

Krótką analiza przebiegu eksploatacji złoża ropno-gazowego X_{MJ} z rejonu Podkarpacia

Albin Wojnar, Czesław Rybicki 

AGH Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydział Wiertnictwa, Nafty i Gazu, Kraków

Streszczenie: Artykuł dotyczy analizy przebiegu eksploatacji kolejnego złoża ropno-gazowego położonego w starym zagłębiu naftowym w Polsce południowo-wschodniej. Z powodów formalnych złożo to zostało oznaczone symbolem X_{MJ} . Została wykonana krótka analiza pod kątem perspektyw zastosowania metod intensyfikacji wydobywania. Złożo ma budowę blokową. Każdy z bloków, a jest ich cztery, ma własny kontur wodny. Skałami złożowymi są piaskowiec ciężkowicki i warstwy istebniańskie. Złożo generalnie eksploatowane jest dzięki energii gazu rozpuszczonego oraz energii grawitacji. W przeszłości podejmowane były próby zamykania stref dużego dopływu wody do złoża X_{MJ} . Autorzy artykułu po wykonanej analizie wskazali na dwa kierunki prac intensyfikacyjnych. Jeden to powtórzenie zabiegów zamykania stref zawodnionych, a drugi to zaplanowanie wiercenia głębokiego otworu w zachodniej części złoża. Przebieg wydobywania ropy i gazu wskazuje na to, że przez system uskoków da się uzyskać dostęp do głębszych warstw, z których prawdopodobnie można wydobywać większe ilości węglowodorów.

Słowa kluczowe: piaskowiec ciężkowicki, warstwy istebniańskie, pstry łupki system grawitacyjny

A SHORT ANALYSIS OF THE X_{MJ} OIL AND GAS FIELD EXPLOITATION IN THE PODKARPACIE REGION

Abstract: The article presents the analysis of another oil and gas reservoir production located in the old oil basin in south-eastern Poland. For formal reasons, the reservoir has been marked with the symbol X_{MJ} . A short analysis was carried out in terms of prospects for the use of production intensification methods. The reservoir has a block structure. Each of the blocks, and there are four of them, has its own water contour. The reservoir rocks are: the Ciężkowice sandstone and the Istebna strata. Generally, reservoir is produced thanks to the dissolved gas energy and the energy of gravity. In the reservoir, attempts were made to close off large water inflow zones. The authors, after the analysis, indicated two directions of intensification works. One is to repeat the procedures of closing the flooded zones, and the other is to plan the drilling of a deep hole in the western part of the reservoir. The course of oil and gas production indicates that there is contact through the fault system with deeper layers promising increased hydrocarbon production.

Keywords: Ciężkowice sandstone, Istebna strata, motley shales, gravity system

https://doi.org/10.7494/978-83-67427-15-9_10

1. Wstęp

Złoże oznaczone symbolem X_{MJ} jest złożem ropy naftowej i gazu ziemnego w obrębie polskich Karpat fliszowych, położonym na zachodnim przedłużeniu antykliny Potoka (Karnkowski 1993a, 1993b, Dokumentacja 1996). Długość udokumentowanej części struktury wynosi około 5 km, a szerokość – maksymalnie do około 500 m. Złoże jest zlokalizowane w piaskowcach ciężkowickich i istebniańskich w strukturze fałdowej, zaburzonej tektonicznie. Należy ono do typu warstwowego i ekranowane jest litologicznie, częściowo tektonicznie. Izolacją dla piaskowców ciężkowickich jest duży kompleks łupków pstrych, a piaskowce istebniańskie izolowane są poziomem łupków istebniańskich. Złoże X_{MJ} autorzy artykułu poddali krótkiej analizie pod kątem perspektyw zastosowania metod intensyfikacji wydobywania. Złoże X_{MJ} zbudowane jest z szeregu elementów tektonicznych, które charakteryzują się różną pozycją strukturalną i właściwą dla siebie kombinacją konturów wodnych. Geneza złoża związana jest ściśle z procesami tektonicznymi zachodzącymi w tym rejonie. Z dokumentacji złożowej wynika, że akumulacja gazu nastąpiła po uformowaniu się pułapki stratygraficznej. Różne kontury na poszczególnych blokach świadczą o tym, że migracja gazu następowała z głębszych partii w obrębie każdego bloku. Ta sugestia zawarta w dokumentacji geologicznej wskazuje na potencjalne istnienie głębszych struktur skalnych będących zasadniczymi miejscami akumulacji węglowodorów. Jak wynika z dokumentacji, do chwili obecnej wydobyto z piaskowca ciężkowickiego budującego złożo X_{MJ} 49,66 tys. ton ropy i 1019,80 mln m_n^3 gazu, a z warstw istebniańskich – 1181,96 mln m_n^3 gazu i 164,65 tys. ton ropy. Eksploatowana ropa naftowa zawiera dużą ilość parafiny, ma gęstość 850 kg/m^3 , a gaz należy do grupy gazów gazolinowych o średniej zawartości gazoliny $0,09 \text{ kg/m}_n^3$.

2. Krótka charakterystyka geologiczna złoża ropno-gazowego X_{MJ}

2.1. Wiadomości ogólne

Złoże X_{MJ} położone jest na zachodnim przedłużeniu antykliny ciągnącej się od Czarnej w kierunku Gorlic. Antyklina ta tworzy dwa sfałdowania: północne i południowe, a na jej powierzchni odsłaniają się wychodnie łupków menilitowych z warstwami krośnieńskimi w środku. Budowa wgłębna fałdów jest inna niż budowa powierzchniowa. Starsze warstwy, tj. II poziom piaskowca ciężkowickiego i III poziom łupków pstrych oraz warstwy czarnorzeckie, występują jako dwa regularne, łagodne sfałdowania. Na podstawie profilu odwiertu X_{MJ} 21 można stwierdzić, że struktura złoża obniża się w kierunku wschodnim i tworzy dwa łagodne fałdy: północny i południowy, oraz tworzy również płaską formę o długości około 1500 m. Fałd południowy jest częściowo rozpoznany na podstawie wierceń, co przyczyniło się do określenia poziomów roponośnych w II poziomie piaskowca ciężkowickiego oraz w piaskowcu czarnorzeckim. Fałd

północny jest obniżony w porównaniu z fałdem południowym, zaś jego oś zanurza się w kierunku wschodnim znacznie bardziej niż oś fałdu południowego. Fałd północny nie został wystarczająco zbadany pod względem produktywności. Jeżeli chodzi o odwierty wydobywcze, to są one skupione głównie na obszarach bloku zachodniego oraz wschodniego, a także częściowo środkowego. Głównym złożem ropy i gazu jest II poziom piaskowca ciężkowickiego oraz piaskowce czarnorzeckie. Drugi poziom piaskowca ciężkowickiego zalega na głębokości od 900 m do 1000 m w części zachodniej, a w części wschodniej na głębokości od 950 m do 1060 m. Miąższość piaskowca ciężkowickiego zmienia się w zakresie od 70 m do 80 m. Piaskowiec czarnorzecki zalega na głębokości od 1050 m do 1130 m.

W profilu stratygraficznym złoża X_{MJ} da się wyróżnić:

- warstwy istebniańskie dolne z wkładkami piaskowców – górna kreda,
- warstwy istebniańskie górne z wkładkami piaskowców – paleocen,
- warstwy łupków pstrych z piaskowcami ciężkowickimi – eocen,
- warstwy łupków menilitowych z rogowcami – oligocen,
- warstwy krośnieńskie – oligocen,
- utwory czwartorzędowe.

Złoże X_{MJ} pocięte jest dyslokacjami poprzecznymi i podłużnymi, które nadają mu charakter złoża blokowo-strukturalnego. Postępując od zachodu, wyróżnić można w budowie złoża następujące bloki:

- blok M1,
- blok M2,
- blok M4,
- blok M6.

Wszystkie bloki złoża przecięte są uskokiem podłużnym biegnącym wzdłuż osi głównego fałdu przez całe złożo. Pomiędzy blokami zaznacza się zróżnicowanie wysokościowe, w szczególności w obrębie górnych warstw istebniańskich, łupków pstrych i piaskowców ciężkowickich.

Horyzonty złożowe występują w przegubowej strefie antykliny i każdy jest izolowany kompleksem łupków oraz cechuje się innymi warunkami geologiczno-złożowymi, tj. innym ciśnieniem złożowym oraz własnym konturem wodnym. Złoże X_{MJ} można zaliczyć do złóż wielohoryzontowych.

2.2. Charakterystyka skał złożowych oraz płynów w złożu X_{MJ}

Eksploracja złoża X_{MJ} prowadzona jest z drugiego piaskowca ciężkowickiego oraz z horyzontów warstw istebniańskich. Skałami złożowymi są piaskowce drobnoziarniste, średnioziarniste i gruboziarniste, miejscami zlepieńcowate; są barwy szarej, przewarstwione łupkami, czasami z zawartością miki. Poziomami uszczelniającymi

złoża są kompleksy łupków pstrych i łupków istebniańskich. Na złożu X_{MJ} w warstwach istebniańskich stwierdzono liczne poziomy wodonośne. Wody złożowe należą do kwaśno-węglanowo-sodowych, zmineralizowanych. Wydajność wydobywania wód złożowych jest zróżnicowana, zaś w miarę eksploatacji zauważalny jest znaczny wzrost wykładnika wodnego. Energią wywołującą eksploatację złoża X_{MJ} jest energia gazu rozpuszczonego w ropie oraz efekty grawitacyjne. Ważniejsze parametry petrofizyczne głównych horyzontów złoża X_{MJ} zestawiono w tabeli 1.

Tabela 1
Ważniejsze parametry petrofizyczne horyzontów złoża X_{MJ}

Nazwa horyzontu	Piaskowce ciężkowickie	Warstwy istebniańskie
Powierzchnia [km^2]	brak danych	0,178–0,32
Mięższność całkowita [m]	32–120	32–120
Głębokość zalegania [m]	850–1040	1080–2370
Porowatość [%]	10–12	5–16
Przepuszczalność [mD]	0–122	0–50
Zapiaszczenie [%]	42–80	66–88

Źródło: opracowanie własne na podstawie Dokumentacja (1996)

Eksploatowanymi płynami ze złoża X_{MJ} są ropa naftowa i gaz ziemny.

Ropa naftowa ze złoża X_{MJ} zawiera dużą ilość parafiny, ma gęstość w granicach 840–850 kg/m^3 . Gaz ziemny należy do grupy gazów gazolinowych o średniej zawartości gazoliny 90 g/m_n^3 . Gazolina jest odbierana z gazu przed jego dalszym użytkowaniem. Skład eksploatowanego gazu ze złoża X_{MJ} podano w tabeli 2.

Tabela 2
Przedziały zmienności udziału poszczególnych składników
w gazie ziemnym wydobywanym ze złoża X_{MJ}

Składnik gazu	Zawartość [% obj.]
CH_4	87,9694–91,1190
C_2H_6	4,2946–5,7927
C_3H_8	1,1382–2,2158
i- C_4H_{10}	0,2068–0,4653
n- C_4H_{10}	0,2294–0,5510
C_6H_{14}	0,0915–0,2845
C_7H_{15}	0,0475–0,1271
CO_2	0,1959–0,7065
N_2	1,9613–2,0263

Źródło: opracowanie własne na podstawie Dokumentacja (1996)

Wraz z ropą naftową i gazem ziemnym wydobywana jest również woda złożowa będąca solanką typu chemicznego – chlorkowo-sodowego. Główne parametry wydobywanej wody złożowej to:

- stężenie jonów wodorowych pH – 8,6,
- gęstość w temperaturze 20°C – 1012 kg/m³.

W dalszej części artykułu autorzy dokonali analizy przebiegu eksploatacji ropy naftowej, gazu ziemnego i wody złożowej w ostatnich 11 latach.

2. Wydobycie ropy, gazu i wody z czterech bloków złoża X_{MJ} w ostatnich 11 latach eksploatacji

3.1. Eksploatacja płynów z bloku M1

Na bloku M1 obecnie czynne są dwa odwierty: X_{M1} 5 i X_{M1} 36. Przebieg wydobycia płynów złożowych z tych odwiertów podano w tabelach 3 i 4.

Tabela 3
Przebieg zmian wydajności ropy, gazu i wody w odwiercie X_{M1} 5

Odwiert X _{M1} 5												
Parametr	Rok											Σ
	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	
Q _R [t]	0,7	0,5	0,8	0,0	0,0	1,49	1,31	1,31	0,66	0,0	0,0	6,77
Q _G [tys. m _n ³]	109,7	111,7	109,8	113,0	104,6	105,5	103,6	107,2	121,4	135,2	121,8	1243,5
Q _W [t]	9,5	0,9	2,3	0,0	0,0	3,13	2,55	2,28	1,45	0,0	0,0	22,11

Źródło: opracowanie własne na podstawie Dokumentacja (1996)

Tabela 4
Przebieg zmian wydajności ropy, gazu i wody w odwiercie X_{M1} 36

Odwiert X _{M1} 36												
Parametr	Rok											Σ
	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	
Q _R [t]	19,0	18,6	19,0	19,9	33,7	35,37	35,7	36,5	21,9	21,3	12,3	273,27
Q _G [tys. m _n ³]	215,1	221,6	206,0	215,2	202,8	201,5	201,6	212,4	209,8	197,6	118,7	2202,3
Q _W [t]	32,8	36,5	28,0	25,8	11,1	7,72	0,8	0,0	0,0	0,0	0,0	142,72

Źródło: opracowanie własne na podstawie Dokumentacja (1996)

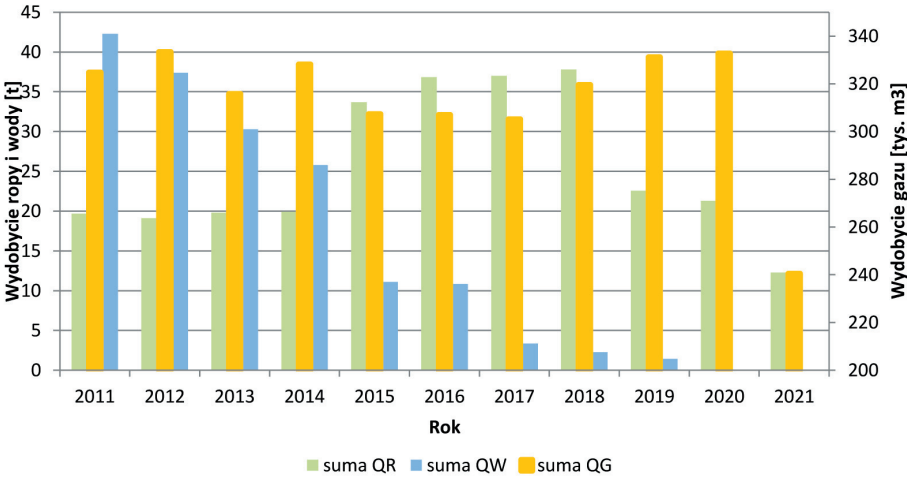
Sumaryczne wydobycie płynów złożowych z bloku M1 złoża X_{MJ} w okresie 2011–2021 podano w tabeli 5.

Tabela 5
Przebieg sumarycznego wydobycia płynów złożowych z bloku M1 złoża X_{MJ}

Parametr	Rok											Σ
	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	
ΣQ_R [t]	19,7	19,1	19,8	19,9	33,7	36,86	37,01	37,81	22,56	21,3	12,3	280,04
ΣQ_G [tys. m ³]	324,8	333,3	315,8	328,2	307,4	307,0	305,2	319,6	331,2	332,8	240,5	3445,8
ΣQ_W [t]	42,3	37,4	30,3	25,8	11,1	10,85	3,35	2,28	1,45	0,0	0,0	164,83

Źródło: opracowanie własne na podstawie Dokumentacja (1996)

Z analizy danych w tabeli 5 wynika, że wydobycie ropy naftowej z bloku M1 do roku 2014 utrzymywało się na mniej więcej stałym poziomie. Po wykonaniu zabiegów intensyfikacyjnych wydobycie wzrosło o prawie 90%. Wzrost ten utrzymywał się przez 4 lata, po czym nastąpił jego spadek. Wydobycie gazu w latach 2011–2020 utrzymywało się na podobnym poziomie, notując jednak w roku 2021 istotny spadek. Ciekawym faktem jest to, że wzrostowi wydobycia ropy naftowej nie towarzyszył wzrost wydobycia gazu. Jest to bardzo korzystna sytuacja, świadcząca o dobrze zaprojektowanych zabiegach intensyfikacji. Celem zabiegów było udrożnienie strefy roponośnej wraz zamykaniem stref dopływu wody. Udało się to osiągnąć, o czym świadczy spadek jej wydobycia. Od roku 2020 praktycznie nie ma jej dopływu. Przebieg eksploatacji płynów z bloku M1 na złożu X_{MJ} zobrazowano na rysunku 1.



Rys. 1. Wykres sumarycznego wydobycia ropy Q_R , gazu Q_G i wody Q_W z bloku M1 na złożu X_{MJ} w okresie 2011–2021

Źródło: opracowanie własne na podstawie Dokumentacja (1996)

3.2. Eksploatacja płynów z bloku M2

Na bloku M2 obecnie czynnych jest siedem odwiertów. Przebieg wydobywania płynów złożowych z tych odwiertów przedstawiono w tabelach 6–12.

Tabela 6
Przebieg zmian wydajności ropy, gazu i wody w odwiercie $X_{M2\ 2}$

Odwiert $X_{M2\ 2}$												
Parametr	Rok											Σ
	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	
Q_R [t]	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Q_G [tys. m ³]	282,1	291,1	291,3	360,9	358,5	362,3	349,3	340,8	324,6	341,0	337,2	3639,1
Q_W [t]	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Źródło: opracowanie własne na podstawie Dokumentacja (1996)

Tabela 7
Przebieg zmian wydajności ropy, gazu i wody w odwiercie $X_{M2\ 3}$

Odwiert $X_{M2\ 3}$												
Parametr	Rok											Σ
	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	
Q_R [t]	0,2	1,7	0,7	0,5	1,7	1,99	1,56	1,38	14,88	15,3	16,9	56,81
Q_G [tys. m ³]	218,2	221,6	208,2	214,5	206,0	209,7	206,6	214,1	211,9	133,6	122,7	2167,1
Q_W [t]	0,5	4,8	1,9	1,2	3,2	4,66	3,28	2,67	24,09	18,3	119,1	183,7

Źródło: opracowanie własne na podstawie Dokumentacja (1996)

Tabela 8
Przebieg zmian wydajności ropy, gazu i wody w odwiercie $X_{M2\ 4}$

Odwiert $X_{M2\ 4}$												
Parametr	Rok											Σ
	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	
Q_R [t]	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Q_G [tys. m ³]	348,8	359,5	333,4	361,0	358,1	362,6	349,1	343,6	317,7	331,2	340,3	3805,3
Q_W [t]	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Źródło: opracowanie własne na podstawie Dokumentacja (1996)

Tabela 9
Przebieg zmian wydajności ropy, gazu i wody w odwiercie X_{M2} 6

Odwiert X _{M2} 6												
Parametr	Rok											Σ
	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	
Q _R [t]	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Q _G [tys. m _n ³]	488,8	488,9	404,2	411,8	373,0	423,6	491,2	409,4	372,0	351,0	341,8	4555,7
Q _W [t]	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Źródło: opracowanie własne na podstawie Dokumentacja (1996)

Tabela 10
Przebieg zmian wydajności ropy, gazu i wody w odwiercie X_{M2} W2

Odwiert X _{M2} W2												
Parametr	Rok											Σ
	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	
Q _R [t]	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Q _G [tys. m _n ³]	282,3	291,0	291,8	360,9	358,3	294,0	72,8	73,1	71,7	72,9	73,1	2241,9
Q _W [t]	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Źródło: opracowanie własne na podstawie Dokumentacja (1996)

Tabela 11
Przebieg zmian wydajności ropy, gazu i wody w odwiercie X_{M2} W3

Odwiert X _{M2} W3												
Parametr	Rok											Σ
	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	
Q _R [t]	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Q _G [tys. m _n ³]	247,0	255,7	239,8	254,4	253,0	261,5	276,3	275,0	260,6	323,8	336,1	2983,2
Q _W [t]	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Źródło: opracowanie własne na podstawie Dokumentacja (1996)

Tabela 12
Przebieg zmian wydajności ropy, gazu i wody w odwiercie X_{M2} W5

Odwiert X _{M2} W5												
Parametr	Rok											Σ
	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	
Q _R [t]	239,3	238,8	279,5	254,6	232,2	216,55	264,03	222,45	252,25	252,4	255,5	2707,58
Q _G [tys. m _n ³]	165,9	174,5	176,2	181,6	163,0	162,9	166,1	141,1	153,3	140,2	133,2	1758,0
Q _W [t]	1470,4	1453,2	1544,7	1505,5	1604,6	1675,05	1524,41	1303,26	1547,36	1530,4	1821,4	16 980,28

Źródło: opracowanie własne na podstawie Dokumentacja (1996)

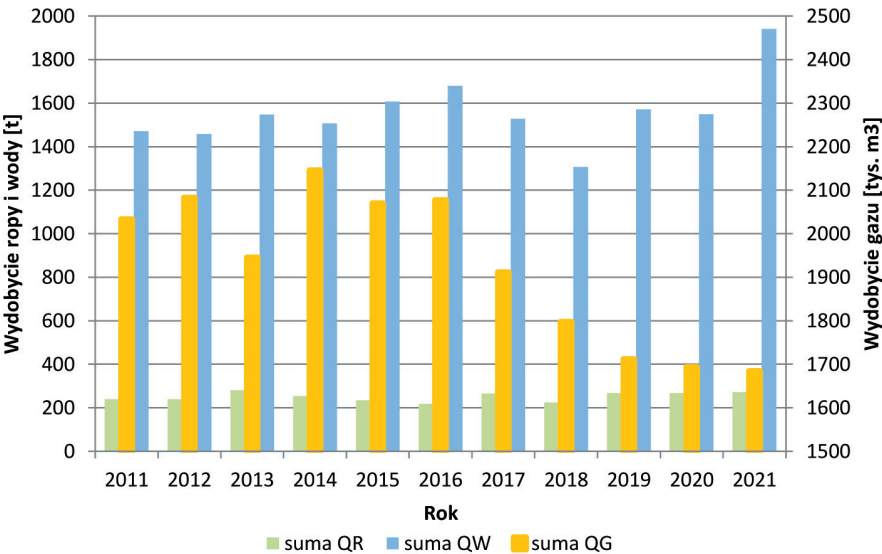
Sumaryczne wydobycie płynów złożowych z bloku M2 złoża X_{MJ} w okresie 2011–2021 przedstawiono w tabeli 13.

Tabela 13
Przebieg zmian sumarycznego wydobycia płynów złożowych z bloku M2 złoża X_{MJ}

Parametr	Rok											Σ
	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	
ΣQ _R [t]	239,5	240,5	280,2	255,1	233,9	218,54	265,59	223,83	267,13	267,7	272,4	2764,39
ΣQ _G [tys. m ³]	2033,1	2082,3	1944,9	2145,1	2069,9	2076,6	1911,4	1797,1	1711,8	1693,7	1684,4	21 150,3
ΣQ _W [t]	1470,9	1458	1546,6	1506,7	1607,8	1679,71	1527,69	1305,93	1571,45	1548,7	1940,5	17 163,98

Źródło: opracowanie własne na podstawie Dokumentacja (1996)

Przebieg eksploatacji bloku M2 na złożu X_{MJ} zobrazowano na wykresie 2.



Rys. 2. Wykres sumarycznego wydobycia ropy Q_R , gazu Q_G i wody Q_W z bloku M2 na złożu X_{MJ} w okresie 2011–2021

Źródło: opracowanie własne na podstawie Dokumentacja (1996)

Z analizy wykresu na rysunku 2 wynika, że eksploatacja płynów złożowych z bloku M2 na złożu X_{MJ} w analizowanym okresie charakteryzowała się stabilnym wydobyciem ropy z tendencją do wzrostu od 2019 roku. Wydobycie gazu w tym okresie wzrastało do roku 2014, po czym obserwuje się jego spadek. Wydobycie wody pozostawało na prawie stałym wysokim poziomie. Eksploatacja odwiertów zlokalizowanych na tym bloku odbywa się z dużymi wykładnikami wodnymi, rzędu 7–8 ton wody na tonę wydobywanej ropy.

3.3. Eksploatacja płynów z bloku M4

Na bloku M4 obecnie czynnych jest pięć odwiertów. Przebieg wydobywania płynów złożowych z tych odwiertów przedstawiono w tabelach 14–18.

Tabela 14
Przebieg zmian wydajności ropy, gazu i wody w odwiercie X_{M4} J1

Odwiercie X _{M4} J1												
Parametr	Rok											Σ
	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	
Q_R [t]	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Q_G [tys. m ³]	382,5	391,3	365,7	397,7	392,6	407,4	420,5	380,6	365,8	349,3	339,9	4193,3
Q_W [t]	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Źródło: opracowanie własne na podstawie Dokumentacja (1996)

Tabela 15
Przebieg zmian wydajności ropy, gazu i wody w odwiercie X_{M4} W7

Odwiercie X _{M4} W7												
Parametr	Rok											Σ
	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	
Q_R [t]	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Q_G [tys. m ³]	381,2	391,3	366,0	398,5	392,4	407,4	421,3	378,1	360,9	348,6	330,7	4176,4
Q_W [t]	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Źródło: opracowanie własne na podstawie Dokumentacja (1996)

Tabela 16
Przebieg zmian wydajności ropy, gazu i wody w odwiercie X_{M4} M4

Odwiercie X _{M4} M4												
Parametr	Rok											Σ
	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	
Q_R [t]	165,9	158,9	211,8	177,9	165,1	139,23	117,6	128,65	139,27	149,5	165,2	1719,05
Q_G [tys. m ³]	151,5	160,0	175,3	180,9	167,9	171,7	163,4	169,2	155,1	150,8	138,3	1784,1
Q_W [t]	535,2	438,0	526,7	500,4	512,0	555,56	584,52	533,78	344,41	433,7	247,5	5211,77

Źródło: opracowanie własne na podstawie Dokumentacja (1996)

Tabela 17
Przebieg zmian wydajności ropy, gazu i wody w odwiercie X_{M4} M7

Odwiert X _{M4} M7												
Parametr	Rok											Σ
	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	
Q_R [t]	199,6	239,4	238,9	282,7	240,9	149,43	162,92	140,53	174,21	162,9	175,0	2166,49
Q_G [tys. m ³]	204,4	198,8	158,4	149,7	138,2	117,7	130,6	137,8	125,1	120,0	122,1	1602,8
Q_W [t]	1842,1	2121,2	1959,1	2024,4	2187,6	1922,53	1663,82	1643,28	2128,98	2182,2	1760,0	21 435,21

Źródło: opracowanie własne na podstawie Dokumentacja (1996)

Tabela 18
Przebieg zmian wydajności ropy, gazu i wody w odwiercie X_{M4} J35

Odwiert X _{M4} J35												
Parametr	Rok											Σ
	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	
Q_R [t]	45,2	102,7	115,3	111,8	50,6	57,57	39,8	44,36	38,83	36,6	36,5	679,26
Q_G [tys. m ³]	21,2	13,2	35,6	40,7	31,5	37,8	39,4	37,9	35,8	39,6	60,7	393,4
Q_W [t]	94,8	223,8	199,1	202,7	149,9	151,61	137,42	145,9	156,4	146,4	139,4	1747,43

Źródło: opracowanie własne na podstawie Dokumentacja (1996)

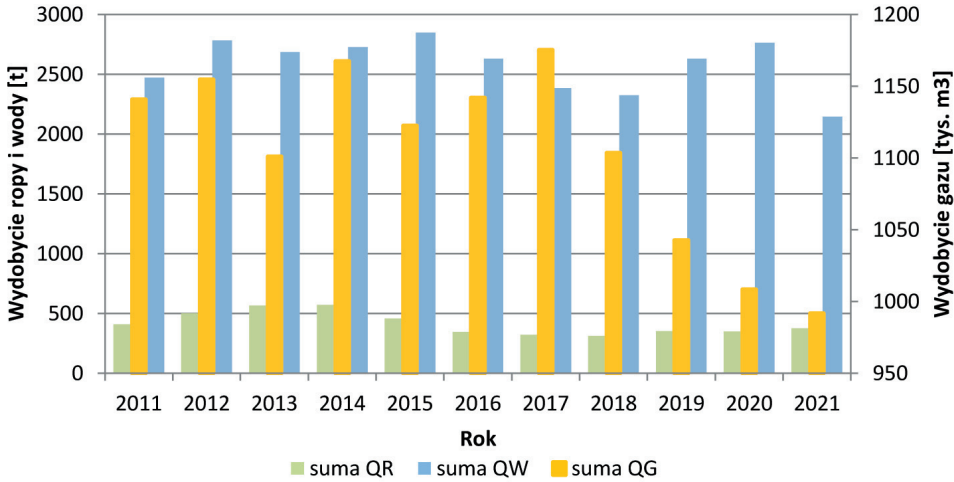
Sumaryczne wydobycie płynów złożowych z bloku M4 złoża X_{MJ} w okresie 2011–2021 obrazują dane w tabeli 19.

Tabela 19
Przebieg zmian sumarycznego wydobycia płynów złożowych z bloku M4 złoża X_{MJ}

Parametr	Rok											Σ
	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	
ΣQ_R [t]	410,7	501	566	572,4	456,6	346,23	320,32	313,54	352,31	349	376,7	4564,8
ΣQ_G [tys. m ³]	1140,8	1154,6	1101	1167,5	1122,6	1142	1175,2	1103,6	1042,7	1008,3	991,7	12150
ΣQ_W [t]	2472,1	2783	2684,9	2727,5	2849,5	2629,7	2385,76	2322,96	2629,79	2762,3	2146,9	28 394,41

Źródło: opracowanie własne na podstawie Dokumentacja (1996)

Przebieg eksploatacji bloku M4 na złożu X_{MJ} zilustrowano na rysunku 3.



Rys. 3. Wykres sumarycznego wydobycia ropy Q_R , gazu Q_G i wody Q_W z bloku M4 na złożu X_{MJ} w okresie 2011–2021
Źródło: opracowanie własne na podstawie Dokumentacja (1996)

Z analizy wykresu na rysunku 3 wynika, że wydobycie ropy z bloku M4 zmienia się prawie sinusoidalnie. Podobny charakter zmian ma wydobycie wody, przy czym ilość wydobytej wody jest pięć – sześć razy większa niż ilość wydobytej ropy. Wydobycie gazu zmienia się pulsacyjnie, przy czym od 2017 roku obserwuje się jego spadek.

3.4. Eksploatacja płynów z bloku M6

Na bloku M6 obecnie czynnych jest osiem odwiertów. Przebieg wydobycia płynów złożowych z tych odwiertów przedstawiono w tabelach 19–26.

Tabela 19
Przebieg zmian wydajności ropy, gazu i wody w odwiercie X_{M6} M6

Odwiert X_{M6} M6												
Parametr	Rok											Σ
	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	
Q_R [t]	2,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,17	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,07
Q_G [tys. m ³]	107,5	4,2	5,6	13,1	8,6	3,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	142,9
Q_W [t]	0,0	0,0	22,6	183,1	59,0	87,21	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	351,91

Źródło: opracowanie własne na podstawie Dokumentacja (1996)

Tabela 20
Przebieg zmian wydajności ropy, gazu i wody w odwiercie X_{M6} Mx3

Odwiert X_{M6} Mx3												
Parametr	Rok											Σ
	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	
Q_R [t]	36,2	45,2	50,3	51,2	59,0	64,89	53,96	43,31	38,0	36,6	36,5	515,16
Q_G [tys. m_n^3]	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Q_W [t]	30,2	38,7	52,6	66,1	50,4	38,71	37,61	40,4	57,1	51,8	85,0	548,62

Źródło: opracowanie własne na podstawie Dokumentacja (1996)

Tabela 21
Przebieg zmian wydajności ropy, gazu i wody w odwiercie X_{M6} Mx6

Odwiert X_{M6} Mx6												
Parametr	Rok											Σ
	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	
Q_R [t]	45,3	43,6	53,0	55,7	62,7	63,79	62,85	74,76	74,1	73,2	36,5	645,5
Q_G [tys. m_n^3]	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Q_W [t]	41,2	47,0	67,9	84,7	101,8	102,5	104,41	112,3	113,9	133,3	164,2	1073,21

Źródło: opracowanie własne na podstawie Dokumentacja (1996)

Tabela 22
Przebieg zmian wydajności ropy, gazu i wody w odwiercie X_{M6} G11

Odwiert X_{M6} G11												
Parametr	Rok											Σ
	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	
Q_R [t]	60,8	63,7	156,4	168,5	182,9	178,68	157,4	176,5	179,9	178,5	156,4	1659,68
Q_G [tys. m_n^3]	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Q_W [t]	61,4	72,0	195,2	246,3	260,5	265,63	266,9	278,7	278,1	265,5	247,8	2438,03

Źródło: opracowanie własne na podstawie Dokumentacja (1996)

Tabela 23
Przebieg zmian wydajności ropy, gazu i wody w odwiercie X_{M6} Mx2

Odwiert X_{M6} Mx2												
Parametr	Rok											Σ
	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	
Q_R [t]	46,3	48,9	51,3	63,2	66,2	69,94	50,57	50,75	20,6	36,6	36,5	540,86
Q_G [tys. m_n^3]	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Q_W [t]	43,8	56,6	71,1	98,4	110,1	146,64	125,9	153,07	93,62	64,5	108,3	1072,03

Źródło: opracowanie własne na podstawie Dokumentacja (1996)

Tabela 24
Przebieg zmian wydajności ropy, gazu i wody w odwiercie X_{M6} J31

Odwiercie X_{M6} J31												
Parametr	Rok											Σ
	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	
Q_R [t]	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Q_G [tys. m ³]	907,7	828,9	798,5	551,1	548,4	458,4	441,4	443,5	341,5	383,8	314,4	6017,6
Q_W [t]	0,7	5,7	9,1	10,3	12,3	11,27	26,13	29,53	21,6	23,3	19,4	169,33

Źródło: opracowanie własne na podstawie Dokumentacja (1996)

Tabela 25
Przebieg zmian wydajności ropy, gazu i wody w odwiercie X_{M6} J32a

Odwiercie X_{M6} J32a												
Parametr	Rok											Σ
	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	
Q_R [t]	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Q_G [tys. m ³]	662,9	836,9	868,36	923,9	625,9	412,0	253,5	287,2	169,2	71,5	83,6	5194,96
Q_W [t]	143,3	619,5	898,4	960,9	774,4	747,52	707,36	889,08	834,3	481,6	854,8	7911,16

Źródło: opracowanie własne na podstawie Dokumentacja (1996)

Tabela 26
Przebieg zmian wydajności ropy, gazu i wody w odwiercie X_{M6} J22

Odwiercie X_{M6} J22												
Parametr	Rok											Σ
	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	
Q_R [t]	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Q_G [tys. m ³]	282,8	390,4	367,0	398,1	393,7	407,3	421,4	389,4	371,2	354,9	341,3	4117,5
Q_W [t]	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Źródło: opracowanie własne na podstawie Dokumentacja (1996)

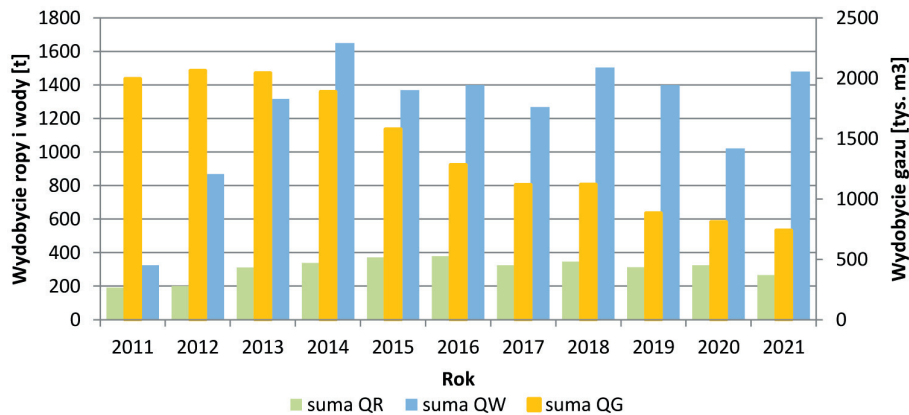
Sumaryczne wydobywanie płynów złożowych z bloku M6 złoża X_{MJ} w okresie 2011–2021 obrazują dane w tabeli 27.

Tabela 27
Przebieg zmian sumarycznego wydobycia płynów złożowych z bloku M6 złoża X_{MJ}

Parametr	Rok											Σ
	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	
ΣQ _R [t]	191,5	201,4	311,0	338,6	370,8	377,47	324,78	345,32	312,6	324,9	265,9	3364,27
ΣQ _G [tys. m ³]	1995,1	2062,8	2040,66	1886,2	1576,6	1281,6	1116,3	1120,1	881,9	810,2	739,3	15 510,76
ΣQ _W [t]	324,7	868,5	1316,9	1649,8	1368,5	1399,48	1268,31	1503,08	1398,62	11 020,0	1479,5	13 597,39

Źródło: opracowanie własne na podstawie Dokumentacja (1996)

Przebieg eksploatacji bloku M6 na złożu X_{MJ} zilustrowano na rysunku 4.



Rys. 4. Wykres sumarycznego wydobycia ropy Q_R , gazu Q_G i wody Q_W z bloku M6 na złożu X_{MJ} w okresie 2011–2021
Źródło: opracowanie własne na podstawie Dokumentacja (1996)

Z analizy wykresu na rysunku 4 wynika, że wydobycie ropy z bloku M6 wzrasta w okresie 2011–2016 od wartości około 200 t/rok do wartości 377 t/rok. Po tym okresie następuje niewielki spadek. Charakterystyczne jest to, że obecne wydobycie ropy jest wyższe niż w roku 2011. Wydobycie gazu osiąga maksimum w 2012 roku, po czym sinuoidalnie spada. Wydobycie wody wzrasta w latach 2011–2014, po czym zmienia się pulsacyjnie. Istotnym zjawiskiem jest duży wykładnik wodny w stosunku do wydobycia ropy, osiągający wartość nawet około 5 ton wody na tonę wydobywanej ropy.

3. Podsumowanie analizy przebiegu eksploatacji złoża X_{MJ}

Analizowane złożo X_{MJ} należy do złóż ropno-gazowych z dużym wydobyciem wody złożowej. Na złożu można wyróżnić cztery odrębne bloki oznaczone jako M1, M2, M4 i M6.

Wszystkie bloki złoża przecięte są uskokiem podłużnym biegnącym wzdłuż osi głównego fałdu przez całe złożo. Pomiedzy blokami zaznacza się zróżnicowanie wysokościowe, w szczególności w obrębie górnych warstw istebniańskich, łupków pstrych i piaskowców ciężkowickich.

W zachodniej części złoża X_{MJ} obserwowane są stosunkowo duże wydajności gazu, zmniejszające się w kierunku wschodnim. Odwierty w złożu X_{MJ} w większości wiercone były metodą udarową. Z uzyskanych informacji wynika, że przy dowiercaniu się do horyzontów produktywnych dochodziło do silnych erupcji gazu wraz z ropą, dlatego w pełnej nazwie niektórych z tych odwiertów występuje słowo „wulkan”. W czasie eksploatacji złoża pojawia się znaczny dopływ wody złożowej. Jak wynika z analizy, wyładniki wodne osiągają wartość 6 ton wody na tonę ropy.

Autorzy proponują, aby w niektórych z odwiertów na tym złożu przeprowadzić zabieg wtlaczania żywic uszczelniających, zamykających strefy wodonośne. Takie zabiegi były już wykonywane i dały pozytywne rezultaty.

Drugim istotnym spostrzeżeniem autorów jest fakt, że złożo ma prawdopodobnie źródła dopływu płynów z głębszych horyzontów. Byłaby to przesłanka wskazująca na zasadność wiercenia nowych głębokich otworów w części zachodniej złoża.

W przyszłości autorzy artykułu zamierzają poddać analizom wydajność złóż położonych w starym polskim zagłębiu naftowym i zaproponować metody zwiększenia wydobywania ropy i gazu ziemnego na tym obszarze.

Literatura

- Dokumentacja, 1996, *Dodatek nr 4 do dokumentacji geologicznej złoża ropy naftowej i gazu ziemnego X_{MJ}* , PGNiG – Krośnieński Zakład Górnictwa Nafty i Gazu, Zakład Poszukiwań Nafty i Gazu Jasło.
- Karnkowski P., 1993a, *Złoża gazu ziemnego i ropy naftowej w Polsce. T. 1. Niż Polski*, Towarzystwo Geosynoptyków „Geos” AGH, Kraków.
- Karnkowski P., 1993b, *Złoża gazu ziemnego i ropy naftowej w Polsce. T. 2. Karpaty i zapadlisko przedkarpackie*, Towarzystwo Geosynoptyków „Geos” AGH, Kraków.