



Poduszki solne północno-zachodniej i centralnej Polski jako potencjalne poziomy izolacyjne złożowych wystąpień węglowodorów

Salt pillows of north-western and central Poland as the potential isolation horizons of economic hydrocarbons concentrations

Grzegorz CZAPOWSKI, Marta HODBOD, Leszek SKOWROŃSKI, Jarosław ZACHARSKI

Państwowy Instytut Geologiczny-Państwowy Instytut Badawczy; ul. Rakowiecka 4, 00-975 Warszawa;
e-mail: grzegorz.czapowski@pgi.gov.pl

STRESZCZENIE

Poduszki i pokłady solne stanowią doskonałe poziomy izolujące dla nagromadzeń węglowodorów w zbiornikowych skałach podścielających.

Lokalizacja w pobliżu i w obrębie struktur solnych (1 pokład i 20 poduszek solnych) przejawów obecności węglowodorów (100 otworów wiertniczych i 25 udokumentowanych złóż węglowodorów) w utworach podścielających kompleksy solne cechsztynu w NW i centralnej Polsce, wskazuje możliwość pełnienia przez niektóre z tych struktur roli izolacyjnej dla potencjalnych nagromadzeń węglowodorów. Te struktury to 8 poduszek solnych (Wysoka Kamińska 2, Stargard Szczeciński-Maszewo, Szczecinek, Połczyn Zdrój 1, Czaplunek=Połczyn Zdrój 2, Człuchów, Szubin i Strzelce Krajeńskie-Toruń=Orzełek-Koronowo-Toporzyska) oraz pokład najstarszej soli kamiennej (Na1) w rejonie Darłowa.

Słowa kluczowe: poduszki solne, poziomy izolacyjne, nagromadzenia węglowodorów, NW i centralna Polska

WSTĘP

Utwory solne w formie pokładów i poduszek mogą stanowić poziomy izolacyjne dla złóż węglowodorów. W latach 2023–2025 w ramach projektu realizowanego przez Państwową Służbę Geologiczną (Zacharski et al., 2025) przedstawiono m. in. ocenę możliwości pełnienia przez poduszki solne roli takich poziomów dla potencjalnych złożowych nagromadzeń węglowodorów na terenie Polski północno-zachodniej i centralnej. Na obszarze objętym projektem (NW i centralna

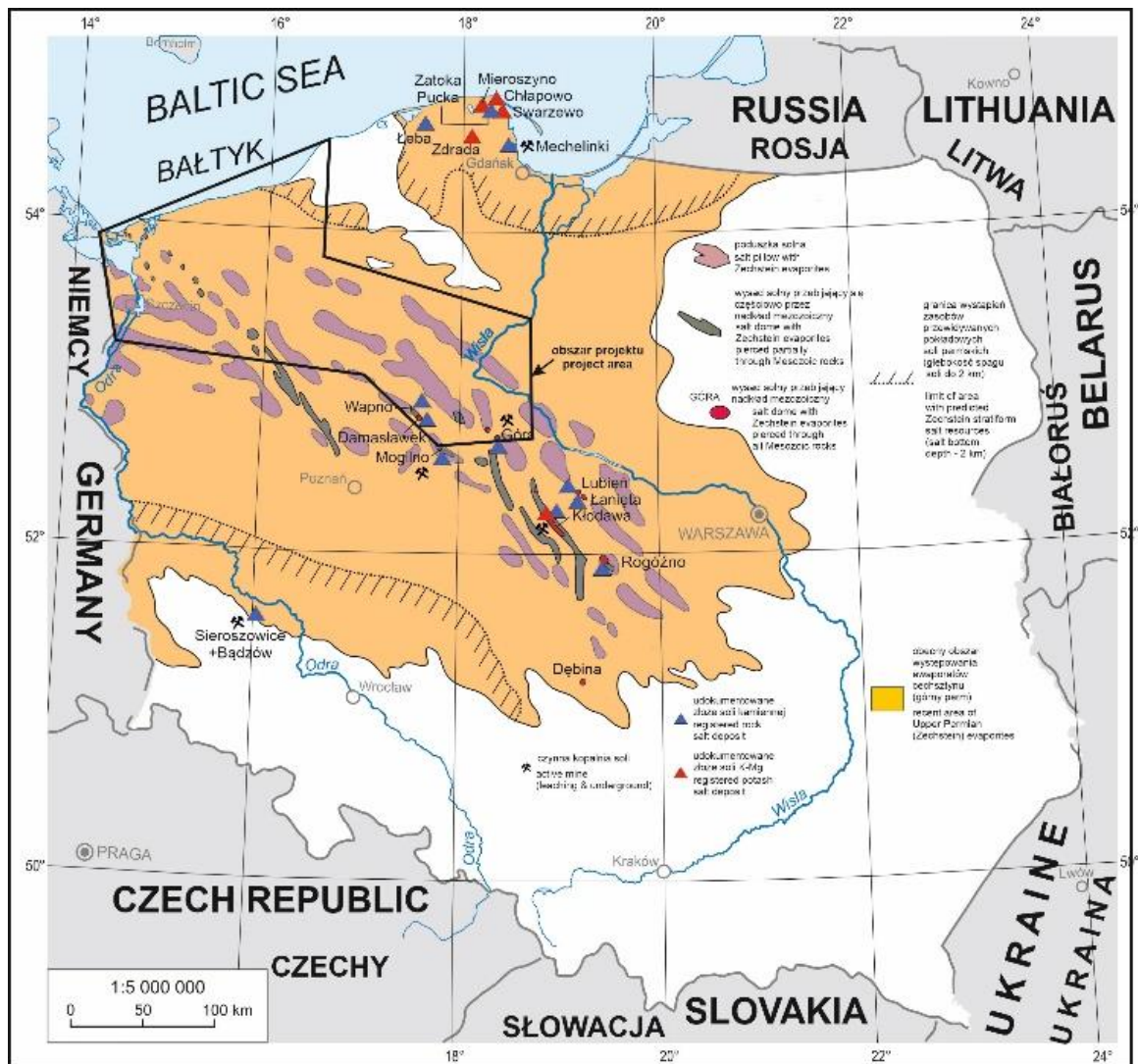
ABSTRACT

Salt pillows and salt beds constitute excellent sealing horizons for hydrocarbon accumulations in underlying reservoir rocks. The spatial association of hydrocarbon shows with and within salt structures (1 salt bed and 20 salt pillows) – documented by 100 boreholes and 25 recognized hydrocarbon deposits – in strata underlying the Zechstein salt complexes of north-western and central Poland indicates that some of these structures may act as effective seals for potential hydrocarbon accumulations. These structures include eight salt pillows (Wysoka Kamińska 2, Stargard Szczeciński-Maszewo, Szczecinek, Połczyn-Zdrój 1, Czaplunek-Połczyn-Zdrój 2, Człuchów, Szubin, and Strzelce Krajeńskie-Toruń = Orzełek-Koronowo-Toporzyska), as well as the Oldest Halite bed (Na1) in the Darłowo area.

Keywords: salt pillows, sealing horizons, hydrocarbon accumulations, north-western and central Poland

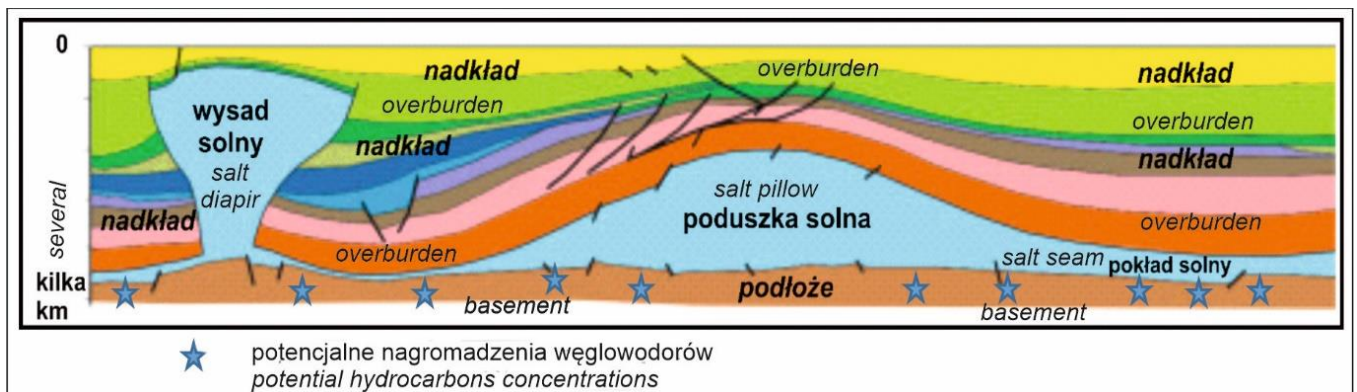
1. INTRODUCTION

Salt formations occurring as beds and pillows may act as sealing horizons for hydrocarbon accumulations. In the years 2023–2025, as part of a project carried out by the Polish Geological Survey (Zacharski et al., 2025), an assessment was presented of the potential for salt pillows to function as such sealing horizons for prospective hydrocarbon accumulations in north-western and central Poland. Within the area covered by the project (north-western and central Poland), a total of 19 salt domes, 20 salt pillows, and one salt bed have been identified to date (Fig. 1).



Ryc. 1. Obszar objęty projektem na tle występowania utworów ewaporatowych cechsztynu oraz złóż i struktur solnych w Polsce (wg Czapowski i in., 2023, zmienione)

Fig. 1. Project area with recent extent of the Upper Permian (Zechstein) evaporites, salt structures and registered salt deposits in Poland (after Czapowski et al., 2023, modified)



Ryc. 2. Model izolacji wystąpień węglowodorów przez utwory solne (wg Majer i in., 2023, zmienione)

Fig. 2. Isolation of hydrocarbons concentrations by salt deposits (after Majer et al., 2023, modified)

Polska) zlokalizowano dotychczas 19 wysadów solnych i 20 poduszek solnych oraz jeden pokład solny (Ryc. 1).

Pokłady i poduszki solne (dzięki plastyczności soli) są doskonałymi szczelnymi poziomami izolującymi dla skał zbiornikowych, zawierających ciekłe i gazowe węglowodory (Ryc. 2). Zapobiegają one przenikaniu/ucieczce węglowodórów w porowate bądź spękane utwory nadległe, skutecznie stabilizując zasoby złóż.

Potwierdzeniem potencjału izolacyjnego utworów solnych jest fakt budowania kawernowych magazynów na węglowodory oraz kawernowych składowisk odpadów w masywach soli kamiennych np. Chromik, 2015; Gąska i in., 2012; Hermann, Knipping, 1993; Kaliski i in., 2013; Kukiałka, 2015; Lankof i in., 2022; Ślizowski, Urbańczyk, 2011.

STRUKTURY SOLNE A PRZEJAWY OBECNOŚCI WĘGLWODORÓW

Na analizowanym obszarze występuje 19 wysadów solnych (Tab. 1) i 20 poduszek solnych (Tab. 2) oraz jeden pokład solny w rejonie Darłowa (Ryc. 3 i 4), reprezentujący najstarszą sól kamienną (Na1) cechsztynu.

Struktury solne: wysady i poduszki, nazwano wykorzystując wcześniejsze opracowania (np. Dadlez, 1998; Garlicki, Szybist, 1986; Krzywiec, 2002, 2009; Krzywiec, Stachowska, 2016; Marek, 1971, 1997) zaś w sytuacji braku wcześniejszych

Salt beds and salt pillows, owing to the plasticity of salt, constitute excellent impermeable sealing horizons for reservoir rocks containing liquid and gaseous hydrocarbons (Fig. 2). They prevent the migration or escape of hydrocarbons into overlying porous or fractured formations, thereby effectively stabilizing hydrocarbon resources within the deposits.

Further confirmation of the sealing potential of salt formations is provided by their widespread use for the construction of cavern storage facilities for hydrocarbons as well as cavern repositories for waste disposal within rock salt massifs (e.g., Chromik, 2015; Gąska et al., 2012; Hermann and Knipping, 1993; Kaliski et al., 2013; Kukiałka, 2015; Lankof et al., 2022; Ślizowski and Urbańczyk, 2011).

2. SALT STRUCTURES AND INDICATIONS OF HYDROCARBON OCCURRENCE

Within the analyzed area, 19 salt domes (Table 1) and 20 salt pillows (Table 2) have been identified, as well as one salt bed in the Darłowo area (Figs. 3 and 4), representing the Zechstein Oldest Halite unit (Na1).

Salt structures, including salt domes and salt pillows, were named based on earlier studies (e.g. Dadlez, 1998; Garlicki, Szybist, 1986; Krzywiec, 2002, 2009; Krzywiec, Stachowska, 2016; Marek, 1971, 1997). Where no previously established

Tabela 1. Zestawienie wysadów solnych występujących na obszarze objętym projektem
Table 1. List of salt diapirs in the project area

Numer <i>Number</i>	Nazwa wysadu solnego <i>Salt diapir name</i>	Stopień przebicia się wysadu przez nadkład mezozoiczny <i>Diapir piercing through Mesozoic cover</i>
1	Międzyzdroje / Przytór	nie przebija się / <i>no</i>
2	Wolin 1	nie przebija się / <i>no</i>
3	Wolin–Wicko–Wapnica	nie przebija się / <i>no</i>
4	Wolin 2	nie przebija się / <i>no</i>
5	Kamień Pomorski 1	nie przebija się / <i>no</i>
6	Kamień Pomorski 2	nie przebija się / <i>no</i>
7	Wysoka Kamieńska 1	nie przebija się / <i>no</i>
8	Goleniów 1	nie przebija się / <i>no</i>
9	Goleniów 2	nie przebija się / <i>no</i>
10	Nowogard	nie przebija się / <i>no</i>
11	Grzęzno	nie przebija się / <i>no</i>
12	Oświno	nie przebija się / <i>no</i>
13	Drawno	nie przebija się / <i>no</i>
15	Wapno	przebija się / <i>yes</i>
16	+Damasławek	przebija się / <i>yes</i>
18	Bracin-Zalesie (Barcin)	nie przebija się / <i>no</i>
19	Inowrocław	przebija się / <i>yes</i>

Tabela 2. Zestawienie poduszek solnych występujących na obszarze objętym projektem
Table 2. List of salt pillows in the project area

Numer Number	Nazwa poduszki solnej Salt pillow name
1	Wysoka Kamińska 2
2	Chociwel
3	Stargard Szczeciński-Maszewo
4	Szczecin
5	Trzebież
6	Gryfino-Choszczno
7	Widuchowa-Swobodnica
8	Suliszewo-Radęcin
9	Ińsko-Rzecz
10	Łobez
11	Połczyn Zdrój 1
12	Czaplinek = Połczyn Zdrój 2
130	Szczecinek
14	Człuchów
15	Złotów = Jastrowie
16	Trzcianka
17	Piła 2
18	Szubin
19	Strzelno Krajeńskie-Toruń = Orzełek-Koronowo-Toporzyska
20	Inowrocław

nazw wprowadzono nowe, przyjmując nazwy ważniejszych miejscowości położonych na terenie zajęтым przez struktury. Subiektywizm wyboru tych miejsc powoduje - w przypadku niektórych poduszek solnych – wprowadzenie w niniejszej pracy nazw podwójnych dla tego samego obiektu np. poduszka solna Złotów określana jest przez jednego ze współautorów opracowania (Zacharski i in., 2025) jako poduszka solna Jastrowie (Tab. 2). W takich przypadkach podano obie nazwy własne łącząc je znakiem „=” . Oznacza to że np. poduszka solna Strzelno Krajeńskie-Toruń jest przez innego autora opisywana pod nazwą poduszka solna Orzełek-Koronowo-Toporzyska. W przypadku wysadów solnych podano stopień ich przebiccia przez nadkład mezozoiczny (Tab. 1).

Sytuacja „dualizmu nazewnictwa” solnych struktur poduszkowych jest problemem i wymaga ujednoczenia terminologii i przyjęcia jednej nazwy własnej dla danego obiektu. Wiąże się to jednak z pełnym udokumentowaniem zasięgu i budowy wszystkich poduszek solnych w Polsce w świetle obecnych dostępnych danych geologicznych.

Wytypowano w bliskim otoczeniu i na terenie występowania poduszek i pokładów solnych otwory wiertnicze (dane z Centralnej Bazy Danych Geologicznych), w których – wg

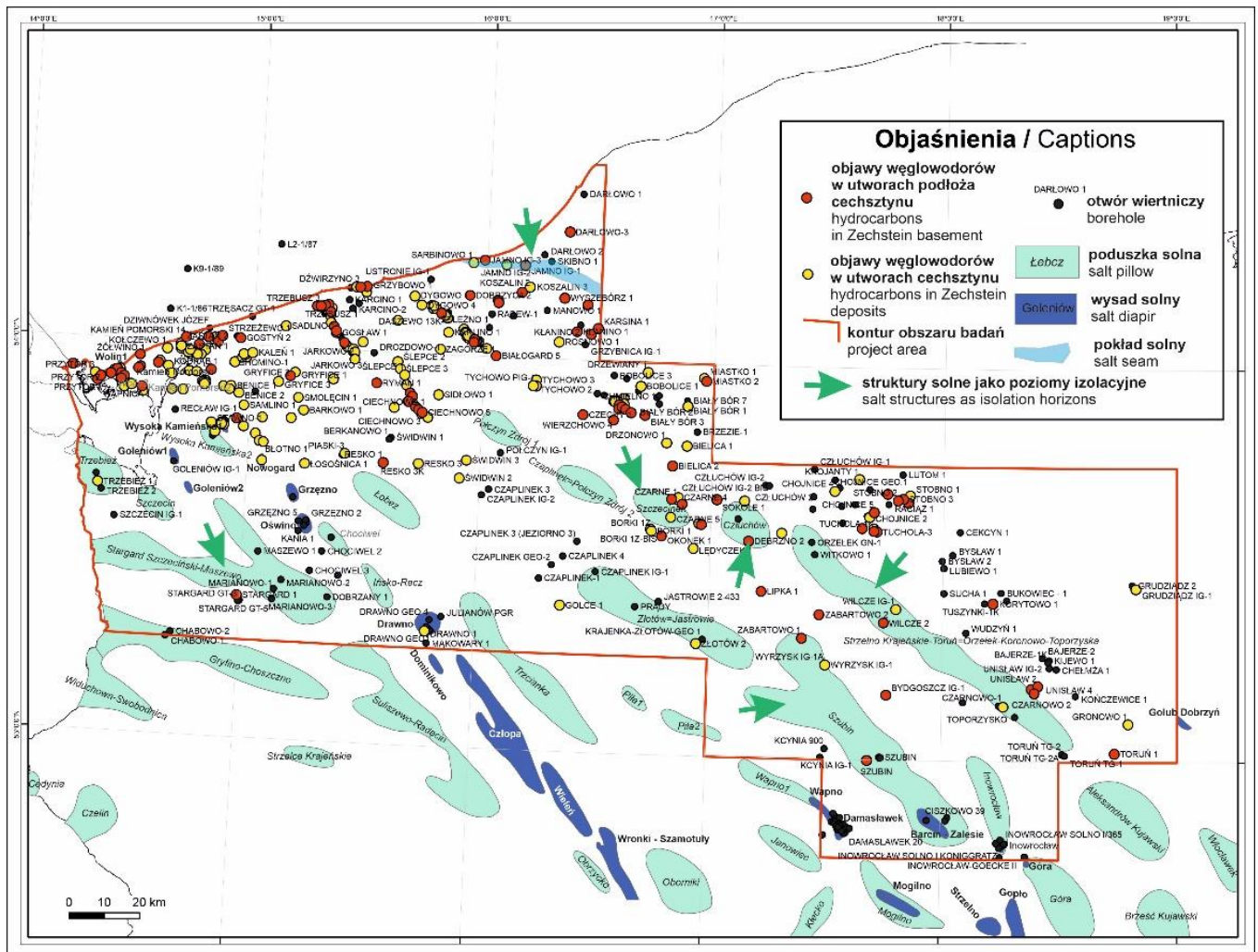
names existed, new ones were introduced, adopting the names of major localities situated within the area occupied by the structures. The inherently subjective nature of this selection has resulted – in the case of some salt pillows – in the use of double names for the same structure in the present study. For example, the Złotów salt pillow is referred to by one of the co-authors (Zacharski et al., 2025) as the Jastrowie salt pillow (Table 2). In such cases, both proper names are given and linked by the “=” symbol. Accordingly, the Strzelce Krajeńskie–Toruń salt pillow is described by another author under the name Orzełek–Koronowo–Toporzyska salt pillow. For salt domes, the degree to which they pierce the Mesozoic overburden is also indicated (Table 1).

The situation of “dual nomenclature” applied to salt pillow structures constitutes a problem and calls for the unification of terminology through the adoption of a single proper name for each individual structure. However, this requires comprehensive documentation of the extent and internal structure of all salt pillows in Poland, based on the currently available geological data.

Boreholes located within and in the immediate vicinity of salt pillows and salt beds were selected (based on data from the Central Geological Database). According to the information contained in the borehole log descriptions, manifestations of hydrocarbon presence were recorded at specific stratigraphic levels, including hydrocarbon odors, gas emanations, and oil accumulations.

Among the 395 deep boreholes drilled in the study area (Fig. 3), signs of hydrocarbon occurrence in the underlying Zechstein formations were observed in nearly 100 boreholes. These formations include the Red Sandstone (Pcs), Carboniferous (C), Devonian (D), and the Zechstein units themselves (limestones, anhydrites, and salts) in several dozen boreholes. These boreholes are compiled in a table (Table 3) and assigned to the corresponding salt structures.

Analyzing the co-occurrence of salt pillows and boreholes with signs of hydrocarbons, it was found that, among the 20 salt pillows discussed and located wholly or partially within the project area, such signs have so far been observed in the immediate vicinity of or within 9 salt pillows (Table 3). Exhibiting hydrocarbon indications in the Mesozoic overburden – for example, the Chociwel salt pillow (Table 3) – the potential isolation function for hydrocarbon-bearing Zechstein formations can be assigned to five salt pillows: Stargard Szczeciński–Maszewo, Szczecinek, Człuchów, Szubin, and Strzelno Krajeńskie-Toruń = Orzełek-Koronowo-Toporzyska. For hydrocarbon accumulations in the Devonian (D) formations, the Człuchów and Strzelno Krajeńskie-Toruń = Orzełek-Koronowo-Toporzyska pillows may serve as isolating levels, whereas for occurrences in the Red Sandstone (Pcs) formations, the isolating role can be attributed to the Stargard Szczeciński–Maszewo, Szu-



Ryc. 3. Rozmieszczenie struktur solnych i przejawów obecności węglowodorów w otworach cechsztynu i jego podłoża w profilach otworów
 Fig. 3. Location of salt structures and boreholes with hydrocarbons notices within the Zechstein and the basement deposits

informacji zawartych w opisach profili otworów - odnotowano w określonych poziomach przejawy obecności węglowodorów takie jak zapach, emanacje gazowe, skupienia ropy.

Spośród 395 głębokich otworów wiertniczych (Ryc. 3) odwierconych na analizowanym obszarze w blisko 100 otworach stwierdzono objawy występowania węglowodorów w utworach podłoża cechsztynu reprezentujących: czerwony spągowiec (Pcs), karbon (C), dewon (D) oraz w utworach cechsztynu (wapienie, anhydryty i sole) w kilkudziesięciu otworach. Otwory te zestawiono w tabeli (Tab. 3) przyporządkowując je odpowiednim obiektom solnym.

Analizując współwystępowanie poduszek solnych i otworów z przejawami obecności węglowodorów stwierdzono że spośród 20 omówionych poduszek solnych, zlokalizowanych w całości lub częściowo na obszarze objętym projektem, stwierdzono te objawy jak dotąd w bliskim sąsiedztwie lub na obszarze zajęтым przez 9 poduszek solnych (Tab. 3). Emitując przejawy obecności węglowodorów w nadkładzie mezozoicznym np. poduszka solna Chociwel (Tab. 3) funkcję potencjalnych poziomów izolujących dla węglowodoro-

bin, and Strzelno Krajeńskie-Toruń = Orzełek-Koronowo-Toporzyska salt pillows.

The previously mentioned salt pillows, as well as Wysoka Kamińska 2, Trzebież, and Złotów=Jastrowie, record occurrences of hydrocarbons in their vicinity and within the underlying Zechstein formations. These manifestations are observed, for example, in the anhydrite of the Werra cyclothem (A1 – a term introduced by J. Kłapciński [1966, 1971] for sulfate deposits of the PZ1 cyclothem not separated by evaporite layers), in the Lower (A1d) and Upper (A1g) Anhydrite, the Basal Anhydrite (A2), the Main Anhydrite (A3), as well as in Zechstein limestone carbonates (Ca1), Main Dolomite (Ca2), and Platy Dolomite (Ca3) (Tab. 3). The salt can act as an effective isolation layer when the salts forming the elevated part of the pillow (Fig. 2) belong to younger Zechstein cyclothem, e.g., the Younger Halite (Na3) of the PZ3 cyclothem or evaporite-clastic complexes of the PZ4 cyclothem. In such cases, the lower part of the Zechstein sedimentary succession – from PZ1 to PZ3 cyclothem, which may contain hydrocarbon accumulations in the afore-

Tabela 3. Zestawienie przejawów obecności węglowodorów w profilach otworów wiertniczych w obrębie i w najbliższym otoczeniu poduszek solnych na terenie objętym projektem. Objasnienia głównych symboli: D - dewon, PZ – cechsztyń (symbole wydzieleni litostratigraficznych cechsztyń wg Wagner, 1994), Pcs – czerwony spągowiec, T1 – trias dolny, J2 – jura środkowa, J3 – jura górna, K1 – kreda dolna

Table 3. List of hydrocarbons evidence in boreholes located within and nearby the salt pillows in the project area. Captions of main symbols: D – Devonian, PZ – Zechstein (symbols of Zechstein lithostratigraphic units after Wagner, 1994), Pcs – Rotliegendes, T1 – Lower Triassic, J2 – Middle Jurassic, J3 – Upper Jurassic, K1 – Lower Cretaceous

NUMER <i>Number</i>	NAZWA PODUSZKI SOLNEJ <i>Salt pillow name</i>	OTWÓR WIERTNICZY <i>Borehole name</i>	Wydzielenie stratygraficzne w otworze z objawami węglowodorów (symbol) <i>Hydrocarbons evidence in borehole (deposit age with symbols)</i>
1	Wysoka Kamińska 2	MORACZ IG 1	PZ (Ca2)
		STAWNO 1	PZ (Ca2)
2	Chociwel	CHOCIWEL 2	J2
3	Stargard Szczeciński-Maszewo	STARGARD 1	T1, Pcs
4	Trzebież	TRZEBIEŻ 1	PZ (A1g)
5	Szczecinek	CZARNE 1	PZ (Ca2)
		CZARNE 2	PZ (Ca2), Pcs
		CZARNE 3	PZ (Ca2), Pcs
		CZARNE 4	PZ (A3, Ca3, A2, A1g, A1d)
		CZARNE 5	PZ (Na2, A2, Ca2, A1g, A1d, Ca1)
		SZCZECINEK IG 1	PZ (Ca2)
6	Człuchów	BORKI 1ZBis	PZ (A2, Ca2)
		DEBRZNO 2	PZ (Ca2, A1), D
7	Złotów = Jastrowie	OLSZANOWO 1	PZ (Ca2, A1g, Na1)
		ZŁOTÓW 2	PZ (A1g, Na1, A1d, Ca1, T1m)
8	Szubin	SZUBIN IG 1	Pcs
		ZABARTOWO 1	Pcs
		WYRZYSK IG 1	PZ (Ca2, A2)
9	Strzelno Krajeńskie-Toruń = Orzełek-Koronowo-Toporzyska	WILCZE IG 1	PZ (Ca2)
		WILCZE 2	PZ (Ca3, A3, Na2, A2, Ca2, A1g), Pcs
		UNISŁAW 2	D
		UNISŁAW 4	PZ (A3, Ca3, A2, Ca2, A1g), Pcs, D
		UNISŁAW IG1	D
		CZARNOWO 1	K1
		CZARNOWO 2	K1, J3
WAŁDOWO KRÓLEWSKIE 1	PZ (A1g)		

nośnych utworów podłoża cechsztyń może pełnić 5 poduszek solnych : Stargard Szczeciński–Maszewo, Szczecinek, Człuchów, Szubin i Strzelno Krajeńskie-Toruń=Orzełek-Koronowo-Toporzyska, Dla nagromadzeń węglowodorów w utworach dewonu (D) izolację mogą stanowić poduszki solne Człuchów i Strzelno Krajeńskie-Toruń=Orzełek-Koronowo-Toporzyska, zaś dla wystąpień w osadach czerwonego spągowca (Pcs) – poduszki solne Stargard Szczeciński–Maszewo, Szubin i Strzelno Krajeńskie-Toruń=Orzełek-Koronowo-Toporzyska.

Wymienione wcześniej oraz takie poduszki solne jak: Wysoka Kamińska 2, Trzebież, Złotów=Jastrowie rejestrują

mentioned lithostratigraphic units – remains undisturbed and forms the base of the pillow. Similar occurrences are sometimes observed in sulfate and carbonate formations within salt diapirs, e.g., in the Kłodawa diapir (Burliga, 2010; Misiek, 1997).

In summary, the five previously mentioned salt pillows have the greatest potential to act as isolation horizons for possible hydrocarbon accumulations, both within the underlying formations and within the Zechstein sequence itself.

The Oldest Halite layer (Na1), occurring in the Darłowo area at the northernmost edge of the project region, may serve as an effective isolation horizon for potential hydrocarbon ac-

w swoim sąsiedztwie i obrębie przejawy obecności węglowodorów w utworach cechsztynu jak np. w siarczanach anhydrytu Werry (A1- termin wprowadzony przez J. Kłapcińskiego [1966,1971] dla utworów siarczanowych cyklotemu PZ1 nierozdzielonych osadami solnymi), anhydrytu dolnego (A1d) i górnego (A1g), anhydrytu podstawowego (A2) i głównego (A3) bądź węglanach wapienia cechsztyńskiego (Ca1), dolo-mitu głównego (Ca2) i płytowego (Ca3) (Tab. 3). Izolująca

cumulations in Devonian formations within the Permian base-ment (Fig. 3).

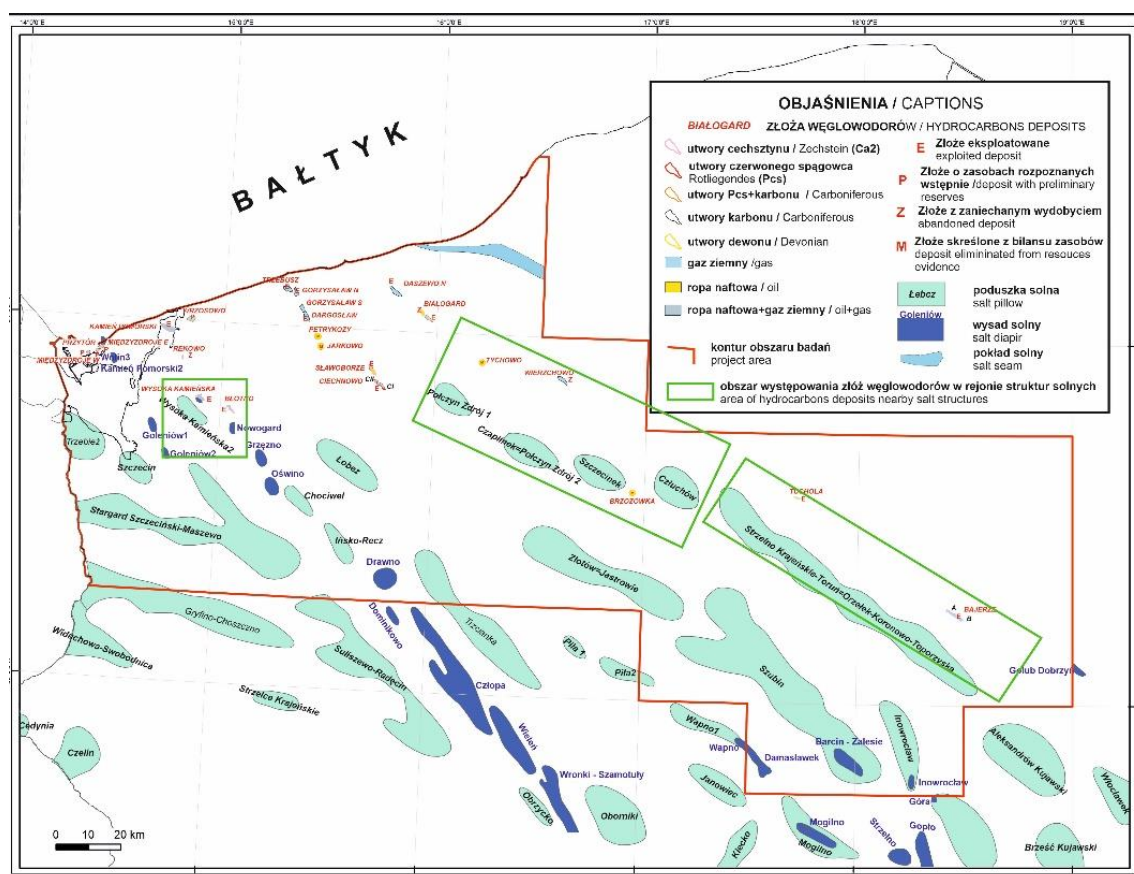
This analysis excludes documented hydrocarbon occur-rences in Mesozoic formations – Triassic, Jurassic, and Cre-taceous – as they constitute the overburden above the salt pil-lows.

Within the study area, 25 hydrocarbon deposits have been documented to date: 11 natural gas deposits, 9 oil deposits,

Tabela 4. Zestawienie udokumentowanych złóż węglowodorów na obszarze objętym projektem

Table 4. List of registered hydrocarbons deposits in the project area

RODZAJ WĘGLOWODORÓW <i>Hydrocarbon type</i>	gaz ziemny/ <i>gas</i>	13
	ropa naftowa / <i>oil</i>	9
	ropa naftowa+gaz ziemny / <i>oil+gas</i>	1
WIEK SKAŁ ZBIORNIKOWYCH <i>Reservoir rock age</i>	cechsztyń / <i>Zechstein (Ca2)</i>	13
	czerwony spągowiec <i>Rotliegendes (Psc)</i>	4
	czerwony spągowiec+karbon <i>Rotliegendes+Carboniferous</i>	2
	karbon / <i>Carboniferous</i>	5
	Dewon / <i>Devonian</i>	1
STAN ZAGOSPODAROWANIA ZŁOŻA <i>Deposit management status</i>	eksploatowane / <i>exploited</i>	14
	zasoby określone wstępnie / <i>preliminary reserves</i>	3
	eksploatacja zaniechana / <i>abandoned</i>	4
	skreślone z bilansu zasobów / <i>eliminated from reserves evidence</i>	4



Ryc. 4. Rozmieszczenie struktur solnych i udokumentowanych złóż węglowodorów

Fig. 4. Distribution of salt structures and registered hydrocarbons deposits

rola soli jest wówczas możliwa gdy sole budujące uwypukloną część poduszki (Ryc. 2) reprezentują młodsze cyklotemy cechsztynu np. młodsza sól kamienna (Na3) cyklotemu PZ3 czy kompleksy ewaporatowo-klastyczne cyklotemu PZ4. Wówczas niższa część sukcesji osadowej cechsztynu - cyklotemy PZ1 do PZ3, mogące zawierać nagromadzenia węglowodorów we wspomnianych wcześniej wydzieleniach litostratigraficznych, pozostaje niezaburzona i stanowi podstawę poduszki. Przejawy takie są obserwowane niekiedy w utworach siarczanowych i węglanowych w obrębie wysadów solnych np. w wysadzie kłodawskim (np. Burliga, 2010; Misiek, 1997).

Reasumując, największy potencjał jako poziomy izolujące dla możliwych złożowych wystąpień węglowodorów zarówno w utworach podłoża i w samym cechsztynie ma pięć wymienionych wcześniej poduszek solnych.

Pokład najstarszej soli kamiennej (Na1), występujący w rejonie Darłowa w skrajnej północnej części obszaru projektu, może stanowić dobry poziom izolacyjny dla potencjalnych złożowych nagromadzeń węglowodorów w utworach dewonu w podłożu permu (Ryc. 3).

W analizie pominięto odnotowane wystąpienia węglowodorów w utworach mezozoiku: triasu, jury i kredy gdyż stanowią one nadkład poduszek solnych.

Na omawianym obszarze udokumentowano dotychczas 25 złóż węglowodorów: 11 złóż gazu ziemnego, 9 złóż ropy naftowej i jedno złożo ropy+gazu (Ryc. 4). Eksploatowanych jest obecnie 11 złóż gazu i 4 złoża ropy naftowej, skreślono z bilansu zasobów 4 złoża zaś w 3 złożach zaniechano eksploatacji. W przypadku 3 złóż gazu zasoby zostały określone wstępnie (Tab. 4).

W złożach dominują (13 złóż) skały zbiornikowe cechsztynu (3 złoża gazu, 9 złóż ropy naftowej i 1 złożo ropa+gaz). Utwory zbiornikowe czerwonego spągowca tworzą 5 złóż gazowych, skały karbonu - 6 złóż gazowych i dewonu - 1 złożo gazowe.

Bliskie położenie niektórych złóż w pobliżu poduszek solnych (Ryc. 4) pozwala wskazać 3 obszary występowania poduszek, które mogą pełnić rolę potencjalnych poziomów izolujących:

- poduszka solana Wysoka Kamieńska 2
- zespół 3 poduszek solnych: Połczyn Zdrój 1, Czaplunek=Połczyn Zdrój 2 i Człuchów
- poduszka solna Strzelce Krajeńskie-Toruń=Orzełek-Koronowo-Toporzyska

PODSUMOWANIE

Poduszki i pokłady solne stanowią doskonałe poziomy izolujące dla nagromadzeń węglowodorów w zbiornikowych skałach podścielających.

Analiza przejawów obecności węglowodorów (otwory wiertnicze i udokumentowane złoża węglowodorów) w utwo-

and one combined oil and gas deposit (Fig. 4). Currently, 11 gas deposits and 4 oil deposits are in production; 4 deposits have been removed from the resource inventory, and production was discontinued in 3 deposits. For 3 gas deposits, resources have been assessed provisionally (Tab. 4).

Among the deposits, Zechstein reservoir rocks dominate (13 deposits: 3 gas, 9 oil, and 1 combined oil and gas). Reservoir formation of the Rotliegendes form 5 gas deposits, Carboniferous rocks form 6 gas deposits, and Devonian rocks form 1 gas deposit.

The close proximity of some hydrocarbon deposits to salt pillows (Fig. 4) allows the identification of three salt pillow areas that may serve as potential isolation horizons:

- Wysoka Kamieńska 2 salt pillow
- A cluster of three salt pillows: Połczyn Zdrój 1, Czaplunek = Połczyn Zdrój 2, and Człuchów
- Strzelce Krajeńskie-Toruń = Orzełek-Koronowo-Toporzyska salt pillow

3. SUMMARY

Salt pillows and beds represent excellent isolation horizons for hydrocarbon accumulations in underlying reservoir rocks.

The analysis of hydrocarbon indications (boreholes and documented hydrocarbon deposits) in the strata underlying the Zechstein salt series, as well as within the Zechstein itself in north-western and central Poland, observed in the vicinity of and within salt structures (beds and pillows), indicates that some of these structures may serve as isolation horizons for potential hydrocarbon accumulations.

Such structures include:

- a) Eight salt pillows: Wysoka Kamieńska 2, Stargard Szczeciński-Maszewo, Szczecinek, Połczyn Zdrój 1, Czaplunek = Połczyn Zdrój 2, Człuchów, Szubin, and Strzelce Krajeńskie-Toruń = Orzełek-Koronowo-Toporzyska;
- b) The bed of the Oldest Halite (Na1) occurring in the Darłowo region.

Beneath these structures, hydrocarbons may accumulate in selected reservoir rock horizons in commercially significant amounts, making them promising targets for more detailed geological investigations (e.g., drilling, seismic surveys) in the search for new energy resources. To date, boreholes have mainly been drilled at the margins of salt pillows, which explains the lack of data on the hydrocarbon potential beneath the centers of the pillows and within their interiors.

rach podścielających serie solne cechsztynu oraz w samym cechsztynie w NW i centralnej Polsce, stwierdzonych w pobliżu i obrębie struktur solnych (pokłady i poduszki solne), wskazuje możliwość pełnienia przez niektóre z tych struktur roli izolacyjnej dla potencjalnych nagromadzeń węglowodorów.

Do takich struktur można zaliczyć:

- a) 8 poduszek solnych: Wysoka Kamieńska 2, Stargard Szczeciński–Maszewo, Szczecinek, Połczyn Zdrój 1, Czaplunek=Połczyn Zdrój 2, Człuchów, Szubin i Strzelce Krajeńskie-Toruń=Orzełek-Koronowo-Toporzyska,
- b) pokład najstarszej soli kamiennej (Na1), występujący w rejonie Darłowa.

Poniżej tych struktur możliwe jest nagromadzenie się węglowodorów w wybranych poziomach skał zbiornikowych w ilościach złożowych dlatego mogą one stanowić obiekty przyszłego bardziej szczegółowego rozpoznania geologicznego (wiercenia, sejsmika) przy poszukiwaniu nowych złóż surowców energetycznych. Dotychczasowe odwierty prowadzono głównie na obrzeżu poduszek solnych stąd brak informacji o potencjale węglowodorowym, kryjącym się pod centrum poduszek i w ich obrębie.

LITERATURA/REFERENCES

- BURLIGA S., 2010. Czynniki warunkujące rozmieszczenie węglowodorów w wysadzie solnym Kłodawy. Abstrakty XV Międzynarodowego Sympozjum Solnego pt. Potencjał gospodarczy polskiego górnictwa solnego – stan obecny i perspektywy rozwoju. Świeradów Zdrój, 21-22 października 2010 r.: 73.
- CHROMIK M., 2015. Możliwości magazynowania energii elektrycznej w soli kamiennej w postaci wodoru w regionie nadbałtyckim. *Przegląd Solny (Salt Review)*, 11: 44-50.
- CZAPOWSKI G., HODBOD M., SKOWROŃSKI L., SOBIEN K., 2023. Pokładowe wystąpienia soli potasowo-magnezowych w południowo-zachodniej Polsce – potencjał złożowy. *Przegląd Geologiczny*, 71(6): 321-331.
- DADLEZ R., (red.), 1998. Mapa tektoniczna kompleksu cechsztyńsko mezozoicznego na Niżu Polskim, skala 1:500 000. Warszawa.
- GARLICKI A., SZYBIST A., 1986. Salinarne osady polskiego cechsztynu z solami potasowo-magnezowymi. *Gosp. Sur. Mineral.*, 2 (3-4): 389-404. PAN, Kraków.
- GĄSKA K., HOSZOWSKI A., GMIŃSKI Z., KUREK A., 2012. Monografia podziemnych magazynów gazu w Polsce. 1-304. Stow. Inżynierów i Techników Przemysłu naftowego i Gazowniczego, Oddział Warszawa II. Warszawa.
- HERRMANN A. G., KNIPPING B., 1993. Waste Disposal and Evaporites. Contributions to Long-term Safety. Lecture Notes in Earth Sciences, 45: 1-193. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg.
- KALISKI M., GROSS-GOŁACKA E., JANUSZ P., SZURLEJ A., 2013. Magazynowanie gazu ziemnego w strukturach solnych, stan obecny, perspektywy rozwoju. *Przegląd Solny (Salt Review)*, 9: 7-19.
- KŁAPCIŃSKI J., 1966. Stratygrafia anhydrytów Werra w rejonie Lubina i Sieroszowic (monoklina przedsudecka). *Rocznik PTG*, 36 (3): 6578..
- KŁAPCIŃSKI J., 1971. Litologia, fauna, stratygrafia i paleogeografia permu monokliny przedsudeckiej. *Geol. Sudetica*, 5: 77-136. Warszawa.
- KUKIAŁKA P., 2015. Kawerny solne w prowincji Alberta, Zachodnia Kanada. *Przegląd Solny (Salt Review)*, 11: 83-90. Kraków.
- KRZYWIEC P., 2002. Oświno structure (NW Mid-Polish Trough) - salt diapir or inversion-related compressional structure? *Geological Quarterly*, 46(3): 337-346.
- KRZYWIEC P., 2009. Geneza i ewolucja wybranych struktur solnych z obszaru Nizu Polskiego w świetle danych sejsmicznych. *Prz. Geol.*, 57(9): 812-818. Warszawa.
- KRZYWIEC P., STACHOWSKA A., 2016. Late Cretaceous inversion of the NW segment of the Mid-Polish Trough – how marginal troughs were formed, and does it matter at all? *Z. Dt. Ges. Geowiss. (German J. Geol.)*, 167(2/3): 107-119. Stuttgart.
- LANKOF L., NAGY S., POLAŃSKI K., URBAŃCZYK K., 2022. Potential for Underground Storage of Liquid Fuels in Bedded Rock Salt Formations in Poland. *Energies*, 15 (10): 1-23.
- MAJER E., SOKOŁOWSKA M., FRANKOWSKI Zb., ADAMUSZEK M., CZAPOWSKI G., FAJFER J., JAROSIŃSKI M., MAJER K., SZABŁOWSKA M., SAMEL I., WÓJCICKI A., MAZUREK S., ROSZKOWSKA-REMIN J., CYGLICKI M., KORZENIOWSKI W., ŁUKASIAK D., JAGODA E., 2023. Zasady dokumentowania warunków geologiczno-inżynierskich na potrzeby podziemnego bezzbiornikowego magazynowania i składowania (z wyłączeniem składowania odpadów promieniotwórczych). 1-433. Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy, Warszawa.
- MAREK S., 1971. Przegląd cechsztyńskich struktur solnych na Niżu Polski środkowej. *Mat. z Kolokwium nt. Geologii salinarnej w regionie kujawskim, Inowrocław-Kłodawa, 10-12 listopada 1971*, AGH: 9-18. Kraków.

- MAREK S., 1997. Tektonika kompleksu cechsztyńskiego-mezozoicznego. Ogólne wnioski o ewolucji tektonicznej, [w:] S. Marek, M. Pajchłowa (red.), Epikontynentalny perm i mezozoik w Polsce. Prace PIG, 153:1-452. Warszawa.
- MISIEK G., 1997. Stratygrafia i wykształcenie utworów cechsztyńskich w wysadzie solnym Kłodawy. Mat. konf. pt. Tektonika solna regionu kujawskiego, Uniejów 23-25.10.1997: 20-23. WIND, Wrocław.
- ŚLIZOWSKI J., URBAŃCZYK K., (red.), 2011. Możliwości magazynowania gazu ziemnego w polskich złożach soli kamiennej w zależności od warunków geologiczno-górnictwowych. 1-132. Wyd. IGSMiE PAN, Kraków
- WAGNER R., 1994. Stratygrafia i rozwój basenu cechsztyńskiego na Niżu Polskim. Prace PIG, 146:1-71. Warszawa.
- ZACHARSKI J., BECKER A., BOLEK M., CZAPOWSKI G., FELDMAN-OLSZEWSKA A., FLOREK M., HADRO J., HODBOD M., JASIONOWSKI M., JURECZKA J., KIERSNOWSKI H., KOZŁOWSKA A., KUBERSKA M., LASEK-WOROSZKIEWICZ D., LASKOWICZ R., MICHNA M., MURAŃSKI A., NOWAK-KOSZLA E., PETECKI Z., PODHALAŃSKA T., SIMLAT K., SKOWROŃSKI L., SOBIEŃ K., SZYDŁO A., WAKSMUNDZKA M., WÓJCICKI A., 2025. Regionalna analiza wybranych struktur geologicznych w celu uzyskania synergii w poszukiwaniach złóż węglowodorów, wykorzystaniu energii geotermalnej, podziemnym magazynowaniu substancji i składowaniu CO₂ w górotworze (etap II). 450 ss., PIG-PIB Warszawa.