

Stanisław DEPOWSKI

Warunki akumulacji gazu w Karpatach polskich

WSTĘP

W Karpatach polskich odkryto dotychczas od początku rozwoju przemysłu naftowego, tj. od 1853 r. ponad 40 średnich i małych złóż ropy naftowej oraz 4 średnie i 2 małe złoża gazu. W pierwszym okresie poszukiwano jednak tylko ropy naftowej. Sytuowano wówczas otwory niemal wyłącznie w sąsiedztwie wycieków ropy naftowej. Nie sprzyjało to oczywiście odkryciu złóż gazu. Dopiero przejście na projektowanie otworów poszukiwawczych w oparciu o powierzchniowe zdjęcia geologiczne, co nastąpiło w końcu ubiegłego stulecia, spowodowało odkrycie złóż gazu w Karpatach polskich. Pierwsze złożo gazu ziemnego zostało odkryte dopiero w 1922 r. Następnie za pomocą prac poszukiwawczych odkryto jeszcze dalszych pięć złóż gazu. W zasadzie jedynie dwa z nich nawiercono za pomocą otworów poszukujących gazu ziemnego. Przyczyną był fakt, że w warunkach występowania złóż ropy i gazu w polskich Karpatach fliszowych trudno było ocenić, czy z daną strukturą będzie związane złożo ropy naftowej, czy też gazu. Obecnie, po odkryciu 6 złóż gazu, można rozważyć warunki sprzyjające nagromadzeniu i zachowaniu większych ilości węglowodorów gazowych w facyjnych i strukturalnych warunkach Karpat polskich.

CHARAKTERYSTYKA WARUNKÓW AKUMULACJI GAZU W POSZCZEGÓLNYCH ZŁOŻACH

Złoża gazu występujące w rejonie Sanoka są związane z dwiema odrębnymi elewacjami fałdu antyklinalnego.

Jako pierwsze zostało odkryte złożo gazu występujące w elewacji przesłedzonej w rejonie Strachociny. Budowa geologiczna złoża została dobrze poznana w części szczytowej, dzięki otworom poszukiwawczym i eksploatacyjnym. Skrzydła struktury są poznane stosunkowo słabo. W obrębie elewacji wyraźnie zaznaczają się dwa wtórne sfałdowania antykliny. Osiove partie tych sfałdowań na powierzchni zbudowane są z utworów eocenu podmenilitowego. Środkową synklinę, niezbyt zresztą głęboką, wypełniają warstwy menilitowe. Skrzydła fałdu budują warstwy menilitowe i krośnieńskie.

Okres	Wiek	Litostratygrafia	Miaższość	Profil litologiczny	Opis litologiczny	Złoże ropy i gazu					
K	E	Oligocen	do 3000 m		Łupki szare mikowe z wkładkami piaskowców szarych, mikowych, wapienistych	Złoże ropy i gazu					
					Łupki jasielskie, jasnobrunatne, wapienne						
					Piaskowce szare mikowe z wkładkami łupków szarych i ciemnoszarych mikowych						
					E	Eocen	Warstwy menilitowe	100-150 m		Łupki ciemnoszare i brunatne, wkładki piaskowców, rogowe, margle i piaskowce globigerynowe	Złoże ropy
							Łupki pstry eocenu podmenilitowego i piaskowce ciężkowickie	200-600 m		Łupki ilaste zielonoszare z wkładkami czerwonych, piaskowce gruboziarniste, jasnoszare, różnoziarniste	Złoże ropy i gazu
K	P	Senon	200-800 m		Łupki ciemnoszare, cienkie wkładki piaskowców szarych	Złoże gazu i ropy					
					Piaskowce szare różnoziarniste z wkładkami ciemnoszarych łupków						
					Margle fukoldowe ilaste ciemnoszare, zielonawe						
					Piaskowce szare, różnoziarniste z wkładkami łupków ciemnoszarych						
					Warstwy godulskie		50-150 m		Łupki ilaste zielone i czerwone, piaskowce		
K	P	Alb	400-600 m		Łupki czarne, miejscami zielonoszare, wkładki piaskowców szarych, drobnoziarnistych, glaukonitowych, gezy, w stropie wkładki margli krzemionkowych	Złoże ropy					
					Piaskowce jasnoszare, różnoziarniste, wkładki czarnych łupków						
					Łupki czarne, cienkie wkładki piaskowców szarych, zbitych						
K	P	Apt	do 200 m		Piaskowce jasnoszare, wkładki czarnych łupków	Złoże ropy					
					Warstwy wierszowia Piaskowce grodzkie						

Fig. 1. Syntetyczny profil stratygraficzno-litologiczny gazonośnej strefy Karpat polskich (jednostka śląska)
Synthetical stratigraphic-lithological profile of the gas-bearing zone of the Polish Carpathians (Silesian unit)

Charakterystycznym rysem wglębnej budowy fałdu antyklinalnego jest dysharmonia sfałdowania górnej i dolnej części struktury. Wskutek tego ilaste osady eocenu podmenilitowego są silnie spiętrzone nad serią istebniańską. Szczytowa część struktury, na wysokości piaskowca isteb-

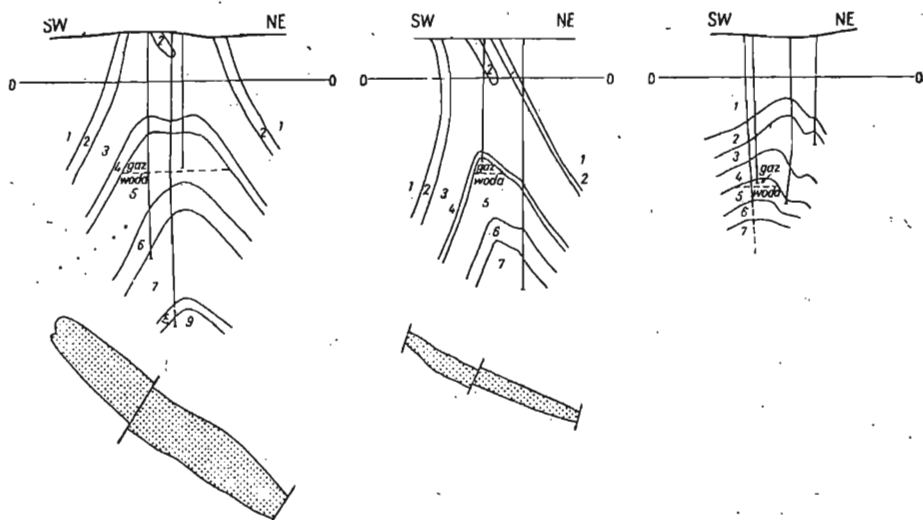


Fig. 2

Fig. 3

Fig. 4

Fig. 2. Fałd Strachociny. Schemat strukturalny złoża gazu i przekrój poprzeczny Strachocina fold. Structural scheme of gas deposit and cross section

- 1 — warstwy krośnieńskie; 2 — warstwy menilitowe; 3 — eocen podmenilitowy;
 4 — łupki istebniańskie; 5 — piaskowce istebniańskie; 6 — warstwy godulskie;
 7 — warstwy lgońskie; 8 — warstwy wierzowskie; 9 — piaskowce grodziskie
 1 — Krosno beds; 2 — menillite beds; 3 — submenillite Eocene; 4 — Istebna shales;
 5 — Istebna sandstones; 6 — Godula beds; 7 — Lgota beds; 8 — Wierzow beds;
 9 — Grodziec sandstones

Fig. 3. Fałd Sanoka. Schemat strukturalny złoża gazu i przekrój poprzeczny Sanok fold. Structural scheme of gas deposit and cross section

- 1 — warstwy krośnieńskie; 2 — warstwy menilitowe; 3 — eocen podmenilitowy;
 4 — łupki istebniańskie; 5 — piaskowce istebniańskie; 6 — warstwy godulskie;
 7 — warstwy lgońskie
 1 — Krosno beds; 2 — menillite beds; 3 — submenillite Eocene; 4 — Istebna shales;
 5 — Istebna sandstones; 6 — Godula beds; 7 — Lgota beds.

Fig. 4. Przekrój poprzeczny przez fałd Grabownicy — Wsieć
 Cross section through the Grabownica — Wsieć fold

- 1 — warstwy krośnieńskie; 2 — warstwy menilitowe; 3 — warstwy łupkowe; 4 — łupki istebniańskie;
 4 — łupki pstrze; 4 — łupki istebniańskie; 5 — piaskowce istebniańskie; 6 — warstwy godulskie; 7 — warstwy lgońskie
 1 — Krosno beds; 2 — menillite beds; 3 — variegated shales; 4 — Istebna shales;
 5 — Istebna sandstones; 6 — Godula beds; 7 — Lgota beds

niańskiego (fig. 2), ma szerokość do 400 m i jest pośrodku lekko wklęsnięta, co można traktować jako odbicie synkliny środkowej. Skrzydła są strome, przy czym południowo-zachodnie jest bardziej strome od północno-wschodniego. Nadmienić należy, że dyslokacja poprzeczna dzieli złożę na dwa odrębne bloki, które od przyległych części fałdu są też oddzielone poprzecznymi dyslokacjami. Miąższość gazonośnego piaskowca istebniańskiego w obrębie złoża dochodzi do 400 m, przy czym jest w nim szereg wkładek łupków ciemnoszarych, o miąższości od kilku do kilkudziesięciu metrów. Wkładowki łupkowe zajmują łącznie około 30%

miąższości serii gazonośnej. Piaskowce istebniańskie wykształcone są wybitnie niejednorodnie i jest w nich sporo wkładek słabo porowatych i o małej przepuszczalności. Porowatość piaskowców gazonośnych wynosi od 7,5 do 22,0%, a przepuszczalność dochodzi do 1000 miliardcy. Porowatość średnia wynosi 15%, a przepuszczalność na ogół nie przekracza 50÷70 miliardcy. Ciśnienie złożowe pierwotnie wynosiło około 101 ata, było równe mniej więcej hydrostatycznemu. Produkcje potencjalne gazu z poszczególnych otworów dochodziły do 1000 m³/min. Skład gazu jest następujący: CH₄ — 91,16%/; C₂H₆ — 2,04%/; C₃H₈ — 0,50%/; C₄H₁₀ — 0,58%/; C₅H₁₂ — 0,52%/; CO₂ — 0,5%/; O₂ — 0,2%/; N₂ — 3,4%/.

Kontakt gaz—woda w czasie eksploatacji nie przemieszcza się. W strefie kontaktu piaskowce są zresztą nieregularnie nasycone ciężką ropą. Niektóre otwory przy produkcji gazu wydają też minimalne ilości ropy.

Podobną budowę geologiczną ma też drugie złożo gazu związane z elewacją fałdu położoną bliżej Sanoka. W obrębie złoża skrzydła fałdu budują warstwy krośnieńskie i warstwy menilitowe. Jądrowa część antykliny jest również wórnienie sfałdowana, przy czym środkową synklinę wypełniają warstwy menilitowe, a w dwu sfałdowaniach na powierzchni stwierdzono otwory eocenu podmenilitowego. Skrzydła fałdu są strome, a południowo-zachodnie jest niemal pionowe i w górnej części nawet częściowo odchylone wstecznie. Eoceńskie jądro fałdu cechuje, podobnie jak w poprzednio omówionym złożu, dysharmonijna budowa w stosunku do łupków i piaskowców istebniańskich, warstw godulskich i utworów kredy dolnej. Fałd wskutek tego przybiera budowę częściowo wysadową. Ta dysharmonijna budowa jest podkreślona ponadto silnym prze-fałdowaniem ilastych łupków pstrych eocenu podmenilitowego i głębokim zaklinowaniem we wtórnej synklinie warstw menilitowych (fig. 3). Budowa geologiczna złoża jest ponadto zaburzona dyslokacją poprzeczną, dzielącą złożo na dwa bloki, które z kolei oddzielone są takimiż dyslokacjami od graniczących z nimi obniżonych części fałdu antyklinalnego.

Skalą zbiornikową dla gazu jest piaskowiec istebniański, którego miąższość wynosi w obrębie złoża 200÷250 m, z czego na wkładki łupków i słabo porowatych piaskowców przypada 20÷30%. Piaskowiec gazonośny ma porowatość 10÷17%, a przepuszczalność 43÷125 miliardcy. Początkowe ciśnienie złożowe wynosiło około 103 ata i było w zasadzie zbliżone do hydrostatycznego. Produkcje potencjalne gazu z poszczególnych otworów dochodziły maksymalnie do 940 m³/min.

Gas ma skład następujący: CH₄ — 61,40%/; C₂H₆ — 4,50%/; C₃H₈ — 0,35%/; C₄H₁₀ — 0,13%/; C₅H₁₂ — 0,12%/; CO₂ — 2,70%/; O₂ — 0,20%/; N₂ — 30,40%. Nadmiar N₂ wynosi zatem 29,6%. Na kontakcie gaz—woda stwierdzono strefę, o miąższości do 20 m, piaskowców nasyconych ropą o cięż. gat./15°C = 0,917. Większych przypiływów ropy z tej strefy nie uzyskano. Granica kontaktu gaz—woda, a raczej gaz—ropa—woda nie przemieszcza się w czasie eksploatacji.

Dalszym złożem gazu w Karpatach polskich, reprezentującym ten sam typ strukturalny jest złożo występujące w zachodniej części fałdu antyklinalnego Potoka — Roztok, który również cechuje dysharmonijna budowa. Polega ona na intensywnym sfałdowaniu jądrowej górnej części struktury, zbudowanej z osadów miękkich i plastycznych, w stosunku do łagodnie wypiętrzonego i sfałdowanego jądra piaskowcowego, zawiera-

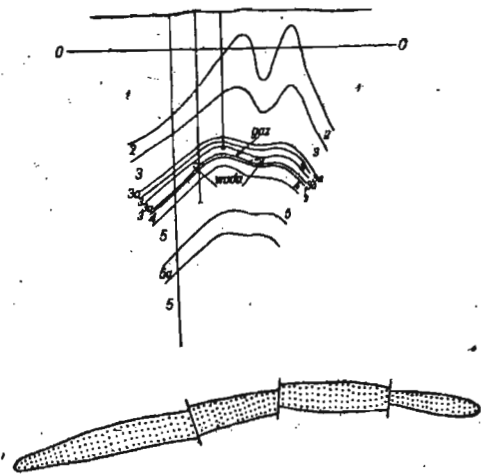


Fig. 5

Fig. 5. Fałd Roztok. Schemat strukturalny złoża gazu i przekrój poprzeczny Roztoka fold. Structural scheme of gas deposit and transversal cross section

- 1 — warstwy krośnieńskie; 2 — warstwy menilitowe; 3 — łupki pstre; 3a — piaskowce ciężkowickie; 4 — łupki istebniańskie; 5 — piaskowce istebniańskie; 5a — margle fukoldowe
 1 — Krosno beds; 2 — menilite beds; 3 — variegated shales; 3a — Cieżkowice sandstones; 4 — Istebna shales; 5 — Istebna sandstones; 5a — fucoid marls.

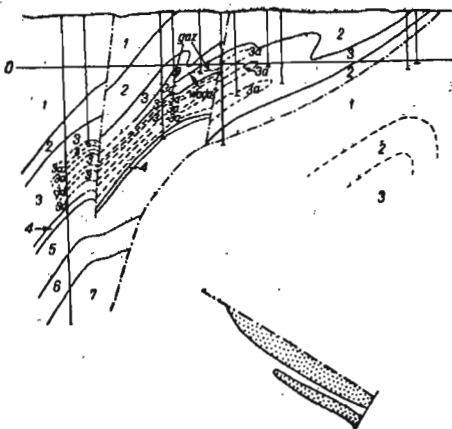


Fig. 6

Fig. 6. Fałd Rudawki Rymanowskiej. Schemat strukturalny złoża gazu i przekrój poprzeczny według J. Kruczka, nieco zmodyfikowany Rudawka Rymanowska fold. Structural scheme of gas deposit and transversal cross section, after J. Kruczek, slightly modified

- 1 — warstwy krośnieńskie; 2 — warstwy menilitowe; 3 — łupki pstre; 3a — piaskowce ciężkowickie; 4 — łupki istebniańskie; 5 — piaskowce istebniańskie; 6 — warstwy godulskie; 7 — warstwy lgockie
 1 — Krosno beds; 2 — menilite beds; 3 — variegated shales; 3a — Cieżkowice sandstones; 4 — Istebna shales; 5 — Istebna sandstones; 6 — Godula beds; 7 — Lgota beds

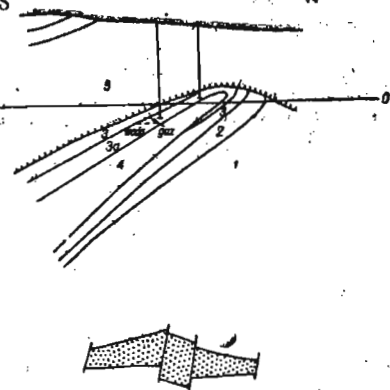


Fig. 7

Fig. 7. Fałd Szalowej. Schemat strukturalny złoża gazu i przekrój poprzeczny według P. Karnkowskiego Szalowa fold. Structural scheme of gas deposit and transversal cross section, after P. Karnkowski

- 1 — warstwy krośnieńskie; 2 — warstwy menilitowe; 3 — łupki pstre; 3a — piaskowiec ciężkowicki; 4 — piaskowiec istebniański; 5 — piaskozowina maguraka
 1 — Krosno beds; 2 — menilite beds; 3 — variegated shales; 3a — Cieżkowice sandstone; 4 — Istebna sandstone; 5 — Magura nappe

jącego złoża gazu (fig. 5). Jądrowa część fałdu antyklinalnego, intensywnie sfałdowana, jest zbudowana z plastycznych łupków zielonoszarych i pstrego eocenu podmenilitowego z rzadkimi i cienkimi wkładkami piaskowców, wśród których wyróżniono I piaskowiec ciężkowicki, wykształcony soczewkowato. Gazonośny II piaskowiec ciężkowicki tworzy wraz z serią łupków zielonych eocenu, łupkami i piaskowcami istebniańskimi, warstwami godulskimi i utworami kredy dolnej, łagodnie sfałdowane właściwe jądro fałdu antyklinalnego.

Nadmienić należy, że mimo licznych wierceń wielu szczegółów budowy geologicznej złoża nie wyjaśniono, gdyż otwory były sytuowane w jądrowej, gazonośnej części fałdu. Miąższość piaskowca gazonośnego dochodzi w obrębie złoża do 80 m. Porowatość wynosi średnio około 12%, przepuszczalność około 40 milidarcy. Produkcje potencjalne gazu z poszczególnych otworów były znaczne i dochodziły do 870 m³/min. Świadczy to o niewątpliwie dobrych własnościach kolektorskich piaskowca gazonośnego. Podkreślić należy, że gazonośny horyzont piaskowcowy ma sporo wkładek słabo porowatych i nieprzepuszczalnych. Złoże jest podzielone dyslokacjami poprzecznymi na 4 bloki. We wschodniej części złoża ciśnienia gazu (głowicowe, statyczne) dochodziły do 116 ata, a w najgłębszej zachodniej części złoża do 128 ata. Początkowe ciśnienia złożowe w poszczególnych blokach były nieco wyższe od hydrostatycznych.

Skład gazu jest następujący: CH₄ — 89,72%; C₂H₆ — 2,06%; C₃H₈ — 1,65%; C₄H₁₀ — 0,55%; C₅H₁₂ — 0,43%; CO₂ — 0,20%; O₂ — 0,12%; N₂ — 5,30%. Nadmiar azotu wynosi więc 4,83%. W południowej części złoża na kontakcie gaz—woda stwierdzono strefę piaskowca nasyconego lekką ropą barwy ciemnobrunatnej o cięż. gat./15°C = 0,795. Pewne niewielkie ilości tej ropy są eksploatowane wraz z gazem za pomocą otworów położonych w pobliżu tego kontaktu. Podkreślić należy, że nie uległ on przemieszczeniu w czasie eksploatacji gazu ze złoża, obecnie już w dużej mierze wyeksploatowanego. W niżej leżących piaskowcach istebniańskich, w najwyższej położonej strukturalnie części złoża zalegają niezbyt wydajne horyzonty ropoносne.

Małe złożo gazu odkryte w rejonie Rudawki Rymanowskiej jest związane z fałdem Iwonicza Zdroju — Rudawki Rymanowskiej, który w tym rejonie nasuwa się na fałd Bóbrki. W budowie fałdu, jak to wynika z przekroju geologicznego (fig. 6), można wyróżnić trzy zasadnicze elementy strukturalne, oddzielone podłużnymi dyslokacjami, a to: wtórnie sfałdowany element północny z jądrem utworzonym z eocenu podmenilitowego, z piaskowcami ciężkowickimi i z podwiniętym, częściowo zredukowanym skrzydłem; środkowy element, czyli tzw. „łuskę gazową“, która jest również wtórnie sfałdowana; oraz element południowy. Fałd jest podzielony poprzecznymi dyslokacjami na szereg bloków. W budowie geologicznej fałdu biorą udział otwory od kredy dolnej do warstw kroszeńskich włącznie. W eocenie podmenilitowym zostały wyróżnione 4 horyzonty piaskowców ciężkowickich. Skałą zbiornikową dla gazu jest tzw. I piaskowiec ciężkowicki (licząc od góry) o miąższości około 40 m. W dwóch sfałdowaniach łuski gazowej są właściwie dwa odrębne złoża. Większe jest związane z północnym sfałdowaniem łuski gazowej. W południowym sfałdowaniu nagromadziła się niewielka ilość gazu. Właści-

wości kolektorskie piaskowca gazonośnego są bardzo różnorodne, zależnie od partii złoża. Świadczą o tym potencjalne produkcje z poszczególnych otworów, które wahają się w granicach 4÷347 m³/min.

Piaskowiec gazonośny ma porowatość od 5 do 18,9%, średnio 8%. Przepuszczalność dochodzi do kilkudziesięciu milidarcy. Ciśnienie złożowe pierwotnie wynosiło około 40 ata. Jest ono w przybliżeniu równe ciśnieniu hydrostatycznemu.

Skład gazu jest następujący: CH₄ — 91,80%; C₂H₆ — nie stwierdzono; C₃H₈ — 0,07%; CO₂ — 2,43%; O₂ — 0,20%; N₂ — 5,50%. Nadmiar N₂ wynosi więc 4,75%. Charakterystyczną cechą tego gazu, w porównaniu z innymi złożami gazu w Karpatach polskich, jest brak C₂H₆, znikoma zawartość C₃H₈, brak cięższych węglowodorów oraz stosunkowo spora ilość CO₂. Wykazano w nim również obecność H₂S, którego w innych karpaccich złożach gazu nie stwierdzono.

W całkowicie odmiennych warunkach tektonicznych niż omówione złożo występuje złożo gazu związane z tzw. „Łuską Stróż“ (H. Świdziński, 1950), tj. wąskim, silnie złuskowanym siodełkiem, ciągnącym się w pobliżu brzegu płaszczowiny magurskiej w rejonie Grybowa. Na wschód od Stróż, w pobliżu brzegu płaszczowiny magurskiej łuska się poszerza i dochodzi do niej w miejscu, gdzie tworzy ona tzw. „półwysep Łużnej“. Dalszy ciąg tej łuski odkryto za pomocą wierceń poszukiwawczych, umieszczonych już na wspomnianym półwyspie Łużnej. Pod przykryciem formacji tworzących płaszczowinę magurską nawiercono w 1939 r. poważniejsze ilości gazu w piaskowcu ciężkowickim. Wiercenia wykazały, że złożo gazu jest związane z obalonym fałdem ekranowanym od góry przez płasko leżącą płaszczowinę magurską. Zatem złożo to jest też typu strukturalnego. W budowie geologicznej łuski biorą udział piaskowce istebniańskie, piaskowce ciężkowickie z wkładkami pstrych łupków, tzw. górne pstre łupki eocenu podmenilitowego, seria menilitowa i warstwy krośnieńskie. Skałą zbiornikową dla gazu jest piaskowiec ciężkowicki. Pierwotne ciśnienie złożowe wynosiło około 40 ata, przy czym było ono o około 40% niższe od hydrostatycznego. Wydajności początkowe z poszczególnych otworów dochodziły do 150 m³/min.

Skład gazu jest następujący: CH₄ — 93,2%; C₂H₆ — 0,57%; C₃H₈ — 0,57%; C₄H₁₀ — 0,27%; C₅H₁₂ — 0,17%; CO₂ — 0,20%; O₂ — 0,30%; N₂ — 4,80%. Nadmiar azotu = 3,62%.

Jest rzeczą interesującą, że przy przewiercaniu utworów płaszczowiny magurskiej parokrotnie uzyskiwano przypiływy gazu do 4 m³/min., przy ciśnieniu złożowym mniejszym od hydrostatycznego, co zdaje się świadczyć o stopniowej wertykalnej migracji gazu ze złoża. Spowodowane jest to niewątpliwie brakiem należytego przykrycia złoża skałami uszczelniającymi.

FACJALNE WARUNKI AKUMULACJI GAZU

Złoża ropy w Karpatach polskich są związane z piaskowcami kredy, paleocenu, eocenu i oligocenu. W kredzie dolnej horyzonty roponośne występują w piaskowcach grodziskich i w piaskowcach warstw lgoeckich;

w kredzie górnej — w piaskowcach istebniańskich jednostki śląskiej i piaskowcach warstw inoceramowych płaszczowiny magurskiej i regionu skibowego; w paleocenie i eocenie — w piaskowcach ciężkowickich i tzw. piaskowcach hieroglifyowych oraz powyżej nich — w piaskowcach warstw menilitowych i piaskowcach warstw krośnieńskich należących do oligocenu. Natomiast nieco inaczej (fig. 1) przedstawia się rozmieszczenie horyzontów gazonośnych w profilu stratygraficznym Karpat polskich. Złóża gazu odkryto dotychczas jedynie w piaskowcach istebniańskich kredy górnej i w piaskowcach ciężkowickich eocenu (tzw. I i II piaskowiec ciężkowicki). Analizując ten fakt można stwierdzić, że zasadniczą rolę w powstaniu i zachowaniu tych złóż miały niewątpliwie utwory ilaste eocenu podmenilitowego, które można uważać za serię uszczelniającą skały zbiornikowe złóż gazu. Podkreślić należy przy tym fakt, że złoża gazu w piaskowcach istebniańskich są tam, gdzie nie ma już w ogóle piaskowców ciężkowickich lub są one wykształcone nieregularnie i soczewkowato na granicy swojego zasięgu facjalnego. Złoża gazu w piaskowcach istebniańskich są również położone w pobliżu granicy ich zasięgu facjalnego, gdzie są one już zredukowane do 1/2 lub 1/4 swojej przeciętnej miąższości. Miąższość ich osiąga wówczas optymalne wartości dla akumulacji węglowodorów w warunkach fliszu karpackiego (S. Wdowiarz, 1956). Z drugiej strony — piaskowce istebniańskie i czarnorzeckie są najlepszymi skałami zbiornikowymi polskich Karpat fliszowych (W. Kulczycki, 1959). Porowatość piaskowców istebniańskich waha się w granicach 6÷19%, a przepuszczalność od kilku do kilkuset miliardarcy, maksymalnie do 1000 miliardarcy. Cechy fizyczne piaskowców ciężkowickich są podobne, gdyż porowatość ich waha się w granicach 7÷11%, a przepuszczalność od kilku do kilkudziesięciu miliardarcy, sporadycznie do kilkuset miliardarcy. Piaskowce kredy dolnej mają już nieco gorsze parametry fizyczne, gdyż porowatość ich wynosi średnio około 9%, a przepuszczalność dochodzi do kilkudziesięciu miliardarcy. Niewiele różnią się od nich własnościami kolektorskimi piaskowce serii menilitowej, które mają porowatość w granicach 9÷12%, a przepuszczalność 20÷50 miliardarcy. Najbardziej niekorzystne własności fizyczne mają piaskowce warstw krośnieńskich, których porowatość wynosi od 4 do 7%, a tylko sporadycznie jest nieco wyższa. Przepuszczalność ich jest minimalna. Największe znaczenie mają tu zresztą, jak wykazują dotychczasowe badania, szczeliny, w związku z czym ogół geologów polskich skłonny jest uważać piaskowce warstw krośnieńskich raczej za kolektor typu szczelinowego. Podkreślić należy, że i w innych karpackich skałach zbiornikowych systemy szczelin odgrywają niewątpliwie dużą rolę i być może w wielu przypadkach zasadniczą. Jest to zrozumiałe przy dużym zaangażowaniu tektonicznym karpackich struktur ropo- i gazonośnych. Maksymalne produkcje ropy i gazu uzyskiwano raczej tam, gdzie przepuszczalność była zwiększona wskutek występowania systemów makro- i mikro-szczelin.

Analizując profil litologiczny gazonośnej strefy Karpat polskich, można dojść do wniosku, że są minimalne szanse na odkrycie złóż gazu w warstwach krośnieńskich i w warstwach menilitowych. Na złoża takie można liczyć jedynie tam, gdzie byłyby wyjątkowo sprzyjające warunki tektoniczne, na przykład pod płaszczowiną magurską. Przyczyną jest

brak w tych warstwach serii skał mogących dostatecznie zabezpieczyć złoża przed migracją wertykalną gazu. Jak już podkreślono, uszczelnienie zapewniły piaskowcom ciężkowickim i istebniańskim osady eocenu podmenilitowego, dochodzące do kilkuset metrów miąższości. Nieco inaczej przedstawiają się perspektywy gazonośności kredy dolnej. Oddzielają je od piaskowców istebniańskich warstwy godulskie, które tam, gdzie reprezentowane są przez serię utworów ilastych, tzn. w północno-wschodniej części jednostki śląskiej, mogą przy sprzyjających warunkach tektonicznych dostatecznie uszczelniać utwory kredy dolnej. Za perspektywiczne można też uważać struktury jednostki podśląskiej, w których osady kredy dolnej są dobrze uszczelnione ilastymi utworami serii godulskiej i ilastymi marglami węglowieckimi.

TEKTONICZNA CHARAKTERYSTYKA WYSTĘPOWANIA ZŁÓŻ GAZU

Największe nagromadzenia gazu położone są w pobliżu północnej granicy centralnego synklinorium karpackiego. Związane są one z wypiętrzonymi fałdami, które obramowują synklinorium. Fakt ten stworzył niewątpliwie dobre warunki do nagromadzenia gazu. Pozostałe złoża położone są w pobliżu południowej granicy centralnego synklinorium karpackiego, gdzie też były stosunkowo dobre warunki strukturalne dla nagromadzenia węglowodorów gazowych.

Fałdy antyklinalne położone w pobliżu północnej granicy centralnego synklinorium karpackiego charakteryzuje przy tym stosunkowo regularna budowa, jak na warunki tektoniczne istniejące w ropo- i gazonośnej części Karpat polskich. Charakterystyczną cechą tych fałdów antyklinalnych jest ich dysharmonijna budowa. Polega ona, jak to już podkreślono przy omawianiu poszczególnych złóż, na intensywnym sfałdowaniu górnej części struktury, zbudowanej z miękkich osadów ilastych, w stosunku do łagodnie sfałdowanego i wypiętrzonego jądra fałdu, zbudowanego z gruboławicowych piaskowców gazonośnych. Skrzydła tych fałdów również budują stosunkowo sztywne warstwy krośnieńskie. Wskutek intensywnego sfałdowania i wycisnięcia osadów ilastych, w danych przypadkach eocenu podmenilitowego, tworzą one rodzaj wysadu. Dzięki temu zjawisku złoża gazu zostały doskonale uszczelnione. Umożliwiło to zachowanie się w tych złożach ciśnień równych lub nawet wyższych od hydrostatycznych. Fałd Grabownicy Wsi ma w zasadzie podobną budowę, choć już w mniejszym stopniu dysharmonijną (fig. 4).

Nieco inaczej przedstawiają się warunki strukturalne w fałdzie Rudawki Rymanowskiej. Tam „skibowa“ budowa fałdu i rozbiecie fałdu przez podłużne dyslokacje na trzy elementy, z których środkowy jest gazonośny, nie stworzyło tak dogodnych warunków strukturalnych. Niemniej daje się też zauważyć intensywniejsze sfałdowanie tzw. I łupków pstrych eocenu podmenilitowego w stosunku do jego sztywniejszej niższej części, zbudowanej z czterech horyzontów piaskowców ciężkowickich o łącznej miąższości do 160 m, oddzielonych przekładkami łupkowymi. Gazonośny jest przy tym I piaskowiec ciężkowicki. Na stylu budowy tektonicznej tego fałdu widać zresztą wpływ nasuwających się od

południa tzw. fałdów dukielskich (złoże znajduje się około 7 km od czoła nasunięcia).

Odrębny typ reprezentuje fałd Szalowej, gdzie złoże jest od góry ekranowane tektonicznie przez utwory płaszczowiny magurskiej. Sytuacja nie jest tam jednak specjalnie korzystna, gdyż utwory płaszczowiny magurskiej, z uwagi na swoje wykształcenie litologiczne, nie uszczelniają należycie tego złoża, co znalazło swój wyraz w ciśnieniu złożowym znacznie niższym od hydrostatycznego.

Dalszą cechą omawianych złóż gazu jest rozbitcie ich przez uskoki poprzeczne na szereg bloków, przy czym, oczywiście, im złoże dłuższe, tym, zgodnie z ogólnym stylem tektoniki fałdów centralnego synklinorium karpackiego, na więcej bloków zostało rozbite. Długość poszczególnych bloków wynosi od kilkuset metrów do 2-3 km. Podkreślić jeszcze trzeba, że złoża należące do typu złóż strukturalnych są oczywiście wąskie, a szerokość ich dochodzi maksymalnie do 0,8 km.

UWAGI OGÓLNE O WYSTĘPOWANIU ZŁÓŻ GAZU W POLSKICH KARPATACH

W warunkach niezbyt korzystnego wykształcenia litologicznego utworów fliszowych Karpat polskich, a też skomplikowanej tektoniki, na powstanie i zachowanie się złóż gazu złożyły się specyficzne przyczyny. Zasadniczą rolę, jako seria uszczelniająca, odegrały niewątpliwie osady ilaste eocenu podmenilitowego, leżące nad skałami zbiornikowymi dla gazu, tj. piaskowcami ciężkowickimi i istebniańskimi. Największe nagromadzenia gazu są położone w peryferyjnych obszarach sedimentacji powyższych kompleksów piaskowcowych i strukturalnie leżą wyżej niż części centralne. Fakt ten sprzyjał niewątpliwie koncentracji węglowodorów gazowych. Fałdy położone w pobliżu północnej granicy centralnego synklinorium karpackiego mają, jak na Karpaty fliszowe, stosunkowo mało skomplikowaną budowę, a poza tym miały tam miejsce zjawiska tektoniczne, które „doszczelniały” piaskowce gazonośne wyżej od nich leżącą serią osadów ilastych. W fałdach Szalowej i Rudawki Rymańskiej nie istniały już tak dogodne warunki. Niemniej złoża położone w pobliżu południowej granicy centralnego synklinorium karpackiego są związane z fałdami, w których w zasadzie też były stosunkowo dogodne warunki dla akumulacji gazu i zachowania się złóż.

Za serie macierzyste dla gazu w Karpatach polskich uważać można, opierając się o teorię organicznego pochodzenia węglowodorów, serie czarnych łupków kredy. Są to idąc od góry: łupki warstw istebniańskich, łupki warstw łgockich, łupki wierzowskie i łupki cieszyńskie. Skład gazów dowodzi niewątpliwie ich związku z ropami występującymi w karpackich złożach. Oddzielenie gazu od ropy nastąpić musiało w wyniku procesów migracyjnych (W. C. Gussow, 1955; A. L. Kozłow, 1959).

Wody towarzyszące złożom gazu, a także złożom ropy należą z reguły do wód typu kwaśno-węglanowo-sodowego o zawartości jodu dochodzącej do kilkudziesięciu mg/l zawartości.

Pierwotne ciśnienia złożowe były na ogół równe ciśnieniom hydrostatycznym. Wpływ ciśnienia petrostatycznego nie zaznaczył się wyraź-

niej, co jest zrozumiałe w świetle stosunków litologicznych i tektonicznych. Złoża produkują w warunkach gazowo-aporowych, przy czym nie zaznacza się wpływ wody podścielającej.

Dotychczasowe wydobywanie ropy i gazu ze złóż polskich wyraża się stosunkiem 1 : 1. Taki sam mniej więcej stosunek jest w rozpoznanych zasobach ropy i gazu. Dla zasobów perspektywicznych powinien on też być utrzymany, choć podkreślić należy, że większość polskich geologów bardziej optymistycznie zapatruje się na perspektywy odkrycia nowych złóż ropy niż gazu w Karpatach polskich. Autor jednakże wyraża pogląd, że perspektywy odkrycia nowych złóż gazu w Karpatach polskich są duże. Poza centralnym synklinorium karpackim wchodzi w rachubę przede wszystkim: jednostka podśląska, podłoże płaszczowiny magurskiej, podłoże Karpat fliszowych oraz flisz podhalski. W przypadku stwierdzenia istnienia przedłużenia fałdów wgłębnych (znanych z radzieckich i rumuńskich Karpat Wschodnich) na południowy zachód od Przemyśla, można spodziewać się również bardzo poważnych perspektyw na odkrycie złóż gazu, czego przykładem może być odkrycie w Związku Radzieckim złoża gazu w Bitkowie.

Zakład Geologii Niżu L.G.

Nadesłano dnia 28 stycznia 1963 r.

PIŚMIENNICTWO

- BUJALSKI E. (1933) — Strachocina. Geologia i statystyka naftowa, nr 3. Lwów.
- DEPOWSKI S. (1955) — Budowa geologiczna fałdu Sanoka — Strachociny. Archiw. Karpackiej Stacji Inst. Geol. (maszynopis). Kraków.
- GUSSOW W. C. (1955) — Time of Migration of Oil and Gas. Bull. Am. Ass. Petr. Geol., nr 5. New York.
- HEMPEL J. (1948) — Nowy obszar gazowy w Szalowej — Bieśniku koło Gorlic. Nafta, 4, nr 3. Kraków.
- КОЗЛОВ А. Л. (1959) — О закономерностях формирования и размещения нефтяных и газовых залежей. Госгортехиздат. Москва.
- KULCZYCKI W. (1959) — Zagadnienie porowatości, szczelinowatości i przepuszczalności pokładów ropnych i gazowych w Karpatach środkowych. Nafta, 15, nr 4. Kraków.
- NOWAK J. (1929) — Die Geologie der polnischen Ölfelder. Stuttgart.
- ОBUCHOWICZ Z. (1946) — Roztoki — Sądkowa. Kopalnie nafty i gazów ziemnych w Polsce. Inst. Naft. Krosno—Kraków.
- ŚWIDZIŃSKI H. (1939) — Budowa geologiczna zachodniej części fałdu potockiego (tzw. „Łuski gazowej“). Biul. Państw. Inst. Geol., 20. Warszawa.
- ŚWIDZIŃSKI H. (1950) — Łuska Stróż koło Grybowa (Karpaty Środkowe). Biul. Państw. Inst. Geol., 59. Warszawa.
- WDOWIARZ S. (1960) — Ropa naftowa i gaz ziemny na tle geologii Karpat. Prz. geol., 4, nr 10, p. 456. Warszawa.
- WYSZYŃSKI O. (1932) — Rudawka Rymanowska. Geologia i statystyka naftowa, nr 4. Lwów.

Станислав ДЕПОВСКИ

УСЛОВИЯ НАКОПЛЕНИЯ ГАЗА В ПОЛЬСКИХ КАРПАТАХ

Резюме

Самые большие, выявленные до сих пор, скопления газа в Польских Карпатах, связаны с поднятиями антиклинальных складок Санок—Страхоцина и Поток—Розток, простирающихся недалеко северной границы центрального карпатского синклиория. Эти складки характеризуются дисгармоническим строением, заключающимся в интенсивной складчатости и приподнятии верхней части складки, представленной зоеновыми глинистыми породами, в отличие от менее складчатого песчаникового ядра складки, в котором произошло накопление газа. Это явление привело к хорошему уплотнению газоносных истебнянских песчаников в складке Санок—Страхоцины и ценжковитских — в складке Поток—Розток. В газовом месторождении, связанном с антиклинальной складкой Грабовица Весь, простирающейся к северо-востоку от складки Санок—Страхоцина, газоносным горизонтом являются истебнянские песчаники. В газовых месторождениях, связанных со складками Рудавка Римановская и Шалёва, коллекторами являются ценжковитские песчаники. Эти месторождения расположены в южной части центрального карпатского синклиория и характеризуются более сложным геологическим строением, так как обе складки опрокинуты и частично чешуйчатые. Месторождение в складке Шалёва сверху тектонически экранируется магурским надвигом.

Истебнянские песчаники обладают пористостью в пределах 7—22%, в среднем 15%; их проницаемость достигает 1000 миллидарси, в среднем составляет 50—70 миллидарси. Порыстость ценжковитских песчаников равняется в среднем около 12%, а проницаемость около 40 миллидарси. Газы из отдельных месторождений содержат: 61,70—93,20% CH_4 , до 4,50% C_2H_6 , до 1,65% C_3H_8 , до 0,58% C_4H_{10} , до 0,52% C_5H_{12} , до 2,70% CO_2 , до 29,40% N_2 . Только в газе из складки Рудавка Рымановска установлены следы H_2S . Потенциальные производительности отдельных скважин достигали 1000 $\text{м}^3/\text{мин.}$ газа из истебнянских песчаников и 800 $\text{м}^3/\text{мин.}$ газа из ценжковитских песчаников. Однако имела место также производительность порядка нескольких $\text{м}^3/\text{мин.}$ Первичное пластовое давление было сходно, как правило, с гидростатическим и только лишь в складке Шалёва было на около 40% ниже. Эксплуатация месторождений осуществляется в газовых условиях. Химические составы газов и наличие в большинстве месторождений (на контакте газа и воды) незначительных количеств нефти являются доказательством генетической связи газов с нефтью и образования месторождений в результате миграционных процессов. Месторождения относятся к структурному типу и характеризуются, как правило, небольшими размерами. Материнскими породами для газов являются, по всей вероятности темные и черные истебнянские и нижнемеловые сланцы, хотя нельзя исключить миграцию газа из основания Флишевых Карпат. Главную роль в накоплении газа и сохранении месторождений играли несомненно глинистые породы подменилитового зоцена, уплотняющие газоносные песчаники.

Эксплуатация и разведанные запасы нефти и газа выражаются соотношением 1:1. Существуют также значительные возможности выявления новых месторождений газа. Принимается во внимание область центрального карпатско-

го синклинория с перспективными горизонтами в ценжковских и истебнянских песчаниках, а также нижнемеловых льготских и гродзиских песчаниках. Перспективны также нижнемеловые песчаники подсилезского элемента, область магурского надвига с тектонически экранирующими структурами (тип складки Шалёва), подгальский флиш, глубинные складки района Пжемьсьль—Бирча и основание Флишевых Карпат.

Stanisław DEPOWSKI

CONDITIONS OF GAS ACCUMULATION IN THE POLISH CARPATHIANS

Summary

The largest gas accumulations, so far discovered in the Polish Carpathians, are connected with the elevations of the anticlinal folds stretching from Sanok to Strachocina and from Potok to Roztok, and situated near the northern boundary of the Central Synclorium of Carpathians. These folds are characteristic of their disharmonic structure resulting from the intensive folding and uplifting processes of the upper part of the fold built of the argillaceous Eocene deposits. This part is in contrast with the less tectonically engaged sandstone core of the fold, in which the gas accumulation took place. These conditions caused favourable sealing of the gas-bearing Istebna sandstones in the Potok-Roztoka fold. In the gas deposit connected with the anticlinal Grabownica — Wieś fold, running northeast from the Sanok — Strachocina fold, the Istebna sandstones form a gas-bearing horizon. In the gas deposits connected with the folds of Rudawka Rymanowska and Szalowa, the Ciężkowice sandstones are reservoir rocks. These deposits occur in the southern part of the Central Synclorium of Carpathians and disclose a more complicated geological structure, since both the folds are overturned and partly scaled off, whereas the deposit in the Szalowa fold is, from above, tectonically screened by the Magura nappe.

Porosity of the Istebna sandstones amounts 7—22% and 15% at an average. Permeability reaches, with 50—70 millidarcy on the average, up to 1000 millidarcy. The mean porosity of the Ciężkowice sandstones is, in turn, about 12%, and permeability amounts approximately 40 millidarcy. Gases from various deposits contain: 61,70—93,20% CH_4 , up to 4,5% C_2H_6 , up to 1,65% C_3H_8 , up to 0,58% C_4H_{10} , up to 0,52% C_5H_{12} , up to 2,70% CO_2 and up to 29,40% N_2 . The gas from the Rudawka Rymanowska fold was the only one to show traces of H_2S . The maximum gas yield of individual wells reached up to 1000 cu.m./min from the Istebna sandstones, and up to 800 cu.m./min from the Ciężkowice sandstones. However, there also were wells only with some cu.m. of gas per minute. As a rule, the initial formation pressures equalled the hydrostatic ones. Only in the Szalowa fold these were about 40% less. The production of the deposits takes place under gaseous conditions.

The chemical composition of gases and the presence of slight quantities of oil in most of the deposits at gas-water surface prove a genetic connection existing

between gases and oils and formation of deposits caused by migration processes. The deposits belong to the structural type and are of small extents. The dark coloured and the black Istebna and Lower Cretaceous shales are, most probably, mother series for the gases. Even so, the migration of the gas from the substratum of the Flysch Carpathians should also be taken into consideration. A decisive part in gas accumulation and preserving the deposits has undoubtedly been played by the argillaceous sediments of the submenilite Eocene, sealing off the gas-bearing sandstones.

The ratio between production and oil and gas resources recognized there is 1 : 1. There exist also great possibilities of discovering new gas deposits. The prospective area is that of the Central Synclinorium of Carpathians with perspective horizons in both the Ciężkowice and the Istebna sandstones, as well as in the Lgota and Grodziec sandstones of the Lower Cretaceous. Prospective are also sandstones of the Lower Cretaceous within the lower Subsilesian unit, area of the Magura nappe with tectonically screened structures (type of the Szalowa fold), Podhale Flysch, deep-seated folds in the Przemyśl — Bircza region and substratum of the Flysch Carpathians.