnoziarnistych osadów dystalnych części lobów depozycyjnych, przechodząc w coraz grubsze osady kanałów rozprowadzających (Walker, 1978). W profilach piaskowca ciężkowickiego można zauważyć podobne cechy.

III poziom piaskowców ciężkowickich w obrębie struktury Osobnica

Piaskowce ciężkowickie złoża Osobnica przeanalizowano na podstawie opisów rdzeni oraz krzywych karotażowych. Na podstawie danych z 24 otworów w obrębie III piaskowca ciężkowickiego, wyróżniono interwały piaskowcowe oraz interwały mułowcowo-iłowcowe. Miąższość osadów III piaskowca ciężkowickiego na złożu Osobnica osiąga ponad 200 m, miąższość efektywna złoża dochodzi do 100 m.

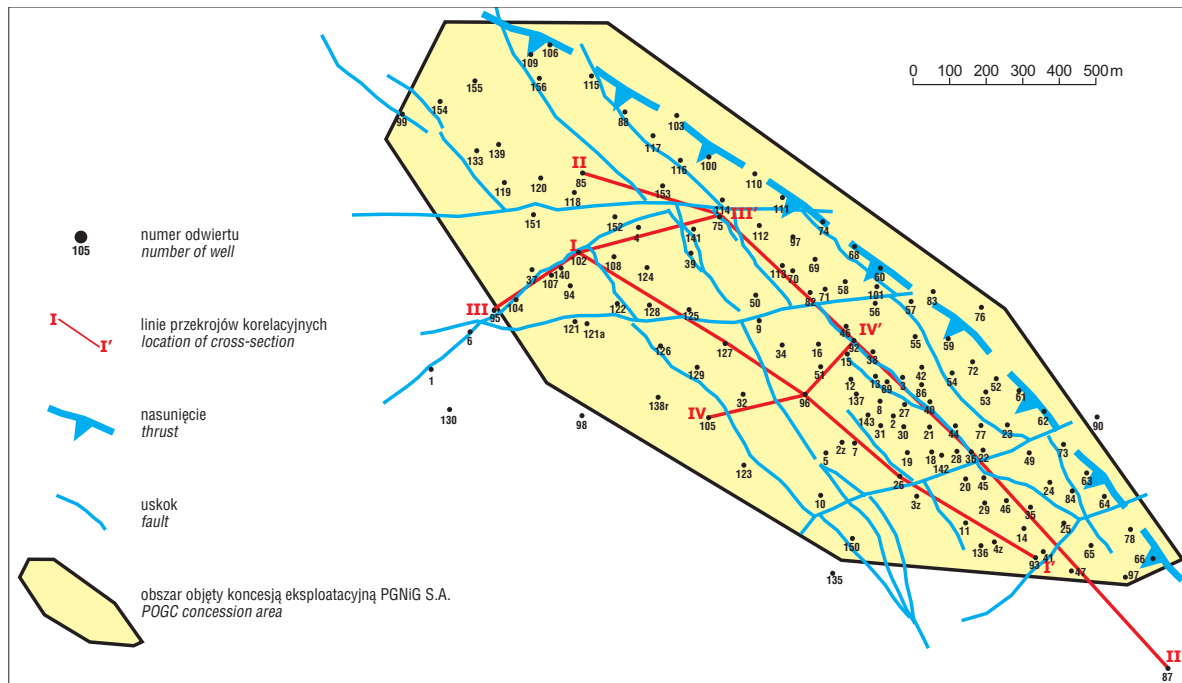
Na podstawie kształtu krzywych karotażowych można wydzielić 7 głównych pakietów piaskowcowych (ryc. 4). Analizując dane geofizyki otworowej zaobserwowano zmienność miąższości poszczególnych interwałów, która waha się w przedziale pomiędzy 5 a 40 m. Najbardziej miąższy jest, licząc od dołu, piąty pakiet piaskowcowy (ryc. 4, 5). Litologia poszczególnych pakietów piaskowców oraz kształt krzywych geofizycznych pozwala na wydzielenie, w obrębie struktury Osobnica, dwóch głównych facji: korytovej (kanałowej) i lobowej. Facja wydzielona na ryc. 3 jako pozakorytovej nie jest rozpatrywana, gdyż nie stanowi potencjalnej skały zbiornikowej;

ponadto nie może ona być jednoznacznie wyznaczona bez materiału rdzeniowego.

Facja lobowa. Budowa stożków podmorskich jest analizowana zarówno na podstawie powierzchniowych odsłoneń, jak i na podstawie krzywych karotażowych, z których interpretować można litologię oraz pośrednio porowatość, wielkość ziarna oraz miąższość warstw. Metody te często są łączone w jeden system badawczy pozwalający, tylko w oparciu o krzywe geofizyczne, rekonstruować zmienność i architekturę tych środowisk (Baszkievicz i in., 2001; Beau-

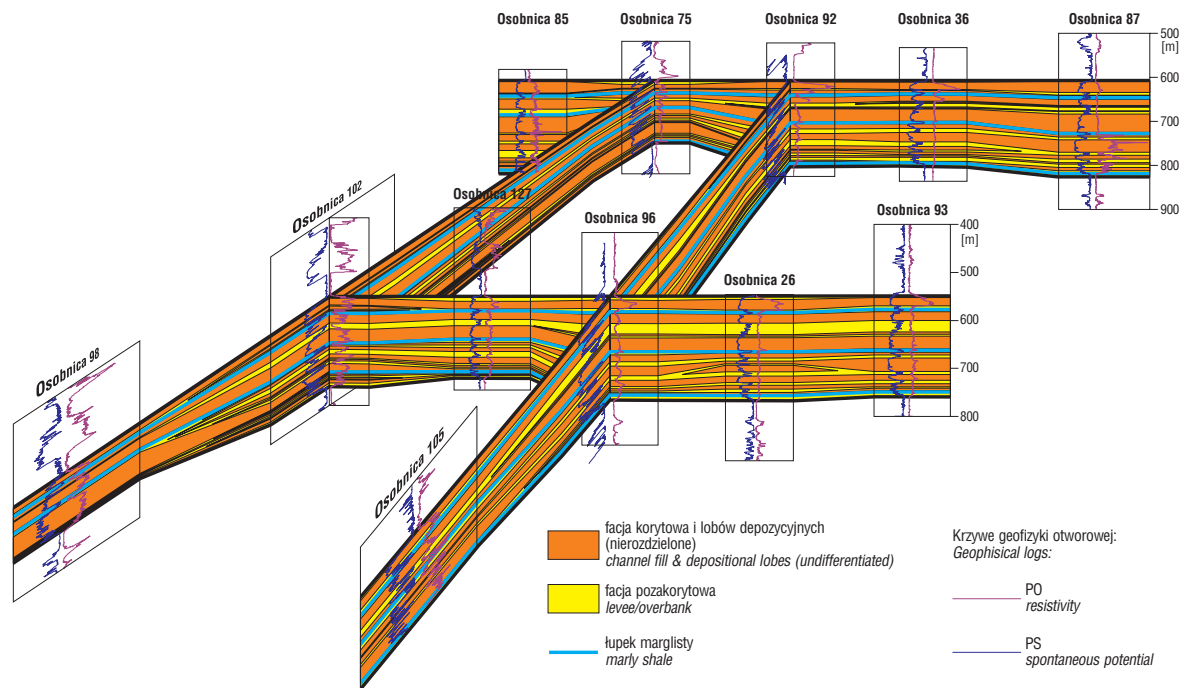
ouef, 2004; Crews i in., 2000; Dziadzio i in., 2005; Prather i in., 1998; Walker, 1978). I tak np. według Muttiego & Johnsa (1978), na krzywych geofizyki otworowej PS, PG i PO facje lobowe mają kształty zbliżone do lejkowatych.

W III poziomie piaskowców ciężkowickich w interwałach odpowiadających lobom depozycyjnym obserwujemy grubienie warstw oraz wzrost wielkości ziarna ku górze (ryc. 4). Wszystkie te cechy są zauważalne w profilu litologicznym na badanym obszarze w cyklach 1–4. Tym samym cztery pierwsze pakiety piaskowcowe można uznać



Ryc. 2. Mapa rozmieszczenia odwiertów na powierzchni, na złożu Osobnica z uskokami i nasunięciem, stwierdzonymi w stropie III poziomu piaskowców ciężkowickich

Fig. 2. Map showing the location of the wells piercing the top of the III Ciężkowice sandstone, showing faults in the Osobnica oil field



Ryc. 3. Trójwymiarowa korelacja litofacjalna, sporządzona na podstawie krzywych karotażowych oraz opisów rdzeni.

Fig. 3. 3D lithofacies correlation, based on geophysical logs and core descriptions

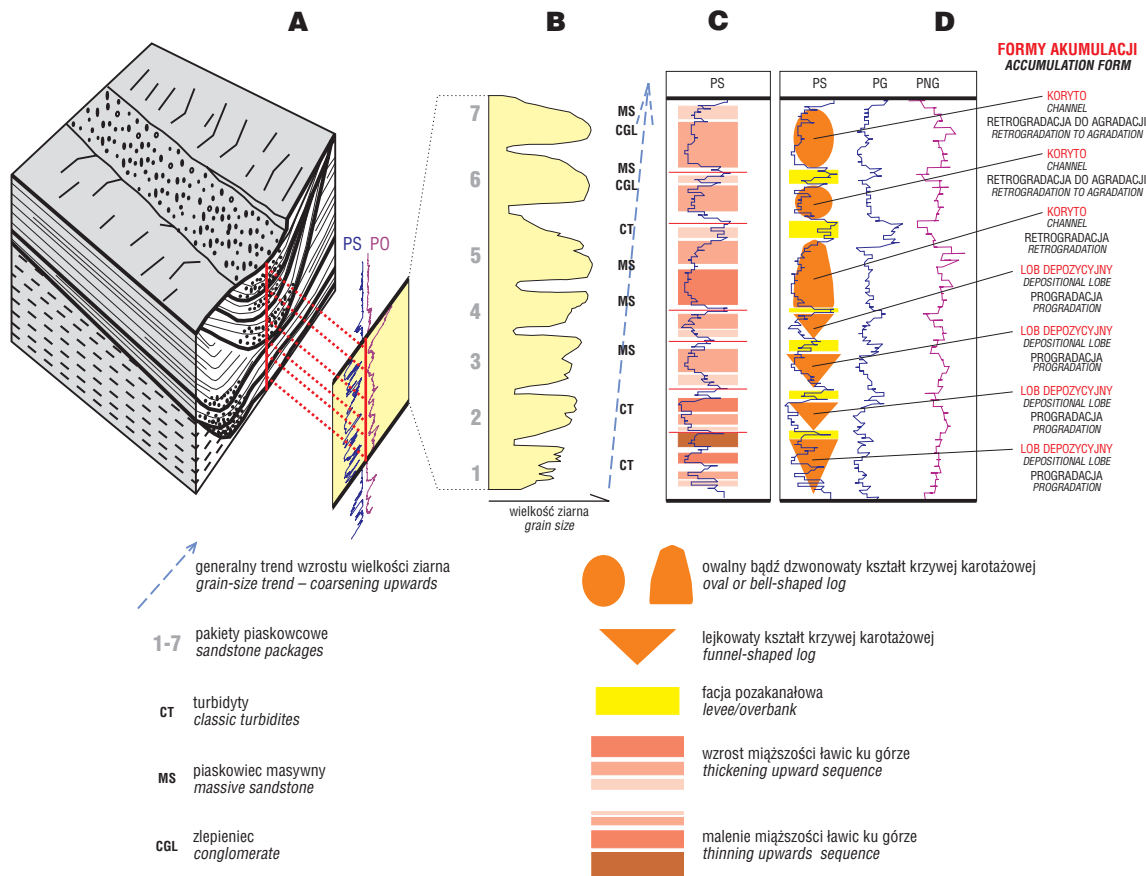
za utwory lobów depozycyjnych z istniejącymi w ich obrębie, prawdopodobnie, pobocznymi kanałami rozprowadzającymi, które wyodrębnić można na podstawie blokowych kształtów krzywych karotażowych (ryc. 4). Takie wykształcenie utworów jest charakterystyczne np. dla rozwijającego się lobu stożka podmorskiego, który prograduje na obszar równi basenowej (Walker, 1978). Na skutek progradacji następujące po sobie utwory lobu zbudowane są z coraz grubszego ziarna. Utworami budującymi loby depozycyjne w obrębie III piaskowca ciężkowickiego w złożu Osobnica są piaskowce drobnoziarniste, średnioziarniste i gruboziarniste.

Facja lobowa na złożu Osobnica charakteryzuje się zwiększaniem wielkości ziarna ku górze, zwiększaniem grubości ławic ku górze, średnio i gruboziarnistymi osadami. Miąższość pakietów waha się w przedziale pomiędzy kilka a trzydzieści metrów.

Na syntetycznym profilu litologicznym, wykonanym na podstawie opisów rdzeni, można zauważyć generalną tendencję wzrostu wielkości ziarna ku górze, od piaskowców średnioziarnistych do zlepieńcowatych (ryc. 5). Może to świadczyć o progradacyjnym charakterze opisywanego cyklu piaskowcowego. Depozycja mogła następować w warunkach np. nadbudowy stożka podmorskiego, rozwijającego się na skłonie basenu sedimentacyjnego, ale podobne zmiany w trendach uziarnienia znane są również w stożkach basenowych, szczególnie tych kontrolowanych tektonicznie, czyli rozwijających się w np. półtowach.

Facja korytowa. Według Muttiego & Johnsa (1978), Prathera i in. (1998) na krzywych geofizyki otworowej PG, PO facje kanałowe mają zmienne kształty w zależności od odległości od strefy źródłowej oraz rodzaju dostarczanego materiału. Jako strefy kanałowe są uznawane te, które w powiązaniu cech litologicznych i sedimentologicznych z zapisem na krzywych geofizyki otworowej mają kształty zbliżone do: cylindrycznych, dzwonowatych, jajowatych i blokowych. W profilu litologicznym charakteryzującym facje kanałowe stożków podmorskich, obserwujemy cieniowanie warstw oraz spadek wielkości ziarna ku górze. W literaturze są opisywane także sukcesje kanałowe, w których ziarno drobnieje ku górze, przy jednoczesnym wroście miąższości ławic (np. Strzeboński, 2001). Na złożu Osobnica z obrazu krzywych karotażowych można zinterpretować istnienie miąższych interwałów piaskowcowych. Zatem pakiety piaskowcowe 5–7 mogą stanowić utwory kanałów rozprowadzających. Zbudowane są z: piaskowców drobnoziarnistych, średnioziarnistych, gruboziarnistych oraz piaskowców zlepieńcowatych z otoczkami do 5 mm średnicy (np. ryc. 4).

Na badanym obszarze zapewne istniało kilka kanałów rozprowadzających, u wylotu których formowały się drugorzędne loby depozycyjne. Należy pamiętać, iż badany obszar stanowi małą część dużego basenu sedimentacyjnego, rozciągającego się na przestrzeni kilkudziesięciu kilometrów. Zatem migracja kanałów w czasie i przestrzeni powoduje, że stożek zbudowany jest z ząbujących się



Ryc. 4. Zgeneralizowany profil pionowy w obrębie III piaskowca ciężkowickiego w antyklinie Osobnicy, oparty na podstawie danych z otw. Os. 127; A — interpretacje krzywych geofizycznych na schematycznym blokdigramie, B — schematyczny rozkład uziarnienia poszczególnych serii piaskowcowych, C — zmiany miąższości ławic, D — kształt krzywych karotażowych i ich interpretacja

Fig. 4. General profile through the third Ciężkowice sandstone on the Osobnica anticline, based on the Os. 127 well; A — shows the interpretation of well logs, B — displays the schematic grain-size trends in sandstone packages, C — shows changes in bed thickness, D — shows shape of well logs and their interpretation

ze sobą osadów kanałowych, międzykanałowych, pozakanałowych i lobowych (ryc. 3). Utwory te wielokrotnie powtarzają się zarówno w obrębie poszczególnych poziomów piaskowców ciężkowickich, jak też w obrębie indywidualnych miąższych kompleksów piaskowcowych, jakim jest III piaskowiec ciężkowicki.

Horyzont roponośny złoża Osobnica budują głównie piaskowce średnioziarniste, gruboziarniste i zlepieńcowate, jednak w profilu pionowym występują również osady drobnoziarniste. Są one świadectwem odcinków czasu spokojnej sedymentacji lub depozycji w strefie pozakorytowej.

Po przeanalizowaniu wszystkich materiałów można stwierdzić, że wyróżniona facja korytowa na złożu Osobnica charakteryzuje się zmniejszaniem wielkości ziarna ku górze, zmniejszaniem grubości ławic ku górze i występowaniem

średnio-, gruboziarnistych i zlepieńcowatych utworów klastycznych (zawierają otoczaki do 5 mm średnicy). Miąższość pakietów, jest większa niż utworów lobowych, waha się w przedziale pomiędzy kilka a czterdzieści metrów.

Jednakże analizując dodatkowo krzywe karotażowe można zauważyć, że wzrost wielkości ziarna ku górze nie jest jednoznaczny we wszystkich otworach. Na podstawie przeprowadzanych rozważań można uznać, iż piaskowce ciężkowickie prawdopodobnie są osadami stożka równi basenowej. Nie zauważa się cech charakterystycznych dla stożków sklonu, a te które dominują, głównie występują w stożkach równi basenowej. Cykliczne wykształcenie osadów może świadczyć o autocykliczności zjawisk depozycji nie związanej z progradacją, a jedynie z migracją koryt rozprzeczających i określonym stosunkiem wielkości subsyduencji do ilości dostarczanego materiału.

Zasoby ropy naftowej na złożu Osobnica

Dla obliczania metodą objętościową pierwotnych zasobów złoża ropy naftowej, wykorzystuje się proste wyliczenia sumarycznej objętości skały zbiornikowej przez określenie objętości przestrzeni porowo-szczelinowej wypełnionej węglowodorami, przeliczonej na warunki powierzchniowe (magazynowe). Do obliczenia pierwotnych zasobów posłużył wzór (Szostak, 2000):

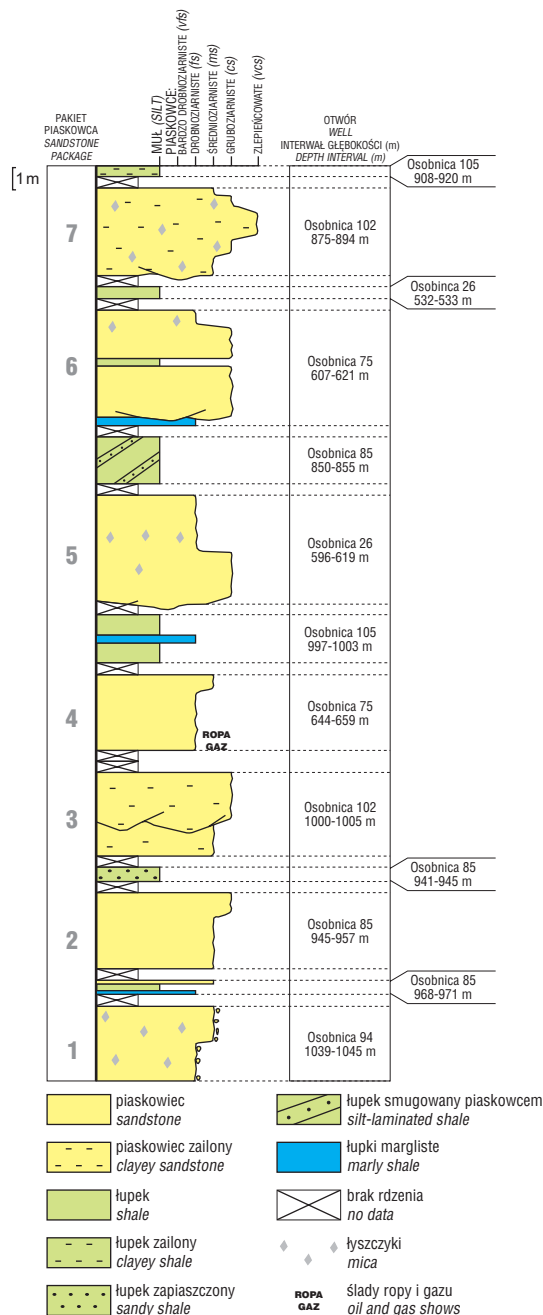
$$\sum_{i=1}^n = \frac{Fih\Phi(1 - S_{wi})}{Bi} \quad [1]$$

gdzie:

- F — powierzchnia złoża,
- h — miąższość efektywna,
- Φ — porowatość efektywna,
- S_w — współczynnik nasycenia wodą,
- B — współczynnik zmiany objętości ropy w warunkach złożowych do warunków normalnych,
- i — kolejne oczko siatki obliczeniowej.

Powierzchnię złoża należy traktować tu jako $100 \text{ m}^2 \cdot i$, gdzie „i” to ilość oczek regularnej siatki interpolacyjnej. Mapy miąższości efektywnej i porowatości efektywnej zostały stworzone na podstawie kolejno 63 i 42 danych punktowych-odwiertów. Analizowane współczynniki miąższości i porowatości zostały użyte do obliczeń jako mapy, co poskutkowało dokładniejszymi wynikami. Współczynnik nasycenia wodą, ze względu na brak danych z otworów, wyznaczono arbitralnie jako 0,7 dla całego horyzontu (Masłowski — inf. ustna, 2004). Jako wielkość współczynnika zmiany objętości ropy naftowej w warunkach złożowych do warunków normalnych przyjęto 1,06 podobnie jak w piaskowcach istebniańskich (Kuk & Masłowski, 2002).

Przy wyznaczeniu współczynników nasycenia wodą oraz współczynników zmiany objętości uwidaczniają się braki metody objętościowej. Współczynniki te zostały wyznaczone jako wartości średnie dla całego horyzontu. Przy obliczaniu zasobów należy pamiętać o tym iż rzeczywiste, dokładne ilości ropy naftowej nie są możliwe do obliczenia w sposób bezbłędny. Nie jesteśmy w stanie poznać rozkładu wartości parametrów, w takiej ilości, jak zmienia się to rzeczywistość w budowie geologicznej. Najlepszym wyjściem z tej sytuacji jest stworzenie dokładnych map oraz użycie oprogramowania z odpowiednim algorytmem. To rozwiązanie pozwala ograniczyć błędy do minimum. Na



Ryc. 5. Syntetyczny profil litologiczny oparty na podstawie opisów rdzeni z 24 otworów ze złoża Osobnica

Fig. 5. Synthetic lithological section based on core description, for 24 wells from the Osobnica oilfield

złożu Osobnica, wykorzystany do obliczania zasobów, wzór [1], po podstawieniu danych przybiera następującą postać:

$$\sum_{i=1}^n = h_i \cdot \Phi_i \cdot \text{const.} \quad [2]$$

Wykorzystany wzór [1], posłużył do obliczenia geologicznych zasobów ropy naftowej. Zasoby geologiczne stanowią podstawę do obliczenia zasobów przemysłowych. Współczynnik przeliczenia zasobów geologicznych na wydobywalne, zależy od rodzaju węglowodorów. Dla III poziomu piaskowców ciężkowickich przyjęto jego wartość 0,3. Wielkość ta została przyjęta dla złóż karpaccich dla tego typu kolektorów i podobnych warunków eksploatacyjnych. Głównymi czynnikami decydującymi o wielkości tego współczynnika są: temperatura, lepkość ropy a także kształt porów (Tokarski i in., 1962).

Obliczone zasoby geologiczne dla III piaskowca ciężkowickiego na złożu Osobnica wynoszą 1 927 522 m³, przy gęstości ropy 0,85 g/cm³ jest to 1 638 393 t (ryc. 6). Zasoby wydobywalne na złożu Osobnica wynoszą 49 1518 t. Na tle innych polskich złóż jest to niewielkie złożo.

Ze złoża Osobnica, do 2002 r. wydobyto z III poziomu piaskowców ciężkowickich ok. 352 000 t ropy naftowej, ze średnią wydajnością z otworu ok. 2,3 t/d. Według wykonanych obliczeń do wydobycia pozostało ok. 139 000 t ropy naftowej, co przy eksploatacji 30 odwiertami, przy średniej wielkości wydobycia z otworu ok. 2,3 t/d, pozwoli na wydobywanie do ok. 2008 r.

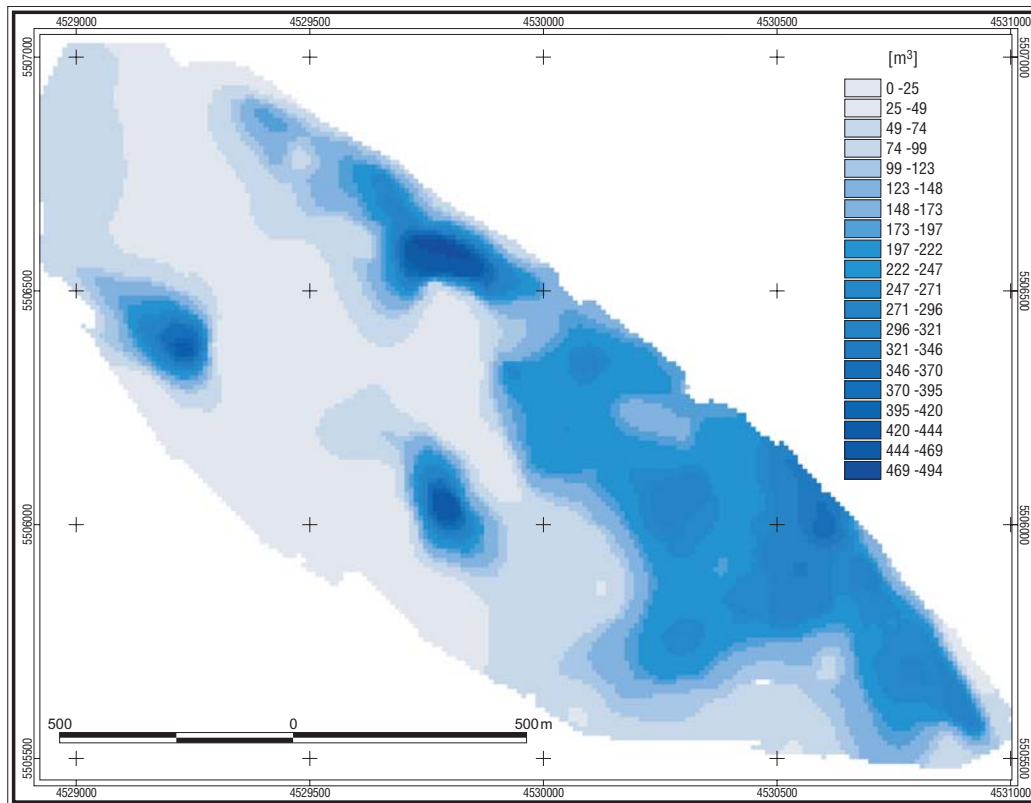
Na złożu Osobnica ropa naftowa jest eksploatowana także z warstw istebniańskich. Całkowite zasoby złoża wynoszą ok. 590 tys. t ropy naftowej (Karnkowski, 1993), czyli większość węglowodorów jest zakumulowana w horyzoncie III piaskowca ciężkowickiego.

Powiązanie wielkości akumulacji ropy naftowej z facjami horyzontu roponośnego III piaskowca ciężkowickiego

Największe zasoby ropy naftowej znajdują się w SE części złoża. W tej części miąższość efektywna horyzontu roponośnego jest zdecydowanie największa. Może to mieć związek np. z przyuskokowym zwiększeniem miąższości ławic, bądź przy założeniu, że sedymentacja odbywała się w reżimie aktywnych półowów (Dziadzio i in., 2006) mogło nastąpić lokalne, uprzywilejowane zwiększenie miąższości wywołane niejednorodnością obniżania się dna basenu, w którym następowało zwiększenie miąższości osadu. Rozkład facji korytowych i lobowych jest w przybliżeniu równy na całej powierzchni złoża (ryc. 3). Analizując krzywe karotażowe zauważyć można iż nie ma prostej relacji pomiędzy facją, a ilością zakumulowanej ropy. Predystynowany do większego nagromadzenia węglowodorów jest siódmy pakiet III piaskowca ciężkowickiego wykształcony w facji interpretowanej jako korytowa. W tej warstwie zanotowano największe przypiływy ropy naftowej, nawet ponad 9 t/d (średnia wielkość przypiływu to 2,3 t/d).

Rozpatrując wszystkie dane można wysnuć wniosek, iż ilość nagromadzonej ropy naftowej nie jest związana z wykształceniem facjalnym, w pewnym stopniu uprzywilejowana jedynie może być facja korytowa. Większe nagromadzenie węglowodorów w skałach tej facji może mieć związek z większą porowatością efektywną w utworach bardziej gruboziarnistych. Na podstawie wykonanych analiz zauważyć można, że wielkość nagromadzenia węglowodorów zależy od pozycji strukturalnej pułapki złożowej.

Występowanie akumulacji węglowodorów w utworach korytowych i lobów depozycyjnych jest spowodowane ich litologią. Wykonane badania potwierdzają, iż facje te inter-



Ryc. 6. Mapa rozkładu zasobów ropy naftowej na złożu Osobnica.

Fig. 6. Map of the oil resources distribution on the Osobnica oilfield

pretowane jako efekt depozycji w systemie stożków podmorskich, są dobrymi kolektorami dla węglowodorów i ich analiza nawet na małym fragmencie ma ogromne znaczenie dla rozwiązania problemów związanych z rozmieszczeniem skał zbiornikowych w Karpatach.

Wnioski

□ W obrębie złoża Osobnica w III poziomie piaskowców ciężkowickich wyznaczono, facje korytowe i lobów depozycyjnych, oraz przeprowadzono próbę określenia ich poziomego i pionowego następstwa. W profilu III piaskowca ciężkowickiego na złożu Osobnica wydzielono siedem pakietów piaskowcowych, oddzielonych od siebie utworami drobnziarnistymi.

□ Zinterpretowano progradacyjne cechy osadów III piaskowca ciężkowickiego w pakietach 1–4. Utwory te mogą reprezentować osady lobów depozycyjnych. Miąższość lobów depozycyjnych waha się w granicach od kilku do około trzydziestu metrów.

□ W pakietach 5–7 stwierdzono agradacyjno-retrogradacyjne wykształcenie utworów III poziomu piaskowców ciężkowickich. Utwory te zinterpretowano jako koryta rozprowadzające, mające miąższość w granicach od kilku do ok. czterdziestu metrów.

□ Najbardziej zasobną częścią złoża jest część SE. Wydaje się, że to rodzaj pułapki złożowej i właściwości zbiornikowe decydowały o migracji ropy naftowej w tym kierunku. Również w tej części miąższość efektywna III piaskowca ciężkowickiego jest największa — waha się w granicach od czterdziestu do siedemdziesięciu metrów.

□ Obliczono metodą objętościową zasoby dla III piaskowca ciężkowickiego. Zasoby wydobywalne wynoszą 491518 t.

□ Mapa rozkładu zasobów ropy naftowej ma odzwierciedlenie w mapie ilości wydobywania ropy z III piaskowca ciężkowickiego na złożu. Otwory, z których wydobyto największe ilości tego surowca pokrywają się ze strefami największej zasobności widocznymi na mapie rozkładu zasobów w opracowaniu analizy geologiczno-złożowej struktury Osobnica (Masłowski i in., 1997).

□ Nie ma wyraźnej korelacji pomiędzy wykształceniem facjalnym, a ilością węglowodorów. Nieznacznie większe akumulacje można wiązać z facjami korytowymi. Jednak głównym czynnikiem decydującym o rozkładzie akumulacji wielkości ropy naftowej jest antyklinalna forma pułapki złożowej. Facje kanałowe i lobowe są dobrymi kolektorami dla węglowodorów.

Autor pragnie podziękować Panu Piotrowi Dziadzio za wprowadzenie w tematykę karpacką oraz pomoc w dotarciu do materiałów geologiczno-naftowych podczas pisania pracy magisterskiej a także za wnikliwą recenzję, cenne uwagi i dyskusje dotyczące tego opracowania. Autor dziękuje także firmie PGNiG za udostępnienie danych i zgodę na ich publikację. Artykuł jest oparty na badaniach przeprowadzonych na potrzeby pracy magisterskiej, wspartej finansowo przez AAPG Foundation w ramach programu Grants in Aid. Autor pragnie również podziękować Panu Pawłowi Poprawie za konstruktywne konsultacje.

Literatura

BASZKIEWICZ A., DZIADZIO P. & PROBULSKI J. 2001 — Stratygrafia sekwencji, petrogeniza i potencjał zbiornikowy piaskowców

istebniańskich i ciężkowickich w zachodniej części fałdu Iwonicza Zdroju. *Prz. Geol.*, 49: 417–425

BEAUBOUF R.T. 2004 — Deep-water leveed-channel complexes of the cerro Toro formation, Upper Cretaceous, southern Chile. *AAPG Bull.*, 88: 1471–1500

BROMOWICZ J., GÓRNIAK K., PRYZYTAŚ G. & REMBIŚ M. 2001 — Wyniki badań petrograficznych typowych litofacji zbiornikowych fliszu karpackiego. *Polish Journal of Mineral Resources*.

DZIADZIO P. S., ENFIELD M. A., WATKINSON M. P. & PORĘBSKI S. J. 2006 (w druku) — The Cieżkowice Sandstone: Examples of Basin-Floor Fan-stacking Patterns from the Main (Upper Paleocene to Eocene) Reservoir in the Polish Carpathians. *AAPG Mem.*, 84.

DŻUŁYŃSKI S., KSIĄŻKIEWICZ M. & KUENEN H. 1959 — Turbidites in Flysch of the Polish Carpathian Mountains. *Bull. Geol. Soc. Amer.*, 70: 1089–1118.

CIESZKOWSKI M., ŚLĄCZKA A. & WDOIARZ S. 1985 — New data on structure of the Flysch Carpathians. *Prz. Geol.*, 33: 313–329.

CREWS J. R., WEIMER P., PULHAM A. J. & WATERMAN A. S. 2000 — Integrated approach to condensed section identification in intraslope basins, Pliocene–Pleistocene, northern Gulf of Mexico. *AAPG Bull.*, 84: 1519–1536.

GRADZIŃSKI R., KOSTECKA A., RADOMSKI A. & UNRUG R. 1986 — *Zarys sedimentologii*, Warszawa.

JANKOWSKI L. 2003 — Budowa geologiczna przedpola jednostki magurskiej pomiędzy Wisłoka a Dunajcem, ze szczególnym uwzględnieniem utworów chaotycznych. *Państw. Inst. Geol. Kwart. Geol.*, 7: 717–718.

KOSZARSKI L. 1963 — O sedimentacji piaskowców ciężkowickich, *Kwart. Geol.*, 7: 717–718.

KSIĄŻKIEWICZ M. 1972 — Budowa geologiczna Polski, t. IV, Tektonika, cz. 3. *Karpaty*. Wyd. Geol.

KUK S. & MASŁOWSKI E. 2002 — Dokumentacja geologiczna złoża ropy naftowej i gazu ziemnego Osobnica; Dodatek nr 4. *Arch. PGNiG S.A.*

LESZCZYŃSKI S. 1981 — Piaskowce ciężkowickie jednostki śląskiej w polskich Karpatach: Studium sedimentacji głębokowodnej osadów gruboklastycznych. *Rocz. Pol. Tow. Geol.*, 51: 436–487.

MASŁOWSKI E., DZIADZIO P., KUK S. & PROBULSKI J. 1997 — Analiza geologiczno-złożowa struktury Osobnica. *Arch. PGNiG S.A.*

MUTTI E., JOHNS D. R. 1978 — The role of sedimentary bypassing in the genesis of fan fringe and basin plain turbidites in the Hecho Group system (south—central Pyrenees): *Mem. Soc. Geol. Ital.*, 11: 145–174.

MUTTI E. 1974 — Examples of ancient deep-sea fan deposits from circum-mediterranean geosynclines. *Publicazioni Dell'Istituto Di Geologia. Paleontologia E Geografia Fisica Dell'Universita Di Torino*: 92–105.

OSZCZYPKO N. 1999 — From remnant oceanic basin to collision-related foreland basin — a tentative history of the Outer Western Carpathians. *Geol. Carpath*, 50: 161–163.

OSZCZYPKO N. & ŚLĄCZKA A. 1985 — An attempt to palinspastic reconstruction of Neogene basins in the Carpathian foredeep. *Rocz. Pol. Tow. Geol.*, 55: 55–75.

PRATHER B. E., BOOTH J. R., STEFFENS G. S. & CRAIG P. A. 1998 — Classification, Lithologic Calibration, and Stratigraphic Succession of Seismic Facies of Intraslope Basins, Deep-Water Gulf of Mexico. *AAPG Bull.*, 82: 701–728.

STOW A.V. & JOHANSSON M. 2000 — Deep-water massive sands: nature, origin and hydrocarbon implications. *Mar. Petrol. Geol.*, 17: 145–174.

STRZEBOŃSKI P. 2001 — Sekwencje kanałowe w warstwach istebniańskich (kampan–paleocen) Beskidu Śląskiego. *Kwart. AGH*, 27: 181–199.

SZOSTAK L. 2000 — Naftowa inżynieria złożowa. Wydanie specjalne miesięcznika ENERGIA GIGAWAT, Kraków, 480pp.

ŚLĄCZKA A. & KAMIŃSKI M. A. 1998 — A Guidebook to excursions in the polish flysch Carpathians. *Spec. Pub.*, 6.

ŚWIDZIŃSKI H. 1954 — Mapa geologiczna Karpat polskich — część wschodnia. *Wyd. Geol.*

ŚWIERCZEWSKA A. & TOKARSKI A.K. 1998 — Deformation bands and the history of folding in the Magura nappe, Western Outer Carpathians (Poland). *Tectonophysics*, 297: 73–90.

TOKARSKI A. 1962 — Dokumentacja geologiczna złoża ropy naftowej i gazu ziemnego Osobnica; Dodatek nr 2. *Archiwum PGNiG S.A.*

WALKER R. G. 1978 — Deep Water Sandstone Facies and Ancient Submarine Fans: Models for Exploration for Stratigraphic Traps, *AAPG Bull.*, 62: 932–966.

ŻYTKO K. 1977 — Uwagi o paleogeńskich ruchach tektonicznych w Karpatach zewnętrznych. *Kwart. Geol.*, 21: 938–940.

Praca wpłynęła do redakcji 29.05.2005 r.
Akceptowano do druku 03.08.2005 r.